

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

WWW.SOEL.RU

5

2022

▶ YouTube

В номере:

Не допустим «суицида»
отечественной электроники!

Высокоизбирательные
перестраиваемые фильтры

Подавление помех
в цепях цифровых систем

Полупроводники
и ионизирующие излучения



ETC ELECTRONICS RUSSIA

НЕТ НИЧЕГО ДОРОЖЕ, ЧЕМ НАДЕЖНЫЙ ПОСТАВЩИК

www.etcelectronics.ru • msk@etcelectronics.net • info@etcelectronics.ru

+7 (495) 109-60-90 • +7 (495) 227-37-75

ТЕСТПРИБОР

СВЧ И ВЧ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



■ Усилители



■ Смесители и умножители частот



■ Частотные генераторы



■ Электромеханические переключатели



■ Волноводы и коаксиально-волноводные переходы

В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК ПРОДУКЦИЯ ВЕДУЩИХ КОМПАНИЙ - ЛИДЕРОВ В ОБЛАСТИ СВЧ И ВЧ КОМПОНЕНТОВ

Специалисты компании «ТЕСТПРИБОР» окажут помощь и поддержку:

- в выборе изготовителя и подборе аналогов;
- в составлении технического задания и изготовлении продукции по индивидуальным требованиям заказчика;
- в логистике;
- в проведении тестирования и испытаний.





ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»

подписка с гарантированной доставкой



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

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



Здравствуйте, уважаемые друзья!

Невиданные доселе санкции, развёрнутые Западом против нашей страны, действуют вот уже более 100 дней. Многие рестрикции болезненно ударили именно по высокотехнологичным отраслям отечественной экономики, таким как микро- и радиоэлектроника. Но первоначальная паника отечественных производителей и поставщиков поутихла; всем стало понятно, что новая реальность, в которой нам теперь жить, – это надолго. Начинают создаваться альтернативные каналы поставок, происходит тотальная переориентация на азиатско-китайский рынок. Насколько болезненными будут эти процессы, и удастся ли добиться успеха в итоге, не потеряв, а, в идеале, нарастив техническую и технологическую мощь, так необходимую стране для обеспечения суверенитета? «Современная электроника» стремится быть в курсе самых важных событий отечественного IT-рынка и с удовольствием делится с вами собранной по крупицам ценной информацией.

Заходите на наш YouTube-канал, там, как всегда, вы найдёте много новых роликов на самые актуальные темы! Смотрите наши репортажи и делитесь ссылками на них со своими коллегами и деловыми партнёрами!

Мы рады, что вы по-прежнему с нами!

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, Д. А. Кабачник,
Р. Х. Хакимов

Вёрстка А. М. Бабийчук

Обложка Д. В. Юсим

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

Реклама И. Е. Савина (advert@soel.ru)

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К. В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

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

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

Тел.: (495) 232-00-87

info@soel.ru • www.soel.ru

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

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

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

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

Тел./факс: (499) 903-69-52

Перепечатка материалов допускается только
с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы
несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут
авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

Мнение редакции не обязательно совпадает
с мнением авторов.

Все упомянутые в публикациях журнала
наименования продукции и товарные знаки
являются собственностью соответствующих
владельцев.

© СТА-ПРЕСС, 2022

ЧИТАЙТЕ
ЖУРНАЛ 

В ЭЛЕКТРОННОЙ ВЕРСИИ

на сайте soel.ru

после простой регистрации

и

В ПЕЧАТНОЙ ВЕРСИИ

по подписке

РЕКЛАМОДАТЕЛИ

IETC Electronics	1-я стр. обл., 4
AVD Systems	5
МОРИОН	4
ОНИИП	53
Остек-СМТ	6
ПЛАНАР	5
СИММЕТРОН	4
ТЕСТПРИБОР	2-я стр. обл., 4-я стр. обл.
ЭРКОН	6

**Встречайте
обновлённый
портал журнала
«СТА»!**

**Все новости из мира
промышленной
автоматизации на
единой удобной
платформе!**



www.STA.ru

РЫНОК

4 Новости российского рынка

КОМПЕТЕНТНОЕ МНЕНИЕ

8 Как избежать в условиях санкций технологического «суицида» в отечественной электронике?

Александр Гордеев

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

12 Электросамолёты. Что нас ждёт?

Андрей Кашкаров

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

18 О необходимости подавления помех, возникающих в цепях цифровых систем при работе электромагнитных реле большой мощности

Илья Струков

22 Инфракрасный радар-парковщик

Александр Одинец

24 ЗУ для Li-Ion АКБ 6F22 («Крона»)

Сергей Глибин

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

26 Разработка автоматизированной системы управления балансировкой шлифовальных кругов на основе цифрового двойника

Елизавета Каширская, Аслиддин Назриев

30 Прикладное применение комплексных нейронных сетей

Сергей Куликов

33 Цифровизация натурного эксперимента

Елизавета Каширская

36 Новейшие кварцевые генераторы с высокой кратковременной стабильностью и особенности их применения

Юрий Иванов, Аркадий Никонов

42 Прогнозирование времени отказа оборудования технологического процесса с помощью искусственной нейронной сети

Имад Хамамех

46 Проектирование информационно-управляющей системы анализа статистических данных функционирования производственной системы

Елизавета Каширская, Елена Воробьёва

48 Прогнозирование состояния технологического процесса

Андрей Бриллиантов

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

52 Высокоизбирательные перестраиваемые фильтры

Андрей Яковлев, Александр Тюменцев

54 Метод брянских партизан

Александр Цуприков

58 Ионизирующие излучения и их воздействие на полупроводниковые материалы (по данным литературных источников). Часть 1

Оксана Вовк, Михаил Марченко, Владимир Соколов

Новости российского рынка

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

Выход есть всегда

В апреле 2022 года на выставке «ExpoElectronica 2022» «ЕТС ЭЛЕКТРОНИКС» заявила, что одним из преимуществ компании является качественная и финансово доступная собственная брендовая линейка ЭК, антенн и разъёмов взамен недоступных из-за санкций производителей. Сейчас, когда рынок дистрибьюторов известных брендов в России практически исчез, а партнёры из Китая опасаются вторичных санкций, одним из ценнейших качеств, которыми должен обладать поставщик импортных электронных компонентов, стала гибкость логистических цепочек. Мы являемся дистрибьюторами таких брендов, как:



ETC ELECTRONICS

- AIPU DC-DC /AC-DC преобразователи – замена Aimtec, Traco, Peak, MW, BEL и т.д.;
- GOOSVN-разъёмы – замена Molex, Amphenol, Weidmuller, WAGO и т.д.;
- CountyTongling реле – замена TE Connectivity;
- MDD защитные диоды – замена IR, Littelfuse, IXUS;
- Dongguan – SMD, DIP-конденсаторы AVX, Murata.

К вашим услугам:

- внутрироссийский контракт, гарантия на товар 12 мес.;
- таможенная очистка;
- прямая поставка без посредников;
- возможность консолидации грузов от других поставщиков в Китае;
- дистрибьюторские линейки и поддержка на этапах разработки;
- грамотно построенная логистика позволит получить ваш заказ в кратчайшие сроки. Нет ничего ДОРОЖЕ, чем надёжный поставщик!



www.etcelectronics.ru

+7(495)190-60-90

+7(495)227-37-75

Быстроразъёмные гидравлические соединители Beisit

Новинка компании Beisit – быстроразъёмные гидравлические соединители (БРС).

В современной электронной технике всё острее встаёт вопрос отведения тепла. Вслед за увеличением рабочих частот и количества ядер электронных компонентов растёт и тепловыделение. Наиболее эффективным способом отвода тепла являются системы с жидкостным охлаждением. Они широко применяются в серверных, вычислительных центрах и в радиаторах IGBT-модулей.

Надёжность систем жидкостного охлаждения напрямую зависит от качества комплектующих, главным образом, соединительных элементов. Компания Beisit, будучи экспертом в области изготовления качественных герме-



тичных кабельных вводов и разъёмов, перенесла свой опыт на производство быстроразъёмных гидравлических соединителей.

Кроме электронной промышленности БРС имеют большое распространение в системах кондиционирования и вентиляции, в гидравлических системах авто- и ж.-д. транспорта, в авиационной промышленности.

БРС Beisit представлены в самых востребованных типах соединения, изготавливают-

ся из алюминия, нержавеющей стали и никелированной латуни.

В случае если недостаточно стандартных вариантов, возможно изготовление БРС под заказ.

Для заказа доступны все соединители, представленные в каталогах, возможна поставка образцов.

www.symmetron.ru

+7 (495) 961-2020

+7 (812) 449-4000

Малогабаритные рубидиевые стандарты частоты FE-5650A и FE-5680A от АО «Морион»

АО «Морион» (Санкт-Петербург) является ведущим предприятием России и одним из мировых лидеров в области разработки и серийного производства пьезоэлектронных приборов и рубидиевых стандартов частоты.

К началу 2022 года предприятие увеличило мощность производства малогабаритных рубидиевых стандартов частоты FE-5650A (ГЖКД 468753.001 ТУ) и FE-5680A (ГЖКД 468753.002 ТУ) до 2000 штук в год, их полный цикл производства ведётся на АО «Морион» с 2015 года.

За это время было произведено более 5 тысяч рубидиевых стандартов частоты, при этом АО «Морион» ведёт непрерывную работу по замещению импортных компонентов, используемых в данных изделиях, на отечественные аналоги, доля которых на сегодняшний день составляет уже более 70%. Данные стандарты частоты успешно применяются как функциональная замена следующих изделий импортного производства: LPFRS, LCR-900, SRO-100 (Spectratime, Швейцария), PRS10 (SRS – Stanford Research Systems, США), XPRO (Microsemi/Microchip, США) и других моделей. Рубидиевые стан-



дарты частоты внесены в Госреестр СИ под номерами 85258-22 и 85318-22.

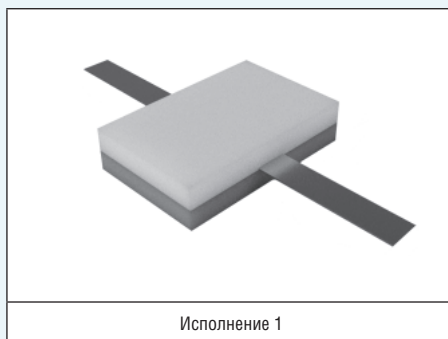
Всю дополнительную информацию по данным изделиям можно узнать по телефону +7 812 350 7572, а также на сайте www.morion.com.ru.

Новинка! Мощные планарные СВЧ-аттенюаторы ПР1-22

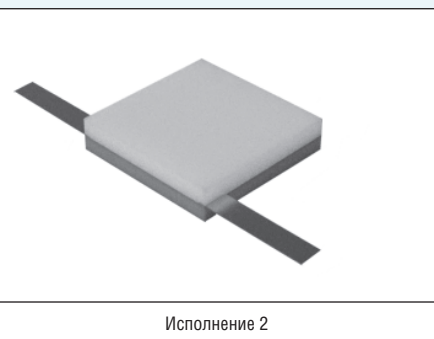
АО «НПО «ЭРКОН» предлагает мощные планарные СВЧ-аттенюаторы фланцевого и бесфланцевого исполнения типа ПР1-22 для работы с теплопроводом. Выпускаются в двух исполнениях 10 Вт (исполнение 1) и 50 Вт (исполнение 2).

Основные характеристики:

- ослабление на постоянном токе, $A_{ном}$, дБ: 3, 6, 15, 30;
- допускаемое отклонение ослабления ΔA , дБ: 0,6...1,5;
- рабочий диапазон частот, ГГц: до 2;



Исполнение 1



Исполнение 2

- КСВН, не более: 1,25;
- номинальное сопротивление входа/выхода, Ом: 50;
- диапазон рабочих температур, °C: от -60 до +150.

Возможно изготовление аттенюаторов с другими номинальными ослаблениями.

Более подробная информация о новинках и серийно выпускаемой продукции представлена на сайте www.erkon-nn.ru.

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Статический анализатор стека AbsInt StackAnalyzer поддерживает архитектуры MIPS32 и RISC-V

Компания AbsInt, производитель средств статического (по коду программы) анализа характеристик программного обеспечения критически важных встраиваемых компьютерных систем, выпустила новую версию анализатора стека StackAnalyzer, поддерживающую микропроцессорные архитектуры MIPS32 и RISC-V.

Статический анализатор бинарного программного кода StackAnalyzer предназначен для доказательства отсутствия ситуаций переполнения стека, которые могут привести к некорректному функционированию критических систем управления и создать угрозу жизни и здоровью людей или нанести значительный экономический ущерб.

Средства статического анализа AbsInt поддерживают широкий спектр микропроцессоров и микроконтроллеров, применяемых в ответственных встроенных системах. Все анализаторы AbsInt сопровождаются комплектом квалификационной документации QSK (Qualification Support Kit), что позволяет использовать их как инструменты для сертификации по стандартам функциональной безопасности DO-178C (авионика), ISO 26262 (автоэлектроника), IEC 61508 (промышленные системы управления) и др.

Другие анализаторы AbsInt:

- aiT – анализатор бинарного кода для расчёта времени исполнения наихудшего случая WCET (Worst Case Execution Time) ПО одноядерных процессоров;
- TimeWeaver – анализатор бинарного кода и трассы инструкций для оценки;

- времени исполнения наихудшего случая WCET ПО многоядерных процессоров;
- Astree – анализатор исходного C/C++ кода для доказательства отсутствия run-time ошибок и состязаний за данные.

Анализаторы компании AbsInt разработаны с использованием математического аппарата абстрактной интерпретации (Abstract Interpretation), отсюда и название компании. Все продукты AbsInt доступны для 30-дневного тест-драйва. Дистрибьютор компании AbsInt в России – компания «АВД Системы», поставщик средств разработки программного обеспечения критически важных для безопасности сертифицируемых встраиваемых компьютерных систем. «Миром управляет ПО».

www.avdsys.ru/absint

Импульсные измерения с анализатором S50180 ПЛАНАР

Анализ СВЧ-компонентов, узлов и изделий в импульсном режиме – распространённая измерительная задача. По умолчанию в приборах ООО «ПЛАНАР» доступны узкополосное и широкополосное детектирование радиоимпульсов при измерении S-параметров и волновых величин. Теперь анализатор цепей S50180 компании ООО «ПЛАНАР» может быть модернизирован для расширенной поддержки импульсных измерений. С опцией «ПР-001» в приборе доступны импульсные модуляторы в обоих портах со временем нарастания 50 нс, два вспомогательных генератора видеоимпульсов и анализ профиля радиоимпульсов в программном обеспечении анализатора с дискретизацией по времени от 2 мкс. Подавление

сигнала в паузе составляет 80 дБ. Опция работает во всём диапазоне частот прибора, от 10 МГц до 18 ГГц.

Максимальная полоса анализа S50180



равна 300 ГГц, что позволяет наблюдать профиль импульсов с фронтом нарастания от 4 мкс. При этом доступны как измерения S-параметров, так и абсолютные показания мощности на входе каждого из опорных и измерительных приёмников.

Два генератора видеоимпульсов могут быть использованы для управления внутренними модуляторами и внешними устройствами (например, модуляторами питания), так как оба могут быть выведены на BNC-разъёмы прибора. Конфигурируется задержка запуска генераторов друг относительно друга. Поддерживается схема с внешними источниками запуска и модулирующих видеоимпульсов.

Опция «ПР-001» позволит проводить измерения параметров устройств, критичных к нагреву, а также изделий, для которых импульсный режим работы является штатным. Планируется поддержка импульсных измерений в других анализаторах цепей серий «Компакт» и «Кобальт».

www.planarchel.ru
+7 (351) 729-97-77

СОБЫТИЯ

«ОСТЕК-СМТ» ПРЕДСТАВИЛ ЦИФРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО МИРОВОГО УРОВНЯ

На выставке «ЭлектронТехЭкспо», которая прошла с 12 по 14 апреля в Москве, «Остек-СМТ» представил новинку, не имеющую аналогов среди конкурентов, – цифровое сборочно-монтажное производство мирового уровня. На стенде оно было презентовано в виде большого интерактивного 3D-макета.

Цифровое производство мирового уровня – это комплексное решение, учитывающее новые технологические требования и тенденции конструирования передовой техники и позволяющее добиться максимальной эффективности предприятия благодаря цифровым технологиям.

Концепция производства мирового уровня вызвала большой интерес среди гостей и участников выставки. Многие руководители производств были крайне заинтересованы как в модернизации существующего, так и в планировании будущего производства.

Любой из посетителей выставки мог как лично, так и в составе экскурсионной группы виртуально пройти по умному производ-



ству – от участка автоматизированного хранения компонентов до финальных этапов контроля качества и финишной сборки. На макете также были представлены умные рабочие места, диспетчерский центр, зона обучения персонала.

В данный момент 3D-макет размещён в демозале «Остек-СМТ» в Москве. При-

глашаем руководителей сборочно-монтажных производств своими глазами увидеть производство мирового уровня и совершить индивидуальную экскурсию по нему. Для этого свяжитесь со специалистами «Остек-СМТ».

+7 495 788 44 41

smt@ostec-group.ru



Акционерное общество ЭРКОН

Научно-производственное объединение

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

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

НОВИНКИ

Аттенуаторы (поглотители) ПР1-25 500 Вт и 150 Вт (от 3 до 40 дБ)

Резистор сверхвысококачественный Р1-160 (до 40 ГГц)

Мощные резисторы Р1-170 (от 10 до 1000 Вт)

603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.

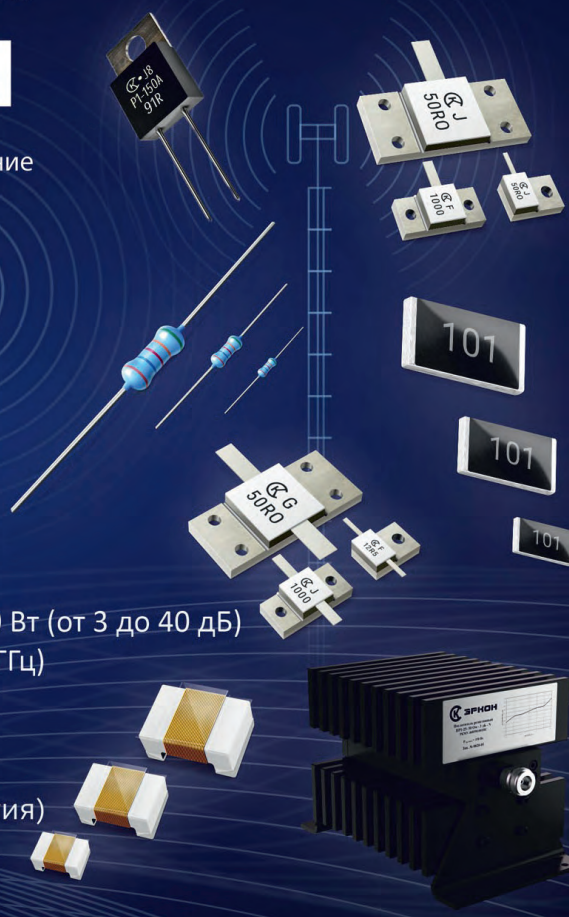
тел.: 8 (831) 202 - 25 - 52, доб. 2-61 (группа развития)

8 (831) 202 - 25 - 52 (отдел продаж)

E-mail: info@erkon-nn.ru

www.erkon-nn.ru

Реклама



НОВОСТИ МИРА

КИБЕРЗАЩИТА УДАРИЛА ПО БЮДЖЕТАМ

Каждая пятая компания в России столкнулась с ростом цен на российские решения для кибербезопасности более чем на 20%, выяснили в «Ростелеком-Солар». При этом почти половина заказчиков жалуется на задержки поставок. Участники рынка утверждают, что проблема по большей части на стороне самих клиентов: им не хватает вычислительных мощностей для перехода на российские решения. Для некоторых средств защиты также требуются иностранные комплектующие. Поставщики обещают «скорректировать» цены по мере решения логистических проблем.

«Ъ» ознакомился с исследованием компании «Ростелеком-Солар», посвящённым переходу российских компаний на отечественные решения в сфере обеспечения кибербезопасности в связи с уходом иностранных поставщиков.

Согласно результатам опроса, в котором приняли участие более ста организаций как коммерческого, так и государственного сектора, 58% заказчиков столкнулись с ростом стоимости отечественных средств защиты более чем на 20% с марта.

При этом 46% опрошенных говорят о задержках поставок, 9% — о существенном увеличении сроков и 8% — что поставщики вообще отказываются их гарантировать.

При этом 84% заказчиков в 2023 году планируют перейти на российские средства защиты: антивирусное ПО, VPN-шлюзы, системы защиты веб-приложений, баз данных и др. Сейчас у половины коммерческих организаций (51%) доля отечественного ИБ-софта составляет лишь 15%. В госсекторе у каждой третьей компании (33%) на российские средства защиты приходится уже более 60% установок, отмечается в исследовании.

После начала военных действий РФ на Украине 24 февраля многие иностранные вендоры ПО покинули российский рынок и остановили поддержку продуктов. Так, в частности, за последние три месяца из России ушли поставщики ИБ-решений IBM, Imperva, Cisco, Fortinet, Microsoft, Norton, Avast и др. О своем уходе заявили и поставщики оборудования, например, Dell и HP.

Дело в том, что решения по кибербезопасности поставляются либо в виде программно-аппаратных платформ, либо в виде софта, для которого в любом случае требуются мощности, например, серверы или системы хранения, которые сейчас в дефици-

те, говорит руководитель отдела развития бизнеса «Solar Интеграция» компании «РТК-Солар» Екатерина Сюртукова.

Для аппаратных платформ, которые собираются в РФ, также требуются иностранные компоненты, отмечает она: «Российские производители не могут обеспечить требуемый рынку объём поставок».

В «Лаборатории Касперского» пояснили, что поставщики ИБ вынуждены искать обходные решения и в ряде случаев продумывать «компенсирующие меры», которые позволят сохранить приемлемый уровень защиты: «Например, устанавливать ПО на оборудование, которое перестало обновляться». В компании заверили, что цены не поднимали.

Собеседник «Ъ» на ИБ-рынке рассказал, что сейчас многие заказчики просят вместе с софтом поставить и «железо»: «если это невозможно, проекты по внедрению часто откладываются по инициативе самого заказчика, пока он не найдёт необходимые мощности». Многие проекты останавливаются, потому что у заказчиков нет серверных мощностей, а закупать новое оборудование затратно и долго, подтверждает гендиректор «СерЧИнформ» Сергей Ожегов.

Цены на решения в области кибербезопасности также могут корректироваться в зависимости от наличия необходимого оборудования, считает руководитель отдела технологической экспертизы Softline Денис Чигин.

Если госсектор и крупные корпорации, несмотря на рост цен, могут позволить себе использовать отечественные продукты для обеспечения защиты, то в сегменте малого и среднего бизнеса этот тренд может привести к снижению спроса, отмечает технический директор RuSIEM Антон Фишман. Такие компании и раньше пренебрегали закупкой новых ИБ-решений из экономии, а в условиях кризиса они будут направлять средства в целом на сохранение работы: «В результате для небольших и средних компаний угрозы информационной безопасности вырастут».

www.kommersant.ru

NVIDIA НАМЕРЕНА ОБЪЕДИНИТЬ КЛАССИЧЕСКИЕ И КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

NVIDIA продвигает идею объединения элементов квантовых и классических компьютеров для ускорения вычислений. В частности, компания работает над внедрением своих ускорителей вычислений на гра-

фических процессорах (GPU) в квантовые системы, а также над упрощением создания квантовых алгоритмов. И сегодня NVIDIA анонсировала новые шаги на этом пути.

Компания NVIDIA некоторое время назад представила набор инструментов cuQuantum, который позволяет моделировать работу алгоритмов для квантовых процессоров на графических процессорах NVIDIA A100, а точнее на их тензорных ядрах. Это упростило вход в мир квантовых вычислений. cuQuantum, в частности, доступна всем желающим в составе облака AWS. Теперь NVIDIA намерена объединить квантовые и классические системы.

Для этого NVIDIA хочет создать интерфейс с малой задержкой, который позволит связать её ускорители вычислений и квантовые процессоры (QPU). Это позволит квантовым компьютерам использовать мощный потенциал параллельных вычислений GPU для решения классических задач. В частности, предлагается задействовать их для оптимизации схем, калибровки и исправления ошибок. Графические процессоры могут сократить время выполнения этих задач и уменьшить задержку при связи между классическими и квантовыми компьютерами, которая является основным узким местом для современных гибридных квантовых систем.

Также NVIDIA считает, что отрасли квантовых вычислений нужна унифицированная модель программирования с эффективными и простыми в использовании инструментами. Сегодня для программирования QPU исследователи вынуждены использовать квантовый эквивалент низкоуровневого ассемблерного кода, что находится за пределами возможностей многих учёных. Кроме того, сейчас нет единой модели программирования и компилятора, которые позволили бы выполнять один и тот же алгоритм на любом QPU.

NVIDIA намерена предложить набор инструментов, который позволит учёным легко воплощать свои квантовые алгоритмы сначала на смоделированных QPU, а затем на реальных. Для этого нужен компилятор, позволяющий работать в обеих средах. Благодаря сочетанию инструментов для моделирования квантовых вычислений на GPU, а также унифицированной модели программирования и компилятора, исследователи получат возможность приступить к созданию гибридных квантовых центров обработки данных, считает NVIDIA.

www.russianelectronics.ru

Как избежать в условиях санкций технологического «суицида» в отечественной электронике?

Александр Гордеев (г. Ульяновск)

Правительство РФ в ускоренном порядке подготовило концепцию нового национального проекта в области электроники с предполагаемым выделением на его реализацию 3,19 трлн руб. и на «технологический продукт» – 1,14 трлн руб. (~\$14,25 млрд) в частности. Работа запланирована по четырём направлениям: продукт, инфраструктура, спрос, кадры.

В СМИ отмечается, что программа по реинжинирингу зарубежных решений и по переносу «зарубежного производства» в РФ и на соседнюю территорию, а также созданию нового электронного машиностроения с достижением целей по 100% импортозамещению по всем направлениям электроники должна быть выполнена к 2024 году. В 2024 году также планируется завершить формирование продуктового портфеля российских технологий. Одной из приоритетных целей является серийный выпуск отечественных микропроцессоров по технологии 28 нанометров, т.е. на технологическом уровне 2010 года таких фирм, как Intel, IBM, Samsung, TSMC.

Напомню, что в современных смартфонах Samsung и Apple, имеющих на российском рынке, используются чипсеты с технологией 5 нанометров, и что к 2030 году в смартфонах и айфонах будут использоваться 1–3-нанометровые микропроцессоры.

I. Рынок

Мировой рынок полупроводников в текущем году превысит \$450 млрд, из них ~70% приходится на цифровые системы, ~8% – на силовую электронику, ~6–7% – на СВЧ-приборостроение, около 5% – на фотонику и оптоэлектронику.

Рынок конечных электронных систем и устройств колеблется между \$1,5...2,0 трлн (эквивалент ВВП РФ), в частности, смартфонов – около \$400 млрд.

Драйверами полупроводникового производства являются терагерцовые цифровые сети, 6G (GSM), искусственный интеллект, электроавтопром, беспилотники, квантовая медицина, банковский безлюдный сектор, системы безопасности, военная электроника, зелёная энергетика.

Доля России на мировом рынке в 2020 году составляла ~0,4%, в 2022 году (по прогнозу) она снизится до 0,25%. На сегодня нам закрыт импорт технологического оборудования, запчастей, материалов (в частности, кремния диаметром 200 мм и выше), электронных резисторов (ПММА), химии, прекурсоров, корпусных деталей, испытательного оборудования и др.

II. Оценка технологического уровня отечественной электроники

Серийный уровень – 95 нм («Микрон»); уровень разработок – 65 нм («Микрон»); 40 нм (НИИ СВЧ РАН).

Этого, в принципе, достаточно для вновь создаваемых оборонительных систем из-за «интерфейсного» пользователя и уровня его реакции (например, в боевой авиации). Ниже 100 нм резко снижается радиационная стойкость цифровых и аналоговых приборов, возрастает риск сбоев от ЭМИ- и РЭБ-факторов.

Россия обладает единичными экземплярами зарубежных литографов с разрешением до 10 нанометров.

Но следует понимать, что возникли огромные технологические трудности в масочной фотолитографии, в частности, отсутствие высокочувствительных к электронному пучку резистов (ПММА), без чего 65 или даже 40 нанометров реализовать невозможно, поскольку качественного отечественного производства нет.

У нас нет не только производства монокристаллического кремния Ø200 мм, но и присутствуют проблемы с произ-

водством бездислокационного кремния зонной плавки Ø150 мм (НИИП, г. Лыткарино), нет монокристаллов – слитков карбида кремния, плохо обстоят дела с эпитаксией кремния (отсутствие качественных моно- и дихлорсиланов), да и в выращивании эпитаксиальных гетерослоев $A_{III}B_{IV}$, $A_{IV}B_{IV}/A_{IV}$, $A_{III}B_{VI}$ множество проблем.

Появляется потенциальная угроза производству фотошаблонов с маскирующими слоями из-за отсутствия фотостекла.

Проблем много. И в условиях жесточайшего санкционного прессинга необходимо переосмыслить стратегию развития электронной отрасли РФ, начиная со срочных законодательных актов по структурной перестройке отрасли, т.е. через создание МЭП РФ (в правительстве зародилась такая здоровая идея), включая выявление критически важных технологических прорывных технологий с элементами национальной монополии в отдельных сегментах мирового рынка, а также кадровую безопасность.

III. Стратегия развития

Что такое «стратегия» в нашем восприятии? «Искусство побеждать» или что-то другое, свойственное только нам?

Принятые и утверждённые «Стратегия развития электронной промышленности России на период до 2025 гг.» (август 2007 г.), ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 гг.» (постановление Правительства России от 26.10.2007 № 809), позже «Программа импортозамещения», Приказ Минпромторга от 31.03.2015 № 662 не достигли запланированных показателей. И, как итог, вице-премьер Ю.И. Борисов на конференции «Электроника в России: будущее отрасли» в Москве в декабре 2019 г. подчеркнул: «...Мы даже не присутствуем в мировой статистике».

Утверждённая новая «Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года» от 17.01.2020 № 20-р имеет

потолочный параметр (выдержка из стратегии): «Разработка изделий по кремниевой технологии с топологической нормой 5 нм с последующим выпуском изделий на их основе на зарубежных фабриках и переносом производств в Российскую Федерацию...» (необходимо отметить, что промышленное производство 5-нанометровых микропроцессоров на фирмах TSMC, Samsung налажено в 2019 году).

Выводы по целям и задачам Новой стратегии может сделать каждый (в зависимости от степени профессионализма в электронной отрасли).

В январе 2020 года Ю.И. Борисов подчеркнул необходимость строительства двух новых фабрик мирового класса. Уместно отметить, что 5-нанометровая технология стоит никак не меньше \$15 млрд, а разрабатываемая в настоящее время 3-нанометровая топологическая технология – от \$20 млрд. К 2025 году TSMC планирует взять рубеж до 1 нанометра (т.е. от 200 млрд транзисторов на один чип). К 2030 году TSMC освоит субнаноразмерность в 3D MOSFET, т.е. соразмерность с постоянной решётки, предположим, GaAs (0,56 нм), с вероятностью объёма инвестиций около \$50 млрд. Другими словами, для успешного достижения мирового уровня необходимо инвестировать ежегодно до 1/2 оборонного бюджета, что, конечно, проблематично. То есть в результате принятой Стратегии Россия окажется в числе технологически отсталых стран?

Естественно, необходим выход, поскольку на кону национальный суверенитет и национальная безопасность. Выход, конечно, есть.

На примере ситуации, сложившейся в отечественном автопроме (возвращение на ВАЗе к производству «пятнашки» из «запасников» прошлого века), гражданской авиации, Роскосмосе («Сфера-М»), цифровых системах и других отраслях, становится очевидным, что общепринятая стратегическая схема развития отечественной электроники нуждается в фундаментальной корректировке. Нужно отказываться от «походов в историю» (импортозамещение) и необходимо вводить новые стратегические методы.

1. В недрах правительства зреет здоровая идея: создать МЭП РФ.
2. Нужно привлечь новые, профессиональные интеллектуальные ресурсы по созданию национальной программы развития отечественной экстремальной электроники до 2030 года.

3. В новой Программе необходимо обозначить цели и задачи с достижением надмирового уровня, с опережением на 5–7 лет технологических достижений стран G7 и Китая (без таких целей говорить о державности, гарантиях и прочности национальной безопасности просто бессмысленно).
4. «Сквозные» проекты М.В. Мишустина – это идеологическая и практическая находка, но их необходимо увязать с программой развития отечественной экстремальной электроники, фотоники и фононики, опережающей мировой уровень, т.е. сделать их конкурентоспособными или, во многих случаях, внеконкурентными на мировом рынке, т.е. создать предпосылки для разработки «Программы импортозамещения» уже в обратном порядке для Нового и Старого Света.
5. Заменить идеологию и стратегию импортозамещения на идеологию национального лидерства в важнейших технологических сегментах мирового рынка, в том числе через создание мощного пакета интеллектуальной собственности (напомним, что иск к РФ в рамках импортозамещения в \$290 млрд – это только «первая ласточка», всё ещё впереди).
6. Конечно, необходимы сильные законодательные акты, к примеру, изменение Патентного закона РФ, создание закона «Об инновациях» (об этом законе в РФ практически никто, кроме узких кругов специалистов, понятия не имеет), внести изменения в устаревший, не отвечающий требованиям времени закон № 44-ФЗ (от 05.04.2013, в ред. от 16.04.2022) «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» не на платформе «плагиата/импортозамещения», а на основе опережения зарубежного уровня.
7. Резко усилить роль государства в развитии отечественной электронной индустрии (как могут конкурировать в одинаковый период времени 1,14 трлн рублей финансирования в РФ с \$1,4 трлн господдержки в Китае? Как?!

IV. Предпосылки и фундаментальные основы для новой Стратегии и Программы развития отечественной электроники до 2030 года

На основании публикации «Как завоевать мировой рынок электроники в посткремниевую эпоху?» [1] мною раз-

работан проект «Центр экстремальной электроники, фотоники и фононики», который (по моей версии) может являться основой программы опережения мирового уровня – «Ответка-Э». Проект направлен губернатору Ульяновской области А.Ю. Русских на предмет анализа возможности создания с участием Правительства РФ в Левобережье г. Ульяновска новой электронной Приволжской технологической долины с потенциалом, превосходящим известную Силиконовую долину в Калифорнии (США).

Проект также представлен на анализ в АО «Концерн радиостроения «Вега» (фактически являющегося модератором одного из важнейших сегментов проекта). Концерн «Вега», обладающий одним из лучших в Европе технологическим участком 3D-сборки для радиофотоники, планировал выполнить на основе LPE GaAs глубокую модернизацию комплекса ДРЛО. Большой интерес к проекту есть также в КТРВ, Центре поддержки инвестиционных проектов МГТУ им. Н.Э. Баумана. Часть проекта была представлена на Международном военно-техническом форуме «Армия-2021» в Кубинке под патронажем заместителя председателя ВПК, где вызвала большой интерес, а также на совещании главных конструкторов РКС. К проекту позитивно отнеслось корпоративное НТС одной из фирм по поручению руководства АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей». «Росатом» изучает потенциальные и практические стартаповские шаги по частичной реализации проекта.

Проект вызвал большой интерес на региональном НТС в области электроники в Ростовской области. Частично (терагерцовая энергетика и комнатная сверхпроводимость) проект был озвучен на Президиуме РАН. Проект находится на рассмотрении в комитете по науке и образованию Госдумы. Со стартаповской частью проекта ознакомлен вице-премьер правительства.

Проект привлёк внимание некоторых финансовых кругов Арабского мира. По стопам проекта сильные технологические шаги сделала Германия (компания «3-5 Power Electronics GmbH»).

Цель проекта

Цель проекта «Центр экстремальной электроники, фотоники и фононики» – разработка и массовое производство в рамках ФЦП нового эволюционного направления в электронике: высоко-

Новые материалы под ФЦП на основе отечественных технологий

№ п/п	Кристалл	Применение	Ширина запрещённой зоны, эВ	μ_n , см ² /В·с	T_f , °С (ЭКБ)
1	LPE GaAs (1a, 1б)	2, 3, 4, 6, 7, 8	1,43	7800	300
2	LPE GaP (1a, 1б)	4, 5, 6, 7	2,27	250	470
3	3C/Si (1a)	3, 4, 8, 9	2,4	–	300
4	GaN (тринитридный) (1a, 1б)	2, 3, 4, 5, 6, 7	3,4	До 2000	700
5	Ga ₂ O ₃ (1a, 1б)	4, 6, 7	4,9	< 300	900
6	AlN (тринитридный) (1б)	4, 5, 6, 7	5,5	–	1100
7	Diamond (C) (1a, 1б)		5,5	20 000 (mp)	1100
8	BN (1a, 1б)	3, 5	6,4	–	1300
9	Al ₂ O ₃ (1б)	4, 6, 7	До 8,2	–	1700

температурной, радиационно-стойкой, гиперскоростной электронной, фотонной и фононной продукции.

Задачи

1. Увеличение доли отечественной ЭКБ на мировом рынке на порядок.
2. Реализация как минимум трёх сквозных проектов с потенциалом ниш мирового рынка в 1 триллион долларов, а именно:
 - 6G, в том числе мини-спутниковый широкополосный Интернет со скоростями до 100 Гбит/с;
 - 7G, в том числе мини-спутниковый широкополосный Интернет со скоростями до 2–3 Тбит/с;
 - магнитодинамический терагерцовый сверхэкономичный ДВС-автомобиль;
 - терагерцовые бифотонно-фононные суперкомпьютеры планшетного типа;
 - «черноволновая» система распознавания образов в собственном терагерцовом излучении для искусственного интеллекта и безопасности;
 - другие.

Отличительная особенность опережающей мировой уровень новой ФЦП от предыдущих Стратегий, программы импортозамещения (План мероприятий по импортозамещению от 31.03.2015 г. к приказу Минпромторга № 662, где под п. 75 значилось освоение собственного производства микропроцессора 1891BM12Я с проектной нормой 28 нанометров/2021 г. с запуском новой, по факту «аварийной» Программы в апреле 2022 – январе 2024 г.) состоит в том, что она выстраивается на фундаментальной науке и практических технологиях отечественного происхождения без копирования импортных аналогов.

Новая ФЦП должна стать «технологическим учебником» для стран 7G и Китая. В основе новых физических разработок, уникальных физических

принципов для создания новых электронных, фотонных и фононных продуктов лежит «сшивание» зонной и релятивистской теорий транспорта и генерации электромагнитной энергии, теории квантовой надсветовой телепортации, фононной телепортации энергии, скин-фазового переноса энергии, квантово-точечной энергетике Пойнтинга, авторская физика мультizonной проводимости (эффект водородоподобного расщепления запрещённой зоны), моды Блоха, торможение/ускорение электромагнитной энергии в твёрдых телах, терагерцовый эффект поляризации катастрофы (динамическая комнатная сверхпроводимость по Клаузиусу–Моссотти), эффекты отрицательных наноемкостей и наноиндуктивностей, циклоидный перенос носителей заряда, одновременные дырочная и электронная рекомбинации с взаимно скомпенсированными модами Блоха и многое другое, в том числе такая «экзотика», как коэффициент усиления по току в транзисторе в схеме с общей базой 10...100 (h_{21B}), что противоречит всем канонам теории зонной проводимости, переосмысление корпускулярной модели атома по Резерфорду–Бору на принципах Гейзенберга, построение петагерцовой электроники на принципах не оптической, а собственной запрещённой зоны ядро – s, p уровни – твёрдовакуумное межатомное пространство (от десятков электронвольт) – на основе физики твёрдого вакуума по Ричарду Фейнману и другие.

Другими словами, всё вышесказанное – это постепенная замена зонной теории проводимости на релятивистскую.

Соответственно, должно быть и переосмысление идеологии уже устаревшей зонной (полупроводниковой) теории проводимости на релятивистскую модуляцию, генерацию транспорта электромагнитной энергии в

твёрдых телах или, точнее, в твёрдом вакууме (если по Нильсу Бору подсчитать удельную долю объёма элементарных частиц – нуклонов и электронов, – то она окажется в пределах $\sim 10^{-10}\%$ от нормированного/единичного объема, допустим, $V = 1,0 \text{ см}^3$).

Основные направления работы Проекта и предполагаемой ФЦП «Ответка-Э» следующие:

- новые, не известные на рынке материалы: полупроводник (1a), диэлектрик (1б) (см. таблицу);
- силовая гиперчастотная ЭКБ (2);
- СВЧ-приборы нового поколения (3);
- терагерцовые аналоговые и цифровые приборы (4);
- петагерцовые приборы (5);
- аналоговая и цифровая фотоника (6);
- аналоговая и цифровая фофоника (7);
- магнотоника (8);
- комнатная (до $+120^\circ\text{C}$) сверхпроводимость (9).

V. Сквозные проекты на основе ФЦП «Ответка-З» с тремя сегментами мирового рынка с потенциалом до \$1 трлн (краткое описание)

5.1. 6G и мини-спутники с «магнитной подвеской»

Системы 6G будут выполнены в окнах прозрачности атмосферы на частотах 240...320 ГГц ($\lambda = 1,25 \pm 0,94 \text{ мм}$) на основе нового поколения LPE/MOCVD – GaAs униполярно-инжекционной, зонно-релятивистской и циклоидной, по дрейфовому пролёту, ЭКБ. Базовые станции на магнетронах.

Мини-спутниковое бортовое энергообеспечение будет выполнено на основе солнечных радиационно-стойких батарей с удвоенным КПД в сравнении с кремниевыми. Двигатели – гибридные, а именно: ионно-криптоновые и, в перспективе, с «магнитной подвеской». Скорости – от 100 Гбит/с.

5.2. 7G и мини-спутниковый широкополосный Интернет

Физические основы терагерцовой электроники в окнах прозрачности атмосферы 5,0...7,5 ТГц подробно изложены в [2], [3], [4], [5].

В принципе, архитектура цифровой системы 7G будет аналогичной 6G, с той лишь разницей, что генераторы частот, управляемые напряжением, усилительные приёмо-передающие тракты, цифровые системы будут выполнены на основе поляризованных диэлектриков $A_{III}B_V$, $A_{III}B_{VI}$ и терагерцовой генерации (синтезатор

частот), а объёмно-акустические фильтры будут созданы на гетероструктурах $A_{IV}B_{IV}$ и тринитридных $A_{III}B_V$ диэлектриках. ЦАП-АЦП будут реализованы на фотонах и фононах. Скорости – до 2–3 Тбит/с.

5.3. Магнитодинамический терагерцовый сверхэкономичный ДВС-автомобиль (в том числе HEV)

Электромобиль в России, Африке, большинстве стран Южной Америки, на Ближнем Востоке, в Юго-Восточной Азии будет использоваться только на дорогах с твёрдым покрытием. Кроме того, окружающая среда (тропосфера, поверхность Земли) может не выдерживать токсичности Li-технологий.

В этой связи исключительно актуально создание нового поколения ДВС/HEV-двигателей с практически удвоенным КПД с минимальным загрязнением атмосферы. Это реально с применением сверхмагнитной поляризационно-терагерцовой ионизации бензольных и пропановых молекул в камере внутреннего сгорания. Это альтернативные и надёжные технологические решения по сравнению с водородными ДВС.

5.4. Бифотонно-фононные терагерцовые компьютеры планшетного типа

Решения на основе квантовой кубитной запутанности фотонов и квантовоточечной фотонной энергетики подробно описаны в [6].

5.5. «Черноволновая» система распознавания образов в собственном терагерцовом излучении для искусственного интеллекта и безопасности

Основные концентрированные элементы проекта показаны в публикации [7].

VI. Риски

Риски, конечно, имеются. К ним относятся:

- «генетическая лысенковщина»;
- кадровый голод, особенно сегодня, в миграционный период;
- активная работа начинающих стартаповских конкурентов (фирма «3-5 Power Electronics», г. Дрезден, Германия);
- деятельность Китая в области LPE GaAs технологий (предполагается, что создаётся или создана «Гауссовская» пушка для ВМФ на LPE GaAs/InGaAs-тиристорах);
- охрана от плагиата вновь создаваемого сверхмощного (до сотен патентов РФ) пакета интеллектуальной собственности (для патентования в ЕС и США необходимы \$8–15 тыс. на каждый патент, эти стратегические издержки должно взять на себя государство).

VII. Заключение

Для ускоренного развития отечественной электроники и национальной монополизации отдельных сегментов мирового рынка необходимо:

- создание МЭП РФ (сегодня отечественная электроника – «дитя у семи нянек»);
- создание прорывной ФЦП по экстремальной электронике, фотонике и фононике с опережением зарубежного уровня на 5–7 лет («твёрдая нефть»);
- изменение закона № 44-ФЗ в пользу программ, опережающих мировой уровень;
- принятие закона «Об инновациях» (не путать с НИОКР) и охране интеллектуальной собственности в электронике, модернизация Патентного закона РФ;

- пересмотр госпрограмм по цифровой экономике (цифровая трансформация, совершенно очевидно, столкнулась с огромными проблемами);
- политическая воля и активное участие государства в новой ФЦП.

