

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

3

2026



Электронная
версия этого
журнала

**ОТ ЛАМПОВОЙ РАЦИИ
ДО СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ:
А.А. Пистолькорс –
ровесник века радио**

**НЕРЕАЛЬНО РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ:
живой тест ОСРВ FX-RTOS**

**ИГРА В РЕГИСТРЫ:
тонкости программирования RISC-V**

**БЕЗ СБОЕВ В МАТРИЦЕ:
автоматизированный расчёт
перекрёстных помех в SimPCB Lite**



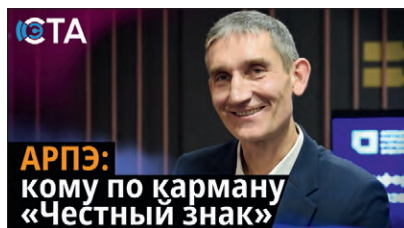
ЧИТАЙТЕ В КОМФОРТЕ



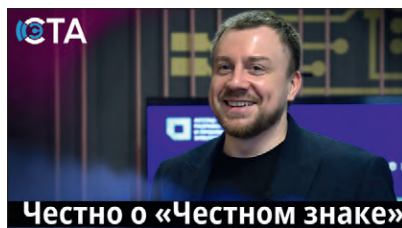
ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА «СТА»
подписка с гарантированной доставкой



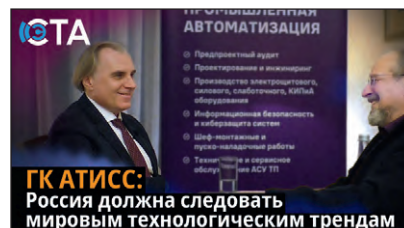
онлайн: www.cta.ru • +7 495 234-0635 • shop@cta.ru
на почте: по каталогу «Урал-Пресс» (на год – 81872, на полугодие – 72419)



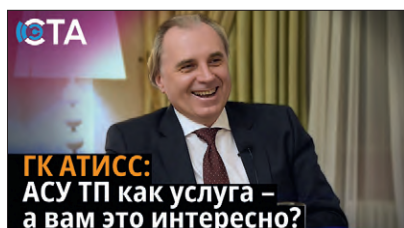
Интервью с Иваном Покровским, исполнительным директором АРПЭ, исполнительным директором АСПЭК, генеральным директором Совэл



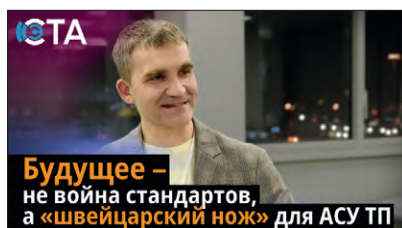
Интервью с Михаилом Денисенко – бизнес аналитиком по автоматизации компании «Клеверенс Софт»



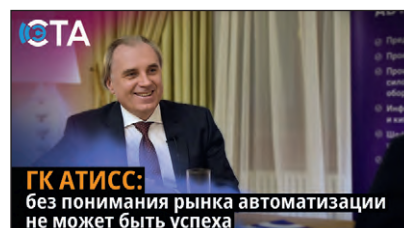
Интервью с Владиславом Ерощенковым – экспертом российского рынка промышленной автоматизации и исполнительным директором ГК АТИСС



Интервью с Владиславом Ерощенковым – экспертом российского рынка промышленной автоматизации и исполнительным директором ГК АТИСС



Интервью с Романом Шиндиным – руководителем отдела pre-sale компании «Tibbo Systems»



Интервью с Владиславом Ерощенковым – экспертом российского рынка промышленной автоматизации и исполнительным директором ГК АТИСС

СМОТРИТЕ НА КАНАЛЕ СЭТА



СЛУШАЙТЕ В ПОДКАСТЕ СЭТА





Здравствуйтесь, уважаемые друзья!

Этот номер журнала открывается материалами, посвящёнными вопросам проектирования и анализа современной электронной аппаратуры. Рассматривается метод расчёта перекрёстных помех через S-параметры – важный инструмент обеспечения целостности сигналов в высокоскоростных цифровых устройствах. Подход реализован в САПР SimPCB Lite и может быть полезен разработчикам печатных плат и сложных электронных систем.

Тему программно-аппаратных платформ продолжает тест задержки обработки прерываний в операционной системе реального времени FX-RTOS. Авторы рассматривают один из наиболее частых вопросов при выборе ОСРВ на основе экспериментальных измерений, выполненных на отечественном оборудовании. В продолжение темы представлен обзор практики разработки современных вычислителей для ответственных применений – от специализированных решений до использования готовых COTS-платформ.