Литература

1. Гордеев А.И. Как завоевать мировой рынок электроники в посткремниевую эпоху? // Современная электроника. 2021. № 5.
2. Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах. М.: Мир, 1982.
3. Гордеев А.И. Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы в 2 ч. // Современная электроника. 2016. № 6; № 7.
4. Кукушкин С.А., Оситов А.В. Оптические свойства, зонная структура и проводимость межфазной границы раздела гетероструктуры 3C-SiC(111)/Si(111), выращенной методом замещения атомов // Письма в ЖТФ. 2020. Т. 46, вып. 22.
5. Гордеев А.И., Войтович В.Е., Звонарёв А.В. Новая физическая твердотельная электроника на основе терагерцового расщепления и деформации запрещённой зоны $LPE_{Si}GaAs_{Si}$ -кристаллов. Ч. 1 // Радиотехника. 2017. № 10.
6. Гордеев А.И., Войтович В.Е., Святец Г.В. Перспективные фотонные и фононные отечественные технологии для терагерцовых микропроцессоров, ОЗУ и интерфейса с сверхнизким энергопотреблением // Современная электроника. 2022. № 2.
7. Вальт Е., Гордеев А., Святец Г. Терагерцовые квантовые технологии для цифровых денег, гиперскоростного SWIFT и безопасного безлюдного банкинга на элементах искусственного интеллекта // Современная электроника. 2021. № 6.



НОВОСТИ МИРА

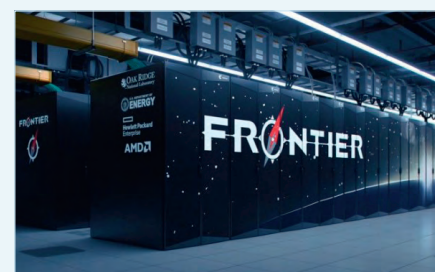
В МИРЕ ПОЯВИЛСЯ ПЕРВЫЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕР ЭКСАФЛОПНОГО УРОВНЯ. FRONTIER СОБРАН НА КОМПОНЕНТАХ AMD

Рейтинг суперкомпьютеров Top500 обновился, и в нём появился новый лидер. Причём он более чем вдвое превосходит систему, занимающую второе место.

Итак, самым мощным суперкомпьютером в мире стал Frontier. Эта система установлена в ОкРиджской национальной лаборатории.

Установка, созданная HPE Cray EX, опирается на новейшие процессоры Epyc 64C и ускорители Instinct MI250X, то есть построена на компонентах AMD. Это первый суперкомпьютер эксафлопсного уровня. Его производительность достигает 1,1 exaFLOPS.

Система Fugaku, которая была лидером рейтинга несколько лет, имеет производительность лишь 442 PFLOPS, то есть более чем вдвое меньше. При этом суперкомпьютер LUMI, замыкающий тройку лидеров, почти на порядок отстаёт от Frontier, имея производительность в 151,9 PFLOPS. К слову,



LUMI основан ровно на тех же компонентах, что и Frontier, просто количество CPU и GPU меньше.

www.ixbt.com

Электросамолёты. Что нас ждёт?

Андрей Кашкаров (ak35@yandex.ru)

В статье рассматривают новинки самолётостроения с электродвигателями в качестве силовой установки и проблемные вопросы развития отрасли электросамолётов: от частных и коммерческих, в том числе беспилотных, моделей до перспектив перевода авиапарка на полностью электрические самолёты. Также поднимаются вопросы и разъяснения о причинах и факторах, тормозящих развитие отрасли в сторону производства летательных аппаратов с электросиловыми установками.

Что такое электросамолёт

Сначала нужно договориться о смыслах. Под термином «электросамолёт» принято понимать электрифицированный летательный аппарат. Но не каждый аппарат имеет электрический двигатель. В некоторых источниках и разработках [1] различают три уровня электрификации самолётов: частично электрифицированный, полностью электрический и гибридный. Привычный самолёт оснащён турбо- (или винтовым) двигателем внутреннего сгорания (ДВС), преобразующим химическую энергию сгорающего топлива в механическую и создающим тягу: силу, толкающую летательный аппарат сквозь поток воздуха. В современном самолёте управление оборудованием (регулировка крыла, выпуск шасси и др.) выполняют электроприводы с питанием от системы электроснабжения и тем самым преобразуют электрическую энергию в механическую. Этот вариант и принято называть частично электрифицированным. «Гибридный самолёт» предполагает гибридную, то есть совмещённую из разных типов силовую установку. Она преобразует энергию дважды: сначала в механическую с помощью ДВС, затем в электрическую с помощью генераторов. Элек-

трическая часть «гибрида» упрощённо будет состоять из электродвигателя, электрогенератора, аккумуляторной батареи (АКБ). ДВС при этом использует химическое топливо, в то время как ДВС типичного самолёта питается от авиационного бензина с перспективой его замены в будущем на водородное топливо. На фоне этого технического Монблана мы видим успехи разработчиков в самолётостроении, основанном на полностью электрических машинах с двигателями, питающимися от электрической энергии АКБ, со всеми их достоинствами и недостатками. Успехи в этой отрасли, рассчитанной пока на малую (частную) и коммерческую авиацию, таят в себе много интересного.

Из истории развития

Как ни странно, но об электросамолётах думали конструкторы ещё в первой половине XX века. Мы знаем принцип работы тягового электродвигателя, электровоза на железной дороге. Даже там силовая электроустановка питается не от контактного провода, натянутого над железнодорожным полотном, а от силовых генераторов внутри электровоза, которые, в свою очередь, приводят во вращательное движение

относительно небольшой мощности электродвигатель, запитанный посредством контактного провода. По тому же условному принципу – через генератор и силовой электродвигатель, передающий вращающий момент колесной паре, – работают мощные тепловозы, к примеру, старый М-62, дизель-электрические подводные лодки и другие силовые машины. Ни один контактный провод, ни одна электроподстанция не выдержат нагрузку в виде электродвигателя в «чреве» мощного электровоза, который сдвигает и катит состав из вагонов весом в сотню тысяч тонн. Поэтому в тепловозах и неатомных подводных лодках первой силовой установкой является ДВС – дизельный двигатель внутреннего сгорания. Он передаёт вращение на электрогенератор, а электрогенератор питает силовые электродвигатели, которые способствуют вращению колес (на железной дороге) и вала-винта в морских и речных судах, включая подводные.

Так, ещё в начале 2000-х годов разработчики задумались о «полностью электрических самолётах», где основным источником энергии были бы мощные литий-ионные аккумуляторные батареи. Таким должен был стать по задумке летательный аппарат без ДВС, где всё оборудование работает на электроэнергии, а тягу создают мощные электродвигатели с питанием от аккумуляторов. И вот подобные модели стали появляться.

Реализованные проекты

На рис. 1 представлен электросамолёт Yuneec International E430 производства КНР с электродвигателем и питанием от литий-полимерных аккумуля-



Рис. 1. Электросамолёт Yuneec International E430



Рис. 2. Персональный одноместный электросамолёт Heaviside



Рис. 3. Двухместный электрический самолёт Velis Electro



Рис. 4. Коммерческий электросамолёт Cessna Caravan 208B

муляторов. Рынок и разработки в области электрического самолётостроения стремительно развиваются.

В 2017 году впервые продемонстрирован персональный одноместный электросамолёт Heaviside Kitty Hawk (рис. 2). Конструкция обеспечивает вертикальный взлёт и посадку по вертолётному принципу на площадке с минимальными размерами 10×10 м. Персональное аэросредство может преодолеть на одном заряде батареи до 160 км, примерно как от Петербурга до финской границы. Надо заметить, что электрические и гибридные летательные аппараты тише обычных, в которых используется ДВС. Если вертолёт с турбодвигателем, барражирующий на высоте 500 м, у земли создаёт звук в 60 дБ (по громкости примерный аналог шума от проезжающего рядом мотоцикла), то электросамолёт Heaviside на той же высоте полёта у земли создаёт звук в 38 дБ (звук, сопоставимый с громким разговором людей). Возможно, перспективный полный переход авиации на «электродвигатели» позволит строить площадки для взлёта в черте города, и эксплуатация летательных аппаратов не будет приносить жителям «шумового» дискомфорта.

Двухместный электрический самолёт Velis Electro, детище компании Pipistrel (рис. 3), уже прошёл сертификацию Европейского агентства авиационной безопасности (EASA). Скорость до 181 км/ч, время в полёте (считая от запуска двигателей) до 50 минут обеспечивают две мощные АКБ на борту. Сертификация означает запуск в серию летающего аппарата и возможность его эксплуатации в коммерческих целях. На его фоне выгодно смотрится большой коммерческий электросамолёт Cessna Caravan 208B (рис. 4), обладающий возможностью перемещать по



Рис. 5. Электросамолёт Extra 330LE

воздуху до пяти пассажиров (максимальный расчётный эквивалентный вес 600 кг) без дозаправки на расстояние до 160 км. Это совместное производство компаний MagniX и AeroTEC, реализованное в 2020 году. В этом примере немаловажное значение имеет цена эксплуатации (топлива). Так, цена 30-минутного полёта Cessna Caravan 208B составляет всего 6 USD. Для сравнения, при использовании обычного авиационного бензина полёт обошёлся бы в 300–400 USD. Поэтому считается, что применение гибридных силовых установок позволит в будущем уменьшить расход топлива на 70%.

Пока «большое аэротакси» Cessna Caravan 208B проходит сертификацию, разработчики занимаются его более мощной версией для 9 пассажиров. Максимальная скорость 340 км/ч в 2017 году зафиксирована у ЭС (электросамолёта) Extra 330LE производства Siemens (рис. 5). Согласно пресс-релизам, известная ранее производством РЭА компания в партнёрстве с Airbus работают над созданием региональных авиалайнеров, работающих на гибридных установках. Международная авиационная выставка МАКС-2021

показала реализованные идеи пилотируемых электрических летательных аппаратов, за которыми будущее, пока с питанием на литий-ионных АКБ. Параллельно разработчики рассматривают альтернативные варианты преобразования энергии для подзарядки АКБ на борту ЭС от солнца и топливных элементов, когда химическая энергия водородного топлива преобразуется в электрическую без процессов горения.

От России представлена разработка первого отечественного аппарата «Сигма-4» на базе планера Центрального института авиационного моторостроения им. Баранова (ЦИАМ). Разработки в России ведут также конструкторы проектного комплекса «Гражданские самолёты» НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского». Предполагаемая максимальная дальность полёта 100 км при максимальной скорости 100 км/ч. Всесторонние лётные испытания начались только осенью прошлого года (рис. 6). В подтверждение нашего рассказа об истории гибридных силовых установок (выше) ЦИАМ разработал гибридный вариант электросамолёта: летающую лабораторию Як-40ЛЛ. Он совершил первый полёт с



Рис. 6. Аппарат «Сигма-4»

включённым в воздухе электродвигателем. В носовой части установлен воздушный винт, приводимый в движение электродвигателем, созданным по уникальной технологии на высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП). А электроэнергию он получает от генератора, который вращается двигателем внутреннего сгорания. При повышении температуры ВТСП проводят электрический ток почти без сопротивления и потери энергии; это привело к увеличению КПД двигателей, то есть даёт перспективу наращивать мощность при снижении массогабаритов аппарата. К чему это приведёт – покажет время. Пока российские разработки выглядят на фоне других скромно.

Перспективы развития отрасли

Предполагается, что к 2050 году получат распространение самолёты с гибридными силовыми установками и электродвигателями. В фаворе технические решения, в которых источник электрической энергии – топливный элемент, а потребитель – электромотор. Сия компоновка подходит для отдельного класса «региональных» самолётов. Не только от газотурбинных установок, но и от ДВС с их неизменными выхлопами газов стремятся отказаться и на земле: беспилотные электротягачи в будущем будут доставлять самолёты на взлётно-посадочную полосу. Такой перспективный подход в разы снизит количество выбросов в атмосферу. Ближайшее будущее за гибридными силовыми установками, с которых мы начали экскурс в историю технического прогресса. Полностью или «совершенно электрические авиасистемы» – ввожу новый термин «СЭА» – начали путь с «малой авиации» из-за ограниченной дальности, вместимости пассажиров, главное – массогабаритов АКБ. Как мы отметили,



Рис. 7. Дроны-такси компании Hover

совершенствование технологии АКБ в погоне за увеличением энергоёмкости при прочих равных условиях тормозит развитие некоммерческого парка мощных летательных аппаратов. Поэтому появление СЭА связывают с успехами в электрохимии.

Очевидная причина повышенного спроса на электрификацию в производстве – забота об экологии, это мировой тренд. По данным Международной ассоциации воздушного транспорта IATA от 2020 года, на долю коммерческой авиации приходится 2–3% выбросов углекислого газа [1]; к примеру, за один условно короткий перелёт из Лондона в Рим образуется и попадает в атмосферу 234 кг углекислого газа на одного человека – больше, чем выдыхают граждане некоторых условно малых стран за календарный год. Сокращение количества выбросов в атмосферу – понятная забота. Предполагается, что СЭА по определению не создаёт загрязняющего выхлопа. Однако абсолютно экологичными их тоже считать рано, так как производство и утилизация АКБ загрязняют окружающую среду.

Кроме того, один из важных факторов – снижение затрат на эксплуатацию. Расчёты и оптимизация затрат на топливо формируют политику развития авиахолдингов с акцентом на производство и эксплуатацию электросамолётов. Электрические двигатели устроены иначе, чем ДВС, имеют меньше соприкасающихся частей, менее подвержены износу. Возможно, электрические самолёты будут реже нуждаться в техобслуживании, что снизит эксплуатационные расходы. Сегодня расходы только на топливо действующего авиапарка достигают 30% эксплуатационных затрат и, разумеется, влияют на прибыль. Поэтому перспек-

тива в развитии электрических летательных аппаратов вместимостью в несколько десятков человек и, в частности, небольших «аэротакси» логична и реальна. Техническое и интеллектуальное развитие рассматривают как форму и элементы Четвёртой промышленной революции, которую также именуют Индустрия 4.0 [2]. Термин появился в 2011 году в Германии и обозначал технологии «умных» заводов, синоним Четвёртой промышленной революции. Это условно новый подход к производству, основанный на массовом внедрении информационных технологий в промышленность, масштабной автоматизации бизнес-процессов и распространении искусственного интеллекта. Такие факторы, как увеличение производительности труда, улучшение безопасности работников за счёт сокращения рабочих мест в опасных условиях труда, повышение конкурентоспособности и многое другое, вполне согласуются и с созданием принципиально новых продуктов.

Проблемное поле

Несмотря на то что «полностью электрические самолёты» теперь проходят испытания, а некоторые даже сертифицированы (см. выше), пройдёт ещё много времени, прежде чем они смогут конкурировать с привычными нам лайнерами с турбодвигателями по грузоподъёмности и дальности перелётов. Всё дело в источниках питания электродвигателей. Разработки в области новых композитных материалов для АКБ ведутся активно и показывают, что по состоянию на 2022 год энергия АКБ уступает «классическому» топливу для ДВС в удельной энергоёмкости: количестве накопленной энергии. Условно

реактивное топливо содержит примерно в 30 раз больше энергии, чем может быть накоплено в литий-ионной АКБ. Самолёт с турбодвигателями во время полёта расходует топливо, становится легче, что приводит к ещё меньшему расходу топлива на остаток пути. Вес АКБ, пока значительный в общем весе малого летательного аппарата, составляет постоянную величину. Для рентабельных полетов можно будет использовать батареи с энергоёмкостью 2 кВт·ч/кг. Пока сей показатель не превышает 250 Вт·ч/кг. Инновации реализуются в наши дни с такой условной скоростью, что за прошедший год энергоёмкость аккумуляторов увеличилась примерно на 3% при прочих равных условиях их веса и габаритов. Перспектива такова, что мощные АКБ, источники энергии для массового развития ЭС, станут коммерчески привлекательными при достижении удельной мощности 600 кВт/кг. Удельная мощность – условное количество тока, которое может выдавать аккумулятор на единицу веса. Показатели современных (по состоянию на 2022 год) АКБ находятся в пределах 10 кВт/кг. Дополнительное значение имеет зависимость сохранения энергоёмкости современных АКБ от разных температурных режимов. То есть эксплуатация АКБ при значительных отрицательных температурах – на большой высоте полета и в соответствующих климатических поясах – требует дополнительных исследований для безопасности полётов. Разумеется, всё сказанное надо воспринимать условно, но даже эти сведения показательны и информативны.

Будущее небесного такси Москвы

Из пресс-релизов известно, что компания Nover планирует запускать пассажирские беспилотные (управление в автоматическом режиме с земли) дроны-такси в небо Москвы уже в 2024–2025 годах с расчётной доставкой с Красной площади до «Москва-Сити» за 20 мин (рис. 7). Это время пока считается максимальным и связано с техническими параметрами АКБ. За 1 км предполагается взимать с пассажира 200 рублей. Однако поглядим, не прибавится ли к этой цифре дополнительный «0» ко времени запуска проекта. Расчётная высота полёта беспилотного аэротакси – 100–150 м, а регулируемая скорость – до 200 км/ч.

Особенности электропитания и «заправки»

«Правильная», в соответствии с рекомендациями производителя, зарядка электрическим током для дрона-аэротакси и электросамолёта – залог длительной безупречной работы его аккумуляторных батарей и силовой установки. Определяющий качественный параметр аккумуляторной батареи – энергоёмкость. Чем выше значение расстояния полёта может рассчитывать производитель электросамолёта до следующей подзарядки. Ввиду того, что электросамолёт по своему определению должен обеспечить уверенный уровень безопасности в воздухе относительно, скажем, электромобиля, передвигающегося по земле, которому «падать некуда», к системе электропитания первого предъявляются повышенные требования, включая и аварийные батареи на борту.

От чего зависит дальность полёта

Для электросамолёта, как и для электромобиля, топливо – это электрический ток. Источником электрического тока является мощная аккумуляторная батарея, установленная на транспортном средстве. Кроме того, система электропитания ЭС построена так, что при работе силовых электродвигателей аккумуляторы заряжаются по той же принципиально аналогичной схеме, как заряжаются АКБ автомобиля от работы его электрогенератора при заведённом двигателе внутреннего сгорания (ДВС). Ток зарядки АКБ, как в случае с автомобилем и электромобилем, так и в ЭС, относительно невелик, что определяется техническими параметрами электрогенераторов (мощность определённо зависит от габаритов и веса, что в случае с ЭС важно), иначе можно было бы вовсе не расходовать электроэнергию АКБ, а «летать» на энергии, вырабатываемой электрогенератором, вращение которого связано с силовым электродвигателем – некий упрощённый для понимания аналог замкнутого цикла электропитания или «вечного двигателя». Итак, АКБ электросамолёта заряжаются в полёте от генераторов, однако пока можно говорить только о подзарядке, условной компенсации расхода энергии АКБ, а не о полной зарядке. Поэтому до появления новых разработок, которые, несомненно, будут появляться, дальность полёта

ЭС ограничена энергоёмкостью аккумуляторных батарей.

Со временем эксплуатации любая АКБ теряет свою ёмкость; вопрос, в частности, какова динамика потерь во времени и насколько сильно уменьшается ёмкость. Дальность полёта до следующей подзарядки – это довольно условный параметр. Зависит он и от качества: фактической энергоёмкости (новизны) АКБ; стиля полёта (субъективно зависит от пилота), условий полёта (форсированный режим при взлёте и маневрах, спокойный полёт на одной высоте, спуски, посадки), погоды (встречный и боковой ветер); параметров конкретного ЭС и его силовой установки, таких как её мощность, масса аппарата, средняя скорость передвижения в конкретном полёте и некоторые другие параметры. Даже температура окружающей среды, при которой преимущественно эксплуатируется (и хранится) ЭС, влияет на эксплуатационные характеристики его АКБ. Исходя из этого, сравнивать «пробег» или качество АКБ, а также периодичность зарядки можно только условно. При рекомендованной производителем «зарядной политике» шансы того, что АКБ конкретного ЭС максимально (условно) долго сохранит свою энергоёмкость, выше, следовательно, замена АКБ будет отложена на максимальную долгосрочную перспективу.

Электросамолёт заряжается по аналогии с электромобилем. Теоретически, с помощью «понижающего», выпрямляющего и стабилизирующего адаптера тока, любую АКБ можно зарядить от обычной розетки осветительной сети с напряжением 230–240 В переменного тока. Однако для промышленного оборудования применяют специальные зарядные станции соответствующей мощности. Любая современная и «фирменная» зарядная станция для ЭС представляет собой интеллектуальное и многофункциональное электронное устройство с защитой по напряжению и току, с режимом автоматического отключения функции «заряд» при наборе АКБ полной ёмкости (при полной зарядке). По тому же принципу заряжаются современные электронные устройства, имеющие аккумуляторы, к примеру, смартфоны; «перезарядить» их невозможно, даже если кабель питания остаётся подключённым к зарядному устройству. Действуют те же правила: заряжать желательно до набора полной ёмкости, не прерывая процесс зарядки.

Атомные батарейки и зарядка с помощью беспроводных технологий – таково будущее рынка сохранения энергии. Не случится трагедии, если владелец аккумулятора, к примеру, торопится и вынужден прервать зарядку устройства. Но не в случае, когда речь идет о зарядке электросамолётов, поскольку недозаряженный аккумулятор не обеспечит рассчитанный полёт по конкретной длительности маршрута. Таким образом, мы говорим о желательной практике применения зарядных станций.

Электросамолёты можно заряжать от профессиональных ЗУ для электромобилей с некоторой доработкой последних и адаптацией под конкретные условия электропитания (напря-

жение АКБ, зарядный ток) и зарядных соединительных кабелей с разъёмными соединениями. При цене фирменной зарядной станции, не предназначенной для коллективной зарядки сразу нескольких потребителей, от 145 до 300 тыс. руб. приобрести её может только владелец электрокара, располагающий соответствующими свободными средствами. Для сведения, «зарядная колонка» – устройство для небольшого (до 3) парка мобильных электропотребителей (электромобилей, электросамолётов) с возможностью одновременной зарядки – обойдётся в сумму более 1 млн рублей, а дополнительный, к примеру взамен утерянного, зарядный кабель, как

и для электромобилей, стоит около 25–35 тыс. руб.

В регионах России сеть зарядных станций пока развита недостаточно, что является условным барьером для развития рынка электромобилей и электросамолётов. Пока в России зарегистрировано около 11 000 электрокаров, а отдельные экземпляры СЭА и ЭС только проходят испытания.

Литература

1. РБК: Электросамолёты: как авиация готовится к революции // URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/610812b29a79470df7a3f7b4>.
2. ШвабК Четвёртая промышленная революция. М.: Эксмо, 2016.



НОВОСТИ МИРА

«Аэродиск» анонсировала новые СХД серии «Восток» на российских процессорах «Эльбрус» и «Байкал»

У процессоров «Эльбрус» непростая судьба, особенно в последнее время, когда встал вопрос о переносе их производства с мощностей TSMC. Но платформа продолжает развиваться, и интерес российских разработчиков аппаратного обеспечения к ней не ослабевает. Компания «Аэродиск», создатель и производитель решений в области хранения данных, анонсировала новую компактную платформу СХД на базе CPU от МЦСТ.

Это первое решение подобного класса: в 2U-шасси вмещается два контроллера с поддержкой горячей замены. Все имеющиеся на российском рынке аналогичные по форм-фактору решения построены на базе зарубежных процессоров, а «Эльбрус» до этого обычно применялся только в более крупных СХД. Поскольку компактные системные платы для «Эльбрус» отсутствовали, перед разработчиками «Аэродиска» стояла достаточно серьёзная задача.

Новинка, входящая в серию «Восток 5», стала плодом сотрудничества «Аэродиск», «КБ Электроника», «Резонит» и МЦСТ. В итоге в 2U-шасси удалось вместить контроллеры, а также реализовать достаточно высокоскоростной интерконнект благодаря применению специальных PCIe-райзеров, позволяющих оснастить каждый контроллер двумя высокоскоростными сетевыми адаптерами. При этом новинка получила поддержку не только уже освоенных чипов Эльбрус-8С и 8СВ, но и более современного Эльбрус-16С, когда удастся нала-



дить его производство. Объём оперативной памяти с ECC варьируется в пределах 64...512 Гбайт.

По умолчанию новая СХД предлагает четыре порта MiniSAS HD (SFF-8644) на контроллер, сетевая часть может иметь до четырёх 1GbE-портов, но дополнительные контроллеры дают поддержку до двух портов FC-32 или двух 100GbE, а также InfiniBand, тоже до двух 100-Гбит/с портов. Система может работать как блочное хранилище iSCSI/FC/InfiniBand либо в файловом режиме с поддержкой NFS, SMB и интеграцией с Active Directory. Также она может служить основой для построения кластера СХД из 32 узлов (16 шасси).

Дисковые массивы могут быть организованы практически в любой уровень RAID, от 0 до 60P. Всего каждая система «Восток 5» способна обслуживать до 608 накопителей в дисковых полках 2U (24 × SAS-3 SFF) или 4U (до 108 × SAS-3 LFF). Поддерживаются как традиционные механические жёсткие диски SFF/LFF с интерфейсом SAS-3, так и твердотельные, объёмом до 30,72 Тбайт (1 DWPD) или 6,4 Тбайт (3 DWPD).

Система «Восток 5» работает под управлением фирменной ОС «Аэродиск Восток», помимо поддержки уже упомянутых протоколов и режимов она может похвастаться реализацией «тонких» томов (thin provisioning), создания снимков, клонирования и сжатия данных на лету. Также имеется опциональная поддержка дедупликации, SSD-кеширования, многоуровневой иерархии хранения (tiering) и различных режимов репликации.

Компания-производитель позиционирует новинку как СХД, предназначенную для выполнения широкого круга задач в государственном и коммерческом секторе. Кроме того, сейчас «Аэродиск» готовит к выпуску вариант СХД «Восток» на базе отечественных Arm-чипов Baikal. Пока речь идёт о Baikal-M, но до конца года планируется освоить и более мощные Baikal-S. Это позволит использовать СХД в высоконагруженных сценариях, тогда как вариант на базе Baikal-M будет предназначен для массового рынка и типовых задач хранения данных.

www.aerodisk.ru

НОВОСТИ МИРА

СОЗДАТЕЛЬ ПРОЦЕССОРОВ «ЭЛЬБРУС» ХОЧЕТ ИМПОРТОЗАМЕСТИТЬ TSMC «МИКРОНОМ»

Производство процессоров «Эльбрус», выпуск которых на фабриках TSMC в Тайване был прекращён из-за санкций, может быть перенесено на завод «Микрона» в Зеленограде. Российский чипмейкер отстает от TSMC в плане освоенных техпроцессов, современные 16-нанометровые «Эльбрусы» он выпускать не в состоянии. ИТ-отрасль считает переход к выпуску российских CPU по древним топологиям «большим шагом назад».

Компания МЦСТ рассматривает возможность переноса производства процессоров «Эльбрус» из Тайваня в Россию, пишет РБК. Разработчик ведёт переговоры с компанией «Микрон», называющей себя «чипмейкером №1 в России».

Как сообщил РБК замгендиректора по маркетингу МЦСТ Константин Трушкин, у компании есть планы по запуску производств процессоров в Зеленограде. Представители «Микрона» на момент публикации материала не подтверждали и не опровергали информацию о переговорах с МЦСТ.

Выпуск процессоров «Эльбрус» полностью прекратился в конце февраля 2022 г. Их производство базировалось на мощностях тайваньской компании TSMC – крупнейшего в мире контрактного вендора чипов. TSMC отказалась от сотрудничества с МЦСТ в рамках антироссийских санкций и под давлением властей США. Точно так же она поступила с «Байкал электроникс» (производитель CPU серии Baikal), а в мае 2020 г. в аналогичной ситуации оказалась китайская Huawei со своими чипами Kirin.

На момент публикации материала не было известно, планирует ли «Байкал электроникс» выпускать свои процессоры в России. «Мы рассматриваем все существующие варианты организации производства и ведём множество линий переговоров, однако пока не имеем возможности комментировать, да и не хотим публично делить шкуру неубитого медведя», – сообщил генеральный директор «Байкал электроникс» Андрей Евдокимов.

На 30 мая 2022 г. стороны не сообщали, на каком этапе находятся переговоры и как скоро «Микрон», в теории, может наладить выпуск «Эльбрусов». Одно известно точно – самые современные процессоры МЦСТ российский чипмейкер производить не сможет.

В ассортименте МЦСТ имеются процессоры с топологией от 130 до 16 нм включительно. Возможностей TSMC хватало для выпуска любого из них, так как ещё в конце 2021 г.

компания запустила производство по 4-нанометровому техпроцессу. В настоящее время она вплотную приблизилась к 3 нм и 2 нм.

С производством «Микрона» ситуация в корне другая. Самый современный техпроцесс, освоенный российским чипмейкером, – это 65 нм почти 20-летней давности, но МЦСТ будет доступен максимум 90 нм, о чём Константин Трушкин сообщал ещё в апреле 2022 г. Тогда же МЦСТ рассматривала вариант создания отдельной компании «Эльбрус», не имеющей к ней никакого отношения и не подпадающей под антироссийские санкции.

Теперь, судя по всему, вариант по созданию отдельной компании не рассматривается. «Видим, что на отечественных фабриках можно создавать достойные процессоры с современными российскими технологиями для критической информационной инфраструктуры, сферы информационной безопасности и других рынков», – сказал Трушкин. – Для достижения достаточной практической производительности видим большой резерв в переработке исходного кода и оптимизации программного обеспечения под архитектуру «Эльбрус».

Константин Трушкин не сообщил, входит ли в планы МЦСТ на ближайшее будущее поиск вендора, способного обеспечить выпуск процессоров компании по современным нормам. Тем временем «Микрон» пока не раскрывает идеи по освоению новых актуальных техпроцессов. Вместо этого он собирается вдвое увеличить выпуск кремниевых пластин для чипов с топологией 180–90 нм.

В настоящее время объём их выпуска составляет 3000 в месяц. К 2025 г. «Микрон», если всё пойдёт по плану, сможет выдавать 6000 таких пластин за тот же период времени. Размер финансовых вливаний для осуществления этого плана составит в пределах 10 млрд руб.

Многие представители российской ИТ-сферы отрицательно оценили план МЦСТ по переходу на отечественное производство. Со слов неназванного источника РБК на ИТ-рынке, данная идея является «большим шагом назад» по причине возвращения к древним топологиям. Он также добавил, что перенос выпуска «Эльбрусов» на мощности «Микрона» обойдётся в несколько миллиардов рублей и растянется по меньшей мере на год.

По прогнозам источника издания, о широком спектре использования «Эльбрусов», выпускающихся по техпроцессам до 90 нм, можно будет и не думать. Он считает, что они найдут своё применение в тонких клиентах, кассовых аппаратах или в каком-то спецприменении. «Компьютеров с такими процессорами будет мало, и разработчики софта должны будут адаптировать его, в

чём они вряд ли будут заинтересованы. Но это единственная команда в России, способная разрабатывать процессоры с собственной архитектурой, и как-то придётся её поддерживать», – сказал источник издания.

Также следует отметить, что ещё задолго до спецоперации на Украине, повлёкшей за собой санкции и отказ TSMC от выпуска российских CPU, российские потребители были недовольны производительностью «Эльбрусов». В декабре 2021 г. Сбербанк провёл тестирование двух типов серверов на «Эльбрусах» и заключил, что в нынешнем виде их использование в организации совершенно исключено в силу их технического несоответствия. На тестирование банку МЦСТ предоставила «железо» на «Эльбрусах-8С».

Спустя несколько дней крупнейшие госкомпании России раскритиковали серверы на отечественных процессорах. Ими были отмечены дороговизна, недостаточная производительность и низкая энергоэффективность такого оборудования. Тестировать они могли только серверы на процессорах «Эльбрус», поскольку готовых серверных решений на других российских процессорах, которые можно было бы показать заказчикам, пока нет. Потенциальные покупатели оборудования отметили, что готовы переходить на отечественную технику, только если она будет справляться со всеми сценариями использования и окажется не дороже зарубежных аналогов.

Глава ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий (АПКИТ) Николай Комлев смотрит на возможность перевода «Эльбрусов» на российское производство немного более оптимистично. Он сообщил РБК, что в нынешнее время «существует немало задач, для которых вполне хватило бы микросхем с не самым высоким разрешением».

«Вопросы бысродействия для таких задач не столь критичны, к тому же скорость или производительность конечного изделия можно нарастить за счёт хорошо настроенного софта», – сказал он. Однако, с его слов, необходимо адаптированное под такие CPU программное обеспечение, которого в настоящее время не так много.

По мнению Николая Комлева, инвестиции в разработку софта под «Эльбрусы» не очень перспективны. «С одной стороны, выпускать его тиражами меньшими, чем миллионы, десятки миллионов, получается не очень рентабельно», – сказал изданию глава АПКИТ. – С другой – большие тиражи микросхем по устаревшей технологии могут быть не востребованными»

www.russianelectronics.ru

О необходимости подавления помех, возникающих в цепях цифровых систем при работе электромагнитных реле большой мощности

Илья Струков, АО «ВНИИ «Сигнал» (г. Ковров)

В статье рассматриваются способы снижения электромагнитных помех, возникающих в цепях цифровой аппаратуры при работе электромеханических реле (контакторов).

Существует множество источников помех, способных вызвать сбой или отказ электронных систем.

Вспомним, какие существуют наиболее часто встречающиеся виды помех.

1. Помехи, вызванные срабатыванием выключателей, реле, пускателей, контакторов, – наносекундного диапазона маломощные (по международной классификации – EFT).
2. Помехи, вызванные работой реактивных нагрузок (двигатели, трансформаторы, а также зарядов конденсаторов и отдачей накопленной энергии обратно), – микросекундного диапазона мощные (по международной классификации – surge).
3. Электростатические помехи, например, от прикосновения человека или заряженных предметов (по международной классификации – ESD).
4. Радиопомехи – от работы близкорасположенных радиопередатчиков.
5. Помехи от природных источников (грозовые разряды).
6. Смешанные – например, от дуги сварочного аппарата (широкополосные и при этом мощные).

При этом реальные помехи – это всегда комбинация вышеперечисленных помех.

Поэтому при разработке аппаратуры необходимо учитывать требования по обеспечению помехозащищённости. Помехозащищённость – это способность аппаратуры правильно функционировать в условиях электромагнитных помех [1].

Необходимая помехозащищённость обеспечивается только при комплексном решении ряда вопросов:

- обеспечение должного превышения уровней информационных сигналов над уровнем помех;

- правильная прокладка линий связи датчиков информации с устройствами РЗ, а при необходимости – защита линий связи от действия помех и подавления самих помех;
- применение витых пар, защитных экранов для прокладки сигнальных цепей;
- правильное конструирование аппаратной части устройства.

Решение этих вопросов находится в ведении разработчиков аппаратуры и должны решаться на стадии проектирования схем и интерфейсов [2]. Если для самого процесса измерения последствия воздействия помех не являются столь критичными (не учитывая временную потерю точности измерения в процессе прохождения помехи), то для аппаратуры управления, содержащей микроконтроллер или микроЭВМ, такие последствия могут быть критичными и закончиться полным «зависанием» устройства и остановкой технологического процесса. Восстановить работоспособность «зависшего» компьютера получится только программной перезагрузкой или полным аппаратным перезапуском, иногда с выключением из сети.

При этом текущие значения сигналов или промышленные материалы, которые подвергались обработке (с помощью микроЭВМ), например смещению, разрезанию, растворению, дозированию и т.п., уйдут в брак, так как процесс их обработки не был закончен до конца. Если процесс дозирования или смещения требует малого времени, например, при смещении горячих компонентов, его остановка приобретает ещё более трагические последствия – компоненты остывают и затвердевают прямо в бункере – требуется последую-

щая сложная очистка бункера. Иногда воздействие мощной помехи способно вывести аппаратуру управления полностью из работоспособного состояния, что потребует его замены или ремонт, произойдёт аварийная длительная остановка отгрузки продукции из производства.

Мероприятия по помехозащищённости необходимо учитывать не только на начальном этапе разработки аппаратуры, но и в процессе её серийного изготовления – из-за постоянных изменений в конструкции электронных комплектующих, вносимых разработчиками этих самых комплектующих. Такие изменения могут привести к непредсказуемым последствиям.

В 2020 году на АО «ВНИИ «Сигнал», г. Ковров (входит в холдинг ГК «Ростех»), был зафиксирован отказ серийного электрогидравлического цифрового следящего привода (системы) в части несанкционированной перезагрузки цифрового блока управления.

В ходе проведения анализа была установлена причина отказа системы: перезагрузка микроЭВМ «Багет-83В» ЮКСУ.466225.028, входящей в состав цифрового блока управления.

Было установлено, что перезагрузка происходила из-за помехи (шума) (рис. 1), возникающей в цепи «SWITCHR» («переключатель») ЭВМ «Багет-83В» (разработчик и изгото-

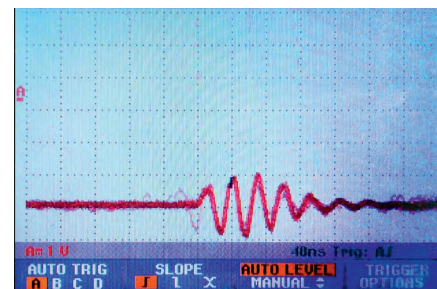


Рис. 1. Помеха, возникающая при срабатывании контактов электромеханических реле. Коммутируются 220 В 400 Гц, ток 3 А. Параметры помехи: амплитуда – 5 В, время воздействия – 120 нс

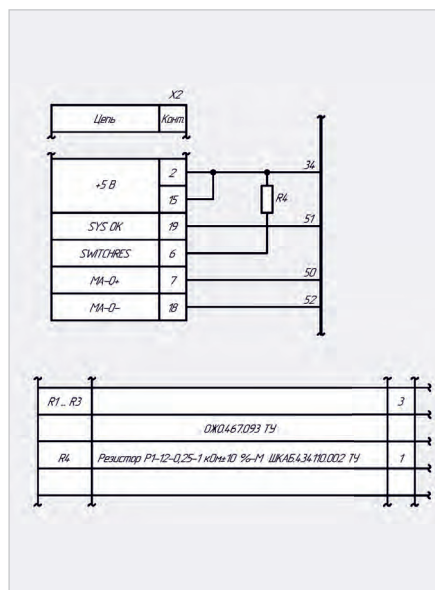


Рис. 2. Вариант доработки для защиты свободных входов микроЭВМ от воздействия электромагнитных помех

витель АО КБ «Корунд-М», г. Москва) при включении/выключении электромеханических контакторов типа КНЕ 220/230 для электровентилятора ЭВ-11-3660 (220 В 400 Гц, 3 фазы) из состава блока охлаждения, входящего в состав системы.

Причина отказа системы была тем более непонятна, что привод серийно производился в течение 7 лет, в конструкциях приборов на этапе разработки были реализованы мероприятия (витые пары, экранированные провода, гальваническая развязка питания бортовой сети и радиоэлементов) по помехозащищённости цифровых элементов, изменения в конструкцию электрических и электромеханических приборов не вносились.

При проведении более тщательного анализа было установлено, что электромагнитная помеха проходила по свободной (незащищённой) цепи «SWITCHR» ЭВМ «Багет-83В», что воспринималось микроЭВМ как логическая «1» и приводило к перезагрузке электронного прибора.

Оказалось, что в конструкцию «Багет-83В» разработчики в рамках импортозамещения внесли изменения. В результате микро-ЭВМ стал более чувствителен к помехам (шумам) подобного рода. После выяснения окончательной причины отказа разработчикам микроЭВМ было сообщено о недостатках в конструкции «Багет-83В» и даны рекомендации по их устранению.

Конструкция электронных приборов с применением данных микроЭВМ так-

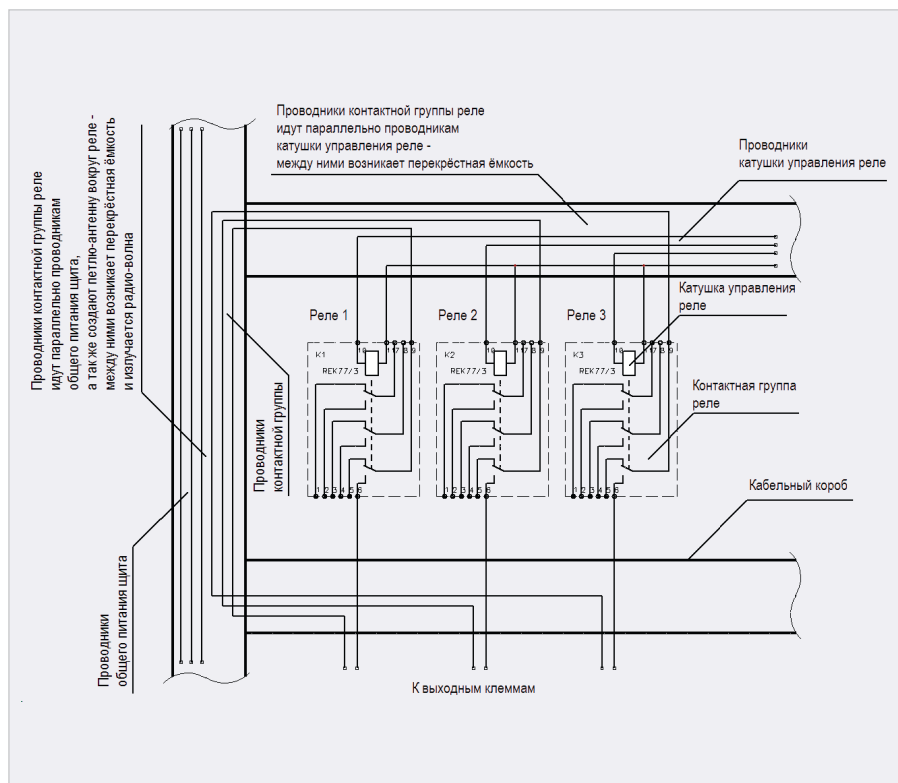


Рис. 3. Нерекомендуемая разводка силовых цепей в цифровых системах

же была доработана (рис. 2). Необходимо отметить, что применение электромеханических реле (контакторов) в цифровых и слаботочных системах крайне нежелательно.

Использование таких реле заставит мало того, что делать петлю вокруг самого реле при выводе проводника с клеммы контактной группы на вводную клемму щита, расположенную, например, снизу, так ещё и вынудит прокладывать этот проводник параллельно с проводником катушки управления, который идёт непосредственно в управляющий контроллер в том же корпусе прибора.

Нарушится принцип полной гальванической изоляции (развязки) и создастся перекрёстная ёмкость между всеми проводниками, а значит, и связь по переменному току. На чертеже (рис. 3) это наглядно видно.

Недостатки такого решения.

1. Проводники контактной группы реле идут параллельно или пересекаются с проводниками катушки управления – между ними возникает перекрёстная ёмкость и связь по переменному току.
2. Проводники общего питания корпуса идут параллельно или пересекаются с проводниками контактной группы, между ними возникает перекрёстная ёмкость и связь по переменному току.

3. Проводники контактной группы, обходя реле вокруг, создают петлю – излучается радиоволна.
4. Нарушен принцип полной гальванической изоляции нагрузки и управления нагрузкой – присутствует значительная ёмкостная связь между всеми проводниками, а значит, и связь по переменному току.

Чем плотнее корпус прибора заполнен проводниками и чем длиннее параллельно идущие проводники, тем больше будет между ними ёмкость. Дополнительно ситуацию ухудшат параллельно идущие в этом же корпусе проводники неотфильтрованного сетевого питания, так как не все разработчики РЭА задумываются о помехозащищённости и пожаробезопасности. В случае прохождения мощной помехи, например, от сварочного аппарата или молнии, либо при переключении самого реле она с лёгкостью перекинется с проводника на проводник через возникшую ёмкость и проникнет в управляющий контроллер – произойдёт сбой. В свою очередь, напомним, что совместная прокладка линий (в одном канале без разделения перегородкой) напряжением менее 42 В с линиями более 42 В – запрещена ПУЭ (п. 2.1.16 изд. 7), что дополнительно сильно затрудняет использование таких реле.