Вопросы низкоуровневого программирования рассматриваются в материале, посвящённом особенностям работы с регистрами в архитектуре RISC-V и заданию непосредственных операндов в инструкциях.

Традиционно значительное внимание в журнале уделяется схемотехническим решениям. В этом номере представлены материалы о зарядном устройстве для Li-Ion и LiFePO₄ аккумуляторов на базе модуля TP4056, о применении ШИМ-контроллера KP1114EY4A в импульсных источниках вторичного электропитания, а также обзор линейных стабилизаторов напряжения с малым падением напряжения (LDO), включая радиационно-стойкие исполнения.

В номере также представлены разработки практической направленности: проект автоматизации управления дорожными светофорами на базе программируемого логического контроллера и новые соединители серии СКЦ102 для высокоскоростной передачи данных и работы в радиочастотных трактах.

Отдельные публикации посвящены научно-популярным и историческим темам. Мы продолжаем обсуждение космической версии зарождения жизни и анализ аргументов астробиолога Роуна Джозефа. Завершает выпуск материал о выдающемся отечественном учёном Александре Александровиче Пистолькорсе, внёсшем значительный вклад в развитие радиотехники и электроники.

Спасибо, что остаётесь с нами. Надеемся, что материалы журнала будут интересны и полезны для вас.

Всего вам доброго.
Юрий Широков, главный редактор

Журнал «Современная электроника»

Издаётся с 2004 года

Главный редактор Ю. В. Широков

Заместитель главного редактора А. В. Малыгин

Редакционная коллегия А. Е. Балакирев, В. К. Жданкин,

С. А. Сорокин, Р. Х. Хакимов

Вёрстка М. Ю. Соколов

Распространение Ю. А. Фенчева (shop@cta.ru)

Реклама Н. А. Антипов +7 (968) 567-30-06 (antipov.n@cta.ru)

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»

Генеральный директор К. В. Седов

Адрес учредителя и издателя:

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

Почтовый адрес: 117437, г. Москва,

Профсоюзная ул., 108

Тел.: (495) 232-00-87

shop@cta.ru • www.cta.ru

Производственно-практический журнал

Выходит 9 раз в год. Тираж 10 000 экз.

Цена свободная

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

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР».

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

Тел./факс: (499) 903-69-52

Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

Ответственность за содержание рекламы несут рекламодатели.

Ответственность за содержание статей несут авторы.

Материалы, переданные редакции, не рецензируются и не возвращаются.

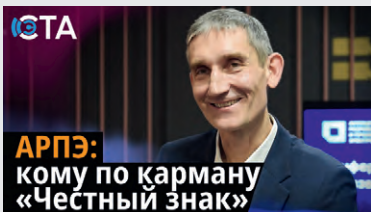
Мнение редакции не обязательно совпадает с мнением авторов.

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

© СТА-ПРЕСС, 2026

Мы в соцсетях





Интервью с Иваном Покровским, исполнительным директором АРПЭ, исполнительным директором АСПЭК, генеральным директором Совэл

Маркировка электроники: опыт других отраслей показал, что «цифра» не отменяет проверок

Российские производители электроники могут оказаться в неравных условиях с импортёрами готовых изделий: маркировка компонентов обойдется им в разы дороже. Узнайте, почему АРПЭ просит приостановить поспешное внедрение «Честного знака» и чем грозит тотальная прозрачность в условиях санкций.

С 2022 года цели «Честного знака» изменились: борьба с контрафактом уступила место подтверждению российского происхождения, а следующим шагом может стать технологический сбор. Но главная головная боль производителей электроники сейчас не в этом. Российские компании обязаны маркировать компоненты и печатные платы, тогда как импортёры готовых изделий несут несопоставимо меньшие издержки. Вдобавок опыт других отраслей показывает: цифровая маркировка не исключает выездных проверок – подлог имитируется и в информационной системе. В интервью АРПЭ – о том, почему ассоциация просит не отменить, а притормозить расширение маркировки на компоненты, и чем сверхконцентрация данных в одном месте опасна для отрасли в условиях санкций. Без паники, но с цифрами и аналогиями.



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 4** Метод расчёта перекрёстных помех через S-параметры
Виктор Ухин, Вячеслав Кухарук
- 8** Оценка задержки обработки прерываний в ОСРВ FX-RTOS
Сергей Рыбкин, Арсений Захаров, Михаил Черкасов, Александр Сушков

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

- 12** Практика разработки современных вычислителей: COTS-платформы как уход от кастомных решений
Олег Холодный
- 16** Особенности задания значений регистров при программировании для RISC-V
Евгений Еремин
- 24** Зарядное устройство для Li-Ion и LiFePO4 аккумуляторов
Сергей Глибин
- 26** Автоматика управления дорожными светофорами
Олег Вальпа

ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ

- 30** Линейные интегральные стабилизаторы напряжения с низким падением напряжения на регулирующем элементе
Виктор Жданкин
- 37** Соединители серии СКЦ102 для высокоскоростной передачи информации, работы в радиочастотных трактах, мультиплексорных линиях информационного обмена и подключения питания
Сергей Галинович
- 40** Применение микросхемы КР1114ЕУ4А в импульсных источниках вторичного электропитания
Сергей Шишкин

ВОПРОСЫ ТЕОРИИ

- 48** Космическая версия зарождения жизни. Часть 2. Неопознанные атмосферные образования Роуна Джозефа с точки зрения современной науки
Виктор Алексеев

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

- 59** Знаменитый разработчик радиотелескопов, волноводов, РЛС и радаров А.А. Пистолькорс
Андрей Кашкар

Метод расчёта перекрёстных помех через S-параметры

Виктор Ухин, Вячеслав Кухарук

Одной из задач обеспечения целостности сигналов является расчёт перекрёстных помех. В статье рассматривается способ их вычисления через S-параметры. Данный способ реализован в САПР SimPCB Lite.

Проектируя высокоскоростное устройство на печатной плате, разработчик сталкивается с необходимостью решать задачи обеспечения целостности сигналов. Чаще всего к ним относятся следующие: расчёт волнового сопротивления, вычисление ослабления сигнала, оценка перекрёстных помех. Используя ту или иную программу для решения выделенных задач, инженер должен быть уверен, что вычислительное средство использует точные и проверенные методы. Неверные расчёты, большие погрешности часто становятся источником серьёзных ошибок, цена исправления которых может быть очень высокой.

Компания «ЭРЕМЕКС» постепенно внедряет в свои продукты инструменты обеспечения целостности сигналов. Многим пользователям известны такие САПР, как SimPCB Lite и встроенный модуль в Delta Design SimPCB. Основой SimPCB и SimPCB Lite является математический модуль. Для компа-

нии важно, чтобы качество его реализации не вызывало сомнений у инженеров, поэтому в данном издании периодически появляются публикации о способах решения той или иной задачи обеспечения целостности сигналов. В данной статье речь пойдёт о расчёте перекрёстных помех.

Перекрёстные помехи возникают, когда два или более проводника на печатной плате находятся в близости друг от друга. Эффект усиливается с повышением частоты, скорости сигнала, сокращением расстояния между проводниками и увеличением длины взаимодействия. Явление объясняется тем, что проводящие элементы попадают под воздействие электромагнитных полей, образующихся от соседних сигналов. Пояснение представлено на рис. 1.

Из рисунка видно, что первый и третий проводники попадают в электромагнитное поле, образованное от средней трассы. Соответственно, на крайних линиях передачи от воздей-

ствия внешнего поля возникнет разность потенциалов и электрический ток. Это и будет перекрёстная помеха.

Практический интерес представляют перекрёстные помехи на ближнем и дальнем концах линии передачи. Вычисляют перекрёстные помехи на конкретной частоте или для частотного диапазона и во временной области. В данной публикации рассмотрим только частотный анализ.

В решателе от компании «ЭРЕМЕКС» перекрёстные помехи вычисляются без учёта потерь. Исключение потерь из расчёта приводит к тому, что рассматривается наихудший случай, то есть помеха будет немного завышена, а инженер получает результат с подстраховкой. Зарубежные программы, такие как Polar SI9000, HyperLynx, также не учитывают потери.

Модель двух взаимодействующих линий передачи без учёта потерь представлена на рис. 2.

Для вычисления помехи необходимо определить матрицу индуктивности и ёмкости. Матрица ёмкости для двух линий передачи будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{pmatrix},$$