То есть при управлении реле, например, нагрузкой напряжением 220 В, при

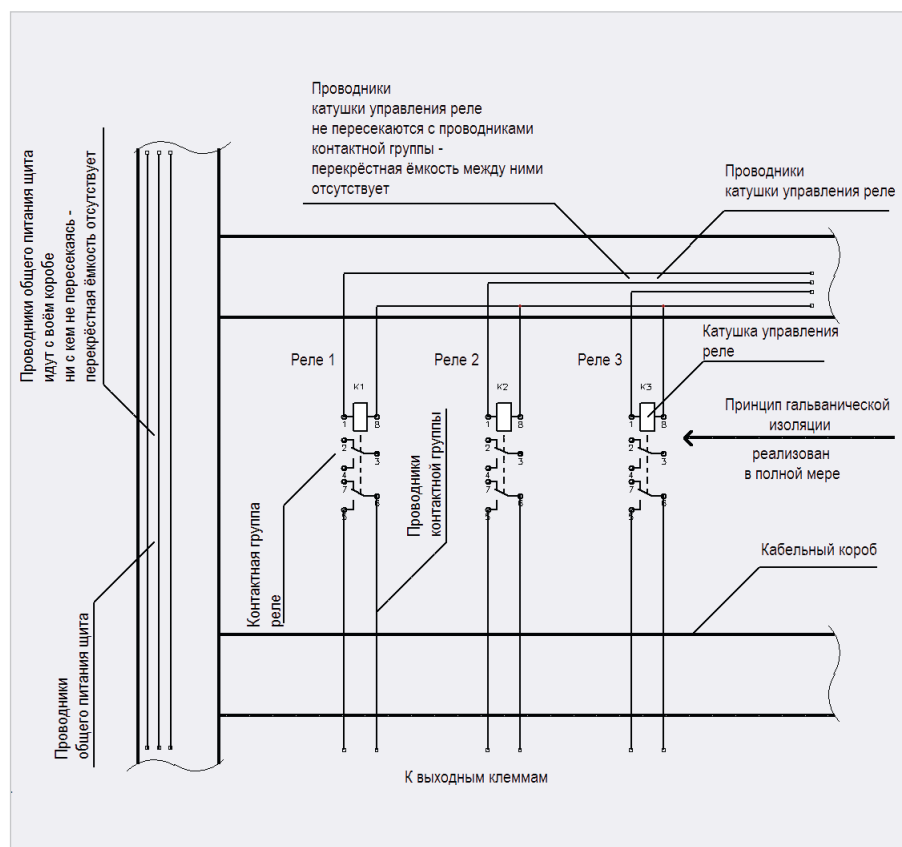


Рис. 4. Рекомендуемая разводка силовых цепей в цифровых системах

Наименование реле	Максимальное пиковое напряжение на выходе в закрытом состоянии, $U_{пик}$, В	Коммутируемый ток ср. кв. знач., $I_{ком}$, А		Коммутируемое напряжение ср. кв. знач., $U_{ком}$, В		Коммутируемый импульсный ток $I_{ком.имп}^*$, А		Входное напряжение во включенном состоянии, $U_{вх}$, В		Входное напряжение в выключенном состоянии, $U_{вх.выкл}$, В		Критическая скорость нарастания выходного напрж., тока, dU/dt , В/мкс, dI/dt , А/мкс		Рабочий диапазон температур, T , °С		Температура перехода $T_{п}^{**}$, °С
		не более	не менее	не более	не менее	не более	имп мс	не менее	не более	не более	не более	не более	не менее	не более		
															t	
МО26-25-12 МК	± 1200	0,2	25	~ 30	~ 630	200	10	~ 10	~ 30	~ 2	500	160	-40	+85	+125	
40			300													
63			750													
80			960													
100			1250													
120			1600													

* действующее значение $I_{ком.имп}$ не должно превышать $I_{ком}$.

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

Рис. 5. Эксплуатационные данные твердотельных полупроводниковых реле типа МО26-XXX-12-МК фирмы АО «Электрум АВ»

выводе проводника с контактной группы он обязательно пересечётся в одном канале с проводником катушки управления на 24 В, что уже недопустимо правилом (см. рис. 4.).

Достоинства такого решения.

1. При использовании реле такого вида (описанных выше) проводники катушки управления не пересекаются с проводниками контактной группы – перекрёстная ёмкость между ними отсутствует.
2. Проводники общего питания щита идут в своём отдельном коробе, ни с чем не пересекаясь, – перекрёстная ёмкость отсутствует.

3. Малая плотность проводников в коробах – низкая ёмкость между ними.
4. Принцип гальванической изоляции нагрузки и управления нагрузкой реализован в полной мере.

Присутствует крайне незначительная (исчезающе малая) ёмкостная связь между клеммами катушки управления и клеммами контактной группы, а значит, почти отсутствует связь и по переменному току.

Какая же альтернатива существует электромеханическим реле? Это – твердотельные реле, реле на оптронах, служащих для гальванической развязки входа и выхода реле. Такие

приборы не имеют механических контактов, которые, собственно, и создают шумы при замыкании/размыкании. С этой точки зрения представляют интерес разработки АО «Электрум АВ», г. Орел. Предприятие специализируется на разработке и изготовлении твердотельных реле, оптоэлектронных гальванически развязанных реле и т.д.

Твердотельное реле переменного тока типа МО26-XXX-12-МК предназначено [3] для:

- плавной подачи трёхфазного напряжения в нагрузку;
- аварийного отключения потребителей при пропадании одной из питающих фаз и при возникновении внешнего сигнала аварии.

После подачи управляющего напряжения микроконтроллерная схема управления определяет очередность подключённой трёхфазной сети. Это необходимо для организации правильной последовательности управления силовыми ключами (тиристорами). Также схема управления проверяет наличие всех трёх силовых питающих фаз, и при отсутствии хотя бы одной происходит аварийная блокировка работы твердотельного реле.

Для наглядного отображения состояния, оперативного изменения настроек и управления твердотельное реле МО26-XXX-12-МК имеет возможность по средствам интерфейса RS-485 общаться с управляющей программой. При отладке программы использовался преобразователь RS-485/USB, тип изделия C2000-USB.

Таким образом, использование твердотельных реле вместо электромеханических способствует повышению помехозащищённости аппаратуры. Реализация комплекса мер по помехозащищённости при разработке аппаратуры позволит далее эксплуатировать её с высокой степенью надёжности.

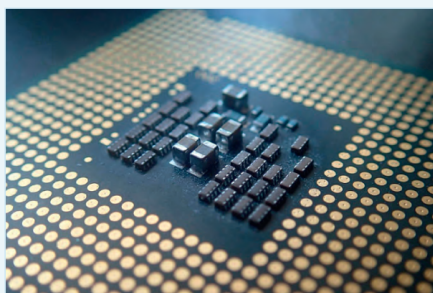
Литература

1. Правила устройства электроустановок, ОАО «ВНИИЭ», 2003.
2. Электротехнический справочник / ред. В.Г. Герасимова. Т. 3. Кн. 2. М., 1988.
3. Паспорт «Микропроцессорное устройство токовой защиты типа МПТ», МПТ20МК/ МПТ200МК-Изм. 5 Изв. 200-16, прот. № 10; предл. № 274, АО «Электрум АВ»; 2020.

НОВОСТИ МИРА

ПЕТЕРБУРГСКИЕ УЧЁНЫЕ ПРЕДЛОЖИЛИ НОВУЮ МОДЕЛЬ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПАМЯТИ НЕЙРОМОРФНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Как рассказали в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете (СПбГЭТУ) «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина), широко распространённая и недорогая кремниевая вычислительная техника сегодня подходит к пределам своих возможностей по компактности, быстродействию и надёжности. Осознавая это, научные группы по всему миру ищут новые более эффективные материалы и принципы работы компьютеров. Петербургский вуз в этом плане не исключение.



По мнению учёных СПбГЭТУ «ЛЭТИ», одно из перспективных направлений поиска – разработка мемристоров. Эти наноразмерные электрические элементы способны под действием напряжения изменять значение своего сопротивления и «запоминать» новое состояние на длительное время. При этом, чтобы «хранить» заданный уровень сопротивления (резистивного состояния), таким устройствам не нужно потреблять энергию, благодаря чему можно создавать миниатюрные и энергонезависимые элементы с функциями и обработки, и хранения информации.

«Разработанная схемотехническая модель описывает функционирование и характеристики плёночных структур на основе материалов, перспективных для создания мемристоров, с учётом вариативности их основных параметров с целью повышения точности результатов моделирования и эффективности проектирования устройств, использующих мемристоры в качестве элементной базы, прежде всего, нейроморфных вычислительных устройств, принципы функционирования которых подобны алгоритмам работы мозга,» – прокомментировал профессор кафедры микро- и нанoeлектроники (МНЭ) СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Евгений Рындин.

Материалы и структуры мемристоров синтезировала группа учёных под руко-

водством доцента кафедры МНЭ СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Натальи Андреевой.

Данные соединения представляют собой нанослоевые композиции в виде последовательности слоёв оксидов алюминия и титана, синтезированных методом атомно-слоевого осаждения. Они обеспечивают многоуровневую перестройку резистивного состояния в широком диапазоне величин для нового поколения памяти в нейроморфных архитектурах, – пояснили в пресс-службе вуза.

В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» также отметили, что для разработки эквивалентной схемы и соответствующей системы уравнений учёные вуза в ходе экспериментов измерили основные характеристики синтезированных структур и провели анализ протекающих в них физических процессов. Реализацию и апробацию предложенной модели исследователи выполнили в среде MATLAB. Сейчас учёные стараются интегрировать модель мемристоров в библиотеки SPICE-моделей, которые широко используют исследователи и разработчики во всем мире.

iot.ru

ДЕФИЦИТ ЧИПОВ ОСЛАБЕВАЕТ, И ЭТО ПЛОХАЯ НОВОСТЬ ДЛЯ АЗИАТСКИХ ЭКОНОМИК

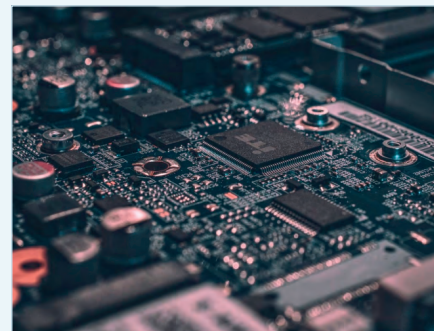
Производители чипов и другие поставщики комплектующих для электроники в последние пару лет получали огромные прибыли за счёт высокого спроса на свою продукцию. Тем не менее меняющаяся экономическая обстановка в мире способна негативно сказаться как на показателях самих поставщиков полупроводников, так и участников их логистических цепочек.

Как сообщает The Wall Street Journal, замедление роста китайской экономики и экономические колебания в американском технологическом секторе снизят спрос на электронику со стороны как обычных пользователей, так и корпоративных клиентов. Уже начали сокращаться поставки смартфонов и компьютеров. Так, по данным агентства IDC, в первом квартале 2022 года поставки упали на 8,9% в сравнении с первым кварталом прошлого, а поставки компьютеров за тот же период снизились на 5,1%.

В целом в мире по мере снятия пандемийных ограничений интерес покупателей смещается с покупки товаров на услуги. Ситуация усугубляется с развитием экономического кризиса и продолжающимися вспышками COVID-19 в Китае. В Поднебесной в первом квартале продажи смартфонов упали на 14,1%.

Во всём тихоокеанском регионе падение рынка акций американских технологических компаний привело к уменьшению спроса на IT-оборудование, а расточительные ранее IT-бизнесы вынуждены затянуть пояса. Например, серверные чипы для ЦОД были важным фактором роста полупроводниковой индустрии в течение пары лет, но сокращение расходов технологическими компаниями может серьёзно изменить ситуацию.

Хотя дефицит полупроводников, длившийся более 18 месяцев, в последнее время становится всё менее острым, в первые три месяца текущего года время поставок с момента заказа комплектующих всё же увеличилось с 42 до 53 дней. При этом снижение спроса на них может негативно сказаться на компаниях, накопивших большие запасы электронных компонентов.



В Восточной Азии, где расположены большинство поставщиков, могут ощутить негативные последствия от падения объёмов заказов чипов. Известно, что санитарные ограничения в Шанхае и других китайских городах в связи со вспышкой COVID-19 вызвали падение спроса и предложения не только в самом материковом Китае, но и в соседних экономиках – на Тайване и в Южной Корее.

По некоторым данным, южнокорейский экспорт немного вырос в мае в сравнении с аналогичным месяцем прошлого года, но только потому, что в 2021 году в мае было меньше рабочих дней. По данным Morgan Stanley, экспорт полупроводников и панелей для дисплеев в сравнении с апрелем, наоборот, упал. Снятие санитарных ограничений в китайских городах может привести к кратковременному росту, но серьёзных изменений не ожидается как минимум до начала 2023 года.

Складывается весьма непростая ситуация. Гиганты вроде TSMC, вероятно, меньше пострадают благодаря своей доминирующей позиции на рынке, а вот более мелкие азиатские бизнесы ожидают непростые времена.

wsj.com

Инфракрасный радар-парковщик

Александр Одинец (a_odinets@tut.by, г. Минск, Беларусь)

В статье рассмотрено устройство, помогающее припарковать автомобиль в стеснённых условиях. Его также можно использовать и в других случаях, когда требуется приблизительная оценка приближения объекта к препятствию. Благодаря схемотехническому исполнению возможна реализация устройства на ПЛИС.

Общие сведения

В данном устройстве используется метод локации с помощью инфракрасного излучения, рассмотренный в статье [1]. Сущность метода состоит в следующем. Поскольку использование светового излучения в локации на небольших расстояниях не позволяет определять расстояние по скорости возврата отражённого сигнала (как это делается в акустической локации), здесь применяется способ, в котором измеряется не скорость возврата отражённого сигнала, а его интенсивность (мощ-

ность). То есть чем дальше препятствие, тем слабее отражённый от него свет.

Измерение интенсивности производится шестнадцатиступенчатым способом, причём в процессе измерения чувствительность приёмника остаётся максимальной и неизменной. Изменяется (шестнадцатью ступенями) яркость посланного навстречу препятствию инфракрасного излучения. Яркость этого излучения ступенчато нарастает, и, когда её будет достаточно для приёма цифровым фотоприёмником с фиксированным порогом чувствительности, на выходе фотоприём-

ника формируется уровень лог. «0», который записывается в выходной регистр.

Индикатором степени приближения служит линейная шкала из шестнадцати светодиодов, действующая по принципу светящегося столба. При дальности, превышающей пределы чувствительности данного прибора, светятся все шестнадцать светодиодов шкалы, а с приближением к препятствию светящийся столб укорачивается (уменьшается число светящихся светодиодов). Шкала может состоять из разноцветных светодиодов.

Схема и принцип работы

Схема электрическая устройства показана на рис. 1, а временная диаграмма его работы – на рис. 2. Устройство состоит из:

- задающего генератора на элементах DD1.1 и DD1.2, стабилизированного кварцевым резонатором ZQ1 на частоту 432 кГц;
- счётчиков-делителей: DD2.1, DD2.2, DD3.1, DD3.2;
- схемы формирования импульсов синхронизации DD4.1...DD4.4;
- буферного регистра DD5, DD6;
- выходного регистра DD7, DD8;
- резистивной матрицы R2...R17;
- ИК-излучающего светодиода HL1 и фотоприёмника DA1;
- светодиодной линейки HL2...HL17;
- стабилизатора питающего напряжения DA2.

Датчик состоит из инфракрасного светодиода от пульта ДУ телевидеотехники и интегрального фотоприёмника типа TFMS5360 со встроенным усилителем-компаратором и резонансным фильтром на частоту 36 кГц. Свет, излучаемый ИК-светодиодом, модулирован такой же частотой, поэтому система маловосприимчива к помехам от каких-то устройств, излучающих инфракрасное излучение. Единственное, что может мешать работе датчика, это включённый пульт дистанционного управления телевизором или другой телевидеоаппаратурой. Но пультами для телевизоров крайне редко пользуются на парковках и в гаражных боксах.

Один полный цикл работы устройства состоит из 16 тактов (см. рис. 2), в каждом из которых формируется по одному импульсу синхронизации буферного («Clk1») и выходного («Clk2») регистров. Ток на ИК-светодиод HL1 поступает

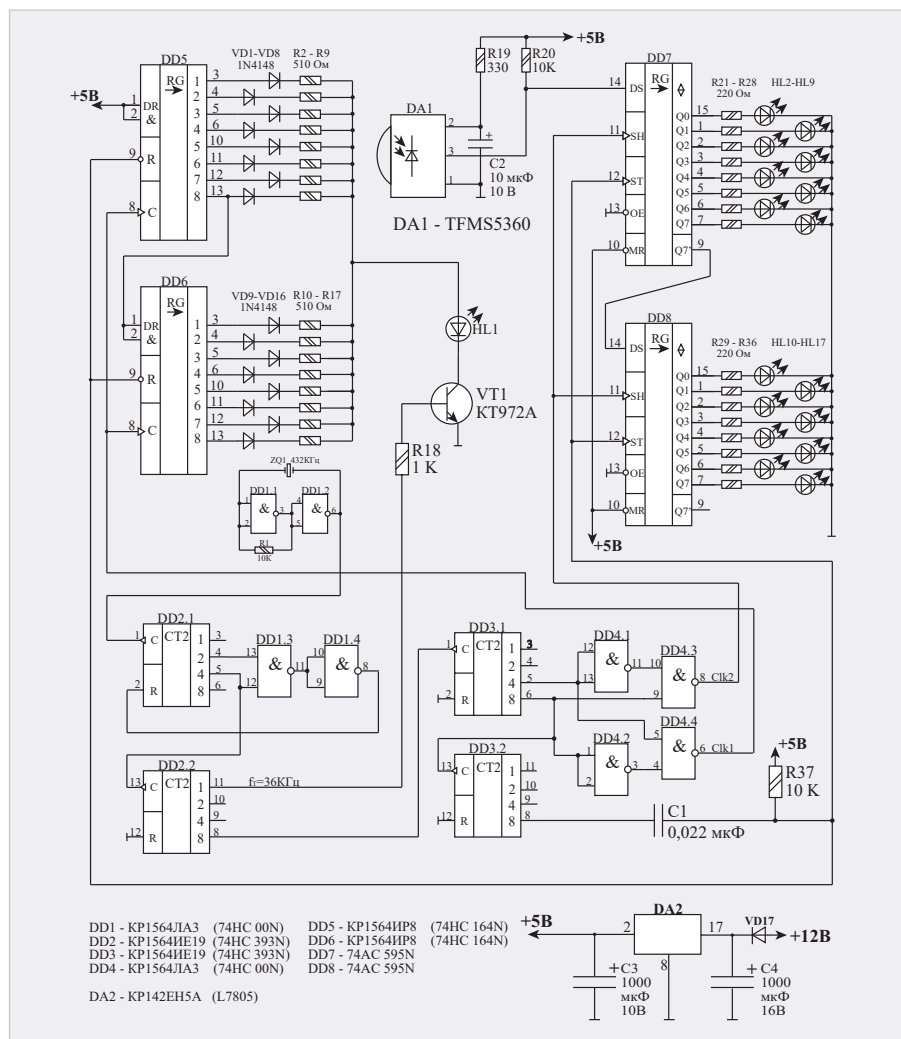


Рис. 1. Инфракрасный радар-парковщик. Схема электрическая принципиальная

через резистивную матрицу R2...R17 и зависит от текущего состояния буферного регистра (DD5, DD6). В начальный момент времени буферный регистр обнулён, а значит, на всех его выходах присутствуют уровни лог. «0». Ток через ИК-светодиод равен нулю. По спаду первого же отрицательного импульса «Clk1» в первый разряд регистра DD5 записывается уровень лог. «1» и через резистор R2 и светодиод HL1 начинает протекать ток, равный 1/16 от максимального значения. Модуляция ИК-излучения с частотой 36 кГц происходит благодаря подаче прямоугольных импульсов на базу транзистора VT1 с выхода младшего разряда счётчика DD2.2 (вывод 11).

Инфракрасный сигнал, излучённый светодиодом, отражается от препятствия и попадает на фотоприёмник DA1. Если мощности отражённого сигнала окажется достаточно (препятствие близко), то на выходе фотоприёмника DA1 будет сформирован уровень лог. «0», который по спаду первого же импульса синхронизации «Clk2» запишется в первый разряд выходного регистра DD7. Если мощности отражённого сигнала окажется недостаточно, то в первый разряд выходного регистра DD7 будет записан уровень лог. «1».

После прохождения шестнадцати тактов работы устройства в буферный регистр (DD5, DD6) будет записано шестнадцать логических единиц, а в выходном регистре (DD7, DD8) окажется информация о расстоянии до объекта. По спаду импульса на выходе старшего разряда счётчика DD3.2 и дифференцированию его цепочкой C1-R37 эта информация будет переписана в выходные триггеры-защёлки ИМС DD7, DD8. Одновременно будут обнулены ИМС DD5, DD6 буферного регистра. Таким образом, на светодиодной линейке HL2...HL17 будет отображаться информация о расстоянии до объекта в виде убывающего столба. Когда же препятствие удалено за пределы чувствительности парковщика, создаётся эффект свечения всех шестнадцати светодиодов.

Конструкция и детали

Устройство собрано на печатной плате из двустороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм размерами 100×150 мм (рис. 3). После монтажа ИК-светодиода HL1 и фотоприёмника DA1 на плату приклеивают перегородку из чёрной светонепроницаемой пластмассы, чтобы исключить возможность прямого попадания ИК-излучения светодиода на фотоприёмник. ИМС серии KP1564 заменимы на ИМС серии KP1554

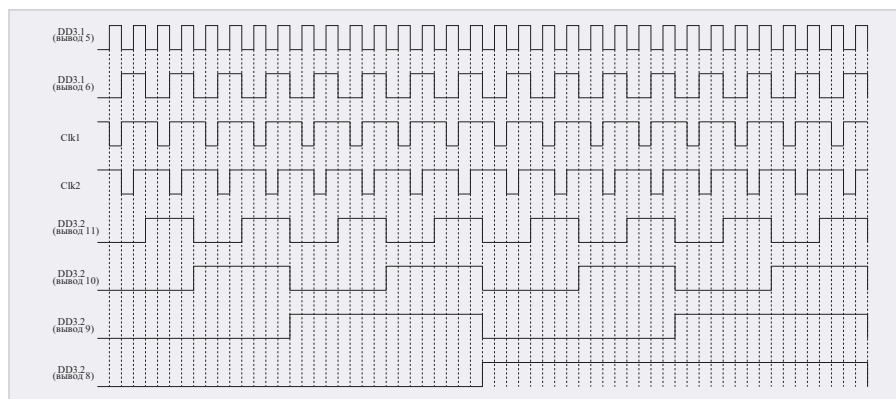


Рис. 2. Временная диаграмма работы устройства

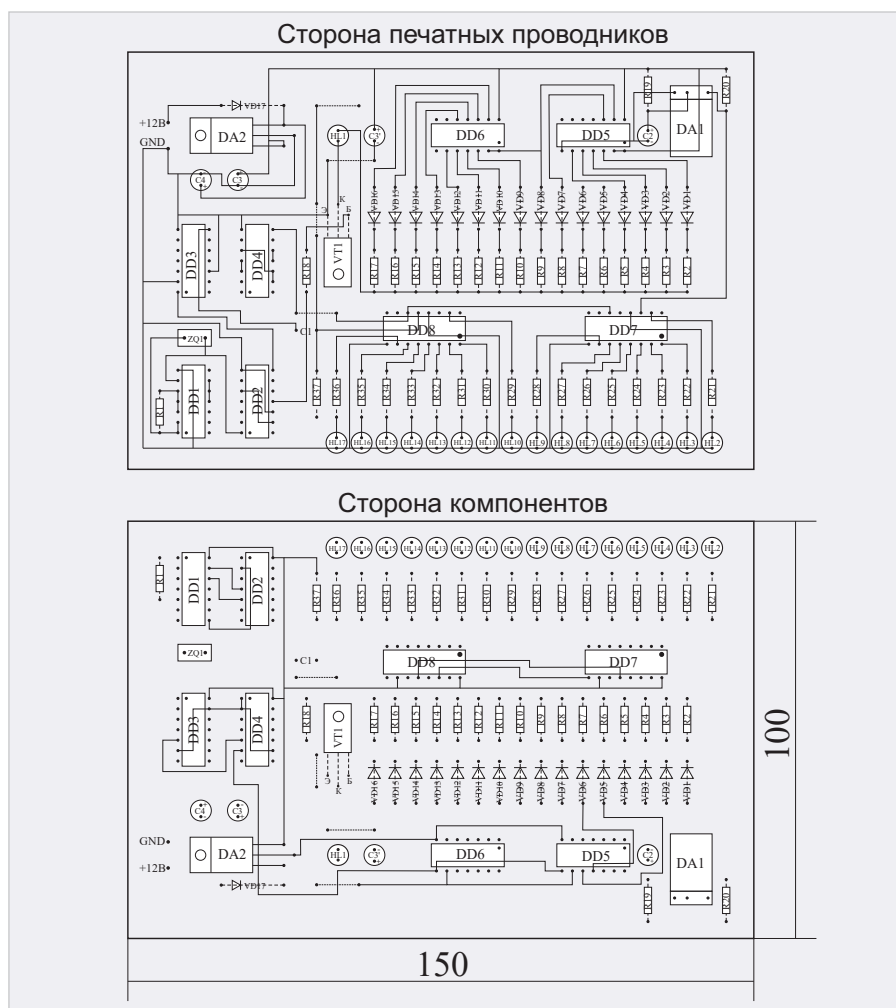


Рис. 3. Инфракрасный радар-парковщик. Схема печатной платы

или их импортные аналоги 74НСхх или 74АСхх. Маломощные кремниевые диоды могут быть из серий КД521, КД522, 1N4148 или аналогичные. Резисторы применены типа МЛТ-0,125. Оксидные конденсаторы могут быть типа К50-35 или импортные. Интегральный пятивольтовый стабилизатор использован типа КР142ЕН5А. Фотоприёмник DA1 может быть типа TFMS5360 или аналогичный на частоту 36 кГц от телевидеоаппаратуры.

В настройке и отладке устройство не нуждается и, при использовании исправ-

ных деталей, начинает работать сразу же при включении. Единственное, что может потребоваться – это подобрать сопротивления резистивной линейки R2...R17 при условии использования ИК-светодиода, рассчитанного на больший рабочий ток, к примеру, SFH485. В таком случае можно получить ещё большую дальность работы на отражение.

Литература

1. Абрамов С.М. Инфракрасный радар // Радиоконструктор. 2004. № 1.



ЗУ для Li-Ion АКБ 6F22 («Крона»)

Сергей Глибин (г. Москва)

Предлагается вариант ЗУ на интегральных стабилизаторах серии K142ЕН3, K142ЕН4 для заряда Li-Ion аккумуляторных батарей 6F22 («Крона») с номинальным выходным напряжением 7,4 В.

Владельцы большинства моделей малогабаритных цифровых мультиметров в качестве штатного источника питания обычно используют гальваническую батарею типоразмера 6F22 с номинальным выходным напряжением 9 В, более известную у нас в просторечии под названием «Крона».

Сейчас далеко не каждый знает, что это название произошло от бренда солевой батареи, выпускавшейся предприятием «Крона» во времена СССР с надписью «Крона» на корпусе батарей. От них питалось большинство отечественных малогабаритных (карманных) приёмников тех лет. Приёмники остались в прошлом, а название батареи продолжает жить.

Для её замены на аналогичные Ni-Cd или Ni-MH (далее никелевые) аккумуляторные батареи (АКБ) было опубликовано немало статей о зарядных устройствах (ЗУ), различных по своим алгоритмам заря-

да и сложности схемных решений. В настоящее время, с появлением в широкой продаже Li-Ion АКБ типоразмера 6F22 с номинальным напряжением 7,4 В, ёмкостью 500–650 мА·ч (и более), становится целесообразным их приобретение и установка взамен никелевых благодаря низкому саморазряду, большому количеству циклов заряд/разряд, малому внутреннему сопротивлению и отсутствию эффекта памяти [1]. Конечно, при этом сразу возникает потребность в подходящем ЗУ с особым алгоритмом работы, состоящем из двух этапов: сначала – CC (англ. Constant Current – постоянный ток), затем – CV (Constant Voltage – постоянное напряжение) [1].

Схема ЗУ приведена на рис. 1.

Основные технические параметры:

- напряжение питания, 12 В;
- зарядный ток на этапе CC, 250 мА;
- выходное напряжение на этапе CV, 8,4 В;
- конечный зарядный ток, 30 мА.

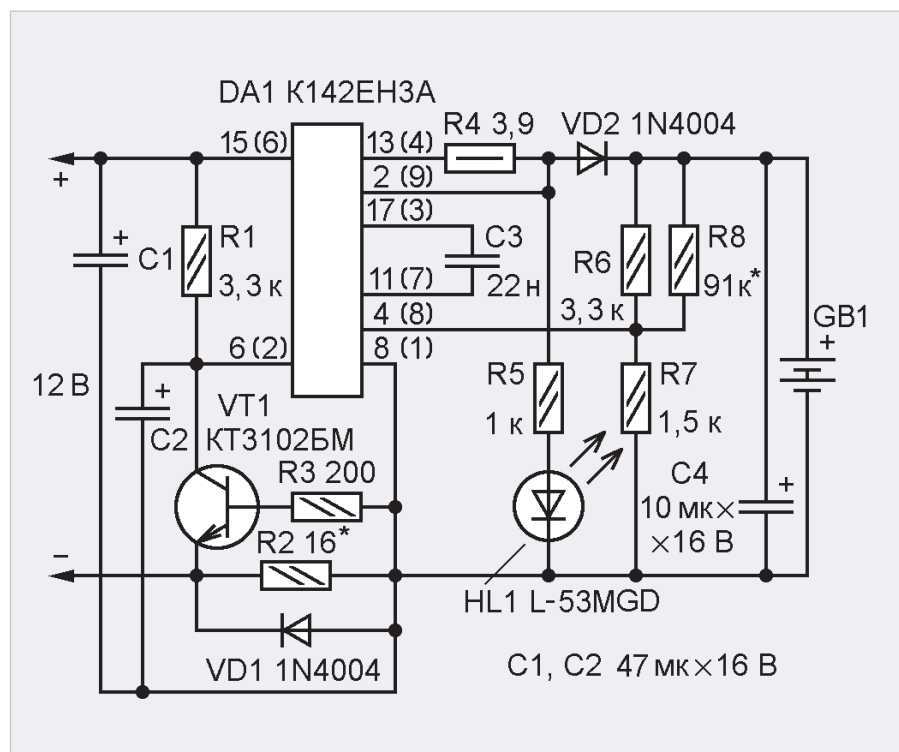


Рис. 1. Схема зарядного устройства

ЗУ собрано на микросхеме DA1 K142ЕН3А. Микросхемы серии K142ЕН3, K142ЕН4 [2] способны поддерживать заданное выходное напряжение в ЗУ литиевых аккумуляторов на этапе CV с достаточно стабильным уровнем. Резистивный делитель R6R7R8, задающий выходное напряжение на этапе CV, подключён к выходу микросхемы через диод VD2. Диод отключает АКБ GB1 по окончании заряда от выхода микросхемы. Наличие встроенных узлов защиты в микросхеме для ограничения максимального тока нагрузки обеспечивает постоянство зарядного тока на этапе CC. Резистор R4, задающий зарядный ток на этапе CC, включён по типовой схеме [2]. Предусмотрено автоматическое отключение АКБ GB1 от ЗУ по достижении конечного зарядного тока. Для автоматического отключения применён узел на транзисторе VT1. По достижении конечного зарядного тока, заданного резистором R2, транзистор закрывается, и на вход выключения микросхемы DA1 (вывод 6) через резистор R1 поступает напряжение более 0,9 В. Заряд АКБ прекращается. Диод VD1 ограничивает падение напряжения на резисторе R2 до уровня не более 0,8 В.

Печатная плата и расположение элементов ЗУ приведены на рис. 2. Микросхема DA1 K142ЕН3А заменяема на K142ЕН3Б, K142ЕН4А, K142ЕН4Б, 142ЕН3, 142ЕН4 или на KP142ЕН3 в пластмассовом корпусе 1102-9-5 (SIP-9). Последняя имеет другое расположение выводов. Нумерация её выводов указана на рис. 1 в скобках, а печатная плата и расположение элементов приведены на рис. 3.

Следует отметить, что при заряженной АКБ, когда транзистор VT1 закрывается и формирует сигнал выключения на выводе 6 микросхемы DA1, светодиод HL1 L-53MGD или его аналог гаснет не до конца, продолжая светить с малой яркостью. Это связано с тем, что остаточное напряжение на верхнем выводе резистора R5 превышает 2 В. Для сверхъярких светодиодов малой мощности требуется большее прямое напряжение для свечения, поэтому они будут гаснуть полностью. При их установке яркость свечения в рабочем режиме ЗУ уста-

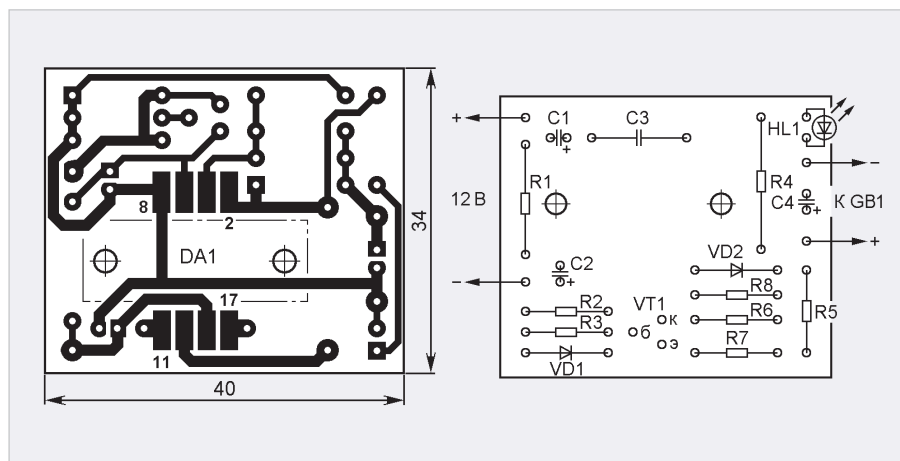


Рис. 2. Печатная плата 3У и расположение его элементов

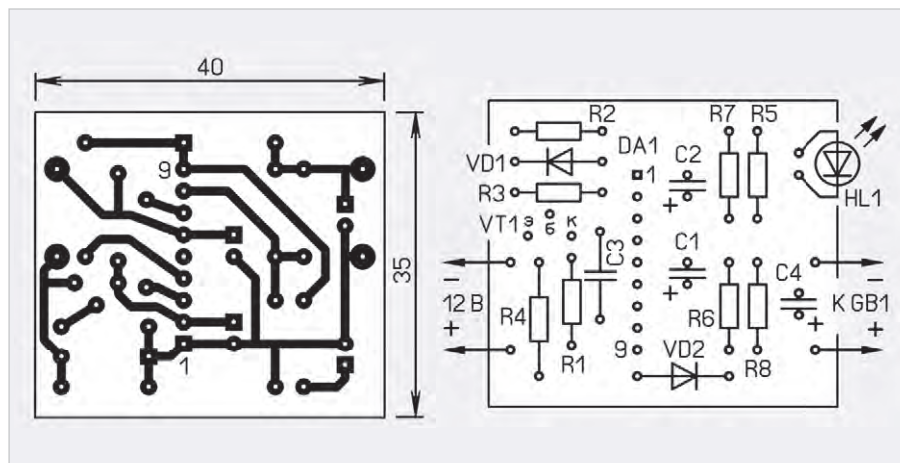


Рис. 3. Печатная плата и расположение элементов на KP142EN3

навливают подбором номинала резистора R5.

Фото собранного устройства показано на рис. 4 и рис. 5. Теплоотвод снят со старой компьютерной видеокарты. Он закреплён на крепёжных пластинах микросхемы DA1 двумя винтами M3 через сквозные отверстия. Для исключения деформации корпуса микросхемы под пластинами со стороны печатной платы установлены две шайбы, а со стороны теплоотвода – два вкладыша из алюминия размером 9×9 мм и толщиной 3–4 мм с отверстиями диаметром 3 мм. Для лучшего теплового контакта на вкладыши снизу и сверху нанесён тонкий слой теплопроводящей пасты.

После сборки перед эксплуатацией необходимо установить значение выходного напряжения 3У для этапа CV. Установку проводят без подключения АКБ. Сначала отрезком монтажного провода замыкают выводы конденсатора C2. Затем подают напряжение питания 12 В и подбором резистора R8 устанавливают выходное напряжение,

равное $8,4 \pm 0,1$ В. Возможно, понадобится небольшая корректировка номинала резистора R6 или R7 из-за разброса опорного напряжения микросхем, достигающего $\pm 10\%$ [2]. По завершении установки отрезок провода удаляют. 3У готово к работе.

Конечный зарядный ток (I_k) можно изменить. Сначала рассчитывают по закону Ома сопротивление нагрузки, подключаемой вместо АКБ:

$$R = U_{\text{вых}} / I_k.$$

Для конечного тока 30 мА оно равно 280 Ом. Подключают нагрузку сопротивлением, полученным при расчёте, к выходу 3У. Вместо резистора R2 устанавливают подстроечный сопротивлением 30...50 Ом. Подают питание и движком подстроечного резистора, плавно уменьшая его сопротивление, добиваются гашения или резкого падения яркости свечения светодиода HL1. Далее удаляют подстроечный резистор, измеряют его сопротивление и устанавливают постоянный резистор из имеющихся в распоряжении с сопротивлением, более близким к измеренному. С погрешностью



Рис. 4. Фото собранного устройства

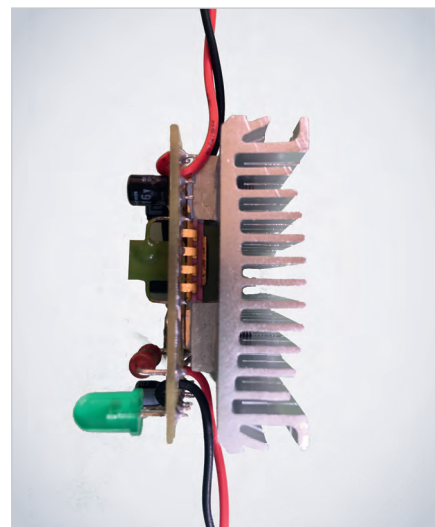


Рис. 5. Теплоотвод для устройства от видеокарты

5...10% резистор можно определить из формулы

$$R2 = 0,6 / (I_k + 0,01).$$

Ток I_k подставляют в амперах, добавочное число 0,01 учитывает ток потребления микросхемой (в амперах).

Зарядный ток на этапе CC изменяют подбором сопротивления резистора R4, подключив к 3У разряженную АКБ, или из формулы

$$R4 = 1,25 / I_z - 0,5 - 0,023 (U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}) / I_z,$$

где I_z – зарядный ток в амперах.

Литература

1. Хрусталёв Д.А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003. 224 с.
2. Игнатьев Ю. Микросхемы K142EN3 и K142EN4. Справочный листок // Радио. 1986. № 4. С. 61; № 5. С. 59, 60; № 6. С. 61.

Разработка автоматизированной системы управления балансировкой шлифовальных кругов на основе цифрового двойника

Елизавета Каширская, Аслиддин Назриев

Актуальная задача металлообработки вообще и обработки шлифованием в частности – обеспечение заданного уровня качества выпускаемых изделий, для чего необходима своевременная балансировка шлифовального круга. Экспериментальные исследования, проведённые авторами данной работы, показали, что автоматизация балансировки шлифовальных кругов на основе цифрового двойника в процессе его работы помогает устранить дисбаланс во время шлифования, при этом повышая качество работы и экономя ресурсы и время. На основе данного заключения был разработан цифровой двойник для разных станков балансировки шлифовальных кругов. В статье проведён обзор применения цифрового двойника технологического процесса шлифования и балансировки шлифовальных кругов. Определены причины возникновения вибрации при круглом шлифовании, также были изучены методы борьбы с ними для повышения точности обработанной детали. Поставлена и решена задача разработки системы управления и цифровым двойником технологического процесса.

Введение

В отрасли металлообработки один из важнейших процессов – это шлифование деталей. Возникающие вследствие неуравновешенности круга динамические силы вызывают вибрацию шпинделя станка, вследствие чего ухудшается качество шлифуемой поверхности, чрезмерно растёт износ подшипников и круга, уменьшается срок службы станка.

На геометрическую точность обработки, в первую очередь, влияет уравновешенность шлифовального круга. Тщательная балансировка шлифовальных кругов гарантирует длительную и безопасную эксплуатацию станка и

высокое качество выпускаемых заготовок.

Основная часть

Разработка автоматизированной системы управления балансировкой шлифовальных кругов на основе цифрового двойника

Цифровой двойник (ЦД) технологического процесса позволяет управлять процессом балансировки и предсказывает, когда круг разбалансируется, а также ЦД может предсказывать, через какой промежуток времени нужно сделать правку круга (рис. 1). ЦД следит

за количеством материала, и перед тем как материал будет заканчиваться, ЦД даст визуализированное сообщение о том, что нужно пополнить материал на складе. Также идёт запись в базу данных (рис. 2), сколько было израсходовано и сколько осталось на складе материала.

Входными значениями ЦД являются (рис. 3):

- состояние станка;
- готовность шлифовального круга;
- количество используемых деталей на складе.

Выходными значениями ЦД:

- состояние станка;
- готовность шлифовального круга к работе;
- количество правок;
- остаток и сколько было израсходовано материала на складе;
- дисбаланс круга;
- колебания шлифовального круга.

Разработка программного обеспечения системы управления

Система управления – это совокупность элементов и набор средств, позволяющих собирать сведения о контролируемом объекте и средствах воздействий, которые были направлены на поведение объекта для достижения поставленных целей.

Устройство для автоматической балансировки шлифовальных кругов состоит из электронного измерительного прибора с датчиком колебаний.

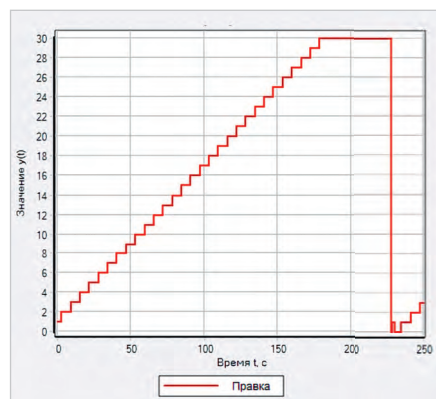


Рис. 1. Авария и правка шлифовального круга

Редактор базы данных сигналов SDB

№	Категория	Состояние сети	№	Группы сигналов	Группа	Свойства
0	Станок1		1	Круг1	Имя	Название
1	Станок2		2	Круг2	1	РАЗ
2	Станок3		3	Круг3	2	C
					3	B
					4	PR
					5	V
					6	HE
					7	KT
					8	IZ
					9	O

№	Имя	Название	Тип данных	Формула	Значение
1	РАЗ	Размер круга в мм	Текст	150x16x32	
2	C	Температура круга	Веществен...	0	
3	B	Разбаланс	Веществен...	0	
4	PR	Правка	Веществен...	30	
5	V	Максимальная скорость круга	Веществен...	35	
6	HE	Класс неуравновешенности	Веществен...	3	
7	KT	Класс точности	Текст	6	
8	IZ	Израсходовано кругов	Веществен	12	
9	O	Осталось на складе	Веществен	10	

Рис. 2. База данных шлифовальных станков и кругов

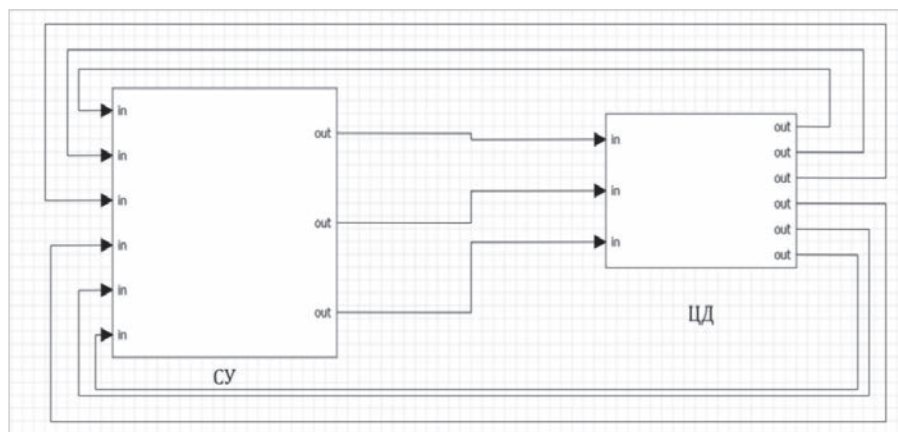


Рис. 3. Структурная схема цифрового двойника балансировки

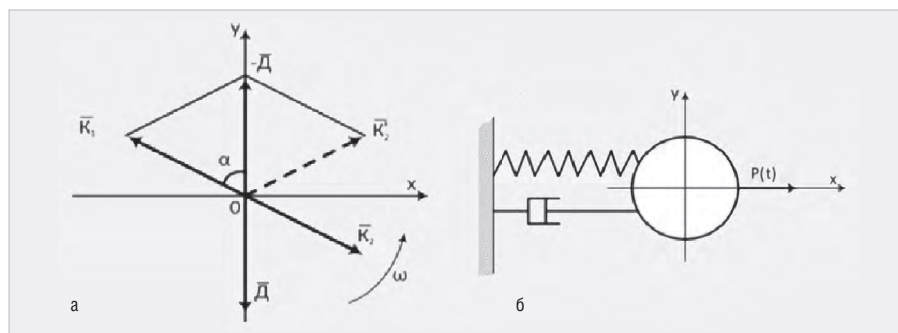


Рис. 5. Схема сил, действующих в плоскости центра тяжести круга в начальный момент балансировки (а, б)

Неуравновешенность шлифовального круга определяется измерительным устройством.

Для разработки системы управления была создана математическая модель.

Моделирование процесса балансировки

На качество обработки и точность влияют погрешности, возникшие вследствие дисбаланса шлифовального круга. Балансирующие устройства, разрабатываемые в мире, позволяют балансировать шлифовальный круг в процессе обработки деталей. Возникает вопрос о влиянии балансировки на качество поверхности обрабатываемой детали.

Образующуюся при круглом шлифовании поверхность можно рассматривать как след движения одной производящей линии по другой: образующей по направляющей. Производящие линии задаются формирующими движениями, точность которых обусловлена классом точности станка.

Для оценки этого влияния необходимо проанализировать весь частотный спектр относительных колебаний с целью качественной оценки влияния отдельных частот на характер формообразования и, в конечном итоге, на

точность обработки (размер, продольную и поперечную геометрию).

Для создания модели процесса балансировки шлифовального круга нужно построить траекторию движения центра масс системы непосредственно во время работы шлифовального круга. Узел регулировки масс (рис. 4) представляет собой два кольца с регулируемыми массами 1 и 2, помещённые в центре тяжести шлифовального круга на плоскости 3, в пазу 4.

Производится балансировка поворотом колец поочередно 1 и 2 в сторону снижения дисбаланса при последовательном подключении привода к первому кольцу, затем вновь ко второму и т.д. Дисбаланс снижается со временем до требуемого уровня. Задачей балансировки является создание вектора силы, равного вектору дисбаланса и противоположно направленного ему, за счёт поворота регулируемых масс 2 и 1. На рис. 5а показана схема действующих сил в плоскости центра тяжести круга в начальный момент балансировки. Здесь K_1 и K_2 – дисбалансы регулируемых масс 1 и 2, а Δ – дисбаланс шлифовального круга. Если рассмотреть случай, где показано $K_1 = K_2 = \Delta$ и $\alpha = 60^\circ$, то очевидно, что получить замкнутую систему трёх данных векторов (т.е. отба-

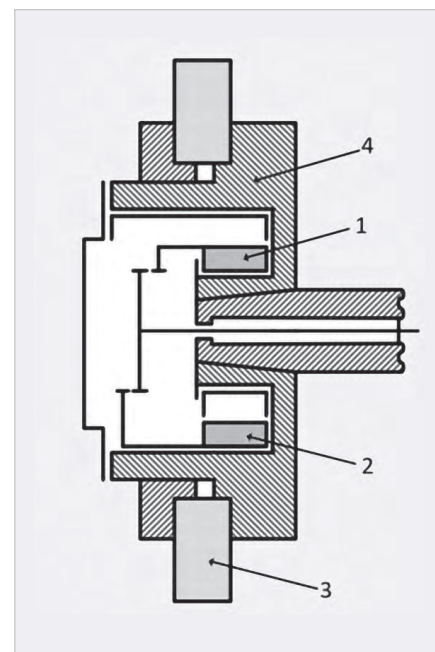


Рис. 4. Узел регулировки масс балансира

лансировать круг) можно поворотом K_2 на 60° против часовой стрелки. Понятно, что сила $P(t)$, действующая на вращающийся шпиндель шлифовального круга, изменится за время поворота K_2 от $P(t) = \Delta$ до $P(t) = 0$.

На рис. 5б представлена упрощённая модель колебательной системы шпинделя при воздействии переменной силы $P(t)$. Поскольку наиболее важными являются колебания в направлении радиальной силы резания, рассматриваются перемещения шпинделя вдоль оси X , совмещённой с направлением радиуса шлифовального круга.

Уравнение движения расчётной массы для этой схемы имеет вид:

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + p^2x = \frac{2K_1}{m} \cos\left(\alpha + \frac{\omega t}{2}\right), \quad (1)$$

где b – коэффициент затухания колебаний системы;

x – расстояние между центром масс шлифовального круга и мгновенным центром его вращения;

c – жёсткость шпинделя;

$p = \sqrt{\frac{c}{m}}$ – частота собственных колебаний;

K_1, K_2 – дисбалансы регулирующих масс;

m – суммарная масса шлифовального круга и шпинделя;

α – угол между D, K_1 и K_2 ;

t – время;

ω – разность между угловой скоростью регулирующей массы и угловой скоростью круга.

Работа была реализована с помощью программы SimInTech в структурной схеме, показанной на рис. 6.

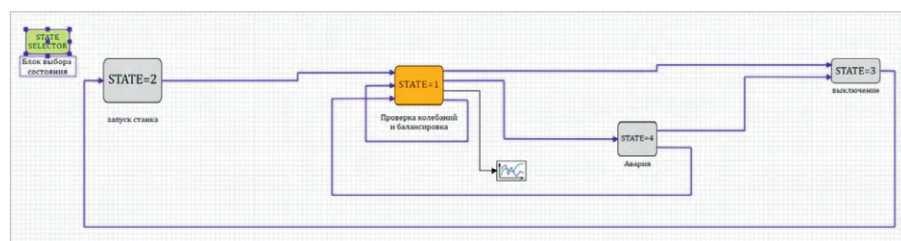


Рис. 6. Структурная схема системы управления

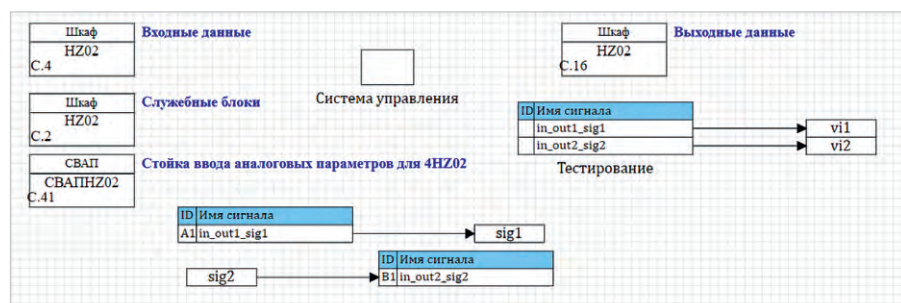


Рис. 7. Система управления на стенде завода «ФИЗПРИБОР»

Программная часть системы управления

На рис. 7 показана программа системы управления. Система управления была разработана с помощью математической модели.

Описание программных блоков:

1. блок «Входные данные» собирает значения с датчиков и передаёт в программу;
2. блок «Служебные блоки» – функциональный блок «БКИН», который показывает напряжение на выходе из блока;
3. блок «Стойка ввода аналоговых параметров для 4HZ02» не используется в системе;
4. блок «Система управления» – схематичное представление системы управления;
5. блоки из базы данных отправляют на другую машину параметры, которые получают с цифрового двойника;
6. блок «Выходные данные» передаёт сигналы из программы на датчики.

Визуализация цифрового двойника

Цифровой двойник будет делать четыре предсказания:

- сколько материала осталось на складе (будет учитываться, сколько шлифовальных кругов было использовано и сколько осталось);
- через какое время необходимо сделать правку (правка круга будет зависеть от того, насколько часто происходила балансировка круга);
- когда наступит дисбаланс круга;

- готовность круга к работе (шлифовальный круг с каждой правкой становится меньше по размерам, примерно на 5 процентов от начального состояния).

ЦД будет выдавать значения дисбаланса круга, а система управления будет исправлять дисбаланс.

На визуализации показана модель ЦД, которая выполняет балансировку шлифовального круга (рис. 8 смотрите в электронной версии журнала). На визуализации есть кнопка включения и выключения ЦД, также есть лампа, которая загорается при аварии, и кнопка для сброса аварийного режима. Дополнительно показан график правки и окно, где выводится количество правок за весь жизненный цикл шлифовального круга, также есть кнопка сброса правки. Кнопка сброса правки нужна для обнуления значения правки – это будет происходить, если система автоматически не будет сбрасывать значение после выполнения замены шлифовального круга. Состояние круга зависит от его правки, при каждой правке шлифовальный круг в среднем теряет 5 процентов от своих предыдущих размеров. Окно «Состояние станка» показывает число 1, если станок включен, и значение 0, если станок выключен. Информацию о станке ЦД получает от системы управления. Окно «Остаток на складе» и «Израсходовано материала» берётся из базы данных, которая ведёт подсчёт количества материала, база данных показана на рис. 2. Модель балансировки показывает, на какой угол происходит откло-

нение шлифовального круга. Примеры работы ЦД представлены на рис. 8, 9 (смотрите в электронной версии журнала).

Визуализация системы управления (СУ)

На визуализации СУ показана балансировка шлифовального круга, на которой будет загораться сигнал о том, включён или выключен станок. Показывается, в каком состоянии находится балансир (в работе/включен/готов), также есть окна, на которых виден текущий, допустимый и программный дисбаланс круга. Кнопки выбора режима работы балансировки нужны для выбора ручного или автоматического режима, также есть лампочка аварии и кнопка сброса аварии, сигнал правки. Измерения колебаний показывает шкала, где отклонение может быть на 3 градуса вправо и 3 градуса влево. Пример работы СУ представлен на рис. 10, 11 (смотрите в электронной версии журнала).

Заключение

В процессе работы были изучены принципы технологического процесса шлифования деталей типа «вал». В результате работы был проведён сравнительный анализ оборудования и спроектированы система управления и цифровой двойник процесса балансировки шлифовальных кругов. Предложенный цифровой двойник прогнозирует и мониторит входные и выходные данные технологического процесса балансировки шлифовального круга, а также записывает в базу данных значения, которые обрабатывает цифровой двойник. Применение разработанной системы позволит добиться более точной обработки деталей типа «вал» и тем самым снизить затраты и время на обработку деталей.

Какими бы точными ни были станки, процесс шлифования всегда сопровождается различными возмущениями, поэтому дальнейшее повышение точности шлифования возможно лишь с применением автоматического управления и диагностики, чем и определяется актуальность данного исследования. Для диагностики процесса была предложена схема расчёта, которая позволила теоретически исследовать поведение неуравновешенного шлифовального круга в процессе работы с учётом упругих свойств абразива.

Результаты моделирования могут быть использованы для решения задач оптимизации процесса шлифования, прогнозирования качества выпускаемых изделий и проектирования систем автобалансировки. В результате тестирования прототип системы продемонстрировал стабильную и корректную работу. Выявленные недостатки были оперативно устранены. Однако системе можно развивать в дальнейшем для большего количества выполняемых задач.

Литература

1. *Kashbirskaia E.N., Kurnasov E.V., Kholopov V.A., Shmeleva A.G.* Methodology for assessing the implementation of the production process // 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS), IEEE. P. 232–235.
2. *Kashbirskaia E.N., Kholopov V.A., Shmeleva A.G., Kurnasov E.V.* Simulation model for monitoring the execution of technological processes // 2017 IEEE II International Conference on Control in Technical Systems (CTS), IEEE. P. 307–310.
3. *Zarubin G., Deev K.A.* Process model of digital manufacturing // Russian Engineering Research. 2017. V. 37. M. 8. P. 714–719.
4. *Byrne G., Abearne E., Cotterell M., Mullany B., O'Donnell G.E., Sammler F.* High Performance Cutting (HPC) in the New Era of Digital Manufacturing – A Roadmap. *Procedia CIRP* 46:1–6 // URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.038>.
5. *Pan X., Lu J., Huo J., Gao J., Wu H.* A Review on Self-Recovery Regulation (SR) Technique for Unbalance Vibration of High-End Equipment. *Chinese J Mech Eng* 33:89 // URL: <https://doi.org/10.1186/s10033-020-00514-7>.
6. *Okita T., Kawabata T., Murayama H., Nishino N., Aichi M.* A new concept of digital twin of artifact systems: Synthesizing monitoring/inspections, physical/numerical models, and social system models. *Procedia CIRP* 79:667–672 // URL: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.02.048>.
7. *Kashbirskaia E.N., Kholopov V.A., Antonov S.V., Pimenov A.V.* Transient oscillatory processes at the balancing device operation of abrasive wheel grinder. *J Phys Conf Ser* 1679:022070 // URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1679/2/022070>.
8. Московский завод «ФИЗПРИБОР». Программно-технические комплексы средств автоматизированного управления ПТК САУ: описание комплекса технических средств // Документация продукта. 2017. С. 20–40.
9. ГОСТ Р 57412-2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий.
10. *Генис Б.М.* Шлифование на кругошлифовальных станках // Б.М. Генис, Л.Ш. Доктор, В.С. Терган. М.: Высш. шк., 1965. 57–59 с.
11. *Степанин С.С.* Цифровой двойник как инструмент подготовки производства // Сб. тезисов докладов XLIV Междунар. молодёжной научн. конф. «Гагаринские чтения – 2018». М.: НИУ МАИ, 2018. 245 с.



НОВОСТИ МИРА

ЗАКРЫТЫЙ АМЕРИКАНЦАМИ РОССИЙСКИЙ ЗАВОД JABIL КУПИЛА КОМПАНИЯ «АКВАРИУС»

Российский производитель серверов и СХД «Аквариус» приобрёл завод американской компании Jabil в Твери. Помимо этого, компания забрала к себе несколько десятков уволенных сотрудников с производства, среди них технологи, инженеры, операторы и т.д. Всего на заводе площадью 27 тыс. кв. м планируется организовать до 1,5 тыс. рабочих мест. Производство серверов, СХД, ПК, ноутбуков и планшетов на нём начнётся в ближайшее время.

Общая площадь производственного комплекса в Твери составляет 27 тыс. кв. м. Это в два раза больше комплекса «Аквариуса», располагающегося в Ивановской обл. (14 тыс. кв. м). В ближайшие месяцы на новой площадке будет развёрнуто производство (участки конвейерной сборки, роботизированные линии сборки оборудования, а также автоматические линии сборки и монтажа печатных плат). На заводе будут выпускать всю производимую «Аквариусом» продукцию: серверы, системы хранения данных (СХД), персональные компьютеры, ноутбуки, планшеты, моноблоки, принтеры и МФУ. Стоимость завода в компании не раскрывают. Оборудование на нём будет только «Аквариуса».

«Это позволит до конца года увеличить производственные мощности «Аквариуса» в 2,5 раза: до 2,5 млн устройств», – расска-

зал Алексей Калинин, председатель совета директоров компании. О покупке производственно-логистического комплекса «Аквариусом» стало известно в марте 2022 г. Инвестиции в проект составят 5 млрд руб.

На заводе Jabil в Твери с 2009 г. выпускалась потребительская электроника, в частности, телевизоры и дисплеи, телекоммуникационное и сетевое оборудование, приставки для приёма сигналов спутникового и цифрового телевидения, а также POS терминалы и промышленное оборудование. На заводе Jabil в том числе выпускали ЖК-телевизоры Sony, а также цифровые IPTV-приставки Cisco.

В России у компании Jabil была налажена обширная партнёрская сеть с точками сбора оборудования на гарантийное и послегарантийное обслуживание, включая Москву, Санкт-Петербург, Калининград, Казань, Самару, Ростов и пр. Ремонтный центр в Твери также обслуживал бытовую и промышленную электронику. Об этом в одном из своих интервью заявил Филипп Костемаль (Philippe Costemale), глава Jabil в России.

Корпорация Jabil Circuit была основана в Мичигане в 1966 г., это третья по величине компания в мире, которая занимается контрактной сборкой сложной электроники. У Jabil размещены сотни заводов в 30 странах мира, на которых работает больше 180 тыс. сотрудников. Конечные потребители ком-

пании крупные западные корпорации, среди которых Amazon, Apple, Cisco Systems, Hewlett-Packard, Ericsson, Tesla и т.д.

С февраля 2022 г. «Аквариус» официально принадлежит ИТ-интегратору «Смарт технолоджис». Это стало следствием многомесячной битвы за контроль над «Национальной компьютерной корпорацией» (НKK) между семьей Калининых (Алексея и его отца Александра, основателя и акционера компании) и группой акционеров Леонидом Гольденбергом и Евгением Лачковым, а также президентом (на тот момент) НKK Денисом Фроловым, в декабре 2021 г. было заключено мировое соглашение. Его исходом стала договорённость о продаже крупнейшего актива НKK – группы «Аквариус» – «Смарт технолоджис», подконтрольного Калинину.

Согласно базе ЕГРЮЛ, 99% долей ООО «Аквариус» с 27 декабря 2021 г. принадлежит ООО «Смарт холдингу», 1% – Владимиру Степанову и менее 1% остаётся у Александра Калинина. В свою очередь, с 16 февраля 2022 г. 64% долей ООО «Смарт холдинга» находятся у ООО «Смарт технолоджис». Остальные 33% принадлежат Александру Калинину и 3% – группе «Аквариус». Наконец, ООО «Смарт технолоджис» на 40% принадлежит Алексею Калинину, а остальные 60% в равных долях распределены между Олегом Кот, Надеждой Бланкет и Антоном Ефремовым.

www.russianelectronics.ru

Прикладное применение комплексных нейронных сетей

Сергей Куликов

На сегодняшний день нейронные сети имеют очень широкое распространение по всему миру. Они также используются во всех сферах деятельности человека и вместе с этим принесли новый способ обработки, анализа и прогнозирования данных.

Введение

Алгоритмы обучения оказали огромное влияние на многие области компьютерных наук и нашли множество применений в различных областях, таких как компьютерное зрение, биоинформатика, передвижение роботов и распознавание речи. Эти алгоритмы избегают ручного решения конкретных проблем, предпочитая вместо этого «учиться» и адаптироваться в соответствии с набором примеров, называемых обучающим набором.

Алгоритм обучения состоит из грубой модели и метода настройки параметров в соответствии с обучающим набором. Нейронные сети являются примером такой модели. Они состоят из множества взаимосвязанных простых вычислительных блоков, комбинация которых приводит к сложной функции. Эта модель была впервые представлена в 1940-х годах и периодически изучалась в последующие годы.

Мы же рассмотрим вариацию модели СНН (свёрточная нейронная сеть) с комплексными входными параметрами. Комплексные числа уже давно доказали свою полезность для обработки изображений (например, преобразование Фурье является комплексным) и были рассмотрены в контексте, свя-

занном с нейронной сетью. Например, эффекты синхронизации существуют в человеческом мозге и, как предполагается, играют ключевую роль в зрительной системе. Такие эффекты отсутствуют в основных реализациях нейронных сетей. Так или иначе, комплексные нейронные сети имеют большое значение в наше время.

В этой работе предлагается вариация модели свёрточной нейронной сети (СНН) с комплексными входными параметрами.

Основная часть

Предпосылки работы

На данный момент практическое применение комплексных нейронных сетей не ограничивается одним коротким списком. Существует множество причин, по которым комплексные сети сильно востребованы.

Во многих областях применения, таких как беспроводная связь или обработка звука, где комплексные числа возникают естественным образом, существует корреляция между реальной и мнимой частями сложного сигнала. Такие задачи можно решить только используя области частот, для определения которых потребуется комплексная нейронная сеть, обычная веще-

ственная не подойдёт. Также на данный момент нет другого метода для описания фазовых явлений без комплексных чисел.

Если значение величины и фазы для цели обучения известны априори, то разумнее использовать комплекснозначную модель, поскольку в ней ограничений вводится больше, чем в модели с реальным значением.

Также комплексные нейроны превосходят вещественные тем, что они могут обучаться линейно в N-мерном пространстве, в котором они определены. Это очень важно, так как позволяет обойтись без нелинейных проекций на пространство, которое определено с большей размерностью.

А если оценить эффективность обучения одного нейрона, вещественного и комплексного, то победит в этом сравнении комплексный нейрон. Это связано с тем, что функциональность одного комплексного нейрона намного больше, нежели у вещественного. Поэтому комплексная нейронная сеть того же размера, что и вещественная, будет обучаться быстрее.

Основная идея

Комплекснозначная или просто комплексная нейронная сеть (КНС) – это сеть, которая основывается на комплексных числах: комплексными являются входные данные, веса и функция активации.

Процесс обучения с комплексным методом (backpropagation) предметной области аналогичен процессу обучения

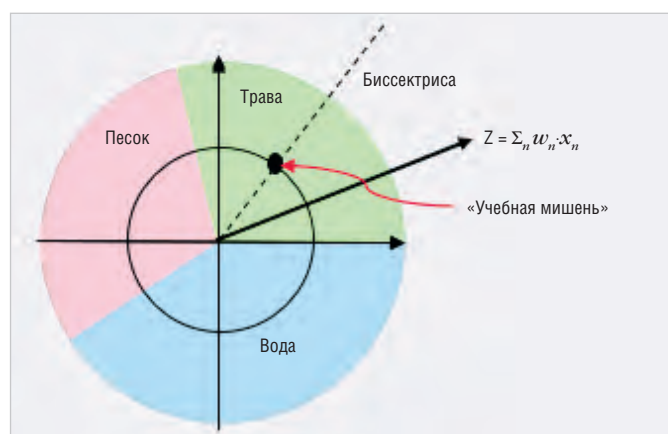


Рис. 1. Пример комплексной функции активации

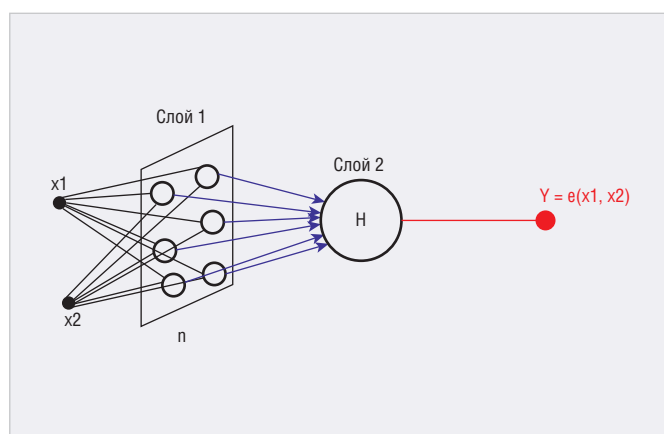


Рис. 2. Схематическое отображение составляющих искусственной КНС Фурье

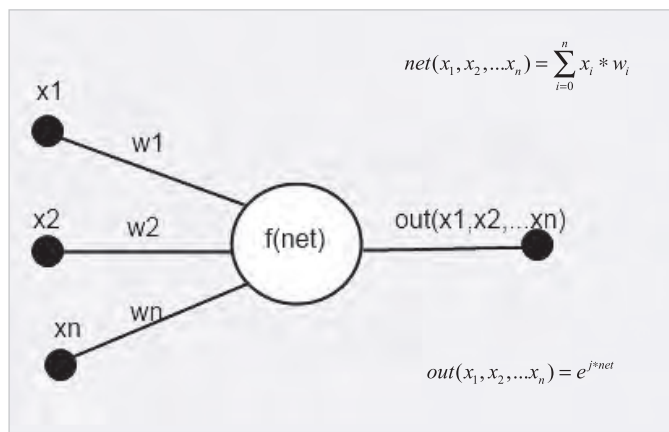


Рис. 3. Схема отдельного комплексного нейрона скрытого слоя

в реальной предметной области. Также ошибка, вычисленная после прохода (forward pass) НС, передаётся обратно каждому нейрону в сети, а веса корректируются в обратном проходе.

Рассмотрим комплексную модель как обобщение вещественных СНН, которая обрабатывает комплексные входные данные и веса. Также разберём простой пример преимущества комплексных нейронных сетей над обычными.

Методика работы

Для упрощения преобразований будут использованы в примере следующие методы.

1. Преобразования Фурье.
 2. Разложение функций в ряд Фурье (формулы):
- комплексный ряд Фурье от одной переменной:

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \times e^{jnx}; \quad (1)$$

- формула ряда Фурье от двух независимых переменных:

$$f(x_1, x_2) = \sum_{m, n=-\infty}^{\infty} C_{m, n} \times e^{j(nx_1 + mx_2)}. \quad (2)$$

Общая формула ряда Фурье для функций от «k» переменных:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{n_1, \dots, n_k=-\infty}^{\infty} C_{n_1, \dots, n_k} \times e^{j \sum_{i=1}^k n_i x_i}. \quad (3)$$

3. Прогнозирование временных рядов с заданной точностью.

Одна из первых работ по описанию комплексной функции активации была выполнена Наумом Айзенбергом. Согласно его концепции, многозначный нейрон (МН) – это нейронный элемент с n входами и одним выходом, лежащим на единичном круге (пример на рис. 1), и с комплекснозначными весами. Отображение описывается следующим образом:

$$(x_1, \dots, x_n) = f(w_0 + w_1 x_1 + \dots + w_n x_n). \quad (4)$$

Здесь x_i – это комплексные переменные.

Краткое содержание

В литературе нет единого мнения о наиболее подходящей функции активации для КНС. Основное требование состоит в том, чтобы иметь нелинейную функцию, которая не подвержена взрыву или исчезновению градиентов во время обучения.

Если взять функцию сигмовидной активации прямого распространения (forward pass), то окажется, что она неоптимальна для многих видов прикладных задач. Возьмём пример распознавания двоичных растровых изображений с использованием преобразований Фурье.

После таких преобразований изображение будет инвариантным к следующим трансформациям: изменению положения, изменению размера и вращению, что позволит нам правильно обучить комплексную нейронную сеть.

В результате расчётов получается комплексный вектор.

Другой пример – прогноз временных рядов с определённой точностью. Сети прямого распространения с функцией сигмоидальной активации не позволяют предсказать ошибку по количеству скрытых нейронов. Чтобы предсказать эту ошибку, потребуется использовать некоторый ряд для скорости сходимости, для которой уже выведены формулы расчёта. В этом примере будет использоваться в качестве такового ряд Фурье.

Архитектура

Разберём архитектуру КНС, её слои, веса и их смысл.

На изображении (рис. 2) схематично показываются составляющие искусственной КНС Фурье. После входных данных $x_1, x_2, \dots, x_n$ находится скрытый слой, который является, по сути, матрицей из $m \times n$ комплексных нейронов. Где m – это кол-во дескриптов

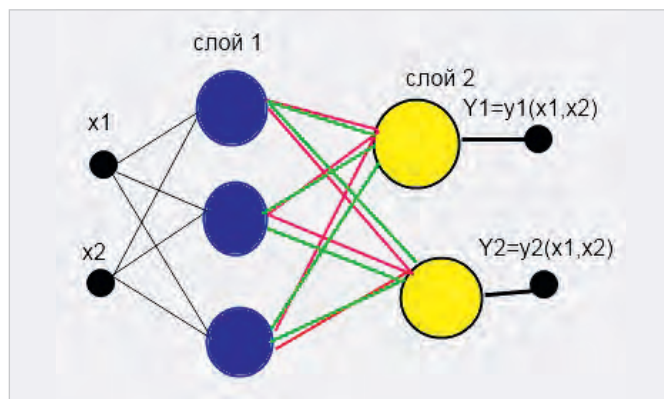


Рис. 4. Результат составления матрицы КНС с уменьшенным количеством нейронов

ров (нормированные коэффициенты в результате преобразования Фурье), а n – это размер вектора входных данных.

На рис. 3 показана схема отдельного комплексного нейрона скрытого слоя. Где x_i – входные данные, w_i – веса, $f(\text{net})$ – функция активации, $\text{out}(x_i)$ – выходные данные.

Веса, расположенные в первом слое, подразумевают под собой физический смысл частот, а веса, расположенные во втором, имеют значение коэффициентов для ряда Фурье. Следовательно, количество входов для каждого нейрона в выходном слое равно $m \times n$, что совпадает с количеством коэффициентов для ряда Фурье.

Оптимизация структуры

Само создание матрицы – затраты большого количества вычислительных ресурсов. Но мы сможем уменьшить количество нейронов в скрытом слое в n раз. Тогда каждый нейрон в скрытом слое имеет n выходов, если в КНС n входов. Это приводит к изменению количества связей, и именно оно уменьшается в n^2 раз без потери качества аппроксимации функций. Результат составления такой матрицы комплексной нейронной сети можно увидеть на рис. 4.

Принцип работы КНС

Разберём работу этой КНС, записанной в матричной форме (формуле).

Матричная запись функций активаций комплексных нейронов, расположенных в скрытом слое, показана в выражениях 5...7.

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \times e^{jnx} \quad (5)$$

$$f(x_1, x_2) = \sum_{m, n=-\infty}^{\infty} C_{m, n} \times e^{j(nx_1 + mx_2)} \quad (6)$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_k) = \sum_{n_1, \dots, n_k=-\infty}^{\infty} C_{n_1, \dots, n_k} \times e^{j \sum_{i=1}^k n_i x_i} \quad (7)$$

```

public class KNN_Simple {
    ComplexVector input; // Вход
    ComplexVector output; // Выход
    FOut; // Выход скрытого слоя
    Matrix fl; // Матрица весов первого слоя
    ComplexMatrix C; // Матрица весов второго слоя
    int inpN, outpN, hN, n = 0;
    Complex I = new Complex(0, 1); // Мнимая единица

    // Конструктор
    public KNN_Simple(int inpCount, int outpCount, int hCount) {
        inpN = inpCount;
        outpN = outpCount;
        hN = hCount;
        // Инициализация весов случай. образом
        fl = Statistic.rand(inpN, hN);
        C = Statistic.randComplex(inpN * hN, outpN);
    }

    // Вектор-функция активации первого слоя
    public ComplexVector functionActivateLayer(ComplexVector compVect) {
        ComplexVector outp = compVect.Copy();
        for (int i = 0; i < outp.N; i++) {
            outp.Vектор[i] = Complex.Exp(I * outp.Vектор[i]);
        }
        return outp;
    }

    // Выход первого слоя
    void OutputFirstLayer(ComplexVector inp) {
        input = inp;
        FOut = functionActivateLayer(inp * fl);
    }

    // Выход второго слоя
    void OutputOutLayer() {
        List<Complex> outList = new List<Complex>();
        for (int i = 0; i < inpN; i++) {
            outList.AddRange(FOut.Vектор);
        }
        ComplexVector outVector = new ComplexVector(outList.ToArray());
        output = FOut * C;
    }

    // Отклик КНС на входной вектор и возврат результата прохода
    public ComplexVector NetworkOut(ComplexVector inp) {
        OutputFirstLayer(inp);
        OutputOutLayer();
        return output;
    }
}

```

Рис. 5. Код полученной комплексной нейронной сети

В этих выражениях n является размером входного вектора x , m – это размер выходного вектора скрытого слоя y_1 , f – вектор-функция активации, j – это мнимая единица, w – это матрица весов, k – кол-во выходов КНС.

Пример использования

Возьмём, к примеру, классификацию фотографий.

Перед тем как приступить к распознаванию, лучше применить алгоритмы бинаризации, чтобы решение было приведено к общему виду, после чего вектор полностью подаётся в КНС. В нашем случае с сигмоидальной функцией активации вещественная и мнимая составляющие подавались отдельно, после чего вектор распознавался.

Использовались нейронные сети двух типов: сеть прямого распространения с сигмоидальной функцией активации и КНС.

В результате объём полученной обучающей выборки составил 660 комплексных векторов, разделённых на 33 класса, что соответствует количеству символов кириллицы.

Перейдём к самой реализации на языке программирования.

Полученные результаты

Код полученной комплексной нейронной сети показан на рис. 5.

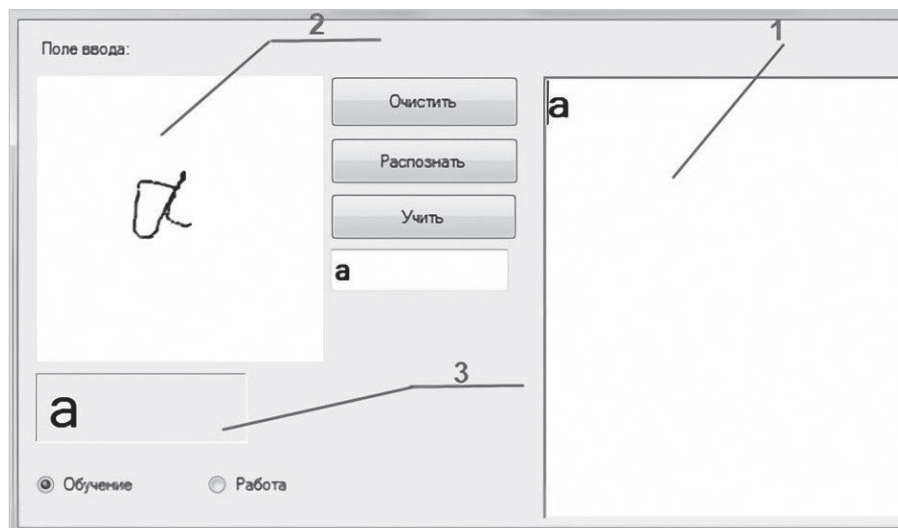


Рис. 6. Графический интерфейс для использования КНС, созданный на С#

Разработан класс KNN_Simple, в котором реализованы следующие методы:

- KNN_Simple – параметризованный конструктор, на вход: количество входных нейронов, количество выходных нейронов и количество нейронов скрытого слоя соответственно;
- functionActivateLayer – функция активации первого слоя;
- OutputFirstLayer – получение результата активации первого слоя;
- OutputOutLayer – вывод последнего (выходного) слоя;
- NetworkOut – проход (forward pass) и вывод результата прохода.

Для использования написанной комплексной нейронной сети использовался набор данных из открытого доступа, предусмотрен графический интерфейс, созданный на С# (рис. 6). Элементы интерфейса: 1 – поле распознанных символов, 2 – поле для рисования символа, 3 – поле распознанного символа.

Кнопки: «Очистить» – очищает рисунок, «Распознать» – распознаёт рисунок, «Учить» – если сеть неправильно дала ответ, нужно скорректировать значение и нажать на эту кнопку для обучения.

Заключение

Даны определения комплексным нейронным сетям (КНС). Доказана необходимость КНС на разных прикладных примерах. Проведены этапы разработки нейронной сети и её работы, реализация её кода на языке программирования С#.

Достоинства КНС

Комплексная нейронная сеть имеет огромную сферу прикладного применения: её можно использовать для работы с сигналами, заданными в

комплексном виде, также она очень хорошо подойдёт для распознавания бинарных изображений. Она может аппроксимировать функцию, оставляя все свойства преобразования Фурье, что делает её работу легко анализируемой. Ведь именно неанализируемость работы нейронных сетей приводит к тому, что в научных проектах от них иногда отказываются, решая задачи другими методами. Также физический смысл весов позволит использовать эту нейронную сеть для численного разложения функции многих переменных в ряд Фурье. Разновидность применений комплексных нейронных сетей сильно растёт, особенно в последнее десятилетие.

Недостатки КНС

Существенным недостатком данной нейронной сети является наличие большого количества связей, намного превышающего количество связей сетей, основанных на вещественных числах.

Литература

1. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 3. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
2. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Финансы и статистика, 2004.
3. Brouwer Friso C.G., Tingdahl Kristofer M., Connolly David. A guide to the Practical Use Of Neural Network // URL: https://www.researchgate.net/publication/289828233_A_Guide_to_the_Practical_Use_of_Neural_Networks.
4. Guberman N. On Complex Valued Convolutional Neural Networks // URL: <https://deeptai.org/publication/on-complex-valued-convolutional-neural-networks>. ©

Цифровизация натурального эксперимента

Елизавета Каширская

В статье рассмотрена возможность и преимущества аналитического эксперимента по сравнению с натурным. Приведены два примера проведения аналитического эксперимента с последующим вычислительным этапом в качестве иллюстрации цифровизации аналоговой информации.

Введение

Часть экологической сферы Земли, содержащую технические, созданные людьми сооружения, принято называть техносферой. Цифровая трансформация техносферы включает в себя множество независимых процессов, одним из которых является замена натурального эксперимента вычислительным. Но даже в условиях цифровизации невозможно полностью отказаться от натуральных экспериментов при проектировании новых технических объектов и полностью перейти на проведение вычислительных экспериментов. Причина состоит в том, что вычислительный эксперимент всегда носит дискретный характер, в то время как моделируемые процессы по большей части являются непрерывными.

Основная часть

В процессе жизненного цикла промышленного изделия необходимо проводить различные виды экспериментов и испытаний, как над производимым изделием, так и над технологическим оборудованием. Подобные испытания достаточно трудоёмки и продолжительны, что серьёзно увеличивает сроки ввода нового изделия в производство, а также приводит к росту себестоимости изделия, особенно в условиях многономенклатурного мелкосерийного производства.

Достаточно большое количество производственных испытаний тре-

бует определения граничных условий эксплуатации производственного оборудования и не требует более точных параметров. При этом натурные испытания элементов технологического оборудования требуют продолжительного времени и существенных ресурсов. Не всегда удаётся получить все требуемые параметры из-за физических ограничений по съёму данных с измерительных преобразователей. Таким образом, возникает необходимость замены классических натуральных экспериментов цифровыми.

Существует множество классификаций экспериментальных исследований. Эти классификации отличаются основанием деления на типы. По типу моделей, используемых в эксперименте, всевозможные эксперименты обычно разделяют на материальные и мыслительные (или мысленные).

Мы предлагаем несколько отличающуюся классификацию, не противоречащую ГОСТ [7] и Международному стандарту [8], представленную на рис. 1.

Рассматриваем три типа экспериментов. Опытом, в соответствии с [1], принято называть воспроизведение исследуемого явления в определённых условиях. Качественный эксперимент устанавливает только факт существования какого-либо явления, но при этом не даёт никаких количественных характеристик объекта исследования [9]. Количественный эксперимент [9] не только фиксирует факт существования того или иного явления, но и позволяет установить соотношения между количественными характеристиками явления и количественными характеристиками способов внешнего воздействия на объект исследования.

Количественные эксперименты можно подразделить на три вида. При натурном моделировании применяется довольно сложная методика планирования эксперимента с последующей громоздкой статистической обработ-

кой результатов проведения эксперимента. Несомненным преимуществом натурального моделирования является возможность охвата всего диапазона изменения параметров процесса или технического устройства.

При проведении вычислительного (компьютерного) эксперимента в силу его дискретности испытатель не может быть уверен в том, что им охвачены все возможные значения параметров и условий. Вполне возможна ситуация, при которой какие-то критические значения факторов могут оказаться не кратными шагу изменения параметров, в силу чего компьютерная программа получения результатов расчёта их может «проскочить».

В том случае, когда задача проектирования может быть полностью решена аналитически, необходимости в проведении экспериментов не возникает, но существует огромный класс задач, не поддающихся аналитическому решению, но допускающих упрощённое теоретическое решение с последующим получением по построенной модели числовых данных для любых возможных наборов параметров модели. Такой вид получения результатов исследования назовём аналитическим экспериментом.

Почему же подобное исследование мы называем аналитическим экспериментом, а не аналитическим расчётом? Дело в том, что при классическом аналитическом расчёте должны применяться известные или вновь создаваемые теоретические модели исследуемой системы. Мы же ведём речь о том, чтобы вместо теоретических (обоснованных и доказанных) моделей применить приближённую схему, абстрагирующуюся от целого ряда параметров системы, в целях быстрого получения результата. Использование подобного метода допустимо, если его сопровождать обширным вычислительным экспериментом, охватывающим значительную выборку входных параметров системы.

Вычислительный эксперимент, проводимый непосредственно после аналитического, позволяет с помощью большого разброса исходных данных получить цифровую картину исследуемого объекта, явления или процесса. Такое совокупное исследование мож-

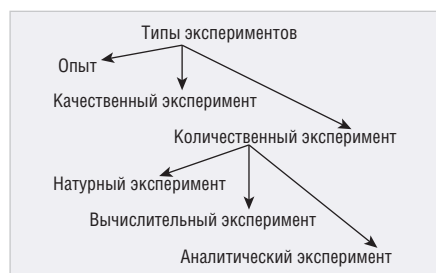


Рис. 1. Классификация экспериментальных исследований

но считать аналитико-вычислительным экспериментом.

Аналитико-вычислительный эксперимент (аналитический эксперимент, завершающийся вычислительным, то есть числовым экспериментом) может служить характерным примером цифровизации аналоговой информации.

Аналитический эксперимент, завершающийся вычислительным (числовым) экспериментом, является характерным примером цифровизации аналоговой информации.

Рассмотрим два примера проведения аналитического эксперимента.

Определение толщины стенок вакуумного баллона

Баллон представляет собой замкнутую оболочку, рассчитать напряжения и деформации которой – очень непростая задача из области теории оболочек. По этой причине обычно вместо расчёта с использованием зубодробительных формул проводится натурный эксперимент. Но для получения числовых результатов в любом диапазоне изменения параметров можно применить упрощённую схему расчёта, тем самым оцифровав аналитическое решение. Вакуумный баллон можно представить как цилиндр, на который со всех сторон действует внешнее давление p , Н/м² (рис. 2а).

Возьмём для примера вакуум 10^{-5} мм ртутного столба, что соответствует давлению порядка 10^{-8} атмосфер:

$$\frac{10^{-5}}{760} = 1,32 \times 10^{-8} \text{ атм} = 0,00134 \text{ Па}.$$

Пусть диаметр баллона составляет 80...100 мм (рис. 2б). Объём баллона будем считать равным 1800 см³, что соответствует высоте примерно от 20 до 30 см.

Максимальное нормальное напряжение в стенках баллона определяется по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{pR}{\delta}, \text{ Па}, \quad (1)$$

где p – избыточное атмосферное давление на стенки баллона, Па,

R – радиус баллона, м,

δ – толщина стенок баллона, м.

Нужно без проведения натурного эксперимента определить минимальную толщину стенок баллона. Из формулы (1) получим:

$$\delta = \frac{pR}{[\sigma]},$$

где $[\sigma] = \frac{\sigma_m}{n}$ – допустимое нормальное напряжение в стенках баллона, Па,

σ_m – предел текучести материала, Па,

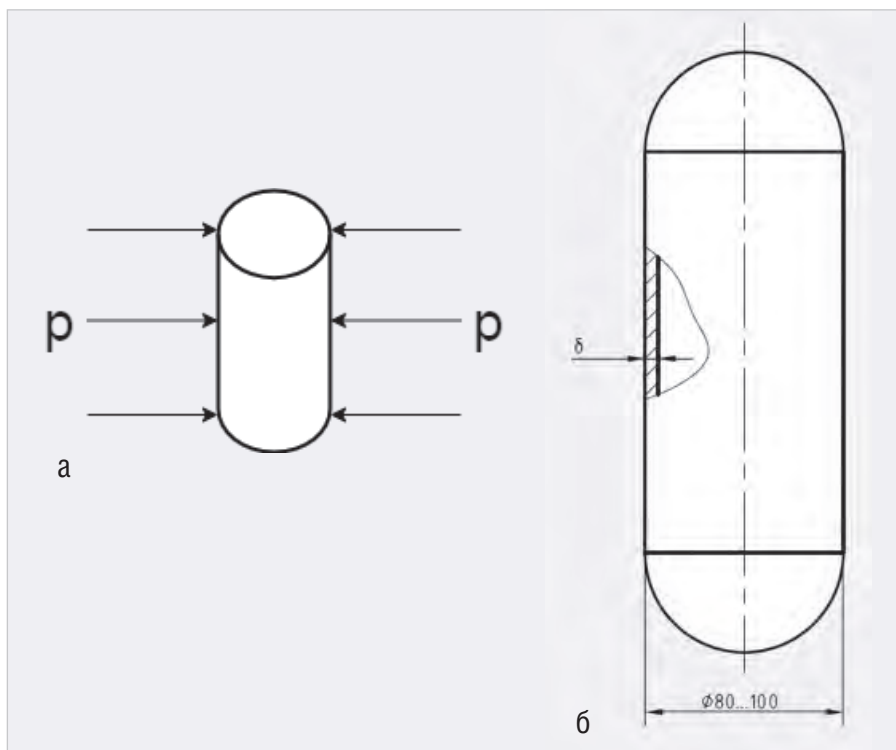


Рис. 2. Вакуумный баллон: а) схематичное представление, б) баллон в разрезе

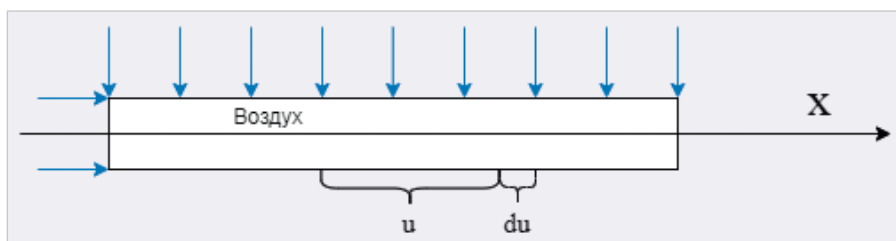


Рис. 3. Воздушный стержень

$n = 1,5$ – коэффициент запаса прочности по пределу текучести.