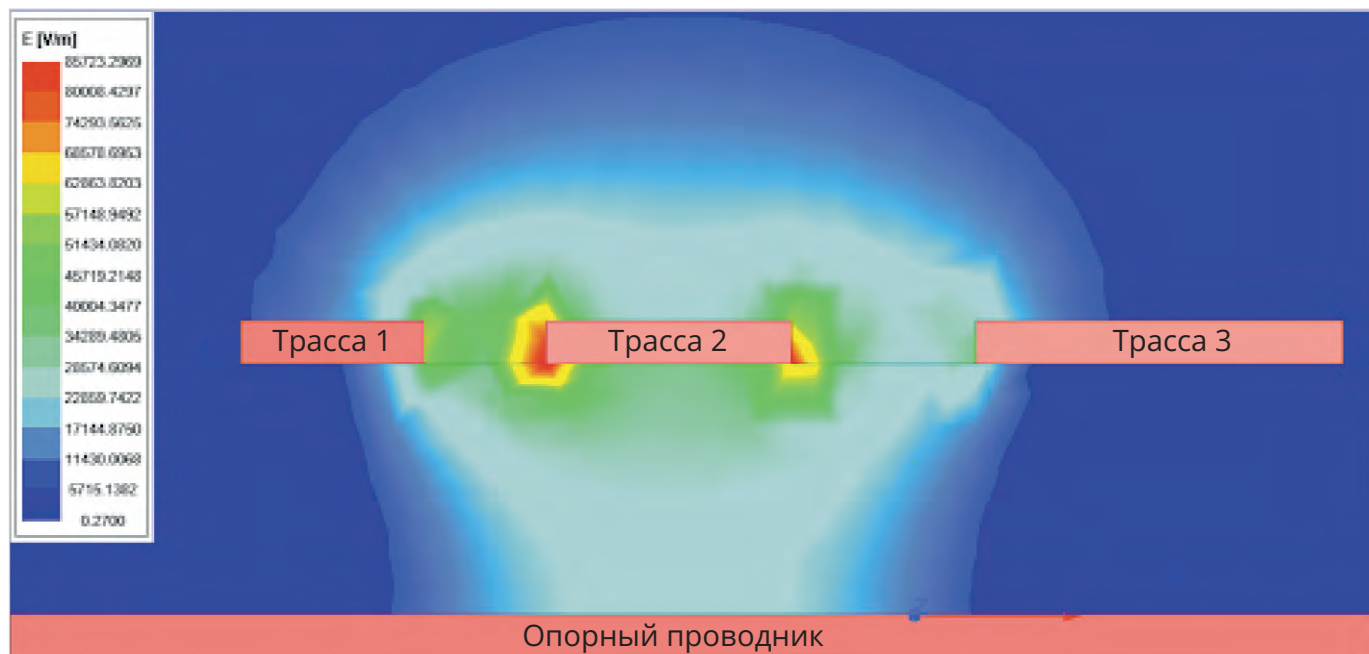


Рис. 1. Три микрополосковые линии передачи и электромагнитное поле от центрального проводника

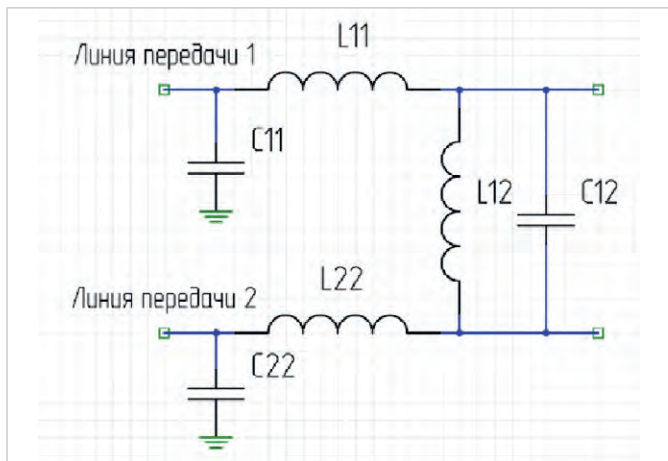


Рис. 2. Две взаимодействующие линии передачи

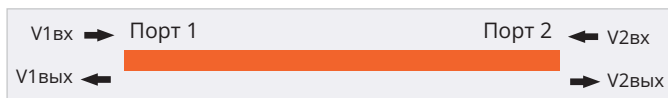


Рис. 4. Линия передачи как двухпортовая система

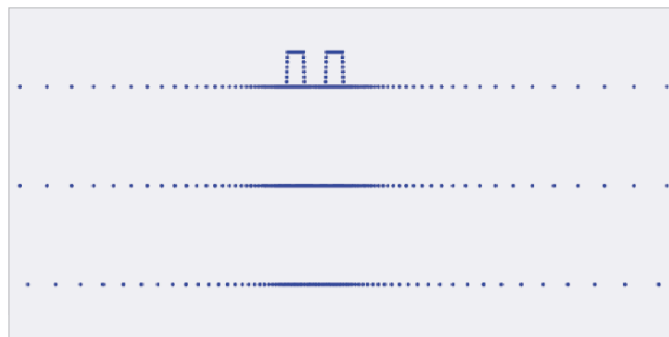


Рис. 3. Сетка граничных элементов для электростатической задачи

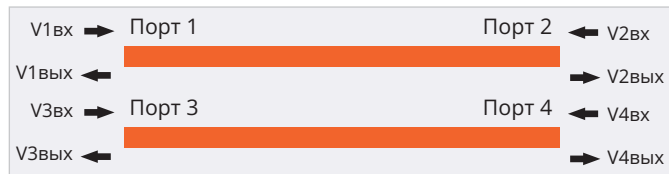


Рис. 5. Две линии передачи как двухпортовая система

где C11 – ёмкость линии передачи 1, C22 – ёмкость линии передачи 2, C12 и C21 – взаимная ёмкость между линиями 1 и 2, при этом C21 = C12.

Матрица индуктивности для двух линий передачи:

$$\begin{pmatrix} L11 & L12 \\ L21 & L22 \end{pmatrix},$$

где L11 – индуктивность линии передачи 1, L22 – индуктивность линии передачи 2, L12 и L21 – взаимная индуктивность между линиями 1 и 2, при этом L12 = L21.

Матрица ёмкости рассчитывается с помощью электростатического решателя методом граничных элементов. Следует отметить, что матрица вычисляется два раза. Первая матрица учитывает материалы печатной платы, вторая предполагает, что проводящие элементы окружены воздухом. Пример сетки граничных элементов, сформированной в решателе от компании «ЭРЕМЕКС» для двух линий передачи, представлен на рис. 3.

Магнитная проницаемость диэлектриков равна единице, то есть величина индуктивности проводника не зависит от его типа. Поэтому матрица индуктивности вычисляется через матрицу ёмкости для линий передачи в среде воздуха. Формула для расчёта следующая:

$$L = (1/c^2)/C_{возд},$$

где c – скорость света, Cвозд – матрица ёмкости для линий передачи в среде воздуха.

Существует определённое количество способов расчёта перекрёстных помех.

В САПР SimPCB Lite решение данной задачи выполняется через S-параметры. Линия передачи представляется как двухпортовая система (рис. 4) и описывается S-коэффициентами.

Матрица S-коэффициентов:

$$\begin{pmatrix} S11 & S12 \\ S21 & S22 \end{pmatrix},$$

где S11 = V1вых/V1вх при V2вх = 0, S21 = V2вых/V1вх при V2вх = 0, S12 = V1вых/V2вх при V1вх = 0, S22 = V2вых/V2вх при V1вх = 0, V1вх, V2вх, V1вых, V2вых – напряжения падающих и отражённых волн соответственно.

Взаимосвязь S-коэффициентов с напряжениями падающих и отражённых волн можно записать и так:

$$\begin{pmatrix} S11 & S12 \\ S21 & S22 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V1вх \\ V2вх \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V1вых \\ V2вых \end{pmatrix}.$$

О перекрёстных помехах можно говорить, когда система состоит минимум из двух линий передачи. Рассмотрим такую систему и опишем её через S-коэффициенты. На рис. 5 представлено две линии передачи с падающими и отражёнными волнами.

Связь между S-коэффициентами и напряжениями для двух линий передачи выглядит так:

$$\begin{pmatrix} S11 & S12 & S13 & S14 \\ S21 & S22 & S23 & S24 \\ S31 & S32 & S33 & S34 \\ S41 & S42 & S43 & S44 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V1вх \\ V2вх \\ V3вх \\ V4вх \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V1вых \\ V2вых \\ V3вых \\ V4вых \end{pmatrix}.$$

Если, например, сигнал присутствует только на входе первой линии (порт 1), то выражение, представленное выше, можно записать:

$$\begin{pmatrix} S11 & S12 & S13 & S14 \\ S21 & S22 & S23 & S24 \\ S31 & S32 & S33 & S34 \\ S41 & S42 & S43 & S44 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V1вх \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V1вых \\ V2вых \\ V3вых \\ V4вых \end{pmatrix}.$$

При этом перекрёстная помеха на ближнем конце второй линии (порт 3) равна Unext = V3вых, а на дальнем – Ufext = V4вых. Используя связь S-коэффициентов и напряжений, получаем: Unext = V3вых = S31 · V1вх, а Ufext = V4вых = S41 · V1вх. Если V1вх = 1 В, то перекрёстная помеха на ближнем и дальнем концах линии передачи будет соответствовать значениям S-коэффициентов, то есть Unext = V3вых = S31, Ufext = V4вых = S41.