Для стали 40Х, рекомендуемой для изготовления резервуаров, $\sigma_m = 355 \text{ Н/мм}^2 = 3,55 \times 10^8 \text{ Па}$. В результате получим, что возможно использование тонкостенного баллона, толщина стенок которого может колебаться от 1,5 до 3 мм.

Таким образом, с помощью приближённых аналитических исследований (аналитического эксперимента) и числовых подсчётов удалось получить значение толщины стенок баллона, не прибегая к сложным законам теории оболочек и без проведения эксперимента. А взяв в качестве входных данных большой массив значений радиуса, давления и марок материала, мы можем получить цифровую картину изменения толщины стенок баллона в зависимости от исходных данных.

Воздушный стержень

Рассмотрим замкнутый объём воздуха под давлением, так называемый воздушный стержень (рис. 3).

Осевая сила, действующая на объём воздуха, находится по формуле:

$$N = EF \frac{\partial u}{\partial x},$$

где E – модуль упругости, Па,

F – площадь поперечного сечения, м²,

x – горизонтальная координата, м,

u – длина элементарного объёма воздуха, м,

$\frac{\partial u}{\partial x}$ – скорость перемещения объёма воздуха, м/с.

Давление на единицу площади поперечного сечения:

$$p = \frac{N}{F} = E \frac{\partial u}{\partial x}$$

при квадратном сечении со стороной 2 м $F = 2 \times 2 \text{ м}^2$.

Перемещение элементарного объёма воздуха:

$$U(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\int_0^l V_0 X_n dx}{\int_0^l X_n^2 dx} X_n \sin \omega_n t,$$

где V_0 – начальная скорость,

$X_n = \cos k_n x$ – n -я гармоническая составляющая перемещений,

$k_n = \frac{\pi(2n-1)}{2l}$ – закон изменения номеров гармоник,

$\omega_n = k_n \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ – собственная частота n -й гармоники колебаний,

E – объёмный модуль упругости воздуха,

$\rho = 1,28 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при нормальных условиях,

t – время, с.

Так как $a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ – скорость перемещения, то

$$p = E \frac{\partial u}{\partial x} = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2V_0 \sin k_n l E}{\omega_n l} \sin k_n x \sin \omega_n t,$$

где $a_0 = 340 \text{ м/с}$.

Так как $E = \rho a^2$, при давлении в 1 атм (101 325 Па) и при скорости распространения упругих волн в воздухе (скорость звука в воздухе) $a_0 = 340 \text{ м/с}$ получим

$E = 1,28 \times 340^2 = 147,9 \times 10^3 \text{ Н/м}^2 = 14,8 \text{ Н/м}^2$ при давлении в 10 атмосфер (1 013 250 Па):

$$E = 64 \times 340^2 = 7,4 \times 10^6 \text{ Н/м}^2 = 740 \text{ Н/см}^2.$$

Так можно вычислить объёмный модуль упругости воздуха при разных условиях.

При $x = l$

$$p = p_{\max} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2EV_0}{\omega_n l} \sin \omega_n t = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2EV_0 \sin \omega_n t}{\pi(2n-1) \sqrt{\frac{EF}{m_0}}},$$

где $m_0 = \rho F$ – масса единицы длины воздушного объёма. Тогда

$$p_{\max} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4V_0}{\pi} \sqrt{\frac{m_0 E}{F}} \times \frac{\sin \omega_n t}{2n-1} = \frac{4V_0}{\pi} \sqrt{\frac{m_0 E}{F}} \times \left(\frac{\sin \omega_1 t}{1} + \frac{\sin 3\omega_1 t}{3} + \dots + \frac{\sin n\omega_1 t}{n} + \dots \right).$$

В итоге получим

$$p_{\max} = \frac{4V_0}{\pi} \times \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{m_0 E}{F}} = V_0 \sqrt{E\rho} = V_0 a \rho,$$

где

$$\begin{cases} a = f(p, t) \\ \rho = f_1(p, t) \end{cases}.$$

При нормальных условиях $a = 340 \text{ м/с}$, $V_0 = 3000 \text{ м/с}$, $\rho = 1,28 \text{ кг/м}^3$ получим $p = 1,37 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$.

Итак, при давлении, пропорциональном 10^5 Н/м^2 , и массе воздуха примерно 3 кг получим ускорение $3,3 \times 10^4$. Тогда

время и скорость перемещения воздуха при длине трубы 2 м составят соответственно:

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 2}{3,3 \times 10^4}} = 1,1 \times 10^{-2} \text{ с},$$

$$V = 3,3 \times 10^4 \times 1,1 \times 10^{-2} = 363 \text{ м/с}.$$

Итак, с помощью приближённых аналитических исследований (аналитического эксперимента) и числовых подсчётов удалось получить значение скорости и времени перемещения воздуха в воздушном стержне, не прибегая к сложным теоретическим зависимостям и без проведения эксперимента. А взяв в качестве входных данных большой массив размеров, давления и других исходных данных, мы можем получить цифровую картину изменения результатов расчёта в зависимости от входных параметров.

Приведённые примеры наглядно демонстрируют простоту проведения аналитического эксперимента по сравнению с натурными опытами.

Заключение

Современные тенденции рынка требуют от промышленных предприятий всё большей гибкости к номенклатуре производимых изделий, что, в свою очередь, требует минимизации времени ввода в производство новых изделий. Предлагаемый подход замены части натурных экспериментов и испытаний на цифровые позволит существенно решить задачу уменьшения времени как на разработку новых изделий, так и на технологическую подготовку производства. Предложенный подход является неотъемлемой частью цифровой трансформации производства.

Литература

1. Холопов В.А., Антонов С.В., Курнасов Е.В., Каширская Е.Н. Разработка и применение

цифрового двойника машиностроительного технологического процесса // Вестник машиностроения. 2019. № 9. С. 37–43.

2. Холопов В.А., Гантц И.С., Антонов С.В. Применение информационных технологий при решении задач мониторинга выполнения производственных процессов в концепции Индустрии 4.0 // Промышленные АСУ и контроллеры. 2019. № 4. С. 49–58.
3. Панайоти В.А., Мешков В.В., Курнасов Е.В. Технология снижения температуры при шлифовании быстрорежущей стали // Вестник машиностроения. 2020. № 1. С. 68–72.
4. Чижиков В.И., Курнасов Е.В. Математическая модель взаимодействия двух роботов при синхронном выполнении совместной работы // Вестник машиностроения. 2020. № 7. С. 11–15.
5. Холопов В.А., Каширская Е.Н., Шмелева А.Г., Курнасов Е.В. Интеллектуальная система мониторинга выполнения машиностроительных технологических процессов // Проблемы машиностроения и надёжности машин. 2019. № 5. С. 98–112.
6. Холопов В.А., Каширская Е.Н., Соколов Ф.В., Сухастерин А.Б. Информационно-управляющая система для управления технологическим процессом посредством цифрового двойника // Промышленные АСУ и контроллеры. 2020. № 8. С. 46–50.
7. ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. Библиографическое описание. М.: Изд-во стандартов, 1991. 70 с.
8. Международный стандарт ИСО 8402 Управление качеством и обеспечение качества. Словарь. М.: Изд-во стандартов, 1994. 20 с.
9. Чубинский А.Н., Рукавов Д.С., Батырева И.М., Варанкина Г.С. Методы и средства научных исследований. СПб., 2018. 109 с.



НОВОСТИ МИРА

Роскосмос: создание и запуск 380 спутников в рамках проекта «Сфера» обойдётся в 180 миллиардов рублей

Из этой суммы на ближайшие три года заложен 21 миллиард рублей, – написано в журнале.

Сейчас финансирование проекта многоспутниковой орбитальной группировки «Сфера» предполагает, что в течение 2022–2024 годов на проект будет выделяться по семь миллиардов рублей ежегодно.



Всего на орбиту будут выведены около 380 спутников. В систему войдут семь аппаратов «Экспресс», четыре «Экспресс-РВ», 12 спутников «Скиф» для широкополосного

доступа в интернет и 264 спутника «Марафон» для Интернета вещей. Также в «Сферу» войдут два спутника связи «Ямал», три спутника ДЗЗ «Смотр», 84 спутника оптического наблюдения «Беркут-О» (обзорный), «Беркут-С» (среднего разрешения) и «Беркут-ВД» (высокодетаальный), 12 аппаратов радиолокационного наблюдения «Беркут-Х» и «Беркут-ХЛР». Развёртывание всех группировок планируется начать в 2025 году.

www.ixbt.com

Новейшие кварцевые генераторы с высокой кратковременной стабильностью и особенности их применения

Юрий Иванов, Аркадий Никонов

Кратковременная стабильность частоты – один из основных параметров кварцевых генераторов, используемых в измерительной аппаратуре. Наиболее часто именно она определяет стабильность всей измерительной системы на коротких временах. Новейшие генераторы производства АО «Морион» могут обеспечивать стабильность частоты 8×10^{-14} за 1 секунду. В статье приводится описание таких генераторов и аспекты их применения для достижения таких уровней стабильности.

Стабильность частоты – основная характеристика любых генераторов, определяющая рабочие характеристики аппаратуры, в которой они применяются. Частота генераторов может отклоняться от первоначального значения под действием разных дестабилизирующих факторов – таких как изменение температуры, старение кварцевого резонатора, воздействие вибрации, нестабильность питающего напряжения и т.п. Основной мерой стабильности частоты является относительное изменение частоты, оно определяется как отношение разности текущей и номинальной (первоначальной) частоты к этой номинальной частоте.

$$y = \frac{(f - f_0)}{f_0} = \frac{df}{f}$$

Принято разделять нестабильность частоты кварцевых генераторов по времени на кратковременную

и долговременную. Кратковременная нестабильность определяется за время от долей секунды до нескольких десятков секунд и имеет в основном случайную природу. Долговременная нестабильность определяется за время от нескольких часов до нескольких лет. Она уже является в основном систематической и определяется старением кварцевого резонатора. На рис. 1 представлен схематический график нестабильности частоты от времени и разница между кратковременной и долговременной нестабильностью [1].

Рассмотрим сигнал от кварцевого генератора – математически его можно описать следующим уравнением [1–3]:

$$V(t) = [V_0 + \varepsilon(t)] \sin[2\pi\nu_0 t + \phi(t)],$$

где V_0 – амплитуда сигнала,

ν_0 – номинальная частота,

$\varepsilon(t)$ – случайные изменения амплитуды (амплитудный шум),

$\phi(t)$ – случайные изменения фазы (фазовый шум).

Графически это можно представить в виде нескольких периодов сигнала, наложенных друг на друга.

В идеальном генераторе амплитудный $\varepsilon(t)$ и фазовый $\phi(t)$ шумы должны быть равны 0. Но в любом реальном генераторе они всегда присутствуют и могут быть обнаружены в выходном сигнале. В основном нас будет интересовать фазовый шум, который и вызывает отклонение частоты от номинального значения. Для измерения частоты всегда необходим какой-то временной интервал. Этот интервал обычно называется временем наблюдения или усреднения [2]. При измерении частоты счётчиками частоты этот интервал обычно называют временем счёта. Ниже показан график относительного изменения частоты кварцевого генератора, полученный счётчиком частоты НР53132 с установленным временем счёта 0,1 с.

Основной мерой кратковременной нестабильности является двухвыборочная стандартная девиация (девиация Аллана) [1–3]. Вычисляется она следующим образом:

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2} \langle (\bar{y}_{k+1} - \bar{y}_k)^2 \rangle,$$

где $y = \frac{df}{f}$ – относительное изменение частоты за время наблюдения τ ,

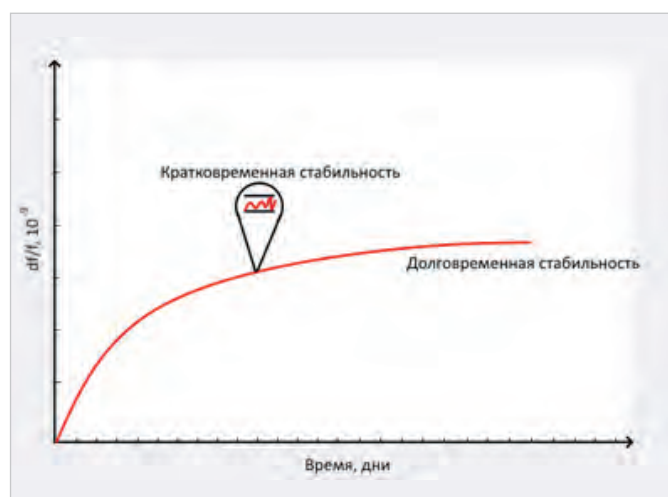


Рис. 1. Долговременная и кратковременная стабильность кварцевых генераторов

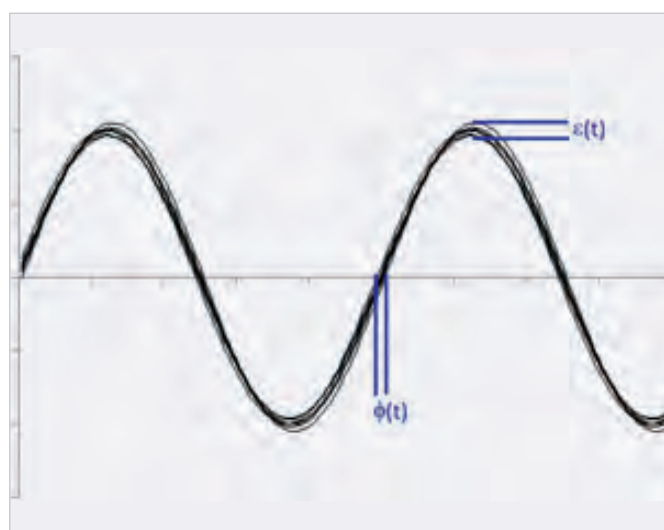


Рис. 2. Сигнал кварцевого генератора

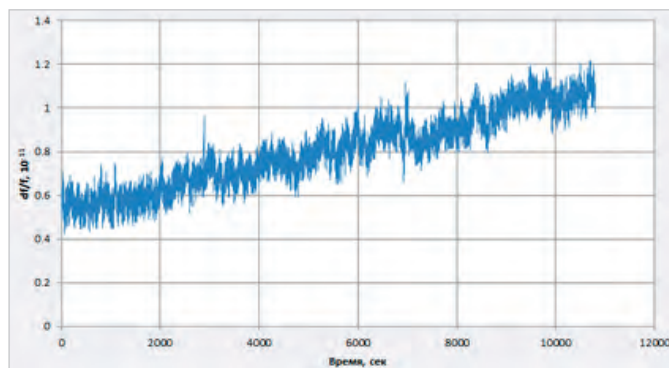


Рис. 3. График относительного изменения частоты кварцевого генератора с временем счёта 0,1 с

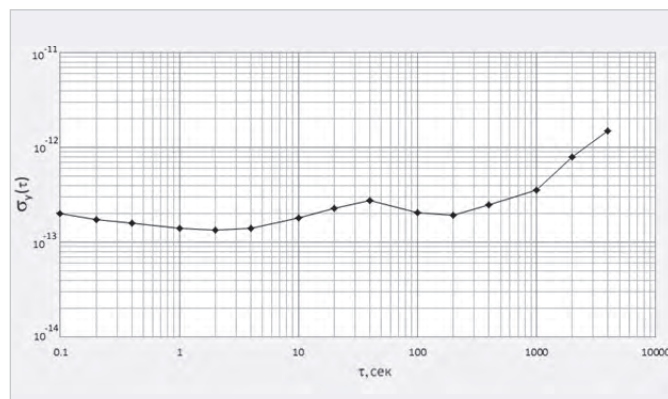


Рис. 4. График девиации Аллана

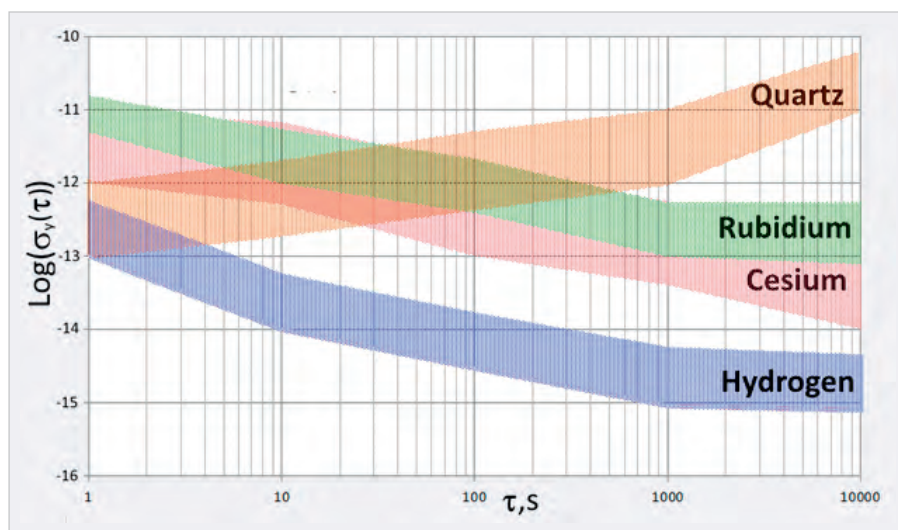


Рис. 5. Стабильность для разных типов генераторов: кварцевых, рубидиевых, цезиевых, водородных

$\langle \dots \rangle$ — операция усреднения по времени.

То есть девиация Аллана определяется бесконечным усреднением разности двух соседних отсчётов частоты, отстающих друг от друга на время τ . Понятно, что при практическом применении берётся некоторое конечное число таких усреднений. Обычно для надёжной оценки необходимо провести усреднение, по крайней мере, 100 раз. При этом можно переписать формулу для её использования уже с конечным количеством усреднений:

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2(M-1)} \sum_{k=1}^{M-1} (\bar{y}_{k+1} - \bar{y}_k)^2,$$

где M — количество усреднений.

Если провести расчёт девиации Аллана для данных, представленных на рис. 2, при разных временах наблюдения, то можно получить следующий график, на котором по оси X отложено время наблюдения (τ).

Можно обратить внимание, что график изменения частоты на рис. 3 имеет постоянный наклон. Этот наклон появляется вследствие старения кварцевого

резонатора. На графике девиации Аллана (рис. 4) он проявляется увеличением значения с ростом времени усреднения. Старение резонатора может начать сказываться на результатах оценки даже при малых временах усреднения (10 секунд и даже чуть меньше), в особенности если генератор был выключен долгое время.

Если представить стабильности разных типов генераторов на одном графике, то можно получить картину, представленную на рис. 5.

Можно видеть, что на коротких временах наблюдения стабильность прецизионных кварцевых генераторов превышает стабильность рубидиевых и цезиевых генераторов и находится на одном уровне с водородными стандартами частоты. С увеличением времени стабильность кварцевых генераторов ухудшается из-за старения кварцевого резонатора. Конечно, представленный на рис. 5 диапазон стабильностей для кварцевых генераторов относится только к одному из их самых стабильных типов — термостатированному кварцевому генератору.

Стабильность частоты кварцевого генератора напрямую зависит от качества кварцевого резонатора, технологии его изготовления, конструктивных решений. Оценивать качество изготовления кварцевого резонатора и его влияние на стабильность частоты можно в основном только статистически — изготавливая опытные партии генераторов и измеряя их параметры. Это довольно трудный и долгий процесс.

Конечно, чтобы реализовать все возможности резонатора при проектировании кварцевого генератора, должны быть учтены многие нюансы. Мы можем сказать, что у нас есть целая линейка прецизионных кварцевых генераторов, в которых применяются однотипные резонаторы, но при этом их кратковременная стабильность лежит в диапазоне от нескольких единиц 10^{-12} (ГК199) до $8 \cdot 10^{-14}$ (ГК336R). Для обеспечения высокой кратковременной стабильности крайне важно:

- максимально устранить влияние изменения температуры окружающей среды;
- обеспечить чистое питание цепей генератора и особенно цепи варикапа;
- использовать элементную базу с крайне низкими собственными шумами.

На первом пункте остановимся чуть более подробно. Чтобы уменьшить температурную нестабильность в прецизионных кварцевых генераторах применяется термостатирование. Кварцевый резонатор и все чувствительные к изменению температуры элементы помещаются внутрь термостата, в котором поддерживается постоянная температура (рис. 6).

Температура внутри термостата устанавливается несколько выше (обычно на $5-15^\circ\text{C}$) верхней рабочей температуры эксплуатации генератора. Такая конструкция позволяет получить тем-



Рис. 6. Схема конструкции термостатированного генератора

пературную стабильность $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ в стоградусном интервале. То есть при изменении температуры на 1°C стабильность такого генератора ориентировочно будет равна $\pm 1 \cdot 10^{-11}$. Изменения на десятые доли градуса достаточно для того, чтобы наблюдать нестабильность в 10^{-12} знаках.

Чтобы перейти к стабильности в $10^{-13} \dots 10^{-14}$, нужно максимально нивелировать влияние температуры при эксплуатации и измерении. Генераторы с лучшей температурной стабильностью также могут и обеспечить меньшие величины кратковременной нестабильности. В таких генераторах уже применяется двойное термостатирование, а также дополнительные меры по уменьшению чувствительности к динамическим изменениям внешних условий. Конечно, это увеличивает габариты и потребление генератора [6].

В качестве примера можно привести два наших генератора: ГК341 и ГК336. ГК341 – это генератор с одинарным термостатированием, он обеспечивает температурную стабильность $\pm 1 \cdot 10^{-9}$ и имеет габариты $50 \times 50 \times 16$ мм. Девиация Аллана за 1 секунду для такого генератора может достигать $1,5 \cdot 10^{-13}$. Конечно, это достигается при соответствующих условиях эксплуатации. Незначительные изменения температуры способны ухудшить стабильность генератора. ГК336 – это генератор с двойным термостатированием, при этом в качестве внутренней ступени в нём используется тот же ГК341. Его габаритные размеры уже $92 \times 80 \times 50$ мм, зато и температурная стабильность может достигать $\pm 1 \cdot 10^{-11}$. Большие габариты внешней ступени термостата позволяют обеспечить хороший температурный демпфер. Такой генератор может обеспечить девиацию Аллана за 1 секунду

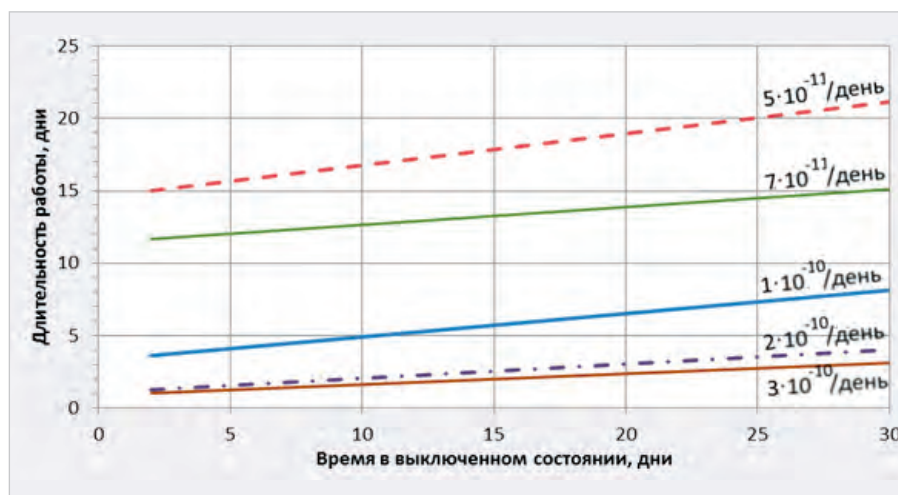


Рис. 7. Типовое время выхода прецизионных генераторов на разные нормы по суточному старению от времени в выключенном состоянии

на уровне $8 \cdot 10^{-14}$. И конечно, он гораздо более устойчив к изменению температуры.

Как уже было отмечено, старение кварцевого резонатора сильно сказывается при увеличении времени наблюдения. Вообще, старение очень сильно зависит от того, сколько генератор был выключен до этого. Ниже показаны характерные кривые суточной стабильности в зависимости от времени выключения генератора (рис. 7).

Так, чтобы обеспечить стабильность $1 \cdot 10^{-10}$ за сутки после выключения на 2 дня, генератору нужно будет проработать 4 дня. Большой уход частоты сразу после включения начинает сказываться уже при времени наблюдения в несколько секунд. Чтобы показывать кратковременную нестабильность в 10^{-13} и тем более в 10^{-14} , генераторам обязательно нужно дать поработать в течение нескольких часов, а лучше обеспечить постоянный режим работы таких генераторов в аппаратуре.

Также стоит обратить внимание на зависимость стабильности от управления частотой генератора. Генератор без возможности перестройки частоты будет обладать большей стабильностью, чем с ней. В таком генераторе отсутствуют цепи управления частотой с варикапом, который вносит собственные шумы. Наш самый стабильный на сегодняшний день генератор ГК336R без перестройки частоты может обеспечить девиацию Аллана за 1 секунду, равную $8 \cdot 10^{-14}$, и температурную стабильность $\pm 1 \cdot 10^{-11}$. Возможность управления частотой сразу ухудшит эти показатели до $1 \cdot 10^{-13}$ и $\pm 2 \cdot 10^{-11}$ соответственно.

Управление частотой при необходимости может обеспечиваться либо аналоговой цепью, либо цифровой. Генераторы с цифровым управлением содержат внутри себя ЦАП, и управление частотой осуществляется с помощью подачи кода. При таком варианте управления ухудшение стабильности минимально. Однако в моменты изменения кода управления неизбежно ухудшение кратковременной нестабильности и фазовых шумов. В генераторах с аналоговым управлением для приведения частоты генератора к номиналу на вход управления необходимо подать управляющее напряжение. На земляном выводе генератора возникает падение напряжения, зависящее от протекающего тока нагревательных транзисторов термостата, и при таком подключении оно попадает в цепь управления и ухудшает температурную и кратковременную стабильность частоты. Для уменьшения этого влияния необходимо уменьшить сопротивление (длину) общей цепи протекающих токов питания генератора и цепи управления. Кардинальным способом является использование разных земель. Но такой путь снижает унификацию генераторов и накладывает достаточно серьёзные ограничения на схемотехнику оборудования. При этом всё равно остаются дополнительные источники шумов в цепи управления, например, такие как термоэлектрический эффект [6].

Одной из перспективных возможностей увеличения стабильности является применение в аппаратуре генераторов с большим допуском по точности настройки (отклонением от номинальной частоты). В большинстве случаев

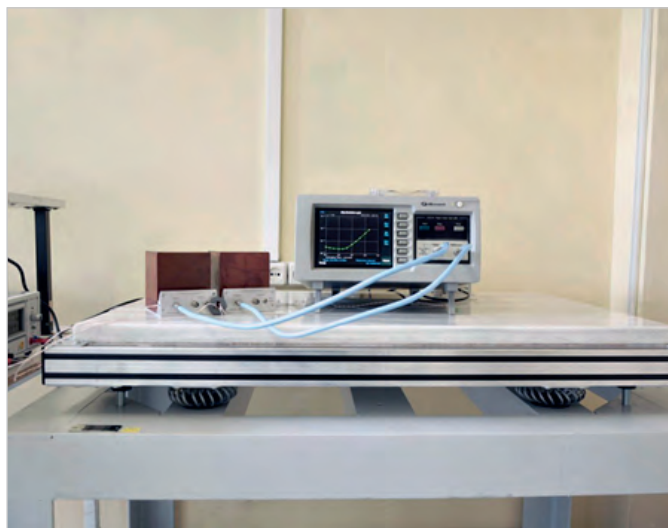


Рис. 8. Внешний вид рабочего места для измерения очень малых величин кратковременной стабильности

в аппаратуре технически это вполне допустимо (при обработке сигнала это всё можно учесть) и даже будет иметь свои преимущества: меньше вероятность биения частот. Чтобы обеспечить номинальную частоту, кварцевые элементы резонаторов доводят до нужной толщины, сглаживая или допывая электроды. Это, конечно, влияет на качество металлизации кварцевого элемента. Отказ от этой технологической операции помогает немного повысить уровень стабильности. Отклонение частоты генератора от номинала при этом существенно расширяется и составляет примерно несколько сотен 10^{-6} .

Измерение кратковременной нестабильности генераторов в 10^{-14} знаках также требует специального подхода. Во-первых, мы максимально устраняем влияние дестабилизирующих факторов:

- генератор перед измерением находится во включённом состоянии на измерительном стенде несколько часов, чтобы максимально устранить влияние старения. При этом чем больше требуемое время наблюдения, – тем дольше генератор должен прогреваться;
- генератор при измерении помещается под специальный колпак, чтобы устранить влияние изменения температуры. Само помещение максимально изолировано;
- сам измерительный стенд расположен на специальном виброустойчивом рабочем столе.

Во-вторых, накладываются серьёзные требования к помещению, окружающей обстановке, соединительным кабелям

и, конечно, к приборам для измерения. На рис. 8 представлен внешний вид измерительного места.

В-третьих, в качестве опорного генератора выступает такой же кварцевый генератор с сопоставимой кратковременной стабильностью. При этом становится необходимо учитывать вклад опорного генератора в результаты измерений. Если кратковременная стабильность опорного генератора известна, то можно вычислить кратковременную нестабильность измеряемого генератора по следующей формуле:

$$\sigma_{vDUT} = \sqrt{\sigma_v^2 - \sigma_{vREF}^2},$$

где σ_y – результат измерения на опорный генератор,

σ_{yREF} – кратковременная нестабильность опорного генератора,

σ_{yDUT} – кратковременная нестабильность измеряемого генератора.

В случае если кратковременная нестабильность опорного генератора неизвестна, используется метод трёх генераторов [4, 5]. Его суть заключается в том, что попарно проводятся три измерения между каждым из генераторов. Тогда кратковременную нестабильность для каждого из трёх генераторов можно найти по следующим формулам:

$$\begin{cases} \sigma_{y1} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_{y12}^2 + \sigma_{y13}^2 - \sigma_{y23}^2)} \\ \sigma_{y2} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_{y12}^2 - \sigma_{y13}^2 + \sigma_{y23}^2)} \\ \sigma_{y3} = \sqrt{\frac{1}{2}(-\sigma_{y12}^2 + \sigma_{y13}^2 + \sigma_{y23}^2)} \end{cases}$$

где σ_{y12} – результат измерения между 1 и 2 генераторами,

σ_{y13} – результат измерения между 1 и 3 генераторами,

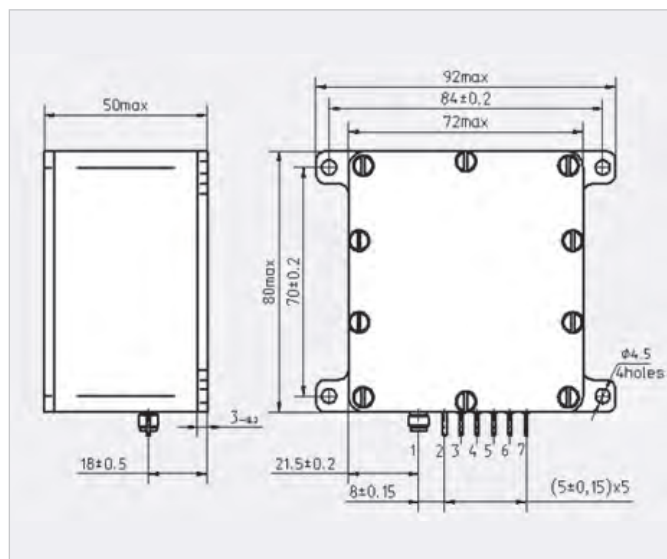


Рис. 9. Габаритный чертёж ГК336R-ТС

σ_{y23} – результат измерения между 2 и 3 генераторами.

В процессе производства мы отбираем опорные генераторы с очень малыми кратковременными нестабильностями. Величина их нестабильности определяется методом трёх генераторов, при этом берётся несколько триад. Величина нестабильности отобранных опорных генераторов измеряется каждые полгода.

На сегодняшний день нашим самым стабильным прецизионным генератором является ГК336R-ТС, в нём учтены все описанные выше нюансы. Это генератор с двойным термостатированием, обладающий внушительными габаритами.

Он изготавливается на частоту 10 МГц с очень широким допуском по точности настройки ($\pm 300 \cdot 10^{-6}$), что позволяет не проводить дополнительные операции травления и допыления электродов. Частота 10 МГц наиболее отработана и исследована у нас на сегодняшний день, что также позволяет нам обеспечить низкую кратковременную нестабильность. Большие габаритные размеры $92 \times 80 \times 50$ мм (см рис. 9, 10) позволяют обеспечить хороший температурный демпфер.

Стоит обратить внимание, что ГК336R выпускается без возможности управления частотой. Всё это позволяет получить сверхнизкие показатели кратковременной нестабильности в $8 \cdot 10^{-14}$ за 1 секунду.

Данный генератор является специальной версией ГК336-ТС, у которого уже есть возможность перестройки частоты и более малый диапазон точности настройки. Но при этом его кра-



Рис. 10. Внешний вид ГК336

твовременная нестабильность составляет уже $1,0 \cdot 10^{-13}$ за 1 секунду.

Кратковременная нестабильность (рис. 11) кварцевых генераторов может достигать нескольких единиц 10^{-14} . За последние несколько лет мы значительно продвинулись на пути к её уменьшению. Конечно, её получение накладывает некоторые ограничения на эксплуатацию генераторов: отсутствие управления частотой, широкий допуск на точность номинальной частоты, лабораторные условия эксплуатации и измерения и т.п. Работа над усовершенствованием кварцевого резонатора и полной реализацией его возможностей в генераторе продолжается.

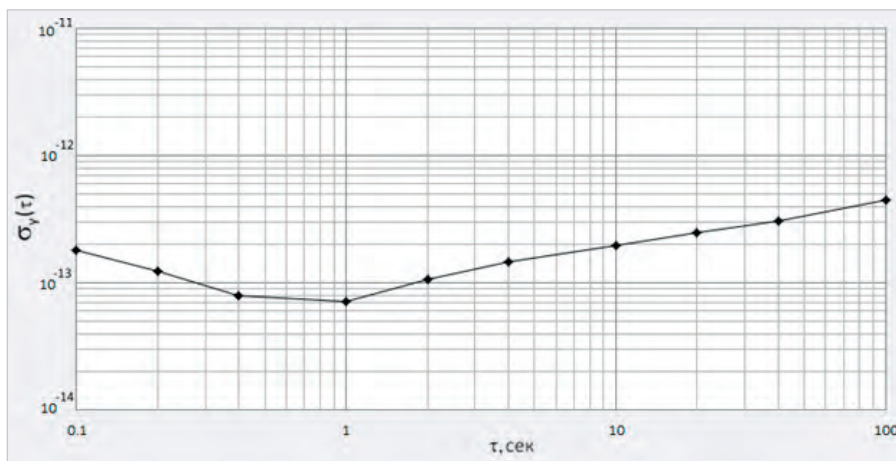


Рис. 11. Кратковременная нестабильность для ГК336R

Литература

1. Vig J.R. Quartz crystal resonators and oscillators: a tutorial, US Army Communications-Electronics Research, Development & Engineering Center Fort Monmouth, NJ, USA, March 2004.
2. Howe D.A., Allan D.W., Barnes J.A. Properties of signal sources and measurement methods // in Proceedings of the 35th Annual Symposium of Frequency Control, Philadelphia, Pennsylvania, USA, pp. A1–A47=NIST Technical Note 1337, pp. TN14–TN60. May 1981.
3. Samuel R. Stein Frequency and time – their measurement and characterization // in E. A. Gerber and A. Ballato, Precision Frequency Control, Vol. 2, pp. 191–416, Academic Press, 1985.
4. Ekstrom Christopher R., Koppang Paul A. Degrees of Freedom and Three-Cornered Hats // Proceedings of the 33th Annual Precise Time and Time Interval Systems and Applications Meeting, Long Beach, California, November 2001, pp. 425–430.
5. James E.G., Allan D.W. A method for estimating the frequency stability of an individual oscillator // Proceedings of the 28th Annual Symposium of Frequency Control, Atlantic City, NJ, USA. May 1974, pp. 243–246.
6. Котюков А.В., Никонов А.Г., Заславский А.В., Иванов Ю.А. Особенности применения кварцевых генераторов с высокой температурной стабильностью // Электронные компоненты. 2020. № 8. С. 54–57. 

НОВОСТИ МИРА

Власти оценили состояние бизнеса в России

Работа более 86 процентов российских компаний оказалась затронута введенными санкциями. Такую оценку дал аппарат уполномоченного при президенте России по защите прав предпринимателей Бориса Титова в результатах «Мониторинга текущего состояния бизнеса». Документ цитирует «Интерфакс».

«86,8 процента опрошенных предпринимателей затронуты действием санкций, 77,4 процента, по их словам, к санкциям адаптировались или надеются это сделать, а вот 11,7 процента этого сделать не сумели и останавливают бизнес – полностью или частично», – сообщили специалисты. Аппарат Титова опросил руководителей и владельцев 6 тысяч компаний из 85 регионов страны.

Большинство опрошенных властями респондентов (67,1 процента) ощуща-

ют последствия экономического спада. 29,4 процента отчитались о снижении выручки, добавив, что пока контролируют ситуацию. Четверть (24,9 процента) предпринимателей охарактеризовали свое состояние как серьезный спад, а 7,1 процента назвали его кризисным. Ещё 5,7 процента закрыли свой бизнес или начали этот процесс. О стабильном росте своего бизнеса сообщили только 10,4 процента респондентов.

Больше всего жалуются на спад спроса (62,2 процента ответов), далее следуют дефицит оборотных средств и кассовые разрывы, разрыв цепочек поставок и сложности доставки по импорту. Подавляющая часть бизнесменов при этом называют действия правительства недостаточными в условиях санкционного давления, и около 35 процентов характеризуют их как «спокойные и эффективные».



При этом более половины предпринимателей заявили, что сейчас «необходимо отказать от косметических изменений и кардинально менять правила игры: нужна новая экономическая модель, где будет удобно, выгодно и безопасно работать». С этим выводом согласился и сам Титов. «Преодолеть проблемы можно только путём кардинальных реформ, изменением самой модели развития», – резюмировал он.

www.lenta.ru

НОВОСТИ МИРА

ВОПРЕКИ ВСЕМ ПРОГНОЗАМ ЦЕНЫ НА СУПЕРСОВРЕМЕННУЮ ПАМЯТЬ РУХНУЛИ НА САМОЕ ДНО

Оперативная память DDR5 менее чем за месяц подешевела на 20%, и эксперты верят, что это новая тенденция. Они связывают падение цен на эти планки со слабеющим дефицитом микросхем и оптимизацией производства готовых модулей DDR5. На это у вендоров был целый год – первые планки DDR5 поступили в продажу в июне 2021 г.

Оперативная память DDR5, самая современная на июнь 2022 г., стремительно дешевеет, несмотря на массу неблагоприятных факторов на рынке. По информации немецкого издания ComputerBase, на рынке Европы такие планки менее чем за месяц стали стоить как минимум на 20% дешевле.

На некоторые комплекты памяти DDR5, в особенности если речь идёт о планках начального уровня, цены упали ниже 5 евро (340 руб. на 6 июня 2022 г. по курсу ЦБ) за 1 ГБ. Для сравнения, в январе 2022 г., задолго до стремительного ухудшения геополитической обстановки во всём мире, этот показатель превышал 12 евро (816 руб.).

Это совпадает с подсчётами авторитетного портала Tom's Hardware. Со слов его аналитиков, за пределами европейского рынка цена базовых модулей DDR5 с высокими таймингами в настоящее время составляет в пределах \$6 (367 руб.) за 1 ГБ. Таким образом, стандартный современный комплект их двух планок по 8 ГБ обойдётся покупателю в среднем в \$120 (7340 руб.).

Снижение цен на DDR5 ускорит отказ от DDR4 в пользу нового более современного стандарта.

При этом ещё осенью 2021 г. производители компьютерного «железа» были абсолютно уверены в том, что цены на DDR5



не упадут в течение длительного времени. В частности, такие прогнозы озвучивала компания MSI, утверждая, что DDR5 будет дорогим удовольствием, во-первых, из-за новизны формата, во-вторых, из-за используемых в планках памяти DDR5 компонентов. Эти модули комплектуются дополнительными модулями регулирования напряжения и контроллерами питания (PMIC). Также в них реализована новая технология коррекции ошибок на замену обычной ECC – on-die Error Correction Code (ODECC). Всё это усложняет производство и повышает его себестоимость, утверждали сотрудники MSI.

КТО «ВИНОВАТ»

Снижение цен на память DDR5 является следствием совокупности нескольких факторов. Первый – это значительное по меркам современного компьютерного рынка время, прошедшее с начала продаж планок DDR5. Как сообщал CNews, они появились в магазинах ещё в июне 2021 г., хотя на тот момент в мире не существовало ни одного процессора, способного работать с ними. Они появились значительно позже, в ноябре 2021 г., когда Intel запустила линейку Alder Lake.

При этом распространение памяти DDR5 для персональных компьютеров началось ещё раньше, в первых числах октября 2020 г. Корейская компания SK hynix объ-

явила тогда о запуске производства первых в мире планок DIMM нового поколения.

Тем не менее первыми модулями DDR5, доступными для приобретения, стала вовсе не продукция SK hynix. Это были планки по 16 ГБ DDR5-4800 компании TeamGroup в наборе из двух модулей. Они были основаны на модулях памяти производства американской Micron. Для работы планкам было необходимо напряжение 1,1 В, а их формула задержек (таймингов) составляла 40-40-40-77. Стоил такой комплект \$400 (24,5 тыс. руб.).

За прошедший с момента релиза этих планок год производители значительно оптимизировали производство, что позволило снизить издержки и уменьшить себестоимость готовой продукции. Для примера, комплект DDR5-6400 бренда G.Skill с таймингами CL32-39-39-102 в Европе стоит 409 евро (26,9 евро) по сравнению с 699 евро (45,9 тыс. руб.) в начале 2022 г.

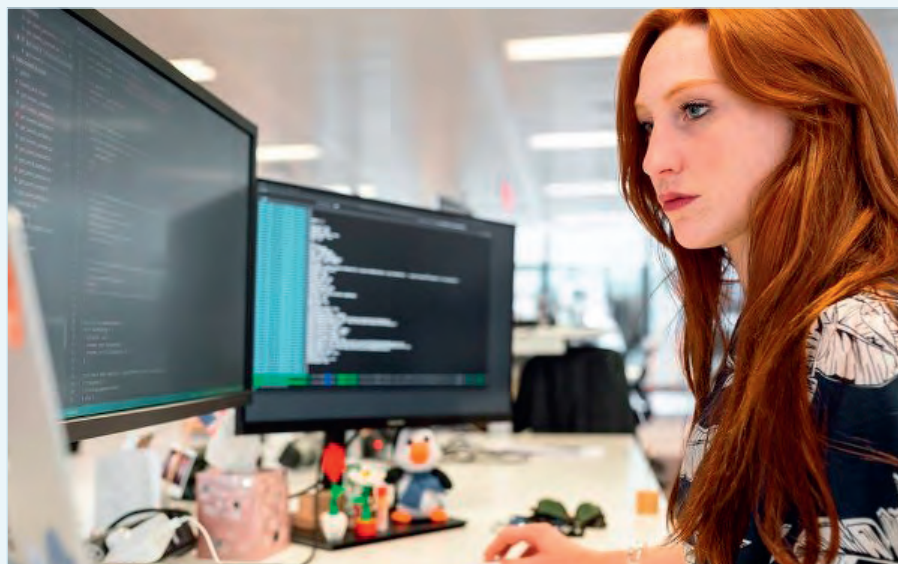
Второй фактор – ослабление дефицита полупроводников, вызванного пандемией COVID-19. Тема коронавируса давно ушла на третий план, страны перестали мериться количеством заразившихся им, а компании начали выводить сотрудников с удалёнки в офисы. Первоначально именно массовый переход на удалённую работу, а также временная остановка заводов из-за локдаунов привела к дефициту микросхем – всем срочно понадобилась техника для домашнего офиса.

КТО В ВЫИГРЫШЕ

Память DDR5 существенно превосходит DDR4 как по производительности, что напрямую влияет на возможности компьютера в играх и приложениях, так и по потреблению энергии. Тем не менее планки DDR4, несмотря на падение стоимости DDR5, обходятся значительно дешевле.

К тому же большинство процессоров Alder Lake, самых современных в линейке Intel, умеют работать с памятью DDR4, поддерживая одновременно DDR5. С учётом всего этого DDR5 – это в первую очередь выбор тех, кто желает собрать по-настоящему современный ПК для игровых и рабочих ПК.

www.cnews.ru



Прогнозирование времени отказа оборудования технологического процесса с помощью искусственной нейронной сети

Имад Хамамех

Одной из целей интеллектуальной индустрии является снижение количества сбоев и времени, потраченного на устранение этих сбоев, что сокращает производственные издержки. Профилактическое обслуживание помогает решить эту проблему, но не всегда является эффективным способом. В контексте повышения эффективности технологического процесса основной вклад в эту работу может заключаться в том, чтобы предложить методику прогнозирования выполнимости технологического процесса. Обработка и преобразование собранных данных технологического процесса для обучения нейронной сети способны предсказать будущее состояние оборудования, указав, когда может произойти сбой, что позволяет точнее составлять график обслуживания. В результате лишних остановок оборудования для обслуживания становится меньше.

Для достижения этой цели была создана модель, имитирующая технологический процесс, вывод параметров и ожидаемое время возникновения отказа. Данные были использованы для обучения нейронной сети, а кроссвалидация – для тестирования. Также были применены другие методы обучения нейронной сети.

Введение

Для повышения качества и производительности производственного процесса контроль, мониторинг и техническое обслуживание оборудования производственной линии являются основными видами деятельности [1].

Датчики и исполнительные механизмы играют важную роль в работе различных компонентов технологического процесса, поэтому важно, чтобы они были в хорошем рабочем состоянии. Для достижения этой цели выполняются два вида обслуживания: запланированный и корректирующий. Плановое техническое обслуживание проводится регулярно; оборудование проверяется и при необходимости заменяется, чтобы избежать незапланированных остановок технологического процесса. Корректирующий ремонт проводится при возникновении сбоев; нерабочая деталь проверяется и при необходимости заменяется [2]. Несмотря на то что плановое техническое обслуживание более эффективно, оба вида повышают затраты из-за производственного сбоя. Для компенсации недостатков обоих видов обслуживания в промышленности стали широко использовать методы обслуживания на основе искусственного интеллекта. Эти методы позволяют спрогнозировать с большой точностью время сбоя в рабо-

те оборудования, что позволяет составить более эффективный график технического обслуживания. Этот вид обслуживания снижает количество остановок в производстве, а также ускоряет ремонт, поскольку может предсказать, на какой детали произойдет сбой [3].

Цели этой работы:

- использовать исторические данные или сгенерировать данные для обучения нейронной сети;
- использовать генетические алгоритмы для обучения нейронной сети с меньшим количеством данных и проверить качество обучения. Это важно, потому что в большинстве случаев невозможно получить нужное количество данных о технологическом процессе;
- использовать статистические методы для выявления важных факторов, которые влияют на технологический процесс.

Сопутствующие работы

Техническое обслуживание оборудования по его состоянию играет важную роль в сокращении лишнего обслуживания, времени простоя и снижении затрат.

Целью диагностики неисправностей является обнаружение происхождения сбоев и определение места сбоя. Это достигается выбором параметров и при-

нятым диапазоном значений этих параметров. В отличие от систем диагностики, системы прогнозирования отказов направлены на прогнозирование будущего поведения оборудования и определение возможных моментов отказа оборудования, помогая в принятии решений по вопросам технического обслуживания. *K. Verbert, B.D. Schutter* и *R.A. Babuska* предложили систему оптимизации технического обслуживания, используя многомодульный метод для прогнозирования износа оборудования [4]. *S. Ntalampiras* представил систему диагностики неисправностей, где для обнаружения неисправностей использовался безмодельный метод с использованием данных с физического уровня контролируемой системы [5]. *M. Yildirim, X.A. Sun, N.Z. Gebraeel* создали метод для эффективного планирования технического обслуживания на основе прогнозируемого состояния системы с использованием байесовских методов прогнозирования. Этот прогнозный анализ динамически оценивает распределение оставшегося срока службы электрических генераторов, позволяя оценить стоимость обслуживания и лучшее время для проведения технического обслуживания [6, 7].

Одна из задач, которую может выполнять искусственная нейронная сеть (ИНС), – это прогнозирование. В медицине ИНС использовались для прогнозирования риска смертности и заболеваемости. *Hao, Usama, Yang, Hossain* и *Ghoneim* представили новую мультимодальную рекуррентную нейронную сеть на основе данных (MD-RCNN) для прогнозирования риска заболеваний [10]. *F. Li, G. Ren* и *J. Lee* разработали инновационную структуру для многоэтапного прогнозирования скорости ветра с использованием рекурсивной нейронной сети на основе скорости ветра и интенсивности турбулентности [11].

ИНС в прогнозировании сбоев

ИНС широко используются в прогнозировании сбоев. *Orru, Zoccheddu, Sassu, Mattia, Cozza* и *Arena* представили простую и легко реализуемую модель

машинного обучения (ML) для раннего прогнозирования неисправностей центробежного насоса в нефтегазовой отрасли [5]. *Cheng H., Kong X., Chen G., Wang Q.* и *Wang R.* предложили метод для прогнозирования оставшегося срока полезного использования при множественных отказах системы, используя переносимую сверхточную нейронную сеть (TCNN) для изучения инвариантных функций домена [12]. *Atma Ram Sabu, Sanjay Kumar Palei* продемонстрировали подход к прогнозированию неисправностей в системе с использованием многослойного перцептрона (MLP) в ИНС, а также данных о причинах, симптомах и неисправностях за последние два года, записанных с помощью датчика, журнала и визуального осмотра [13].

Методы, применённые при разработке системы прогнозирования

В реальных системах сбор и обработка данных, используемых для машинного обучения, исторически должны выполняться относительно интересующей проблемы, например, сбоя оборудования. Определяя, когда конкретное оборудование вышло из строя, можно собрать предварительный набор данных, содержащий данные датчиков. Далее обрабатываются данные для получения подходящей выборки для обучения нейронной сети.

В этой работе представлены 3 вида данных для обучения нейронной сети: линейные данные, нелинейные данные, исключаяющие «или» данные с 15 параметрами и более 7000 показаний [14].

Использовались 3 вида оптимизации: метод роя частиц, алгоритм светлячков, стохастический градиентный спуск.

Цель данной работы – сравнить результаты алгоритмов и найти более подходящие алгоритмы для обучения нейронной сети при небольшом объеме данных, что позволяет применять методы прогнозирования в технологических процессах.

Метод роя частиц

Оптимизация роя частиц (PSO) – это метаэвристика, введенная Кеннеди и Эберхартом [15]. PSO поддерживает набор решений, которые итеративно обновляются для перемещения в пространстве поиска. Математические формулы применяются к скорости и положению каждой частицы. Скорость частицы определяет, насколько быстро частица перемещается в про-

странстве поиска, в то время как положение частицы представляет собой решение исследуемой проблемы. Расчёты на каждой итерации основаны на двух ранее найденных позициях. Скорость частицы вычисляется на каждой итерации по следующему уравнению:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + c_1 r_1 (y_i(t) - x_i(t)) + c_2 r_2 (\hat{y}_i(t) - x_i(t)), \quad (2.1)$$

где t – текущая итерация, $x_i(t)$ – текущее положение частицы в измерении i , $v_i(t)$ – текущая скорость частицы в размерности i , $y_i(t)$ – лучшее положение текущей частицы в измерении i , $\hat{y}_i(t)$ – лучшая позиция в измерении i , ω – инерционный член, который применяет часть предыдущей скорости к следующей скорости, c_1 – когнитивный компонент, который влияет на эффект личного наилучшего найденного положения, c_2 – обобщённый компонент, который влияет на эффект глобального наилучшего найденного положения, а r_1 и r_2 – случайные значения в диапазоне [0, 1]. [19]

Алгоритм светлячка

Алгоритм светлячка (FA) был основан на образцах мигания и поведении светлячков [13]. FA использует следующие три идеализированных правила:

- светлячки однополюсы, поэтому одного светлячка привлекают другие светлячки независимо от их пола;
- привлекательность пропорциональна яркости, и оба параметра уменьшаются по мере увеличения расстояния. Таким образом, для любых двух мигающих светлячков более яркий будет двигаться к более яркому. Если нет более яркого светлячка, чем конкретный светлячок, он будет перемещаться случайным образом;
- яркость светлячка определяется ландшафтом целевой функции.

Поскольку привлекательность светлячка пропорциональна интенсивности света, наблюдаемого соседними светлячками, можно определить изменение привлекательности β с расстоянием r следующим образом:

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2},$$

где β_0 – привлекательность при $r = 0$.

Движение светлячка i , притягивающегося к другому, более привлекательному (более яркому) светлячку j , определяется следующим образом:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j^t - x_i^t) + \alpha \epsilon_i^t, \quad (2.3)$$

где вторая часть обусловлена притяжением. Третья часть – это рандомизация, где α является параметром рандомизации, а ϵ_i^t – вектор случайных чисел, взя-

тых из распределения Гаусса или равномерного распределения в момент времени t . Если $\beta_0 = 0$, это становится простым случайным блужданием. С другой стороны, при $\gamma = 0$ FA сводится к варианту оптимизации роя частиц. Кроме того, рандомизацию можно легко распространить на другие распределения, такие как рейсы Леви [17].

Стохастический градиентный спуск

Это итерационный метод оптимизации целевой функции с подходящими свойствами гладкости. Его можно рассматривать как стохастическое приближение оптимизации градиентного спуска, поскольку оно заменяет фактический градиент (вычисленный из всего набора данных) его оценкой (вычисленной из случайно выбранного подмножества данных). Это снижает вычислительную нагрузку, особенно в задачах оптимизации большой размерности, обеспечивая более быстрые итерации для более низкой скорости сходимости [18, 19].

Результаты работы

В ходе исследования были созданы и обучены разные нейронные сети для разных задач (прогнозирование, линейные и нелинейные задачи) и получены следующие результаты.

Было выявлено, что метод роя частиц обучается быстрее (требует меньше итераций), чем остальные два метода в линейных задачах с маленьким пространством, но при использовании метода для обучения модуля прогнозирования результаты PSO были намного хуже, чем результаты FA и SGD. По результатам исследования PSO является плохим вариантом при обучении с большим количеством характеристик (входов) и маленькой обучающей выборкой.

FA дал лучшие результаты для таких задач, как исключаяющие «или». Разница увеличивается при большом количестве входов, при маленьком наборе данных FA не смог обучиться. Для задачи прогнозирования FA обучался быстрее и давал более точные результаты.

Заключение

Всё чаще в промышленности ищут более эффективные способы планирования обслуживания. Прогнозирование сбоев помогает создавать более эффективный график обслуживания оборудования, что снижает затраты.

В интеллектуальной индустрии более точное предсказывание наблю-

дается тогда, когда оборудование выходит из строя, что помогает принимать решения относительно технического обслуживания, которое необходимо выполнять, сводя к минимуму затраты и снижая рабочую нагрузку.

Основной результат работы состоит в предложении методики прогнозирования сбоев и планировании технического обслуживания с помощью нейронных сетей и выбора наилучшего метода обучения при различных видах и количестве данных. Предложенная методика также может стать целью будущих работ с учетом измерений реальных систем. Набор обучающих данных может быть построен на основе реальных измерений или смоделирован с помощью нелинейных оценок, таких как логарифмические или экспоненциальные.

Важно подчеркнуть, что исследования и разработка методов, которые помогают принимать решения в промышленности, имеют важное значение для повышения эффективности производства и снижения затрат.

Литература

1. *Amihai I.* An Industrial Case Study Using Vibration Data and Machine Learning to Predict Asset Health / I. Amihai // IEEE 20th Conference on Business Informatics (CBI). Vienna, Austria, 2018. P. 178–185.
2. *Plante T., Nejadpak A., & Yang C.X.* (2015). Faults detection and failures prediction using vibration analysis. IEEE AUTOTESTCON, (227–231). MD, USA: IEEE.
3. *Sampaio G.S., de Aguiar Vallim Filbo A.R., da Silva L.S., da Silva L.A.* Prediction of Motor Failure Time Using An Artificial Neural Network. 2019, 19(19), 4342.
4. *Verbert K.* A Multiple-Model Reliability Prediction Approach for Condition-Based Maintenance / K. Verbert, B.D. Schutter, R.A. Babuska // IEEE Transactions on Reliability. 2018. P. 1364–1376.
5. *Ntalampiras S.* Fault Diagnosis for Smart Grids in Pragmatic Conditions // IEEE Transactions on Smart Grid. 2016. № 9. P. 1964–1971.
6. *Yildirim M.* Sensor-Driven Condition-Based Generator Maintenance Scheduling. Part I: Maintenance Problem / M. Yildirim, X.A. Sun, N.Z. Gebraeel // Transactions on Power Systems. 2016. № 31. P. 4253–4262.
7. *Yildirim M.* Sensor-Driven Condition-Based Generator Maintenance Scheduling. Part II: Maintenance Problem / M. Yildirim, X.A. Sun, N.Z. Gebraeel // Transactions on Power Systems. 2016. № 31. P. 4263–4271.
8. *Machine Learning Approach Using MLP and SVM Algorithms for the Fault Prediction of a Centrifugal Pump in the Oil and Gas Industry* // Sustainability. 2020. № 12. P. 4766–4767.
9. *Daoud M.* A survey of neural network-based cancer prediction models from microarray data / M. Daoud, M. Mayo // Artificial Intelligence in Medicine. 2019, № 97. P. 204–214.
10. *Recurrent convolutional neural network based multimodal disease risk prediction* // Future Generation Computer Systems. 2018. № 92. P. 76–83.
11. *Li F.* Multi-step wind speed prediction based on turbulence intensity and hybrid deep neural networks / F. Li, G. Ren, J. Lee // Energy Conversion and Management. 2019. № 186. P. 306–322.
12. *Transferable convolutional neural network based remaining useful life prediction of bearing under multiple failure behaviors* / H. Cheng, X. Kong, Q. Wang, R. Wang // Measurement. 2021. № 168.
13. *Sabu A.R.* Fault prediction of drag system using artificial neural network for prevention of dragline failure / A.R. Sahu, S.K. Palei // Engineering Failure Analysis. 2020. № 113.
14. *www.kaggle.com:* сообщество специалистов по науке о данных: сайт. // URL: <https://www.kaggle.com/c/machine-failure-prediction/data> (дата обращения: 10.02.2018).
15. *Kennedy J.* Particle swarm optimization / J. Kennedy, R. Eberhart // Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. IV. Perth, WA, Australia, 1995. P. 1942–1948.
16. *Yang X.S.* Firefly algorithms for multimodal optimization // Lecture Notes in Computer Science. 2009. № 5792. P. 169–178.
17. *Yang X.S.* Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. Luniver Press, 2010.
18. *Suvrit S., Stephen J.W., & Sebastian N.* Optimization for Machine Learning, 2012. Massachusetts: MIT Press.
19. *Хамамех Имад Нехадович,* Алгоритмы PSO, FA и GD для прогнозирования сбоев промышленности // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики / Серия Естественные и Технические Науки – № 4, 2022. С. 130–136.



НОВОСТИ МИРА

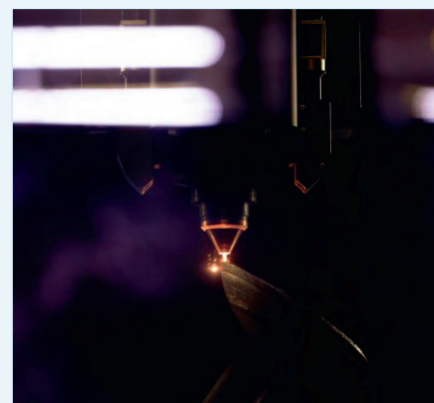
Ростех и Бауманка создадут оборудование для промышленной 3D-печати

Центр аддитивных технологий Госкорпорации Ростех и Московский центр лазерных технологий (МЦЛТ) – научно-инжиниринговый центр при МГТУ им. Баумана – заключили соглашение о сотрудничестве. Документ, направленный на создание оборудования для промышленной 3D-печати, подписали генеральный директор ЦАТ Владислав Кочкуров и генеральный директор МЦЛТ Александр Григорьянц.

В рамках проекта в Центре аддитивных технологий будет проведена апробация и опытная эксплуатация установки 3D-печати на базе технологии селективного лазерного плавления, разработанной специалистами МЦЛТ. Опытные образцы изделий, изготовленные на новом отече-

ственном оборудовании, пройдут испытания на соответствие техническим характеристикам, предъявляемым к авиационной продукции. Следующим шагом станет начало серийного производства оборудования для 3D-печати.

Основной потребитель продукции Центра аддитивных технологий – авиастроительная отрасль. Создание перспективной авиатехники, такой как самолеты Суперджет 100 или MC-21 с отечественными двигателями ПД-8 и ПД-14, немыслимо без технологий 3D-печати. Наша задача – обеспечить соответствующие возможности, предложить авиастроителям лучшие производственные решения. Совместная работа с Бауманкой направлена на создание нового поколения отечественного оборудования для этих целей, сказал генеральный директор ЦАТ Владислав Кочкуров.



Опытный образец 3D-принтера предназначен для выращивания изделий размером до 250×250×300 мм из металлических порошковых материалов: алюминиевых, бронзовых, титановых сплавов и нержавеющей стали.

rostec.ru

НОВОСТИ МИРА

**RDW TECHNOLOGY ЗАПУСКАЕТ
ПРОИЗВОДСТВО БАРЕБОН-
ПЛАТФОРМЫ НА МОЩНОСТЯХ GS
GROUP**

Российский вендор RDW Technology объявляет о старте серийного производства баребон-платформы под брендом RDW Computers на мощностях предприятий инновационного кластера «Технополис GS» (флагманский инвестиционный проект холдинга GS Group в г. Гусеве Калининградской области). Это единственная моноблочная платформа, выпуск которой локализован в Российской Федерации.

Интегрированный характер предприятий «Технополиса GS» позволил реализовать весь производственный процесс на одной площадке. Корпуса для баребонов изготавливают на заводе «Пранкор», собирают устройства на НПО «Цифровые Телевизионные Системы». Первая партия – 1500 штук.

Баребон – тот же моноблок, собранный по принципу «каркасной» системы и предназначенный для самостоятельной сборки пользователем. Баребон-платформа позволяет получить необходимое устройство, базирующееся на материнских платах наиболее распространенных форматов, и устанавливать процессоры требуемой производительности. Любому пользователю открываются неограниченные возможности в гибком подборе конфигурации устройства для решения требуемых задач.

На заводе «Пранкор» производится высококачественная технологическая оснастка различной конфигурации и сложности. Нарботанные компетенции позволили в короткие сроки организовать производство корпусов для нового устройства. Корпус баребон-моноблока RDW Computers состоит как из металлических, так и из пластиковых деталей. Детали из оцинкованной стали изготавливают методом холодной штамповки, детали из АБС-пластика – методом литья пластмасс под давлением.

На НПО «ЦТС» для производства баребон-платформ адаптировали линию финальной сборки. Процесс начинается с поверхностного монтажа электронных компонентов на плату. Затем происходит монтаж штыревых компонентов, после – пайка и сборка в корпус. Контроль качества осуществляется на всех этапах производства.

Баребон-платформа RDW Computers получила 23,8-дюймовый жидкокристаллический монитор с разрешением 1920×1080 точек, веб-камеру 5 МП, два динамика по 5 Вт, стереомикрофон, картридер, блок питания мощностью 250 Вт и безрамочный дизайн. Для повышения степени защиты информации модель снабжена считывателем радиочастотной идентификации (RFID) и сканером

отпечатка пальца. По мнению разработчиков, актуальные решения вызовут интерес к новой моноблочной платформе на рынке.

– Наша баребон-платформа сконструирована под наиболее распространенные форматы материнских плат, – рассказал о технических особенностях новинки коммерческий директор RDW Computers Роман Жданов. – В новом устройстве установлена плата собственного производства RDW-MB-B45M. На её базе сегодня собирается вся компьютерная техника бренда, находящаяся в реестре Минпромторга РФ. Материнка создана компанией в 2020 г. Это первая сертифицированная материнская плата в России на базе процессора AMD.

Новая баребон-платформа будет внесена в Единый реестр радиоэлектроники Минпромторга. Это позволит любому российскому производителю использовать её для повышения адвалорной доли в моноблоках собственного производства.

www.industry-hunter.com

**РАЗРАБОТЧИК РОССИЙСКИХ
ARM-ПРОЦЕССОРОВ СМЕНИЛ
ВЛАДЕЛЬЦА**

Основатель НПЦ «Элвис», разрабатывающего мобильные процессоры, в том числе «Скиф», вышел из капитала компании после трёх десятилетий работы. 68-летний Ярослав Петричкович продал 30% акций, и теперь контроль над «Элвисом», который переживает непростое время на фоне американских и британских санкций, перешёл к выходцу из АФК «Система» Михаилу Чёрному.

Производитель электроники гражданского назначения и разработчик российских ARM-процессоров научно-производственный центр (НПЦ) «Элвис» две недели назад сменил акционера, пишет «Коммерсант» со ссылкой на источники на рынке микроэлектроники и в правительстве.

После 30 лет работы из капитала компании вышел её основатель Ярослав Петричкович. Сотрудники компании рассказывают, что получили письмо, в котором сообщается, что 68-летний акционер покидает компанию, так как «перенёс тяжёлую болезнь и не может больше принимать активное участие в делах». С 2012 по 2020 гг. он занимал должность гендиректора предприятия.

Контроль над «Элвисом» получил глава правления компании, бывший исполнительный вице-президент АФК «Система» и член совета директоров «Башкирэнерго» Михаил Чёрный. Какую именно долю бизнеса он получил, источники издания не сообщили.

Представители рынка микроэлектроники уверены, что со сменой бенефициара прои-

зойдёт и корректировка направления развития компании. В то время как Петричкович был известен как «человек старой инженерной школы» с техническим складом ума; Чёрный больше преуспевал в коммерции и менеджменте. Это может помочь компании сменить приоритеты и начать работать с крупными партнёрами.

В 2021 г. стало известно, что «Элвис» создаст три мобильных процессора: для смартфонов («Скиф»), систем искусственного интеллекта и устройств Интернета вещей. Процессоры планировалось произвести на тайваньской фабрике TSMC.

Первые отладочные платы различной конфигурации со «Скифами» осенью 2021 г. получили «Инновационная внедренческая компания», с которой связан «Базальт СПО» – разработчик линейки ОС «Альт», «Открытая мобильная платформа» – разработчик российской мобильной ОС «Аврора», входящий в «Ростех» НИИ «Масштаб», ICL и «Байтэрг».

В конце 2021 г. «Элвис» также стал участником проекта «Россетей» для разработки программно-аппаратных комплексов робототехнических систем охраны. Компания также собиралась поставлять процессор «Скиф».

Согласно базе «Контур.фокус», выручка компании по итогам 2021 г. достигла 1,1 млрд руб., что на 55% ниже, чем по итогам 2020 г., когда она заработала 2,4 млрд руб. Чистая прибыль упала почти на 100% и составила 2,5 млн руб. вместо 237,1 млн руб. в 2020 г.

Вероятно, не лучшим для бизнеса окажется и 2022 г., в том числе из-за пакета санкций США, который был введён на фоне геополитического кризиса на Украине 4 марта 2022 г. Жертвой санкций «Элвис» оказался наряду с другими отечественными чипмейкерами: «Байкал электроникс», МЦСТ, НТЦ «Модуль» и пр. Согласно ограничениям, иностранные контрагенты теперь обязаны согласовывать с бюро промышленности и безопасности (BIS) Минторга США все поставки российским компаниям. Речь идёт о любой продукции, произведённой по американским технологиям. Американский регулятор намерен действовать в рамках «политики отказа».

Великобритания в отношении «Элвиса» ввела санкции 5 мая 2022 г. Они означают заморозку активов организаций и ограничения на оказание технологических услуг, среди которых запрет на использование в новых разработках архитектуры британской компании ARM и возможные ограничения на производство на фабриках по всему миру текущих моделей процессоров. В довершение всего производство российских процессоров было остановлено на заводах тайваньской TSMC.

www.russianelectronics.ru

Проектирование информационно-управляющей системы анализа статистических данных функционирования производственной системы

Елизавета Каширская, Елена Воробьева

Данная статья посвящена статистическому анализу информации о функционировании производственной системы на примере технологического процесса круглого шлифования методом врезания.

Введение

В данной работе рассматривается статистический анализ данных о функционировании производственной системы. В качестве примера системы взят технологический процесс круглого шлифования методом врезания, который, в основном, используется для финишной обработки изделий цилиндрической и конической форм. Статистический анализ предполагает сбор статистической информации о процессе (а также разработку метода сбора), проведение статистической обработки для выявления закономерностей процесса, получение ряда выводов для дальнейшего прогнозирования. Данная работа будет касаться только обработки и анализа уже собранных данных.



Рис. 1. Осциллограмма, отражающая процесс шлифования



Рис. 2. Данные об отклонении обработанной шлифованием детали от круглой формы, полученные в виде круглограммы

Основная часть

Шлифование представляет собой процесс обработки заготовок резанием, когда для придания заготовке формы или для финишной обработки снимается стружка с помощью инструмента, содержащего в себе абразивные частицы. При круглом шлифовании работа ведётся с заготовками цилиндрической или конической форм. В качестве инструмента берётся шлифовальный круг. В данной работе рассматривается круглое шлифование методом врезания, при котором совершается несколько видов движений:

1. вращение шлифовального круга, которое является главным движением при резании;
2. вращение заготовки или круговая подача;
3. поперечное перемещение шлифовального круга на заготовку.

При шлифовании методом врезания, в отличие от других видов шлифования, отсутствует продольная подача детали вдоль инструмента. Этого можно

добиться, если высота шлифовального круга будет больше высоты самой заготовки. Обработка заготовок в промышленных условиях происходит с помощью станка. Для круглого шлифования соответственно используется круглошлифовальный станок.

Статистический анализ работы оборудования необходим для анализа произошедших при обработке проблем, для улучшения работы самого оборудования, уменьшения погрешностей обработки. Процесс анализа можно разделить на несколько этапов:

- сбор статистической информации о процессе;
- статистическая обработка собранной информации;
- выявление закономерностей и формирование выводов о процессе;
- далее возможно прогнозирование процесса.

Сбор статистической информации происходил при помощи эксперимента. Для этого был собран экспериментальный стенд, состоящий из круглошлифовального станка, объекта исследования и аппаратуры для сбора информации. Круглошлифовальный станок обрабатывал заготовку заданной формы и размеров с помо-

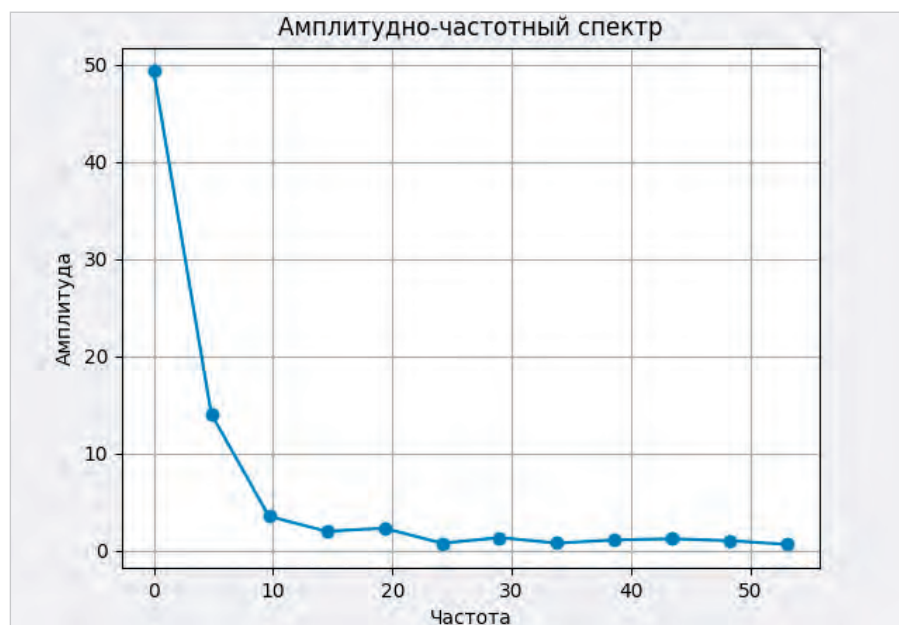


Рис. 3. Результаты гармонического анализа в виде амплитудно-частотного спектра

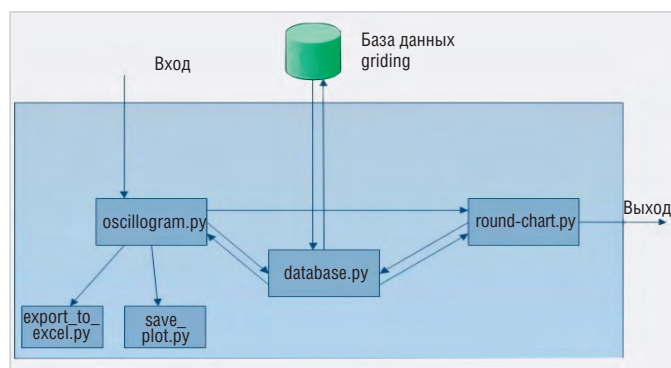


Рис. 4. Функциональная структура полученной программы

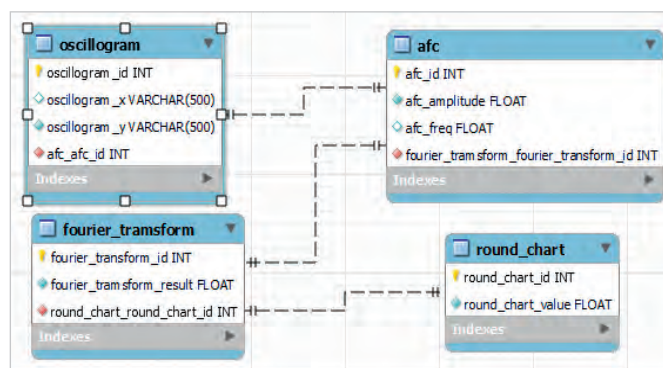


Рис. 5. Функциональная схема базы данных

щью шлифовального круга до необходимой точности. При этом с помощью аппаратуры были записаны данные об относительных вибросмещениях между заготовкой и инструментом. Измерительная цепочка состояла из пьезоэлектрического датчика на входе, виброизмерителя и самописца на выходе. Результатом эксперимента являлась осциллограмма, отражающая процесс шлифования (рис. 1).

Таким образом были обработаны 70 заготовок. После обработки были получены данные об отклонении обработанной шлифованием детали от круглой формы, полученные в виде круглограмм (рис. 2). В данной работе процесс сбора статистической информации не проводился.

С осциллограмм были сняты показания с заданной частотой дискретизации. Для этих данных был проведен гармонический анализ, результатом которого являлся амплитудно-частотный спектр процесса (рис. 3).

Гармонический анализ был проведен программно с помощью библиотеки `scipy` языка программирования Python. Для анализа использовалась формула преобразования Фурье в комплексном виде:

$$h(\omega) = \int f(t) e^{-2\pi i \omega t} dt.$$

Для анализа круглограмм необходимы значения эксцентриситета заготовки, который был рассчитан экспериментально при помощи оборудования. Помимо этого, были взяты расчётные значения отклонений от круглости, в качестве которых использовались двойные значения амплитуды первой гармоники, полученной при гармоническом анализе. Для этих значений была проведена оценка полученной расчётной модели по критерию Фишера, рассчитанной по формуле:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{on}^2},$$

где S_{ad} – дисперсия адекватности, показывающая разброс ряда, полученного с помощью расчета, S_{on} – дисперсия опыта, показывающая разброс ряда, полученного с помощью опыта.

Полученный критерий сравнивался с табличным значением, которое выбирается в зависимости от доверительной точности оценки γ и от количества степеней свободы для каждого набора данных. Доверительную точность возьмём равной $\gamma = 0,95$. Данная точность принята стандартной в научных исследованиях. Количество степеней свободы рассчитано с помощью критерия Стьюдента и равно $k_1 = 82, k_2 = 82$. Табличное значение при данных параметрах равно: $F_{табл} = 1,47$.

Данные расчёты были проведены с помощью встроенных средств языка программирования Python и дополнительной библиотеки `pumpy`. Помимо модулей расчётов, в работе были также разработаны модули для создания графиков (библиотека `matplotlib`), для сохранения результатов в файлы Excel (библиотека `pandas`) и для взаимодействия с базой данных (компонент `MySQL.connector`). Функциональная структура полученной программы представлена на рис. 4.

При запуске программы начинается работу модуль `oscillogram.py`, который необходим для гармонического анализа осциллограмм. Он взаимодействует с базой данных посредством модуля `database.py`, который содержит все необходимые функции для подключения к базе и работы с ней. Результаты анализа записываются в базу данных, а также выводятся из программы в виде графиков и таблицы с помощью модулей `save_plot.py` и `export_to_excel.py` соответственно. Далее запускается модуль `round_chart.py`, который отвечает за обработку

круглограмм и оценку произведённого анализа. На выходе из программы мы получаем вывод об адекватности полученной модели.

База данных используется для хранения начальных данных и результатов анализа. Функциональная схема представлена на рис. 5.

База данных состоит из 4 таблиц.

1. `Oscillogram` – содержит значения, снятые с осциллограмм в виде пары x и y . Каждое значение является массивом значений для одной заготовки.
2. `Afc` – амплитудно-частотные спектры, полученные при гармоническом анализе. Также являются массивами значений.
3. `Fourier_transform` – расчётные значения отклонений от круглости.
4. `Round_chart` – экспериментальные значения отклонений от круглости.

Заключение

В данной статье был рассмотрен технологический процесс круглого шлифования методом врезания. Были рассмотрены особенности статистического анализа и разработана ИУС. По результатам работы программы можно сделать вывод, что анализ данных прошёл успешно. Полученные результаты соответствуют ожидаемым. ИУС работает корректно.

Литература

1. Ящерицын П.И. Основы резания материалов: учебное пособие / П.И. Ящерицын, В.Д. Евремов. Минск: БГАТУ, 2008. 644 с.
2. Ивченко Г.И. Математическая статистика: учебник / Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. 352 с.
3. Уэс Маккинли. Python и анализ данных / пер. с англ. А.А. Сливкина. М.: ДМК Пресс, 2015. 482 с.



Прогнозирование состояния технологического процесса

Андрей Бриллиантов

Для прогнозирования состояния технологического процесса была предложена система с использованием искусственных нейронных сетей и алгоритма машинного обучения Random Forest. Были рассмотрены этапы системы прогнозирования на примере работы и настройки системы прогнозирования технологического процесса. Обучающая выборка состоит только из значений нормальной работы. Появление сигнала о критическом состоянии процесса зависит от отклонения прогнозного сигнала и фактического.

Введение

Основную роль на производстве занимают технологические процессы, отвечающие за изменение форм, размеров, физико-химических и других свойств продукции. В условиях крупносерийного, массового производства и автоматизации технологических процессов, а также в условиях жёсткой конкурентной борьбы качество выпускаемой продукции и оказания услуг вышло на первый план. Важнейшими параметрами технологических процессов является обеспечение стабильности работы технологического оборудования, качество выпускаемой продукции и оказания технически сложных услуг.

Основная часть

Сегодня большое внимание уделяется возможности отслеживания в реальном времени сбоев в работе технологического оборудования с использованием интеллектуальных систем. Быстрое и своевременное обнаружение неисправности в работе агрегатов даёт наименьшие финансовые затраты на починку

и восстановление работоспособности всего процесса, что, в свою очередь, повышает эффективность и производительность производства.

Алгоритмы искусственного интеллекта с большей эффективностью подходят для прогнозирования состояния всего технологического процесса.

Современные технологические процессы обеспечены необходимым количеством датчиков, позволяющих вести контроль и отслеживание различных параметров работы. Таких параметров может быть очень много. При решении задачи прогнозирования необходимо выбрать основные, которые оказывают наибольшее воздействие на объект исследования. Наиболее актуальными становятся решения этой задачи с применением методов машинного обучения. В основном, построение прогнозных моделей осуществляется на обучении на прецедентах, что зачастую не подходит для применения ко многим объектам исследования. При таком подходе требуется большая база знаний, основанная на статисти-

ке ремонта и сбоев, собираемая в течение большого времени наблюдения за объектом. Именно поэтому сегодня актуально повышение качества прогнозирования с целью своевременно-го определения состояния технологического процесса.

Основной метода обучения является выборка, состоящая из групп данных, в которых нет значений, соответствующих отказам, сбоям или аномальному режиму работы, то есть выборка состоит из групп значений, соответствующих нормальному режиму работы объекта исследования. Таким образом, обученная модель прогнозирует нормальный режим работы. При таком подходе затраченное время для сбора данных и начала работы системы прогнозирования сводится к минимуму.

В качестве примера работы и настройки алгоритма прогнозирования был выбран технологический процесс «Система автоматической мойки колес, арок и порогов автомобилей при въезде на закрытые автостоянки «МОЙДОДЫР-К-10» (далее – «Мойка»). Автомобиль по пандусу со скоростью около 3 км/ч въезжает в лёгкий экранирующий тоннель (рис. 1(2)), где установлены фотодатчики. При срабатывании датчиков включаются центробежные насосы (рис. 1(6, ба)), осуществляющие подачу подогретой воды на блоки форсунок (рис. 1(1)). Из форсунок под действием электродвигателя струи воды под определёнными углами, динамически меняющи-

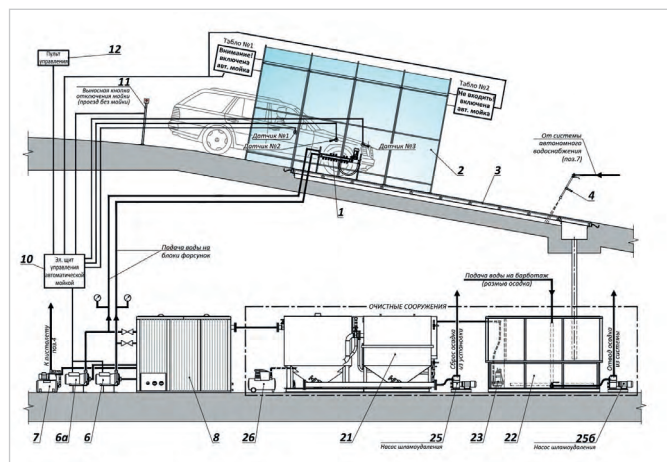


Рис. 1. Схема автоматической мойки колёс автомобиля

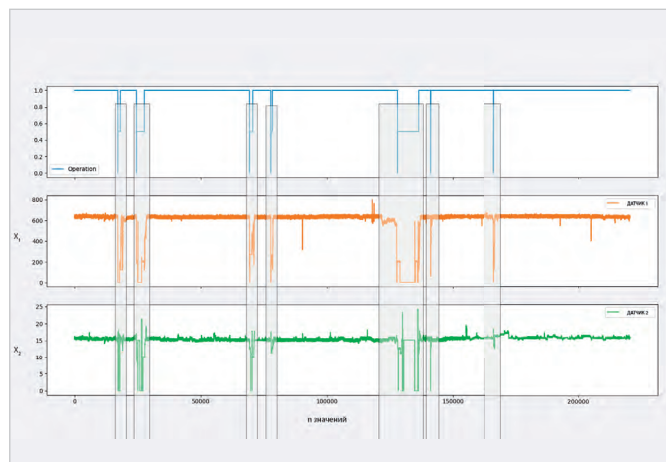


Рис. 2. Данные с датчиков, установленных на центробежном насосе

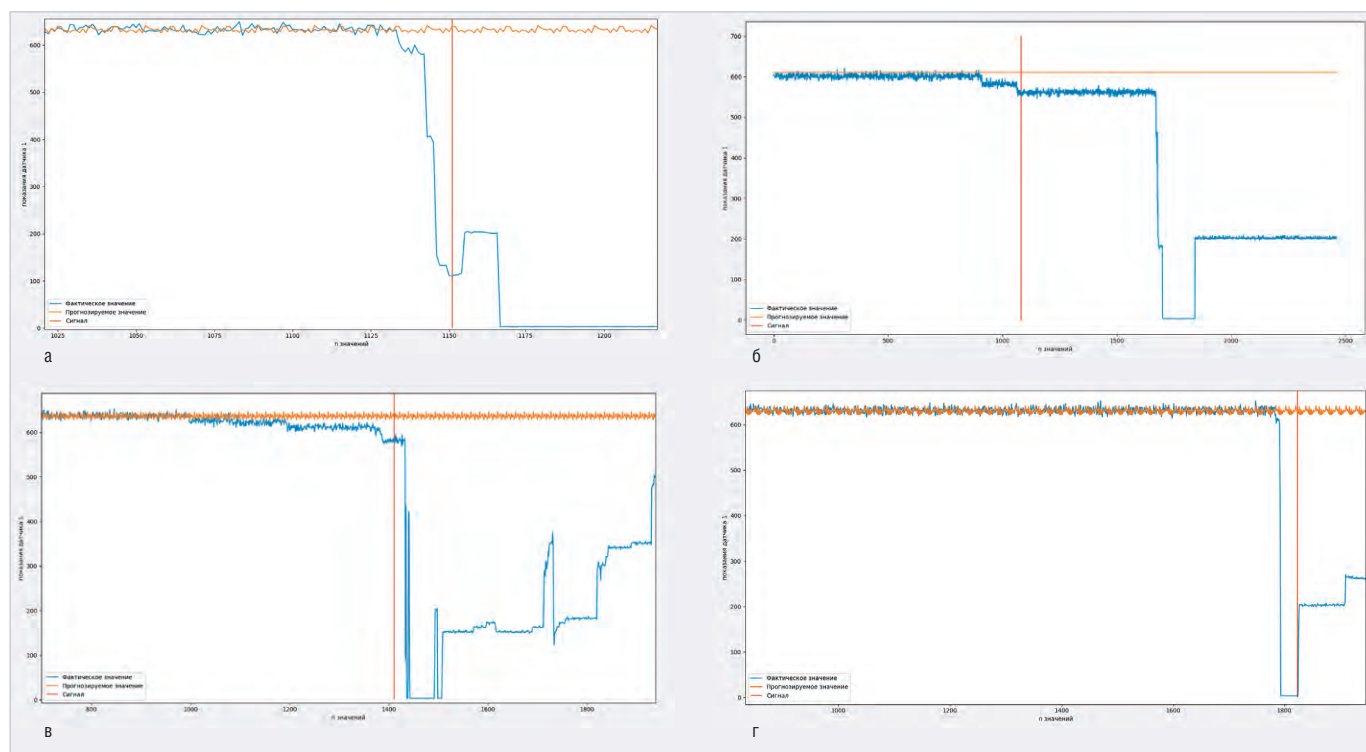


Рис. 3. Прогнозирование момента отказа насоса

мися, с высокой скоростью поступают в зоны основных загрязнений автомобиля: колёса, пороги и арки автомобиля. Отпадающие куски снега и льда продавливаются колесами в лоток (рис. 1 (3)), тают и вместе с грязной водой попадают по сбросному трубопроводу в очистные сооружения. Центробежный насос является одним из основных составляющих в данном технологическом процессе. В случае если насос выйдет из строя, процесс не сможет функционировать. Центробежные насосы в любом технологическом процессе занимают основную роль, а также являются жизненно важными и дорогостоящими системами, которые потребляют большое количество энергии и требуют больших затрат на ремонт или замену.

Система прогнозирования состоит из трёх этапов: формирование моделей обучения, обучение нейронной сети, прогнозирование нормальной работы.

Первоначально формируются модели из групп параметров, собранных с узлов процесса и состоящих из значений, соответствующих нормальному режиму работы.

На этапе обучения происходит формирование обучающих выборок, количество которых соответствует количеству моделей обучения. Выборки подразделяются на группы, состоящие из n значений, и каждой группе соответствует фактическое состояние процесса в следующий момент вре-

мени, то есть правильным ответом на группу является нулевое значение следующей группы. На основе сформированных выборок происходит обучение модели. В качестве алгоритма обучения был выбран Random Forest. Данный алгоритм основан на построении множества решающих деревьев. Этот алгоритм машинного обучения является одним из наиболее часто используемых алгоритмов из-за его простоты и разнообразия (его можно использовать как для задач классификации, так и для задач регрессии). Для решения задачи прогнозирования состояния процесса лучше всего подходит регрессия дерева решений.

К основным преимуществам использования Random Forest для прогнозирования состояния процесса относится возможность выявления значимых параметров, оказывающих определяющее влияние на прогноз.

На третьем этапе на основе обученных моделей определяется возникновение критической работы процесса. Модели прогнозируют следующий временной период, и полученное значение сравнивается с фактическим. Производится расчёт отклонения прогнозного значения от фактического, при этом задаётся порог для отклонения. Если было зафиксировано определённое количество отклонений, то происходит сигнал о возможном прекращении выполнимости технологического

процесса и указывается, какая модель выдаёт сигнал, что может послужить определению причины критической работы процесса.