В случае, когда на входе линии-жертвы присутствует полезный сигнал, связь S-коэффициентов и напряжений запишется так:

$$\begin{pmatrix} S11 & S12 & S13 & S14 \\ S21 & S22 & S23 & S24 \\ S31 & S32 & S33 & S34 \\ S41 & S42 & S43 & S44 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} V1вх \\ 0 \\ V3вх \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V1вых \\ V2вых \\ V3вых \\ V4вых \end{pmatrix}.$$

Перекрёстная помеха на ближнем конце в этом случае будет входить в состав отражённого сигнала, а на дальнем – сигнала, выходящего из линии:

$$U_{next} = V3_{вых} = S31 \cdot V1_{вх} + S33 \cdot V3_{вх},$$

$$U_{fext} = V4_{вых} = S41 \cdot V1_{вх} + S43 \cdot V3_{вх}.$$

S-коэффициенты рассчитываются по известным формулам, широко представленным в литературе. Важной составляющей этих формул является матрица ABCD-параметров. Выглядит она следующим образом:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cosh(\gamma \cdot l) & Z0 \cdot \sinh(\gamma \cdot l) \\ \sinh(\gamma \cdot l)/Z0 & \cosh(\gamma \cdot l) \end{pmatrix},$$

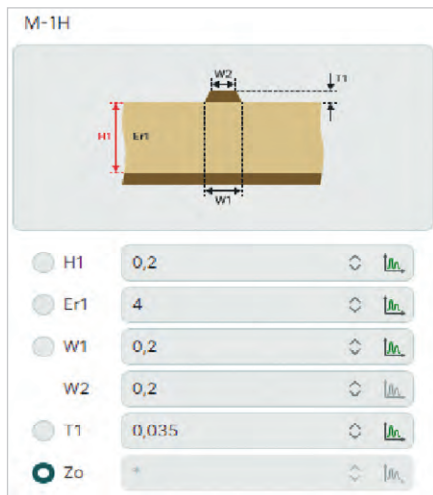


Рис. 6. Параметры линии передачи

где l – длина линии передачи, Z_0 – волновое сопротивление, γ – постоянная распространения, вычисляемая по формуле:

$$\gamma = \sqrt{(R + i \cdot \omega \cdot L) \cdot (G + i \cdot \omega \cdot C)}$$

Здесь R, L, C, G – матрицы первичных параметров линий передачи, i – мнимая единица, ω – круговая частота.

Так как вычисление поперечных помех выполняется без учёта потерь, то матрицы R и G приравниваются к нулю, а C и L вычисляются с помощью электростатического решателя так, как указано в начале статьи.

Ниже, в качестве сравнения, представлены результаты вычислений поперечных помех, полученные в SimPCB Lite и в Polar SI9000. Поперечные помехи рассчитывались для системы,

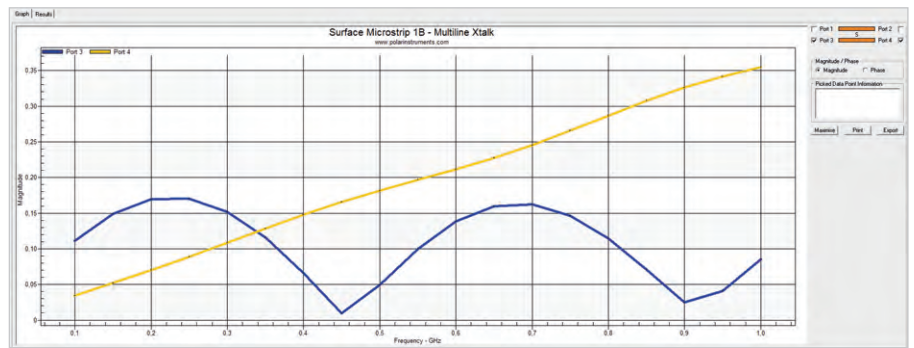


Рис. 7. Результаты расчёта в Polar SI9000

состоящей из двух одинаковых линий. Их параметры представлены на рис. 6.

Расстояние между линиями 0,2 мм, длина линий 200 мм. Помехи оценим в частотном диапазоне от 100 МГц до 1 ГГц с шагом 50 МГц, Амплитуда входного сигнала составляет 1 В. Результаты расчёта в Polar SI9000 и SimPCB Lite показаны на рис. 7 и рис. 8 соответственно.

Видно, что результаты практически совпадают. Так, например, при частоте 1 ГГц помеха, вычисленная в Polar SI9000, на ближнем конце линии передачи (порт 3) составляет 0,085 В, на дальнем – 0,35 В при амплитуде входного сигнала 1 В, а рассчитанная в SimPCB Lite – 0,083 В и 0,349 В.

Применяемый математический аппарат и способ вычислений позволяет рассчитывать поперечные помехи для любого количества линий передачи, как одиночных, так и дифференциальных, с любой геометрией поперечного сечения проводника. Точность

вычислений обеспечивается сеткой граничных элементов. В решателе от компании «ЭРЕМЕКС» сетка настроена оптимальным образом, обеспечивая баланс между высокой скоростью расчёта и минимальной погрешностью.