В качестве параметров технологического процесса будут выступать значения с датчиков, установленных на центробежном насосе. Предоставленная выгрузка показаний датчиков составляет более 200 000 значений. Данные с двух датчиков собраны в базе данных в процессе эксплуатации. На рис. 2 зафиксировано 7 случаев отказа насоса.

На этапе обучения рассматриваемые данные с датчиков центробежного насоса делятся на выборки с группами, состоящими из 20 значений. После обучения алгоритма получаем две обученные модели для дальнейшего прогнозирования отказов агрегата.

В рассматриваемом технологическом процессе было определено отклонение прогнозного сигнала от фактического, которое составило 5%, что позволяет спрогнозировать нерабочее состояние центробежного насоса заранее.

В данном случае был определён порог в виде 95% и более случаев фиксации аномалий для последних 20 прогнозов.

Для проверки работоспособности алгоритма были взяты группы данных из выгрузки, близких к значениям отказа насоса, и поочередно по группам поданы в систему. Такой вариант позволил симитировать работу системы в реальном времени, что также позво-

лило быстро проверить правильность работы и настройки системы под данный процесс.

Изначально было известно, что насос 7 раз выходил из строя. Это показано на рис. 2. На рис. 3 (а...в) представлены графики, где рыжим цветом обозначена прогнозируемая величина, синим цветом фактическая, а красная вертикальная линия обозначает момент, в котором был спрогнозирован отказ насоса и подан сигнал об аномальной работе процесса.

На рис. 3 (а...в) видно, что после сигнала агрегат продолжал работу в аномальном состоянии и после некоторого количества циклов получал сбой.

На рис. 3г видно, что система не смогла вовремя спрогнозировать аномальную работу. По графику заметно, что значение датчика резко падает по сравнению с другими случаями аномальной работы. Возможно, данный случай был вызван вследствие жёсткой перезагрузки системы.

По результатам проведённых проверок аномальной работы агрегата определено, что 6 из 7 случаев сбоя были верно спрогнозированы. Причём сигнал о сбое поступал заранее, что в реальном случае даст время на остановку процесса и устранение причин возможной дальнейшей аномальной работы.

Заключение

Предложенный алгоритм системы прогнозирования, основанный на искусственном интеллекте, подойдёт для любого технологического процесса и нового оборудования. С его помощью можно спрогнозировать отказ определённого узла до наступления критической работы процесса. Также система помогает повысить производительность технологических процессов, преждевременно выявить неисправность и, как следствие, уменьшить затраты на ремонт и обслуживание.

Литература

1. Alestra S., Brand C., Burnaev E., Erofeev P., Papanov A., Bordry C., Silveira-Freixo C. Rare event anticipation and degradation trending for aircraft predictive maintenance // 11th World Congress on Computational Mechanics, WCCM 2014, 5th European Conference on Computational Mechanics, ECCM 2014 and 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics, ECFD 2014 11, 2014. С. 6571–6582.
2. Юнусова Л.Р., Магзумова А.Р. Классификация искусственных нейронных сетей // Высшая инженерная школа – Набережночелнинский институт – Казанский федеральный университет. Набережные Челны, 2019. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-iskusstvennyh-neyronnyh-setey-1/viewer>.
3. Nielsen Michael. Neural Networks and Deep Learning [Электронный ресурс] // Michael Nielsen, 2019. URL: <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/> (дата обращения: 25.03.2021).



НОВОСТИ МИРА

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ВНОВЬ ЗАБУКСОВАЛО: НА РОССИЙСКИЙ РЫНОК ХОТЯТ ДОПУСТИТЬ КИТАЙСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ БОЛВАНОВ БАНКОВСКИХ КАРТ

В конце прошлой недели прошло совместное совещание представителей Банка России, Министерства промышленности и торговли, а также отечественных производителей банковских карт. Как выяснилось, импортозамещение вновь забуксовало и в этой сфере.

Причём забуксовало так, что уже в самое ближайшее время в России могут начаться глобальные перебои с банковскими картами. Дело в том, что в нашей стране существует лишь один-единственный производитель чипов для них – компания «Микрон». Однако, даже если к 2025 году компании удастся удвоить производство, «Микрон» всё ещё не сможет удовлетворить потребность отечественных банков.

На данный момент нехватка компенсируется за счёт чипов из Китая и Кореи. Но импортировать чипы с каждым днём становится всё труднее и дороже, и не только из-за геополитической ситуации вокруг Украины, но и из-за глобального дефицита.

Так что поставки из Азии могут оборваться в любой момент. Чтобы этого не произошло, рассматривается допуск на российский рынок китайских производителей карт,

которые откроют в России лишь свои представительства, а саму продукцию будут поставлять из Китая.

www.kommersant.ru

Японцы выпустили HDD емкостью 26 ТБ, а в 2023-м году они представят жёсткие диски на 30 ТБ – поместится всё

Портал HardwareTimes пишет, что компания Showa Denko из Страны восходящего солнца выпустила жёсткие диски с рекордной ёмкостью 26 ТБ.

Это 3,5-дюймовые HDD. Они состоят из 10 алюминиевых пластин с высокой плотностью записи (более 1 ТБ/дюйм²) и ёмкостью 2,6 ТБ каждая. Кроме того, используются сразу две технологии записи: ePMR и SMR.

ePMR – революционная гибридная технология. В процессе записи она поддерживает и усиливает магнитное воздействие записывающей головки на пластину жёсткого диска. Что касается SMR, то это технология черепичной магнитной записи – в HDD с её применением каждый последующий трек при записи буквально накладывается на прошлый. Стоимость HDD на 26 ТБ, увы, не называется. Но дешёвыми такие жёсткие диски точно не будут. К слову, останавливаться на достигнутом японцы из Showa Denko не намерены. В следу-

ющем году они выпустят нового рекордсмена – HDD на 30 ТБ.

www.hardwaretimes.com

Представлен первый полностью российский электропоезд, способный разгоняться до 160 км/ч

На Тверском вагоностроительном заводе (ТВЗ, входит в состав АО «Трансмашхолдинг») завершилась работа приёмочной комиссии по оценке работы по созданию новейшего российского электропоезда «Иволга 3.0».

Данная модель интересна в первую очередь тем, что является первым электропоездом с конструкционной скоростью 160 км/ч, полностью спроектированным и изготовленным в России на отечественной компонентной базе. Хотя, конечно, сверхскоростным его всё же не назовёшь.

Например, те же бегающие по отечественным железным дорогам «Сапсаны» от недавно ушедшего из России немецкого холдинга Siemens рассчитаны на скорость до 300 км/ч. По итогам работы комиссии был подписан акт, подтверждающий соответствие поезда техническому заданию, благодаря чему уже в ближайшее время будет запущено производство партии из 35 одиннадцативагонных составов с «Иволга 3.0» во главе.

www.ichip.ru

НОВОСТИ МИРА

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ НЕ СРАБОТАЛО: «РОСАТОМ» ПОПЫТАЛАСЬ ПЕРЕЛОЖИТЬ ТЕХПОДДЕРЖКУ С АМЕРИКАНЦЕВ НА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ИНТЕГРАТОРА, НО ТОТ ОТКАЗАЛСЯ

Компания Hewlett Packard Enterprise (HPE) отказала в техподдержке дочернему предприятию госкорпорации АО «ГРИНАТОМ».

Среди более чем тысячи иностранных компаний, покинувших нашу страну из-за специальной военной операции в Украине, значится и один из ведущих мировых производителей серверов, суперкомпьютеров, систем хранения данных и другого не менее важного корпоративного железа и софта для него – американская компания Hewlett Packard Enterprise (HPE).

На днях стало известно, что её уход довольно неприятно отразился на российском государственном холдинге «Росатом», объединяющем более 400 предприятий атомной отрасли. Дело в том, что HPE отказала в технической поддержке одному из дочерних предприятий «Росатома» – компании «ГРИНАТОМ». Получив отказ из-за океана, госкорпорация решила, что самое время обратиться к импортозамещению и потребовала нужную ей техническую поддержку от своего российского поставщика серверов.

Вот только поставщик этот – интегратор «СТК Развитие» – отказался брать на себя данные обязательства, сообщив следующее: «Мы не можем оказывать услуги по таким сертификатам ни с юридической, ни с фактической точек зрения. У нас нет штатных инженеров с необходимым статусом, у нас нет обновлений ПО, у нас нет прав на вмешательство в оборудование при возникновении сервисного случая».

www.ichip.ru

В РОССИИ МОЖЕТ ЗАМЕДЛИТЬСЯ РАБОТА YouTube и других ПОПУЛЯРНЫХ АМЕРИКАНСКИХ СЕРВИСОВ

В самое ближайшее время россияне могут столкнуться с замедлением работы горячо любимого всеми видеохостинга YouTube и других популярных американских сервисов. И речь тут не идёт о принудительном снижении скорости загрузки, которым отечественные власти уже неоднократно угрожали иностранным интернет-компаниям в ответ на их нежела-

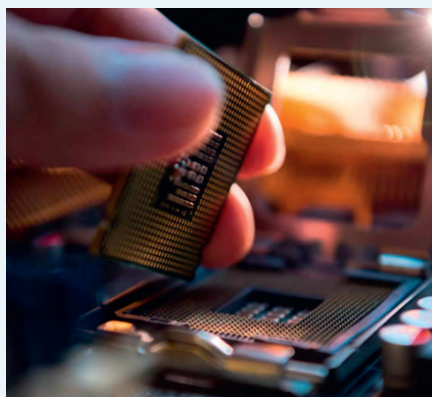
ние блокировать запрещённый в России контент или, наоборот, нежелание разблокировать официальные пропагандистские СМИ.

Нет, на этот раз речь идёт о решении самой американской компании Google, которой, среди прочего, принадлежит и YouTube. На днях отечественные интернет-провайдеры начали получать уведомления от Google об отключении части серверов. Причём это именно те серверы, что используются для ускорения загрузки контента, в том числе и роликов с YouTube. Такой поступок американцев связан с тем, что некоторые отечественные интернет-провайдеры попали под западные санкции.

www.rbc.ru

РОССИЯ РЕШИЛА НАПОМНИТЬ НЕДРУЖЕСТВЕННЫМ СТРАНАМ ОБ ИХ ИМПОРТОЗАВИСИМОСТИ – ОГРАНИЧЕНИЕ ЭКСПОРТА ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ УДАРИТ ПО МИРОВОМУ ПРОИЗВОДСТВУ МИКРОСХЕМ

Правительство РФ приняло постановление, которое ограничивает до конца года экспорт инертных газов, в том числе неона, аргона, гелия и других. Эти газы активно используются для производства полупроводниковой продукции, включая микросхемы. Что касается микросхем, то они используются в смартфонах, бытовой технике, автомобилях, навигационных системах и множестве самых разных отраслей.



Доля России на мировом рынке поставщиков неона составляет 30%. Экспорт газа теперь будет доступен только по решению правительства. С начала пандемии коронавируса в мире начался глобальный дефицит полупроводников – после того как Украина приостановила поставки неона с двух своих заводов.

Россия решила напомнить недружественным странам об их импортозави-

симости. Теперь российский Минпромторг определит, кто будет иметь доступ к неону, криптону, ксенону – ключевым и критически важным газам для производства полупроводников, более 30% которых на мировом рынке приходится на нашу страну, сообщает источник в финансово-экономическом блоке правительства.

Эксперты считают, что для многих стран это решение будет весьма чувствительным. В ответ Россия рассчитывает на конструктивный и прагматичный подход иностранных производителей к поставкам необходимой микроэлектронной продукции в нашу страну.

Правительство будет учитывать достигнутые договоренности при принятии решений по экспортным поставкам этих газов.

www.ixbt.com

В РОССИИ РАЗРАБОТАЛИ НОВЫЙ ТИП НАВИГАЦИИ, ДЕЛАЮЩЕЙ ДРОН НЕУЯЗВИМЫМ ДЛЯ СИСТЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

По сообщению ТАСС, специалистами группы компаний «Калашников» (входит в госкорпорацию «Ростех») разработан новый тип навигации для дронов. Решение делает беспилотные летательные аппараты (БПЛА) практически неуязвимыми для систем радиоэлектронной борьбы (РЭБ).



Разработка не зависит от спутниковой навигации и реализована в замкнутом контуре управления. Это позволяет беспилотнику успешно противостоять средствам радиоэлектронной борьбы, перехватить управление таким дроном невозможно, процитировало издание свой источник в «Ростехе».

В госкорпорации также отметили на порядок большую точность новой навигационной системы в сравнении с инерциальной. Разработчики убеждены, что их решение сведёт потери беспилотников к единичным случаям.

<https://iot.ru>

Высокоизбирательные перестраиваемые фильтры

Андрей Яковлев, Александр Тюменцев

В работе рассмотрены вопросы реализации высокоизбирательных перестраиваемых полосовых фильтров, предназначенных для использования в качестве преселекторов/постселекторов в приёмопередающей аппаратуре.

Одной из тенденций приёмопередающей аппаратуры связи является дальнейшее улучшение её основных параметров, прежде всего, таких как чувствительность, помехозащищённость, динамический диапазон и т.д. Многие из этих параметров определяются используемыми во входных цепях радиоприёмных устройств и в выходных каскадах возбуждителей характеристиками частотно-избирательных устройств, в качестве которых широкое применение находят полосовые перестраиваемые фильтры.

Как правило, такие фильтры реализуются на основе схем второго порядка, представляющих собой два связанных контура. Однако избирательность подобных фильтров в ряде случаев оказывается недостаточной для их использования в перспективных радиосредствах. Повышение избирательности за счёт увеличения порядка фильтра, или, иными словами, числа резонансных контуров, ведёт к росту потерь в полосе пропускания фильтров и, как следствие, уменьшению чувствительности. Поэтому проектирование перестраиваемых фильтров, обладающих высоким затуханием в полосе задерживания (не менее 50...60 дБ при отстройке от частоты настройки на 10%) и малыми потерями, требует решения ряда взаимоисключающих вопросов и является достаточно сложной технической задачей.

В настоящей работе рассматриваются возможности создания высокоизбирательных полосовых фильтров с низкими потерями в полосе пропускания и малым временем перестройки, кото-

рые могут быть использованы в качестве преселекторов/постселекторов в перспективной приёмопередающей аппаратуре.

Как показывают расчёты, проведённые на основе известных методов [1], для реализации затухания порядка 50...60 дБ при отстройке от частоты настройки на 10% необходим фильтр 4-го порядка. Один из вариантов полосового перестраиваемого фильтра, который нашёл наиболее широкое практическое применение и обеспечивает заданную избирательность, приведён на рис. 1. Процедура синтеза такого фильтра и соотношения для определения значений его элементов приведены в [1...3].

Перестройка фильтра по частоте осуществляется с помощью дискретных конденсаторов переменной ёмкости (ДКПЕ), представляющих собой набор коммутируемых конденсаторов (рис. 2). Для обеспечения малого времени перестройки в качестве элементов коммутации наиболее часто используют pin-диоды. Сопротивление перехода pin-диода (r) в открытом состоянии зависит от параметров диода и протекающего постоянного тока (1) и определяет в соответствии с (2) добротность ДКПЕ.

$$r = \frac{W^2}{(\mu_p + \mu_n) \times \tau \times I_0}, \quad (1)$$

$$Q_c = \frac{1}{\omega \times C \times r}. \quad (2)$$

Здесь W – ширина нелегированной i -области диода,

μ_p и μ_n – концентрация электронов и дырок в сильнолегированных областях,

τ – время жизни заряда,
 I_0 – прямой ток смещения.

В свою очередь, сопротивление потерь $a_{\text{пот}}$ в полосе пропускания полосового фильтра, как следует из выражения (3) [4], зависит от относительной ширины полосы пропускания и добротности используемых элементов.

$$a_{\text{пот}} = 4,34 \times \frac{f_0}{\Delta} \times \sum_{i=1}^n \frac{g_i}{Q_i}, \text{ дБ}, \quad (3)$$

где f_0 – центральная частота фильтра,
 Δ – ширина полосы пропускания фильтра,

g_i – параметры прототипа,
 Q_i – добротность i -го элемента.

Поэтому при проектировании высокоизбирательных перестраиваемых полосовых фильтров, обладающих малыми потерями в полосе пропускания, необходимо учитывать потери как в катушках индуктивности, так и в конденсаторах, стремясь минимизировать их. Уменьшение потерь в катушках индуктивности может быть достигнуто при проектировании фильтра за счёт выбора коэффициентов преобразования инверторов полной проводимости [1...3] такими, чтобы расчётные значения катушек индуктивности являлись наиболее оптимальными в части обеспечения максимальной добротности в диапазоне перестройки частот фильтра при заданных габаритных размерах.

Задаваясь добротностью катушек индуктивности и потерями в полосе пропускания, на основании выражения (3) можно определить минимально необходимую добротность ДКПЕ. Далее, исходя из параметров выбранного pin-диода, заданного тока и используя формулы (1) и (2), необходимо определить максимальное значение коммутируемой ёмкости ДКПЕ и количество его разрядов, исходя из следующих соотношений:

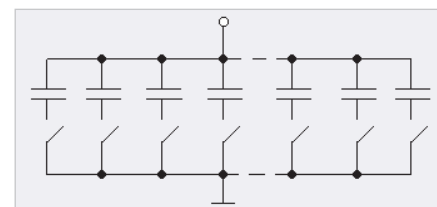


Рис. 2. Схема дискретного конденсатора переменной ёмкости

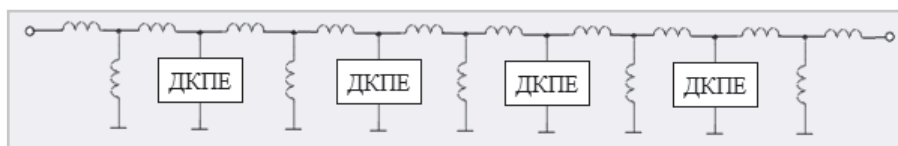


Рис. 1. Схема перестраиваемого полосового фильтра

$$C_{\max} = \frac{1}{\omega \times Q_{\min} \times r},$$

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i + C_0, \quad (4)$$

$$\frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \left(\frac{C_{\Sigma}}{C_1 + C_0} \right)^2,$$

где C_{Σ} – суммарная ёмкость ДКПЕ,

C_i – ёмкость i -го конденсатора ДКПЕ,

C_1 – ёмкость первого разряда ДКПЕ, определяющая шаг перестройки,

C_0 – начальная ёмкость, учитывающая ёмкость монтажа и pin-диодов.

Принимая во внимание, что добротность катушек индуктивности в КВ-диапазоне, как правило, составляет 150...200, на основе соотношения (3) было установлено, что для обеспечения потерь не более 6 дБ в полосе пропускания фильтра с относительной шириной полосы пропускания 3% добротность

ДКПЕ должна составлять 300...500. Исходя из вышесказанного, были рассчитаны и изготовлены перестраиваемые полосовые фильтры на диапазон частот от 1,5 до 30 МГц с коэффициентом перестройки по частоте 2,5...3,0. На рис. 3 приведена экспериментальная АЧХ одного из таких фильтров на диапазон частот 4...10 МГц. При относительной ширине полосы пропускания порядка 3% вносимые потери фильтров составили 5...6 дБ, затухание в полосе задерживания при отстройке $\pm 10\%$ – 60 дБ.

Литература

1. Ханзел Г. Справочник по расчёту фильтров / пер. с англ. под ред. А.Е. Знаменского. М., 1974. 288 с.
2. Знаменский А.Е., Попов Е.С. Перестраиваемые электрические фильтры. М.: Связь, 1979. 128 с.
3. Алексеев Л.В., Знаменский А.Е., Лоткова Е.Д. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазонов. М.: Связь, 1976. 280 с.
4. Матей Г.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. Т. 1 / пер. с англ. под ред. Л.В. Алексеева и Ф.В. Кушнира. М., 1971. 439 с.
5. Microsemi-Watertown. The PIN-diode circuits designers handbook. 1998. 137 p.

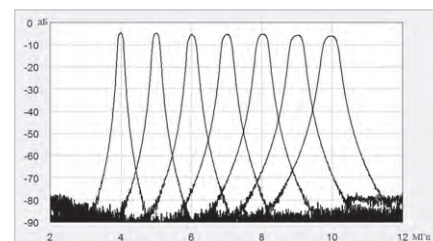
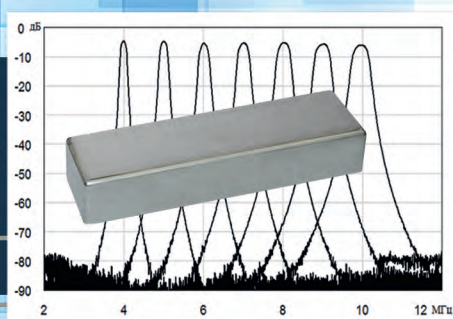


Рис. 2. Схема дискретного конденсатора переменной ёмкости

ОМСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ



АО «ОНИИП» разработало линейку высокоизбирательных перестраиваемых фильтров КВ-УКВ диапазона, предназначенных для использования в качестве преселекторов радиоприемных устройств и селекторов возбuditелей радиопередающих устройств со следующими параметрами:

1. Диапазон частот 1,5...108 МГц.
2. Коэффициент перестройки по частоте 2,5...3,5.
3. Потери в полосе пропускания не более 5...6 дБ.
4. Относительное затухание при отстройке $\pm 10\%$ от частоты настройки не менее 50 дБ – для КВ-диапазона; не менее 40 дБ – для УКВ-диапазона.
5. Уровень блокирования не менее 150 дБмкВ.
6. Время перестройки не более 0,5 мкс.

Россия, Омск, 644009, Масленникова 231, тел. (3812) 514900, факс. (3812) 536673, e-mail: info@oniip.ru, http://www.oniip.ru.

НОВОСТИ МИРА

Нokia: к 2030 году наступит эра 6G, а люди перейдут со смартфонов на вживляемые чипы

Генеральный директор занимающейся производством телекоммуникационного оборудования компании Nokia Пекка Лундмарк (Pekka Lundmark) заявил, что коммерческое использование сетей связи шестого поколения (6G) начнётся в 2030 году.

При этом он отметил, что к тому времени, вероятнее всего, многие люди откажутся от использования смартфонов, отдав предпочтение носимой электронике и вживляемым чипам.

Во время выступления на Всемирном экономическом форуме в Давосе Лундмарк сообщил, что ожидает начала коммерческого использования 6G примерно в 2030 году. Он

отметил, что ещё до этого люди, вероятно, откажутся от смартфонов и перейдут на использование смарт-очков и других подобных устройств, которые смогут подключаться к Интернету и взаимодействовать друг с другом. Причём некоторые из таких устройств будут вживляться в тело человека.

«К тому времени смартфон, каким мы его знаем сегодня, определённо перестанет быть самым распространённым интерфейсом. Многие из этих вещей будут встроены непосредственно в наши тела», – заявил Лундмарк.

Он не уточнил, что именно имел в виду, но, вероятно, речь идёт об электронных имплантатах, подобных тем, что разрабатывает компания Илона Маска Neuralink. В более широком смысле речь может идти о чипах, предназначенных

для вживления в пальцы руки или другие части тела.

NOKIA

Лундмарк также заявил, что к 2030 году появится «цифровой двойник всего», что потребует «огромных вычислительных мощностей». По его словам, для передачи данных в метавселенной сети должны быть в 100 или даже 1000 раз быстрее, чем мы имеем сегодня.

www.russianelectronics.ru

Метод брянских партизан

Александр Цуприков (tsouprikov@mail.ru)

Интеллектуальный метод служит для нахождения глобальных минимумов и максимумов многомерной функции. Область существования функции по каждому аргументу один или несколько раз делится пополам, в каждой зоне инициируется до 30 случайных агентов, находятся их экстремумы, и выбирается зона с наилучшим оптимумом. В выделенной зоне определяются случайные экстремумы для 100–500 агентов и выбирается наиболее оптимальный.

Введение

Метод брянских партизан (МБП) предназначен для поиска наибольших и/или наименьших экстремумов функции одной или нескольких переменных при многомерной оптимизации. Он основан на принципе дихотомии и методе Монте-Карло, относится к интеллектуальным методам поиска оптимальных параметров управления и может быть использован в автоматизированных и интеллектуальных автоматизированных системах управления технологическими процессами, для которых характерен непрерывный в режиме реального времени расчёт глобального оптимума по целевой функции (ЦФ) процесса при различных, варьирующихся во времени входных данных (параметров управления и внешних воздействий).

Название МБП связано с тактикой брянских партизан, которые во время Второй мировой войны вначале небольшими силами проводили разведку и находили объект нападения, а потом

осуществляли диверсию: большими силами и в разных местах одновременно, «цепочными» взрывами подрывали автоколонны, вражеские штабы, железнодорожные составы, мосты и т.п.

МБП действует аналогично: сначала производит «разведку» в области определения функции – находит зону с наилучшим экстремумом (объектом нападения), а потом выполняет «диверсию» – определяет в выделенной зоне позицию глобального экстремума функции.

Задача для параметрической оптимизации в общем случае имеет вид: существует n параметров управления, которые образуют вектор $X(x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_n)$, задающий область определения (ОО) ЦФ $F(X)$. Требуется найти экстремум $F(X)$ и параметры вектора $X(x_1, x_2, \dots, x_p, \dots, x_n)$, которые экстремум обеспечивают.

Алгоритм МБП для поиска экстремума

Общий алгоритм содержит два этапа:

- **этап разведки**, при котором выполняется локализация позиции наилучшего экстремума в ОО функции небольшими силами, для чего:

1. для каждого аргумента x_i функции ОО делится пополам, в итоге образуется несколько зон $m = 2^n$, где n – количество аргументов функции, при

этом ОО функции с одной переменной разбивается на две зоны, функция с двумя переменными – на четыре, с тремя – на восемь и т.д.;

2. в каждой полученной зоне посредством генератора случайных чисел (ГСЧ) инициируются позиции нескольких точек со случайными координатами – агентов зоны k_i ;
3. рассчитываются значения ЦФ для полученных позиций агентов k_i ;
4. из полученных значений ЦФ выбирается локальный экстремум и выделяется зона ОО, которая его содержит. Тем самым первоначальная ОО становится меньше в 2^n раз;

- этап диверсии, при котором производится массированное, большими силами «нападение» на объект:

1. для найденной на этапе разведки зоны ОО выполняется через ГСЧ генерация большого числа, до 100–200 и выше новых позиций агентов k_i ;
2. рассчитываются величины ЦФ для всех новых позиций агентов k_i ;
3. выбирается агент с наилучшим экстремумом ЦФ и находятся координаты его позиции – аргументы агента. Таким образом, определяется глобальный оптимум всей ЦФ и его параметры – координаты ОО функции.

Примечания

1. На первом этапе во время деления ОО ЦФ на зоны и инициализации в зонах малого числа агентов (рис. 1) возможен вариант, когда в зоне 1, содержащей истинный экстремум ЦФ_{extr}, найденный для неё оптимум ЦФ₁ будет меньше значения ЦФ₂ в зоне 2, которая не содержит глобальный экстремум всей функции.

Для повышения надёжности выделения зоны ОО с глобальным экстремумом возможно использование двух вариантов:

- в каждой зоне следует активировать минимум 30 агентов (так как в соответствии с теорией математической статистики проведение 30 и более испытаний становится статистически значимым для достоверности полученных результатов [1]). Поэтому нужно инициировать в каждой зоне по 30 агентов, а поскольку ГСЧ, используемый в компьютерах, инициирует псевдослучайные числа по рав-

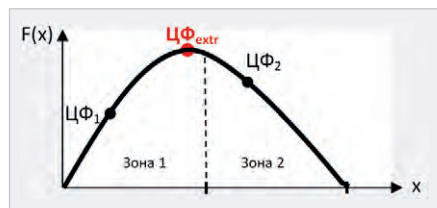


Рис. 1. Экстремумы при активации малого числа агентов в зоне

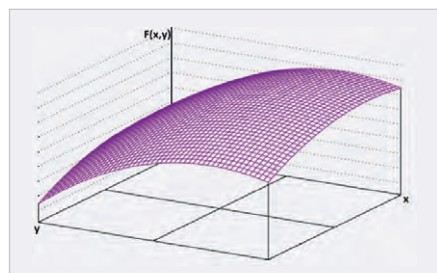


Рис. 2. Исходная ОО, разбитая на четыре зоны

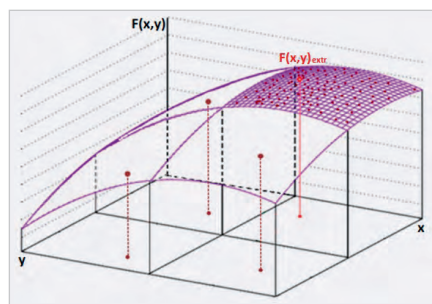


Рис. 3. Выделенная зона с глобальным экстремумом

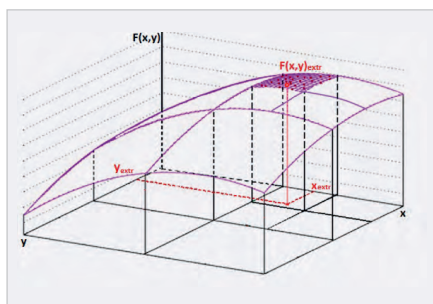


Рис. 4. Повторное разделение выделенной зоны и поиск экстремума

номерному закону распределения [2], то агенты будут равномерно располагаться в зоне, а не сосредотачиваться в одной её части;

- для уменьшения на первом этапе зоны с глобальным экстремумом следует для каждого параметра разбивать ОО не пополам, а на три, четыре и более части, и в каждой зоне активировать минимум 30 агентов. Количество зон разбиения и позиций агентов зависит как от величины ОО, так и от степени крутизны функции на разных интервалах ОО и уточняется проверочными запусками алгоритма МБП.
- 2. Повышение точности достижения глобального экстремума в зоне диверсии обеспечивается увеличением числа агентов k_i до 300–500.
- 3. Чтобы уменьшить количество агентов на этапе диверсии (например, до статистически значимых 50–100), следует над выделенной зоной ещё один или несколько раз повторить операции первого этапа.

Работа МБП для функции двух переменных $F(x,y) = 3 - (x-2)^2 - 0,5(y-2)^2$ проиллюстрирована на рис. 2...4.

Разбиение исходной ОО функции на четыре зоны показано на рис. 2.

На рис. 3 в зонах активировано по одному случайному агенту, рассчитаны их экстремумы, и по величине лучшего локального оптимума выделена ОО, уменьшенная в 4 раза. В выделенной зоне активировано большое число позиций агентов, для каждого по ЦФ вычислены их экстремумы и определён наилучший из них: глобальный экстремум $F(x,y)_{\text{extr}}$.

На рис. 4 приведена ОО, уменьшенная в 8 раз при повторном выполнении первого этапа МБП над выделенной зоной, и глобальный экстремум всей функции $F(x,y)_{\text{extr}}$.

Алгоритм МБП имеет вид.

1. Задать целевую функцию $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ и её область определения.

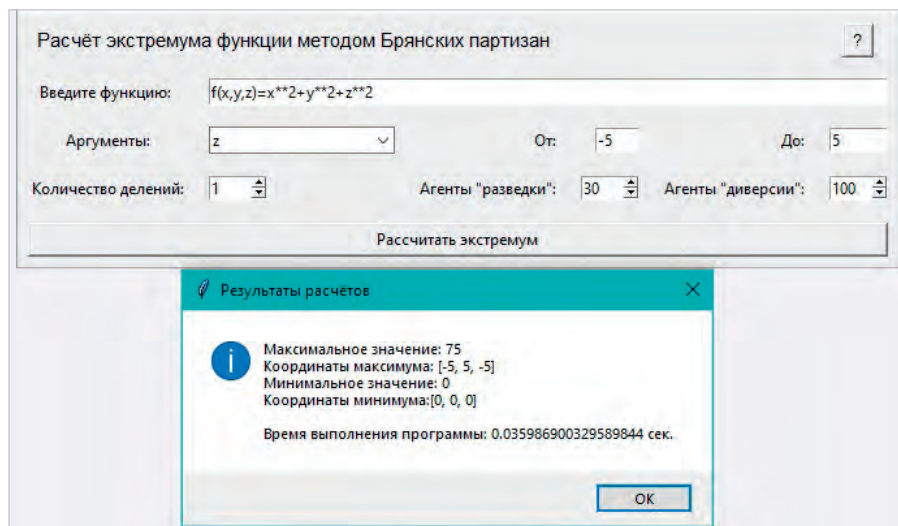


Рис. 5. Интерфейс программы МБП и окно вывода

2. Для каждого параметра x_i разделить интервал его изменения пополам или на 3–6 частей, т.е. разбить область определения функции на несколько зон.
3. В каждой зоне инициировать посредством ГСЧ до 30 случайных позиций агентов.
4. Рассчитать значения ЦФ для позиции каждого агента в каждой зоне.
5. Определить величину наилучшего локального экстремума ЦФ в каждой зоне (см. рис. 2).
6. Определить зону его расположения.
7. В найденной зоне ОО инициировать посредством ГСЧ от 100 до 500 позиций агентов.
8. Вычислить значения ЦФ для позиций всех агентов.
9. Найти наилучшее значение экстремума ЦФ $F(x_1, x_2, \dots, x_n)_{\text{extr}}$ – глобальный оптимум функции и координаты позиции его агента.

Анализ работы программы МБП

Для проверки работы метода на языке Python разработана программа, определяющая как глобальный минимум, так и глобальный максимум функции. Интерфейс программы позволяет вводить функцию, аргументы функции с интервалами их изменения, задавать количество разбиений исходной ОО, число агентов на первом и втором этапах, а также запускать программу для вывода значений максимальных и минимальных оптимумов с их координатами и временем выполнения программы.

На рис. 5 показаны интерфейс программы и окно результатов расчёта.

Работа программы проверялась для функций разного вида с числом переменных от 1 до 3, среди которых тестовые

функции Де Джонга и Розенброка и две производственные функции механической скорости бурения скважины (с одной переменной – для бурового автомата и с тремя переменными – для АСУ бурения). Результаты приведены в таблице.

1. Тестовая функция Де Джонга («сфера») является непрерывной, выпуклой и унимодальной, показана на рис. 6 и имеет вид:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2.$$

Функция имеет глобальный минимум $f(x) = 0$ в точке $x_i = 0$ при $i = 1, \dots, n$.

Программа МБП запускалась для функции Де Джонга с двумя переменными (интервалы изменения аргументов $[-5; 5]$) и с тремя переменными (интервалы изменения $[-2; 2]$ и $[-5; 5]$) с разным числом повторений 1-го этапа и числом агентов на обоих этапах. Результаты приведены в таблице.

2. Тестовая функция Розенброка («банан») показана на рис. 7 и имеет вид:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n-1} (100(x_{i+1} - x_i)^2 + (x_i - 1)^2).$$

Функция имеет большое убывающее плато с одним минимумом, поэтому конвергенция к нему трудна, что используется для оценки работы алгоритмов оптимизации. Глобальный минимум $f(x) = 0$ в точке $x_i = 1$ при $i = 1, \dots, n$.

3. Функция механической скорости бурения для АСУ бурением нефтегазовой скважины с тремя параметрами управления G, n, Q .

$$v_n = 2,4 \times 10^{-5} \times \frac{nG^2Q}{(1+10^{-8}n^4)(1+10^{-5}G^4)(1+1,2 \times 10^{-7}Q^4)}$$

4. Функция механической скорости бурения для бурового автомата нефте-

Аргументы	Максимум функции	Координаты максимума	Минимум функции	Координаты минимума	Повторения 1-го этапа	Агенты 1-го этапа	Агенты 2-го этапа	Время расчёта, с
Функция Де Джонга								
x, y	50	[5; 5]	0	[0; 0] 2	1	30 0,0179 0,0169	50	0,0099 0,0089
	50	[-5; 5]	0	[0; 0] 2	1	30 0,0254 0,0261	100	0,0199 0,0189
x, y, z	12	[-2; -2; -2] [-2; 2; 2] [-2; -2; 2] [-2; 2; -2]	0	[0; 0; 0] 2	1	30 0,0339 0,0359	50	0,0189 0,0188
	75	[-5; 5; -5]	0	[0; 0; 0]	1	30	100	0,0359
	Функция Розенброка							
x, y	3609	-2,2	0	1,1 2	1	30 0,0249 0,0229	50	0,0149 0,0139
Функция механической скорости бурения для АСУ бурения нефтегазовой скважины с тремя параметрами управления G, n, Q								
G, n, Q	6,61	[18; 76; 41]	0,01	[1; 20; 59]	1	30	100	0,0729
	6,59	[18; 76; 40]	0,01	[1; 20; 60]	1	30	200	0,0789
	6,61	[18; 76; 41]	0,01	[1; 20; 60]	3	30	200	0,1909
	6,61	[18; 76; 41]	0,01	[1; 20; 59]	5	30	200	0,247
	6,58	[18; 75; 41]	0,01	[1; 20; 60]	1	30	500	0,149
	6,61	[18; 76; 41]	0,01	[1; 20; 60]	5	30	500	0,286
Функция механической скорости бурения для бурового автомата нефтегазовой скважины с одним параметром управления G								
G	4,60	[16]	0,042	[1]	1	30	100	0,0199
	4,60	[16]	0,042	[1]	4	30	100	0,042
	4,61	[16]	0,040	[2]	1	30	30	0,129



Рис. 6. Тестовая функция Де Джонга

газовой скважины с одним параметром управления G .

$$v_n = 2,3 \times \left(\left(\frac{G}{C_G} - 1,57 \right) - \frac{\left(\frac{G}{C_G} - 1,57 \right)^3}{6} + \frac{\left(\frac{G}{C_G} - 1,57 \right)^5}{120} + 1 \right)$$

Заключение

Разработан интеллектуальный метод брянских партизан, позволяющий определять глобальный экстремум (минимум и максимум) многомерной функции при



Рис. 7. Тестовая функция Розенброка

оптимальном управлении технологическими процессами. Анализ работы МБП показал следующие результаты:

- время работы программы составляет десятки – сотни миллисекунд;
- длительность вычислений в большей степени зависит от числа разбиения ОО на зоны, чем от числа агентов на 1-м и 2-м этапах;
- для функций с глобальным минимумом один и тот же максимум может наступать при разных позициях агентов и наоборот;

- длительность расчёта управляющих параметров с помощью МБП имеет порядок десятых/сотых долей секунды, что практически не оказывает влияния на скорость работы систем управления производственным процессом, так как реальные исполнительные механизмы управляемых объектов обычно являются инерционными и имеют минимальное время реакции порядка нескольких секунд;
- получение гарантированно достоверного значения глобального оптимума обеспечивается также повторным (от 3 до 5 раз) выполнением поиска экстремума методом брянских партизан.

Литература

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. 9-е изд. стер. М.: Высш. шк., 2003. 479 с.
2. Пантелеев А.В. Методы глобальной оптимизации. Метаэвристические стратегии и алгоритмы / А.В. Пантелеев, Д.В. Метлицкая, Е.А. Алешина. М.: Вузовская книга, 2013. 244 с.





ЧИТАЙТЕ, КАК ВАМ УДОБНО



ПЕЧАТНАЯ И ЦИФРОВАЯ ВЕРСИИ ЖУРНАЛА

ЖУРНАЛ С ГАРАНТИРОВАННОЙ ДОСТАВКОЙ

**СОВРЕМЕННАЯ
ЭЛЕКТРОНИКА**

ПОДПИСКА
НА ЖУРНАЛ

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

Ионизирующие излучения и их воздействие на полупроводниковые материалы (по данным литературных источников).

Часть 1

К.т.н. Оксана Вовк, к.т.н. Михаил Марченко, д.т.н. Владимир Соколов
МОКБ «Марс» – филиал ФГУП «ВНИИА», государственная кооперация по атомной энергии «Росатом»

Введение

Развитие современной космической техники, освоение новых орбит, расширение круга задач, решаемых с помощью космических аппаратов, а также производство новых видов вооружений (с увеличенным радиусом действия и поражающей способностью), повышение требований к достоверности результатов, получаемых с помощью космических аппаратов, требует улучшения точности прогнозирования работоспособности космических аппаратов в полях ионизирующих излучений.

Решение этих задач связано, прежде всего, с определением механизмов воздействия факторов космического пространства на аппаратуру. Для этого необходимо, в частности, обратить внимание на состав факторов космического пространства и способы оценки воздействия этих факторов на радиоэлектронную аппаратуру.

Если рассмотреть основополагающие принципы воздействия ионизирующих излучений на ЭРИ, образующих аппаратуру, то эти вопросы достаточно подробно изучены. Фактически одновременно с развитием полупроводниковой электроники и ракетно-космического приборостроения активно разрабатывалась концепция радиационной стойкости и надёжности ЭРИ, создавались моделирующие установки, и в результате был наработан обширный материал по систематизации изменения параметров изделий в результате радиационных воздействий, создавалась нормативная база оценки стойкости изделий при проведении НИОКР.

Однако при постоянстве физических процессов взаимодействия заряженных частиц с материалами аппаратуры разрабатываются комплектующие новых классов, микросхемы со всё возрастающей степенью интеграции, полупроводниковые изделия с низкими уровнями темновых токов и уровнем шумов и пр.

Владение физико-аналитическим аппаратом описания воздействия ионизирующих излучений на материалы позволяет оценивать стойкость и разрабатывать рекомендации по минимизации результатов влияния факторов космического пространства на различные приборы, изготовленные на основе этих материалов.

Состав ионизирующих излучений космического пространства

Общеизвестно [1], что космическое излучение подразделяется на галактическое и солнечное.

Галактическое излучение, вызванное внешними по отношению к Солнечной системе источниками, распределяется в пространстве изотропно. Из-за взаимодействия с магнитным полем Солнца, испытывающим циклические модуляции, интенсивность галактического излучения подвержена периодическим изменениям. Около 90% галактического излучения приходится на долю протонов, от 7 до 15% – на долю альфа-частиц, около 1% – на ядра тяжёлых элементов. Энергетический спектр галактического излучения – $10^8 \dots 10^{20}$ эВ. Из-за малой плотности галактического излучения (1–2 част./см²·с) средняя доза облучения космического объекта на его поверхности не превышает 10 рад.

Солнечное ионизирующее излучение связано с хромосферными процессами на Солнце, которые имеют нерегулярный характер, проявляясь в период повышенной солнечной активности (до 10 вспышек, длящихся несколько суток в год). В состав солнечного излучения входят протоны (90%), остальные 10% приходятся на альфа-частицы и ядра других элементов. Плотность потока частиц может составлять 10^6 част./см²·с при энергии до 10^7 эВ. Интенсивность солнечного излучения изменяется от вспышки к вспышке,

годовые дозы радиации могут составлять $10^3 \dots 10^4$ рад на поверхности космического аппарата.

Радиационные пояса Земли образуются захваченными магнитным полем Земли заряженными частицами с энергией от сотых долей до десятков миллионов электрон-вольт.

Внутренний радиационный пояс Земли состоит из протонов с энергией 20...800 МэВ и максимальным потоком порядка 10^4 част./см²·с и электронов с энергией 20 кэВ – 1 МэВ и расположен на расстоянии около 4000 км от Земли.

Внешний радиационный пояс Земли состоит в основном из электронов с энергией до 1 МэВ и расположен на расстоянии около 17 000 км от Земли.

Радиационные пояса Земли имеют сложное асимметричное строение, определяемое структурой магнитного поля Земли, и подвержены влиянию потоков солнечного ионизирующего излучения [1].

Доза ионизирующего излучения, которую может накопить бортовая аппаратура при нахождении в радиационном поясе в течение 5 лет, составляет $5 \times 10^4 \dots 2 \times 10^5$ рад [4]. Это достаточно высокая доза.

Магнитное поле Земли надёжно защищает всё, находящееся на Земле, и международную космическую станцию от воздействия ионизирующих излучений космического пространства.

Высота орбиты международной космической станции постоянно меняется в диапазоне от 340 до 417 км над уровнем моря. Данный диапазон высот выбран по целому ряду причин, как оптимальный с точки зрения всех плюсов и минусов. Например, переход с 360-километровой орбиты на 410-километровую позволил заметно снизить расход топлива на поддержание орбиты, но увеличил дозу облучения экипажа примерно на 20%.

Однако средняя доза, получаемая космонавтом на МКС за полугодовую экспедицию, примерно равна средней дозе ликвидатора Чернобыльской аварии. И это примерно одна

шестая от допустимой предельной дозы за всю карьеру космонавта [2].

Эта величина создаётся преимущественно за счёт пребывания станции в районе Южной Атлантики. Именно здесь радиационные пояса «провисают» над Землёй из-за существования глубоко под Землёй магнитной аномалии [3]. Кроме того, дипольное магнитное поле Земли искажается во время магнитных бурь, в результате чего уменьшается минимальный энергетический порог отсекаемых ионизирующих излучений Солнца, позволяя им проникать на низкие широты. Географическое положение космического аппарата относительно опасных радиационных мест определяет конкретный уровень воздействующих на него ионизирующих излучений.

В открытом космосе уровни воздействующих излучений на космические аппараты намного выше, чем на МКС.

Космические аппараты [3] снабжены защитным слоем для защиты экипажей от воздействия проникающей радиации, их характеристики приведены в табл. 1.1.

В [4] описаны радиационные условия на геостационарной орбите (ГСО), которая широко используется для спутников связи. ГСО расположена в плоскости географического экватора на расстоянии 36 тыс. км от поверхности Земли в области внешнего ЕРПЗ. Поток частиц в области геостационарной орбиты подвержены как регулярным, так и нерегулярным изменениям.

На ГСО наблюдаются потоки электронов ЕППЗ с энергией 6 МэВ и протонов ЕРПЗ с энергией до 2 МэВ. Алюминиевая пластинка с толщиной 0,01 г/см² практически полностью поглощает все протоны на ГСО.

В [4] утверждается, что для аппаратуры, установленной на космических аппаратах на ГСО и защищённой экраном менее 1 г/см² алюминия, основную радиационную угрозу представляют потоки электронов ЕРПЗ, для аппаратуры на ГСО, защищённой экраном более 2 г/см² алюминия, основную угрозу представляют потоки частиц СКИ и тормозного излучения электронов. Чаще всего, протоны ГКИ и СКИ с энергией не менее 28 МэВ преодолевают геомагнитный барьер с запада, а электроны с энергией не менее 230 МэВ – с востока.

Целесообразно отметить сразу, что вся совокупность ионизирующих излучений космического про-

странства (ИИ КП) не может быть воспроизведена в земных условиях, при исследовании радиационной стойкости приборов используется метод моделирования, состоящий в замене всего спектра космических излучений излучениями частиц определённого вида с плотностью потока $10^6 \dots 10^9$ част/(см²·с) [3].

Иногда воздействие протонного излучения целесообразно моделировать нейтронным облучением с применением коэффициентов эффективности [5]. Это связано с тем, что установки нейтронного воздействия бывают более доступны или такие испытания предусмотрены техническим заданием. Часто сведения о стойкости к воздействию нейтронного облучения имеются в отношении применяемых комплектующих. Поэтому в обзоре также коротко остановимся и на воздействии нейтронного облучения на аппаратуру космических аппаратов.

Характеристики ионизирующих излучений космического пространства

Характеристики ионизирующих излучений, воздействующих на изделия, функционирующие в космическом пространстве, подробно изучены и описаны во многих источниках [1]. Расхождения во мнениях существуют в эффектах второго и более высокого порядков. Рассмотрим общеизвестные факты.

Протонное излучение – это потоки протонов. Протон – стабильная элементарная частица с массой $1,673 \times 10^{-24}$ г (практически совпадающей с массой нейтрона) и электрическим зарядом $q = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл, равным по величине и противоположным по знаку заряду электрона. Протоны вместе с нейтронами образуют ядра атомов, а сам протон можно рассматривать как ядро атома водорода. Протонное излучение возникает в процессе ядерных реакций и составляет заметную часть космического излучения. Протон – это достаточно тяжёлая частица, уступающая по проникающей способности только нейтрону из-за наличия заряда.

Альфа-излучение состоит из альфа-частиц – ядер гелия ${}^4_2\text{He}$, содержащих два протона и два нейтрона, массой $6,644 \times 10^{-24}$ г и зарядом, равным удвоенному положительному элементарному заряду.

Таблица 1.1. Толщина защит космических аппаратов и скафандра космонавта

Космический аппарат	Толщина, г/см ²
Командный модуль «Apollo»	7...8
«Shuttle»	До 10–11
МКС	До 15
Скафандр космонавта	0,25

Альфа-частицы возникают при ядерных превращениях элементов, которых известно около 200. В результате альфа-распада происходит выделение альфа-частицы и уменьшение первоначального заряда ядра на два единичных заряда, а массового числа – на четыре единицы.

Альфа-частицы имеют по сравнению с другими ионизирующими частицами наименьшую длину пробега в веществе (несколько сантиметров в воздухе и доли сантиметров в плотных материалах) из-за большой массы и электрического заряда, поэтому оказывают значительное ионизирующее воздействие.

Электронное излучение (бета-излучение, если источником являются ядерные превращения) состоит из электронов – стабильных элементарных частиц с минимальной для материальных объектов массой $0,91 \times 10^{-27}$ г и минимальным электрическим зарядом $-1,6 \times 10^{-19}$ Кл и позитронов.

Характеристики ионизирующих излучений определяют особенности их взаимодействия с веществом. Наибольшую проникающую способность имеют нейтроны с энергией в диапазоне МэВ, как достаточно тяжёлые незаряженные частицы. Протон, являясь заряженной частицей с массой, аналогичной массе нейтрона, обладает меньшей проникающей способностью. Электроны с минимальной массой вызывают преимущественно ионизацию и наименьшие структурные повреждения. Альфа-частицы из-за большой массы имеют минимальную проникающую способность.

Механизмы воздействий ионизирующих излучений на электронную аппаратуру и их характеристики

Известно, что под действием проникающей радиации изменяют свойства все материалы: менее прочными становятся металлы, теряют прозрачность стёкла, ухудшаются электрические характеристики полупроводников [1, 6].

Таблица 1.2. Уровни энергии, приводящие к повреждению или деградации различных электронных компонентов

Тип компонента	Пороговая энергия, Дж
Генераторы, электродвигатели (большие), трансформаторы	$10^4 \dots 10^6$
Реле (контакты, обмотки), измерительные приборы, малые электродвигатели	$10^{-3} \dots 10^0$
Вакуумные электронные лампы	$10^{-3} \dots 10^1$
Мощные проволочные резисторы	$10^{-3} \dots 10^2$
Плёночные (тонкослойные) резисторы	$10^{-4} \dots 10^{-2}$
Композиционные и проволочные резисторы	$8 \times 10^{-5} \dots 10^0$
Конденсаторы	$10^{-4} \dots 10^{-3}$
Конденсаторы (танталовые на низком напряжении)	$10^{-6} \dots 10^0$
Катушки индуктивности	$10^{-2} \dots 10^{-1}$
Маломощные переключаемые диоды	$10^{-6} \dots 10^{-2}$
Выпрямительные и стабилизирующие диоды	$8 \times 10^{-5} \dots 6 \times 10^{-1}$
Микроволновые диоды	$10^{-7} \dots 10^{-4}$
Транзисторы средней и высокой мощности	$5 \times 10^{-5} \dots 5 \times 10^{-2}$
Маломощные транзисторы	$10^{-6} \dots 5 \times 10^{-3}$
Интегральные микросхемы	$10^{-7} \dots 10^{-3}$
Чувствительные элементы ЭВМ	$10^{-7} \dots 10^{-3}$

В настоящее время основная часть фактически всех электронных комплектов состоит из полупроводников.

Полупроводники являются более чувствительными к уровню радиационных воздействий, чем остальные компоненты ЭРИ (стёкла и другие диэлектрики, металл) [5].

Ионизирующие излучения теряют в материалах ЭРИ энергию, передавая её веществу. В табл. 1.2 приведены уровни энергии, приводящие к повреждению или деградации электронных комплектов [8].

Согласно табл. 1.2 микросхемы теряют работоспособность при воздействии энергии $10^{-7} \dots 10^{-3}$ Дж.

Поэтому рассмотрим подходы к анализу взаимодействия ионизирующих излучений с полупроводниками.

При постоянстве физических процессов взаимодействия заряженных частиц с материалами аппаратуры существуют два основных подхода к описанию воздействия ионизирующих излучений на материалы аппаратуры, которые полезно иметь в виду при оценке этих процессов.

Один подход состоит в разделении воздействия излучений на атомные столкновения и ионизацию. Другой подход описывает эти же процессы в терминах поглощённой дозы.

Хорошо известно, что ионизирующие излучения в полупроводниковых материалах теряют свою энергию в основном за счёт двух физических процессов: атомных столкновений и ионизации [8]. При упругих столкновениях атомы полупроводника выбиваются из равновесных положений в

кристаллической решётке, в результате чего образуются различного типа дефекты. Основные типы радиационных дефектов, возникающих в различных полупроводниковых материалах при воздействии ионизирующих излучений, энергетические уровни, создаваемые этими дефектами в запрещённой зоне и термическая устойчивость этих дефектов исследованы и достаточно подробно описаны, в частности, в [9]. Если говорить о первичных радиационных дефектах, например, в кремнии, то это вакансии и междоузельные атомы (френкелевские пары), подвижные даже при очень низких температурах. В [9] на основе обширного экспериментального и литературного материала указывается, что в результате их взаимодействия с исходными технологическими примесями кристаллов, в зависимости от температуры облучения, предварительной термической обработки образцов образуются вторичные радиационные дефекты, которые идентифицируются как:

- А-центр (комплекс вакансии + атом кислорода) $E_c - 0,17$ эВ;
- Е-центр (комплекс вакансии + атом фосфора) $E_c - 0,40$ эВ;
- углерод, кислород, дивакансия $E_c - 0,45$ эВ;
- сложный дефект, включающий в себя кислород и углерод, $E_v + 0,35$ эВ;
- комплекс (окончательная природа не установлена) $E_v + 0,45$ эВ;
- комплекс бор + дивакансия $E_v + 0,21$ эВ;
- междоузельный кислород или дивакансия $E_v + 0,27$ эВ.

Также в [9] утверждается, что основные дефекты, образующиеся при облу-

чении кремния различными видами радиации, в основном совпадают.

В [10] говорится о том, что протонное излучение с энергией 3 МэВ и электронное облучение создаёт дефекты, образующие в запрещённой зоне *n*-кремния, легированного фосфором, центры с глубокими энергетическими уровнями, только протонное излучение создаёт большее их количество. Это А-центры, дивакансии, Е-центры и сложные комплексы.

Согласно [11] в кремнии типа КДБ10 после облучения электронами с энергией 4,5 МэВ, обнаружен уровень, соответствующий К-центру, в кремнии КДБ10, облучённом электронами 7 МэВ, обнаружены уровни, соответствующие А-центру.

Потоки протонов, входящие в состав космических излучений, характеризуются значительным диапазоном энергий (0,001...700 МэВ) [2, 3]. Большие поглощённые дозы протонного излучения в тонких приповерхностных слоях вызывают протоны низких энергий. Образование радиационных дефектов характерно для протонов средних энергий (1...10 МэВ). Для протонов высоких энергий (более 200 МэВ) характерно развитие различных видов ядерных реакций [1].

Эффективность введения дефектов протонами с увеличением энергии протонов имеет обратную зависимость, чем у нейтронов. С увеличением энергии протонов эффективность введения дефектов уменьшается.

Установлено, что с ростом энергии протонов от 2 до 60 МэВ критерияльные уровни стойкости транзисторов повышаются в 2–4 раза [12].

Аналогичные результаты получены и во многих других работах. Такой характер изменения параметров полупроводниковых приборов от энергии протонов могут объяснить результаты, приведённые в [13], где определено, что с ростом энергии протонов эффективность введения дефектов и коэффициент радиационного изменения диффузионной длины уменьшаются. Причём рекомбинация идёт через точечные дефекты и области разупорядочения, а с ростом энергии протонов роль областей разупорядочения возрастает.

Факт того, что с ростом энергии протонов коэффициент радиационного изменения времени жизни в кремнии *p*-типа уменьшается, изложен также в [14, 15, 16, 17].

Важно отметить, что с ростом энергии протонов поглощённая энергия, идущая на смещение атомов, уменьшается [18].

В [19] исследовано пространственное распределение по глубине удельного электрического сопротивления в кремнии, облучённом протонами с энергией 0,1; 0,4 и 6,3 МэВ.

Результаты этих исследований показывают, что в облучённом кремнии существует область повышенного сопротивления вблизи окончания пробега протонов. С увеличением потоков протонов эта область расширяется, и её максимум смещается в сторону облучаемой поверхности.

Это объясняется следующим.

Упругое рассеяние протонов на атомах вещества при энергиях до 50 МэВ является в основном резерфордским рассеянием на кулоновском потенциале атомов.

Величина энергии, передаваемая протонами (до 50 МэВ) атомам, определяется по формуле [19]:

$E_A = (4M_1 M_2) / (M_1 + M_2)^2 \cdot E_{p(n)} \cdot \sin^2(\Theta/2)$,
где M_1, M_2 – масса частицы и атома;
 $E_{p(n)}$ – кинетическая энергия частицы;
 Θ – угол отдачи между направлением движения частицы до и после столкновения.

Согласно [20] при протонном облучении более вероятна передача атомам малых количеств энергии, так как они рассеиваются главным образом под малыми углами к первоначальному направлению.

Средняя энергия, передаваемая атому при протонном облучении, определяется по формуле:

$E_{A\text{ср}} = ((E_d \cdot E_{A\text{max}}) / (E_{A\text{max}} - E_d)) \cdot \ln(E_{A\text{max}} / E_d)$,
где E_d – пороговая энергия смещения (энергия, необходимая для необратимого смещения атома из узла кристаллической решётки).

Протоны передают атомам облучаемого вещества меньшую энергию, идущую на их смещение, по сравнению с нейтронным облучением. Поэтому при облучении вещества протонами энергий меньше 50 МэВ роль вторичных процессов в смещении атомов невелика. Так, например, протон с энергией 2 МэВ передаёт атому кремния среднюю энергию 130 эВ, а нейтрон с энергией 2 МэВ передаёт атому кремния среднюю энергию 135 кэВ [21].

Число смещений в веществе при протонном и при нейтронном облучении определяется по формулам:

$$N_A = \Phi \cdot N \cdot \sigma_d,$$

$$N_d = v(E_A) \cdot N_A,$$

где N_A – число первичных смещений в единице объёма;

Φ – флюенс частиц, см⁻²;

N – число атомов в 1 см³;

σ_d – поперечное сечение столкновений, вызывающих выбивание атомов;

N_d – полное число смещённых атомов;

$v(E_A)$ – число смещённых атомов, включая и сам смещённый атом.

Полное поперечное сечение упругого резерфордского рассеяния для протонов определяется выражением [22]:

$$\sigma_d^{\text{уп}} = 16\pi a_0^2 Z_1^{-2} Z_2^{-2} (M_1^2) / (M_1 + M_2)^2 (E_R^2 / E_{A\text{max}}^2) (E_{A\text{max}} / (E_d - 1)),$$

где a_0 – боровский радиус;

Z_1 и Z_2 – заряды протона и ядра смещаемого атома;

E_R – постоянная Ридберга;

$E_{A\text{max}}$ – максимальная энергия, передаваемая атому вещества.

Из этого соотношения следует, что при снижении энергии протонов $\sigma_d^{\text{уп}}$ увеличивается. Поэтому в конце пробега протона, когда его энергия снижается, резко возрастает число смещений атомов. На заключительной стадии пробега, когда протон обладает относительно невысокой кинетической энергией, он способен захватывать электрон с образованием атома водорода, обладающего достаточной кинетической энергией для генерации вторичных радиационных дефектов. После полного торможения атом водорода превращается в примесь. Поэтому одинаковые концентрации радиационных дефектов вводятся при облучении существенно меньшим потоком протонов, чем нейтронов [21].

То есть протон, как и нейтрон, в полупроводнике испытывает упругие столкновения с атомами вещества, вызывая их смещение из узлов кристаллической решётки и неупругие столкновения. Протон, как правило, в конце пробега испытывает поглощение с образованием новых элементов.

При энергиях протонов свыше 50 МэВ предлагается учитывать как упругое, так и неупругое рассеяние [9].

Протоны и нейтроны, теряя свою энергию в веществе, могут поглощаться ядрами вещества с образованием новых элементов, выделяя другие частицы. Это неупругие столкновения. Всё это создаёт необратимые изменения.

Рассеяние энергии протонов до торможения обусловлено, в основном, ионизационными потерями в веществе.

При неупругом рассеянии протонов в результате ядерных реакций возможно образование каскадов вторичных частиц – нейтронов, протонов, мезонов и гамма-квантов, которые также влияют на процесс радиационного дефектообразования [22].

Только около 50% энергии быстрых нейтронов расходуется на упругие атомные столкновения, приводящие к смещению атомов из узлов кристаллической решётки.

При облучении полупроводников нейтронами, протонами, высокоэнергетическими электронами в них могут образовываться области радиационных нарушений, которые называются областями разупорядочения или кластерами радиационных дефектов [13].

Как отмечалось выше, физические процессы создания структурных повреждений, происходящие при воздействии реакторных нейтронов и протонов с $E_p = 14$ МэВ и протонов, одинаковы. Это введение стабильных радиационных дефектов. Известно, что когда энергия, передаваемая быстрыми частицами первичному атому вещества, намного превышает пороговую энергию, то выбитый атом при соударении с другими атомами решётки, находящимися в положении равновесия, вызывает вторичные, третичные и т.д. смещения, образуя на своём пути целый каскад таких смещений. Таким образом, для взаимодействия частиц различных энергий с атомами среды характерны процессы развития каскадов смещений, так называемых кластеров, средний радиус которых возрастает при увеличении энергии нейтронов с 1 до 14 МэВ в 2,3 раза [24, 25]. Быстрые нейтроны реактора создают области разупорядочения со средним радиусом 90 Ангстрем в *n*-кремнии с $\rho = 10...40$ Ом·см, выращенном методом бестигельной зонной плавки, и ~70 Ангстрем в кислородном *n*-кремнии с таким же удельным сопротивлением.

Известно также [26], что объёмный заряд вокруг и внутри кластера создаёт нарушение периодичности электростатического поля кристалла. В [27] показано, что при облучении высокоэнергичными нейтронами неосновные носители захватываются как кластерами радиационных дефектов, так и точечными радиационными дефектами.

Причём $v = v_{\text{тд}} + v_{\text{кт}}$, где v – скорость удаления носителей, $v_{\text{тд}}$ – скорость удаления носителей точечными дефектами,

Таблица 1.3. Относительная поглощённая энергия, расходуемая на образование радиационных дефектов структуры при протонном облучении

Начальная энергия протонов E_p , МэВ	K_{pd}
2	0,00023
5	0,0012
10	0,0038
20	0,012
50	0,053
100	0,15

$v_{кл}$ – скорость удаления носителей кластерами РД.

Там же показано, что скорость удаления носителей кластерами РД не зависит от дозы облучения, пока можно пренебречь изменением уровня Ферми в матрице кристалла по сравнению с величиной потенциального барьера на кластере. В это время скорость удаления носителей точечными дефектами падает, т.е. при различных потоках (в зависимости от концентрации носителей в исходном материале) $v_{тд} = 0$, $v = v_{кл}$. Этот процесс обуславливает большую величину коэффициента изменения удельного сопротивления при воздействии нейтронов с $En = 14$ МэВ.

Классическая методика определения коэффициентов изменения времени жизни и эффективности изменения параметров ($K_{эф}$) при облучении нейтронами с $En = 14$ МэВ и реакторными нейтронами биполярных транзисторов основана на линейности изменения тока базы (I_b), а следовательно, и времени жизни неосновных носителей заряда от потоков нейтронов с различной энергией [28, 29].

Нелинейная зависимость коэффициента изменения удельного сопротивления (K_r) от потока как реакторных нейтронов, так и нейтронов с $En = 14$ МэВ выявлена в [30]. Значения отношений коэффициентов удаления носителей, представленные в [31], составляют $2,8 \pm 0,5$, коэффициент генерации носителей 2,26. Результаты исследований изменения параметров различных транзисторов при облучении реакторными нейтронами и нейтронами с $En = 14$ МэВ приведены в [32]. Для полевых транзисторов отношение $\rho_{14}/\rho_{реакт} \sim 1,45$, $K_{r14}/K_{rреакт} \sim 2$, для биполярных транзисторов $I_{б14}/I_{бреакт} \sim 2,7$.

Как упоминалось выше, протоны, будучи заряженными частицами, также вызывают ионизацию вещества. Физи-

ческий механизм при ионизации – кулоновское взаимодействие быстрых заряженных частиц с электронами оболочек атома вещества. Возникающие под действием ионизирующих излучений электроны и дырки в полупроводниках влияют на функционирование приборов. Важнейшие характеристики ионизационных процессов – удельные потери энергии и средняя энергия ионизации систематизированы в ряде источников, например, [1, 9].

Ионизирующее излучение вызывает в полупроводниковых приборах также кратковременные, обратимые эффекты, обусловленные генерацией электронно-дырочных пар в момент воздействия излучения, т.е. с прекращением воздействия радиации ионизационный ток исчезает. Работоспособность приборов после прекращения ионизационных процессов восстанавливается, если ионизационные токи не привели к пробоем аппаратуры.

Относительная роль механизмов взаимодействия излучений с веществом определяется характером радиационного воздействия. Электроны теряют свою энергию в полупроводниках в основном за счёт ионизации, а также за счёт создания простых дефектов.

Электронное излучение при взаимодействии с материалами создаёт генерацию вторичных электронов по всему объёму прибора, что способствует возникновению дефектов типа френкелевских пар, а также дефектов, представляющих собой комплексы основных и примесных атомов, взаимодействующих с дефектами решётки [1].

В [33] установлено, что с ростом энергии электронов коэффициенты радиационного изменения времени жизни и концентрации основных носителей заряда возрастают.

Количественные характеристики и особенности радиационных эффектов, создаваемых при облучении приборов, определяются коэффициентами полных потерь энергии протонов и величин пробега протонов в различных материалах [26].

В [9] представлено выражение для определения средней энергии ионизации от ширины запрещённой зоны:

$$E_{и} = 2,67 \cdot E_g + 0,87, \text{ эВ.}$$

По утверждению [9], значения, получаемые по этой формуле, хорошо согласуются с экспериментальными результатами.

В случае, когда все протоны тормозятся в образце, количество электрон-

но-дырочных пар определяется выражением:

$$n_{и} = \varphi_p \cdot E_p / R_p \cdot E_{и},$$

где φ_p – плотность потока протонов;

E_p – энергия протонов;

R_p – пробег протонов.

Пробеги протонов одинаковых энергий в разных средах определяются по соотношению [21]:

$$R_2/R_1 = r_1 A_2^{1/2} / r_2 A_1^{1/2}.$$

Например, пробег в кремнии R_2 ($\rho_2 = 2,4 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$; $A_2 = 28$) определяется по пробегу R_1 в алюминии ($\rho_1 = 2,7 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$; $A_1 = 27$). Согласно этой зависимости, пробег протонов в кремнии составляет $R_2 = 1,14 R_1$.

Из таблиц пробега протонов различных энергий в алюминии [34] следует, что необходимость расчёта приповерхностных поглощённых доз в кремнии возникает при $E_p < 5$ МэВ, когда линейный пробег протонов в кремнии меньше толщины подложки микросхемы.

Как упоминалось ранее, для описания процессов деградации материалов под воздействием ионизирующих излучений полезно обратиться к дозовым зависимостям.

Для тонких образцов в условиях однородного энергоснабжения поглощённая доза электронного или протонного излучения определяется по формуле:

$$D_{e(p)} = 1,6 \times 10^{-13} (\text{дЕ/дх}) \cdot \Phi,$$

где $D_{e(p)}$ – поглощённая доза электронного (протонного) излучения;

dE/dx – коэффициент, характеризующий полные потери энергии электрона или протона;

x – толщина образца;

Φ – флюенс потока частиц [1].

Это же соотношение справедливо и для электронов.

Тормозная способность среды характеризуется средним пробегом заряженных частиц R , рассчитываемым по приближённому соотношению:

$$R = E / (dE/dx).$$

Средние пробеги сокращаются с ростом потерь энергии частиц.

Соотношение составляющих поглощённой энергии протонного излучения, расходуемой на ионизацию и смещение атомов, зависит от энергетической зависимости эффективного сечения взаимодействия протона с ядром атома $s_p(E_p)$ и ионизационных потерь энергии протона dE_p/dx .

В общем случае:

$$D_p = D_{pd} + D_{pl} = D_{pl} (1 + K_{pd}),$$

$$K_{pd} \gg D_{pd}/D_{pl}.$$

Значения K_{pd} от энергии протонов представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3 демонстрирует перераспределение поглощённой энергии на ионизацию и смещение атомов по мере увеличения энергии.

Сравнительный анализ показывает, что при равных энергиях ионизационные потери энергии протонов на 1,5–2 порядка выше, а пробеги ниже, чем у электронов, для большинства материалов [21, 34]. Это означает, что при равных энергиях протон быстрее расходует энергию и проникает в структуру прибора на меньшую глубину.

Значения полных потерь энергии (dE_e/dx) и экстраполированных пробегов электронов в алюминии представлены в табл. 1.4.

Полные потери энергии электронов в кремнии практически совпадают с данными табл. 1.4, а значения экстраполированного пробега примерно в $\rho_{Al}/\rho_{Si} = 1,15$ раз больше.

Приведённые оценки указывают на избирательное воздействие электронов на отдельные элементы структуры микросхем. Поглощённая энергия низкоэнергетических электронов локализуется в тонких слоях прибора (тонкоплёночных проводниках, окисных слоях и др.). Поглощённая доза высокоэнергетических электронов локализуется в объёме приборов. Поэтому необходима количественная оценка приповерхностной поглощённой дозы, если длина пробега электрона существенно меньше толщины облучаемого образца.

В реальных условиях кристаллы микросхем частично защищены от потока электронов элементами конструкции, выполняющей роль экранов. Ослабление плотности потока электронов экранами толщиной меньше пробега электронов происходит по закону:

$$\varphi_e = \varphi_{e0} \cdot \exp(-\mu_n \cdot d),$$

где d – толщина экрана (в виде поверхностной плотности), $кг/м^2$;

μ_n – массовый коэффициент поглощения электронов, $м^2/кг$.

Зависимость массового коэффициента поглощения от энергии электрона аппроксимируется приближённой эмпирической формулой [21]:

$$\mu_n \approx 17 \cdot E_e^{-1,43}.$$

Расчёт относительной поглощённой энергии электронов для кремния при E_e равной 0,1; 0,4 и 1 МэВ, показывает, что при облучении кремния электронами низких энергий эффекты смещения атомов практически отсутствуют,

Таблица 1.4. Полная потеря энергии и экстраполированные величины пробегов электронов в алюминии в зависимости от величины энергии электронов

Начальная энергия электронов E_e , МэВ	Полные потери энергии электронов dE_e/dx , МэВ·м ² /кг	Экстраполированный пробег электронов R_p , кг/м ²
0,01	1,64	0,003
0,02	0,98	0,008
0,04	0,59	0,027
0,1	0,32	0,13
0,4	0,17	1,15
1	0,15	3,95
2	0,15	9,12
3	0,16	14,4
5	0,17	25,2
10	0,19	51,8

и поглощённая энергия расходуется на ионизацию. По мере увеличения E_e расходуемая на образование радиационных дефектов часть поглощённой энергии растёт пропорционально R_p . Для толстых образцов, в которых R_p меньше толщины образца, энергия электронов поглощается в приповерхностной области.

Координаты зон максимальной потери энергии электронами совпадают с величиной экстраполированного пробега электронов R_p . Это может служить причиной усиления эффектов дефектообразования в соответствующих областях. Особенно опасно совпадение областей резонансного поглощения с глубинами залегания эмиттерных и коллекторных переходов интегральных транзисторов. В результате в этих областях произойдут усиленные процессы дефектообразования и увеличится степень деградации электрических параметров микросхем. При воздействии импульсных потоков электронов высокой плотности подобные ситуации могут сопровождаться значительным превышением расчётных амплитуд фототоков.

Таким образом, ионизирующее излучение вызывает в полупроводниковых приборах кратковременные обратимые эффекты, обусловленные генерацией электронно-дырочных пар в момент воздействия излучения, и необратимые долговременные остаточные эффекты, обусловленные процессами радиационной деградации. Первые из них обусловлены в основном ионизационными процессами и вызывают появление объёмных токов, увеличение поверхностных токов утечки и т.д., но после снятия возмущающего воздействия ионизирующего излучения возможно

полное или частичное восстановление рабочих характеристик приборов, если они не выходят из строя. Эффекты второго типа обычно вызываются образованием дефектов или поверхностных зарядов. Обусловленные этими факторами изменения параметров приборов носят устойчивый характер.

Кроме того, описывая взаимодействие заряженных частиц с аппаратурой космических аппаратов, необходимо учесть усиление дозовых нагрузок на ЭРИ в составе бортовой аппаратуры космических аппаратов за счёт тормозного излучения, создаваемых электронами космического пространства при прохождении экранов, роль которых выполняют корпуса аппаратуры космических аппаратов. В [35] проведён комплекс расчётных исследований для оценки эффекта «усиления дозы» за счёт тормозного излучения, действующего на ЭРИ, применяемые в составе бортовой аппаратуры космических аппаратов, функционирующих на высокой круговой ($H = 20\,000$ км) и геостационарной орбитах. В [35] показано, что этот эффект может приводить к увеличению поглощённой дозы космического пространства в чувствительном объёме ЭРИ МОП-технологий от двух до пяти раз.

В [36] методом Монте-Карло оценён вклад в поглощённую дозу радиации тормозного излучения на геостационарной орбите внутри космического аппарата. Установлено, что поглощённая доза излучения под защитой в 11 мм алюминия в две тысячи раз превосходит дозу от электронов, которые генерируют это излучение. При моделировании учитывались только фотоэффект, Комптон-эффект, рождение электрон-позитронных пар в поле ядра атома.

Перечень принятых сокращений

БА	бортовая аппаратура
ВВФ	внешние воздействующие факторы
ГКИ	галактическое космическое излучение
ЕРПЗ	естественные радиационные пояса Земли
ИИ	ионизирующее излучение
ИРПЗ	искусственные радиационные пояса Земли
ИМС	интегральные микросхемы
ИЭТ	изделия электронной техники
КА	космический аппарат
КД	конструкторская документация
КИ	комплектующее изделие
КМОП	комплементарные структуры металл-окисел-полупроводник
КП	космическое пространство
МКС	международная космическая станция
МОП	структуры металл-окисел-полупроводник
МУ	моделирующая установка
НИОКР	научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
НТД	нормативно-технический документ
ОЗУ	оперативное запоминающее устройство
ОКР	опытно-конструкторская работа
ПЗС	прибор с зарядовой связью
ПФ	поражающие факторы
РД	радиационные дефекты
РКД	рабочая конструкторская документация
РА	радиоэлектронная аппаратура
СКИ	солнечное космическое излучение
ФКП	фактор космического пространства
ЭРИ	электрорадиоизделия
ЯВ	ядерный взрыв

Литература

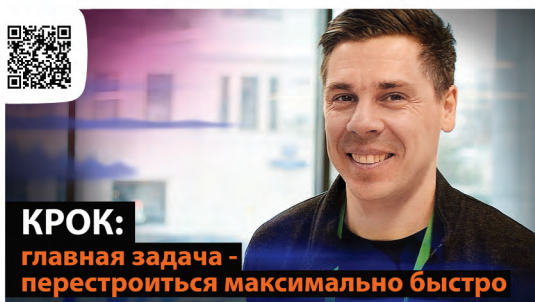
1. Заитов Ф.А., Литвинова Н.Н., Савицкий В.Г., Средин В.Г. Радиационная стойкость в оптоэлектронике. М.: Воениздат, 1987. 166 с.
2. Блог компании RUVDS.com // URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/pilgrims/cr16.htm>.
3. Модель космического пространства / под ред. акад. С.Н. Вернова. М.: МГУ, 1983.
4. Безродных И.П. и др. Радиационные условия на геостационарной орбите // Вопросы электромеханики. Т. 117. 2010. С. 33–42.
5. Артемов А.Д., Данилин Ю.И., Курышев А.В. и др. Функционирование БИС после протонного и нейтронного воздействий // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2019. Вып. 4. С. 50–56.
6. Чернышев А.А., Глотюк А.Н., Попов Ю.А. и др. Радиационная стойкость интегральных микросхем // Зарубежная электронная техника. 1984. № 8(279). С. 87.
7. Влияние облучения на материалы и элементы электронных схем / пер. с англ. под ред. В.Н. Быкова, С.П. Соловьева. М.: Атомиздат, 1986. 427 с.

8. Мырова Л.О., Четиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. М.: Радио и связь, 1988. 297 с.
9. Коришунов Ф.П., Богатырев Ю.В., Вавилов В.А. Воздействие радиации на интегральные микросхемы. М.: Наука и техника, 1996. 254 с.
10. Wondrak W., Betnge K., Silber O. Radiation defect distribution in proton-irradiated silicon. J. Appl. Phys., 2017, vol.62(8), p. 3464–3466.
11. Мальханов С.Е. Энергетические уровни в кремнии, облученном быстрыми электронами // Физика и техника полупроводников. 1994. Т. 28. Вып. 8. С. 1431–1433.
12. Курсалов Ю.В., Савченко И.С., Хорастянов Т.Л., Хрулев А.К. Воздействие протонного излучения на кремниевые транзисторы.
13. Азимов К.С., Григорьева Г.М. и др. О влиянии областей разупорядочения на рекомбинацию в облученном протонами р-кремнии // Тез. докл. конференции «Радиационные дефекты в полупроводниках». М., 2012.
14. Коноплева Р.Ф., Остроумов В.Н. Взаимодействие заряженных частиц высоких энергий с германием и кремнием. М.: Атомиздат, 1975. 39 с.
15. Hasegawa M., Mori S., Obsugi T., Kojima H., Taketani A., Kondo T., Noguchi M. Radiation damage at silicon junction by neutron irradiation. Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. 2019, A277, p. 395–400.
16. Райкунов Г.Г. Ионизирующие излучения космического пространства и их воздействие на бортовую аппаратуру космических аппаратов. М.: Физматлит, 2013. 256 с.
17. Burke E.A. Energy dependence of proton-induced displacement damage in silicon. IEEE Trans. Nucl. Sci. 1996, vol. NS-33, N6, p. 1276–1281.
18. Dale C.J., Marshall P.W., Summers G.P., Wolicki E.A., Burke E.A. Displacement damage equivalent to dose in silicon devices. Appl. Phys. Lett., 2009, vol.54(5), p. 451–453.
19. Bulgakov Yu.V., Kolomenskaja T.I., Kuznetsov N.V., Yanzenko L.A. The dependence of the resistance profile in silicon irradiated with hydrogen and Helium Ions on the ion energy and fluence. Phys.Stat.Sol.(A), 2016, vol.61, p. 77–79.
20. Бор Н. Прохождение атомных частиц через вещество. М.: Иностранная литература, 1950. 150 с.
21. Устюжанов В.Н., Четиженко А.З. Радиационные эффекты в биполярных интегральных микросхемах. М.: Радио и связь, 1989. 144 с.
22. ДинсД., ВиньярдД. Радиационные эффекты в твердых телах. М.: Иностранная литература, 2002. 243 с.
23. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / под ред. Е.А. Ладыгина. М.: НТМ по Решению 17-й отраслевой конференции НИТУ «МИСиС», 2007. 223 с.
24. Кулаков В.М., Ладыгин Е.А., Шаховцев В.И. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники. М.: Советское радио, 1980. 224 с.
25. Scour J.R. Stable-damage comparisons for neutron-irradiated silicon. IEEE Trans.Nucl. Sci. М.:1983, vol. NS-20, N6, p. 190–195.
26. Конозенко И.Д., Семенов А.К., Хиврич В.И. Радиационные эффекты в кремнии. М.: Советское радио, 1995. 39 с.
27. Радиационная стойкость материалов радиотехнических конструкций / под ред. Н.Н. Сидорова, В.К. Князева. М.: Советское радио, 1986. 589 с.
28. Luenera T.F., Kelly J.G., Stein H.J. Neutron damage equivalence for silicon, silicon dioxide and gallium arsenide. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1987, vol. NS-34, N6, p. 1557.
29. Polenz F.W., Taubke C.D., Walker R.L. Application of silicon damage to neutron exposure measurement. IEEE Trans. Nucl. Sci. 1987, vol. NS-14, N6, p. 147–152.
30. Stein H.J. Energy dependence of neutron damage in silicon. J. of Appl. Phys., 2015, vol.38, N1, p. 139.
31. Scour J.R., Shanfield Z., Harman R.A., Othmen S., Newberry D.M. Permanent damage introduced by single particles incident to silicon devices. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1983, vol. NS-30, N6, p. 190–195.
32. Mc. Kenzie J.M., Witt L.J. Conversion of neutron spectra to then 14 MeV equivalences. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1982, vol. NS-19, N6, p. 194–199.
33. Кузнецов Н.В., Соловьев Г.Г. Радиационная стойкость кремния. М.: Энергоатомиздат, 1989.
34. Влияние облучения на материалы и элементы электронных схем / пер. с англ. под ред. В.Н. Быкова и С.П. Соловьева. М.: Атомиздат, 1989. 427 с.
35. Булгаков Н.Н., Бахтызин И.В., Зинченко В.Ф. Учёт эффекта «усиления дозы» вторичного тормозного излучения при прогнозировании дозовых нагрузок на электрорадиоизделия в составе бортовой аппаратуры космических аппаратов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 2020. Вып. 1. С. 31–38.
36. Безродных И.П. и др. Вопросы электромеханики. 2011. Т. 120. С. 37–44.

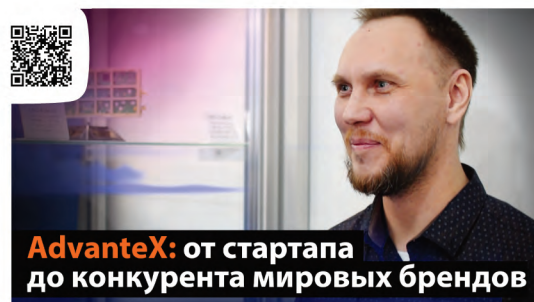




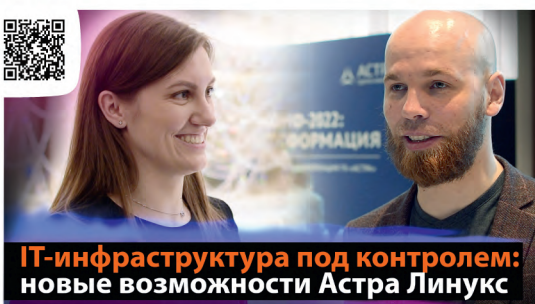
Смотрите на канале **СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**



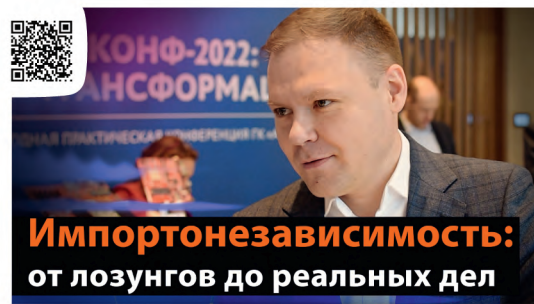
КРОК: главная задача –
перестроиться максимально быстро
Валентин Губарев. КРОК



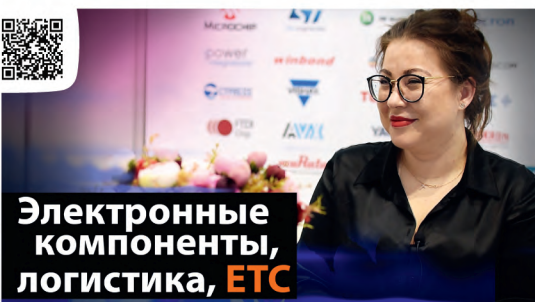
AdvanteX: от стартапа до конкурента
мировых брендов
Андрей Поляков, AdvanteX



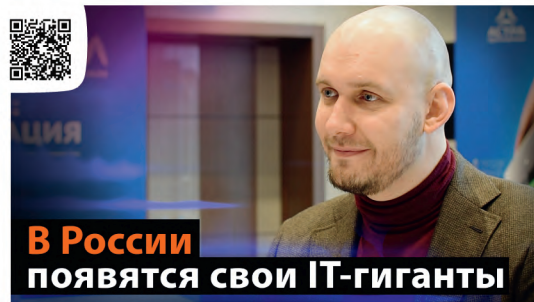
IT-инфраструктура под контролем:
новые возможности Астра Линукс
Наталья Царёва и Александр Гришин, ISPSystem



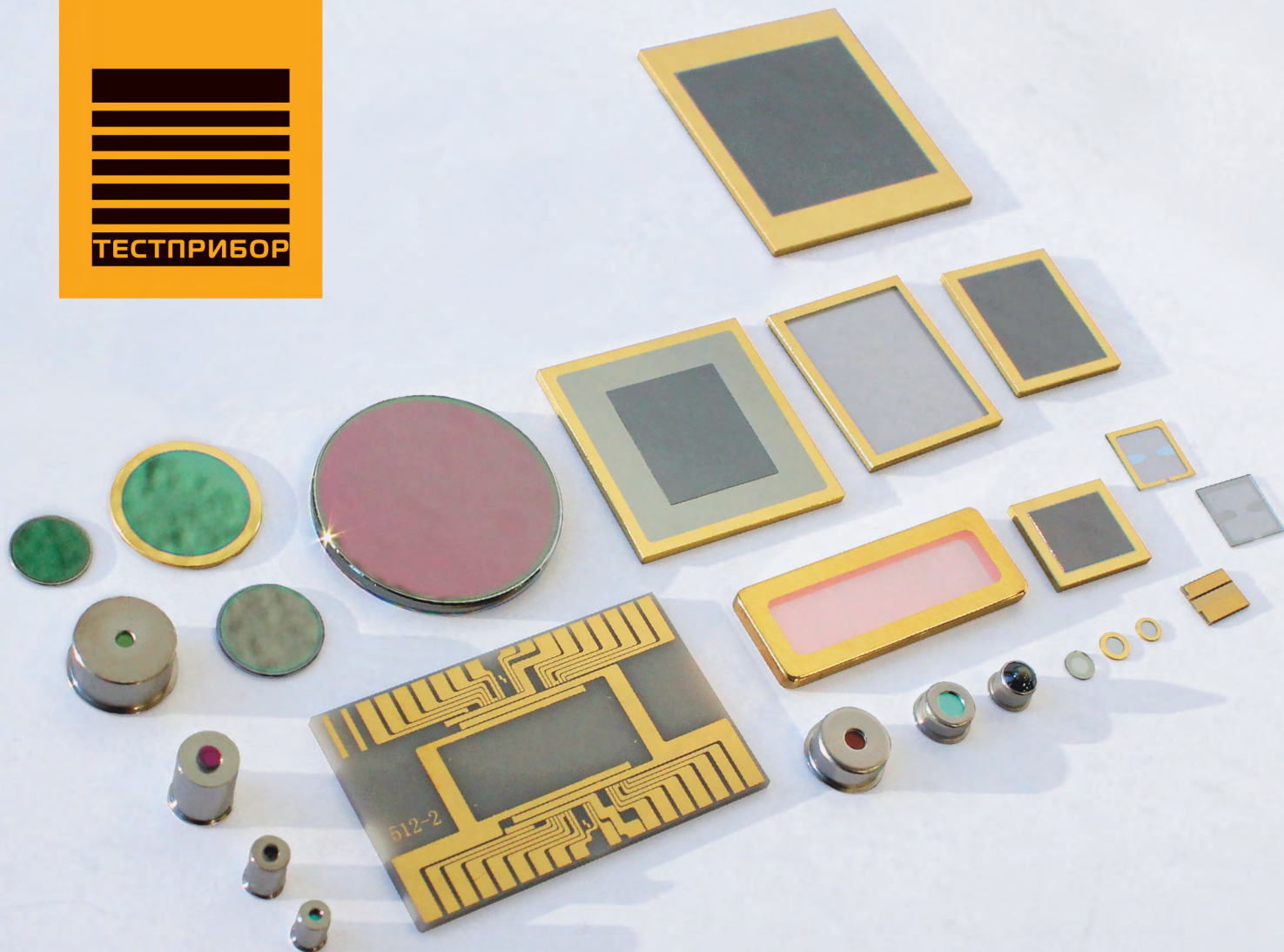
Импортонезависимость: от лозунгов
до реальных дел
Ильдар Вагизов, АйСиЭл Техно



Электронные компоненты, логистика
Катерина Кулаковская, ETC



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



РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ

ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

АО «ТЕСТПРИБОР» поставляет окна и крышки транзисторного типа различной конфигурации для электрорадиоизделий оптоэлектроники, а также керамические подложки.

МАТЕРИАЛЫ ИСПОЛНЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК

- Оксид алюминия Al_2O_3 (99%, 96%)
- Нитрид алюминия AlN
- Оксид бериллия BeO

ОКНА И КРЫШКИ ТРАНЗИСТОРНОГО ТИПА (ТО)

- Плоские окна
- Асферические окна
- Шаровидные линзы
- Наклонные окна
- Клиновидные окна

МАТЕРИАЛЫ ИСПОЛНЕНИЯ ОКОН И КРЫШЕК

- Стекло
- Сапфир
- Кварц
- Ge
- Si
- Ze
- Sn

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ПО ТРЕБОВАНИЮ ЗАКАЗЧИКА

- Cr/ Ni
- Cr/ Ni/ Au
- Ti/ Pt/ Au