Литература

1. Кечиев Л.Н. Справочник по расчёту электрической ёмкости, индуктивности и волнового сопротивления в электронной аппаратуре: инженерное пособие. М.: Грифон, 2021. 280 с.
2. Ухин В.А., Коломенский Д.С., Кухарук В.С., Смирнова О.В. Методы расчёта волнового сопротивления линий передач на печатных платах // Современная электроника. 2023. № 9. С. 40–42.
3. Кухарук В.С., Коломенский Д.С., Ухин В.А., Смирнова О.В. Сравнение результатов расчётов волнового сопротивления линий передач на печатных платах // Современная электроника. 2023. № 9. С. 43.

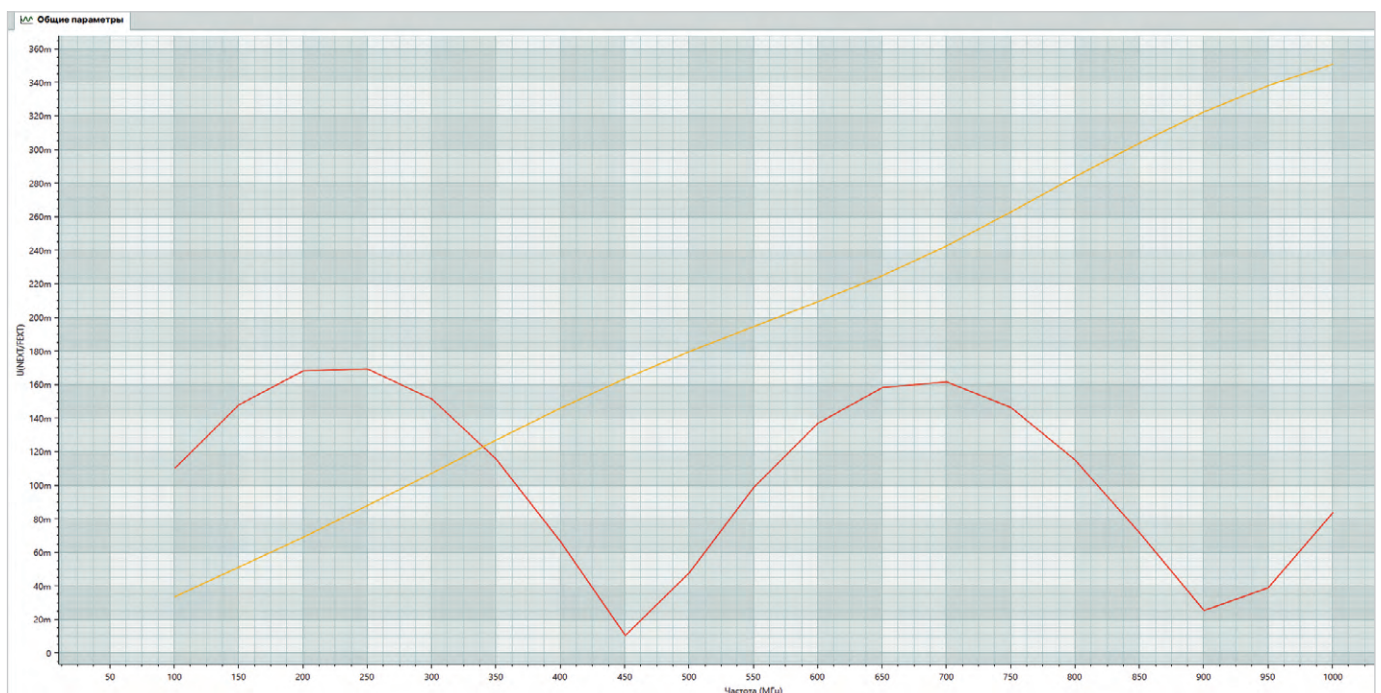


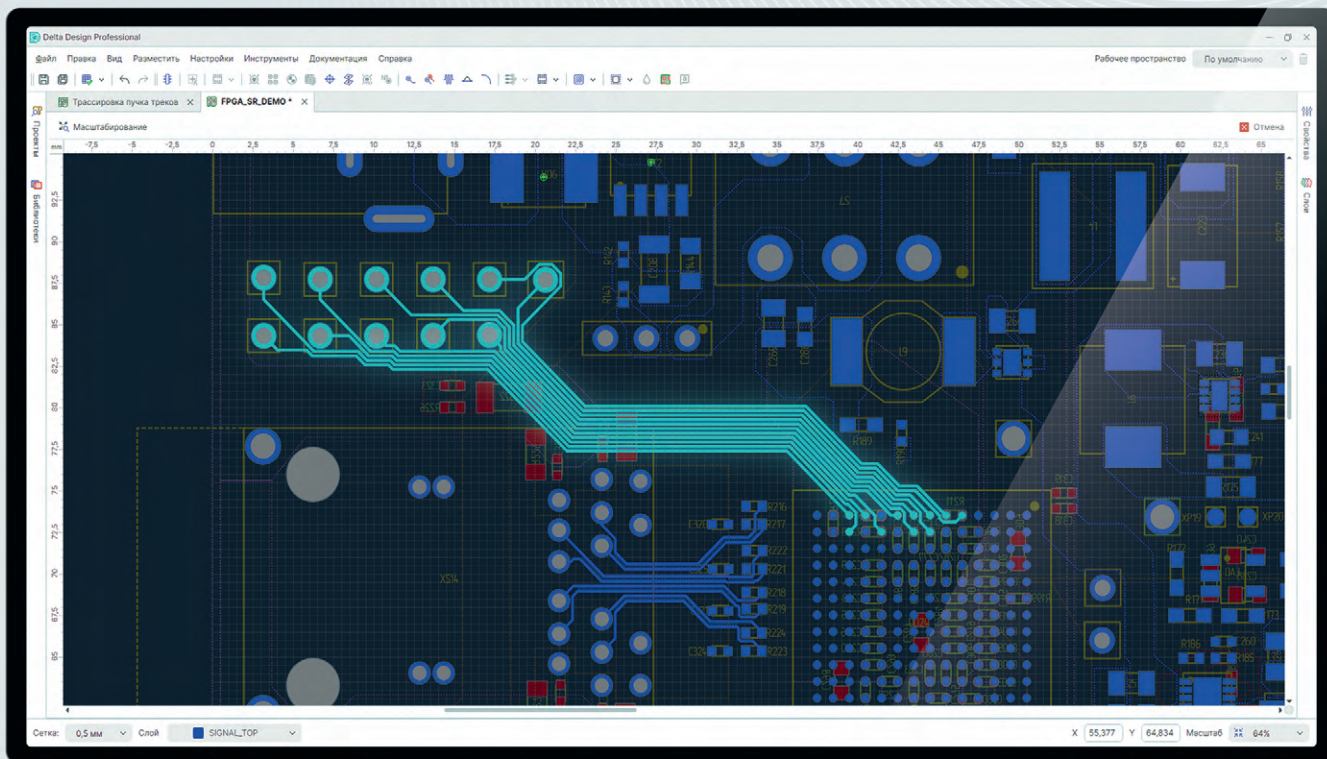
Рис. 8. Результаты вычислений в SimPCB Lite



DeltaDesign

4.1

Новая кроссплатформенная
русская САПР электроники



Трассировка пучка
треков



Новый конфигуратор
сервисов



Новые возможности
подготовки конструкторской
документации



Интерактивная документация
на сайте docs.eremex.ru



Чтобы получить консультацию и внедрить новую САПР Delta Design
на вашем предприятии, обратитесь к специалистам ЭРЕМЕКС

Оценка задержки обработки прерываний в ОСРВ FX-RTOS

Сергей Рыбкин, Арсений Захаров, Михаил Черкасов, Александр Сушков

Введение

Когда речь заходит об операционных системах реального времени (ОСРВ), наша команда часто сталкивается с вопросом: «А какая задержка обработки прерываний?» Скажем сразу – время реакции на событие в ОСРВ – это не единственная и не самая важная характеристика операционных систем. Тем не менее мы попробуем разобраться со столь частым вопросом путём проведения эксперимента на отечественном оборудовании.

Стенд для проведения эксперимента

В целях проверки мы остановились на отечественном микроконтроллере K1986BE92FI (маркировка на корпусе MDR1211FI), выпускаемом АО «ПКК Миландр». Данный микроконтроллер применяется в различных платформах и на отладочных платах российских разработчиков. Наша команда выбрала плату MDR32 Miluino (рис. 1), так как она обеспечивает основные технические характеристики, необходимые для проведения эксперимента.

Для обеспечения быстрого старта работы с ОСРВ на микроконтроллерах принято решение использовать конфигуратор для встраиваемых систем FX-Designer и ОСРВ FXRTOS.

Один из таймеров с ШИМ-выходом выберем в качестве источника прерываний. В целях оценки задержки вызова обработчика прерывания будем в нём формировать сигнал на другой свободный вывод. Для измерения задержки используем осциллограф. Сразу отметим, что обращение к периферии микроконтроллера из прерывания не совсем корректно, так как это может вступить в конфликт с другими операциями обращения к тем же периферийным модулям в основной программе. Следует отметить, что такая ситуация может привести к непредсказуемому поведению устройства в целом. Но в данном случае мы это учитываем и предполагаем, что обращение из основной программы к одному и тому же периферийному модулю микроконтроллера исключено.

Настройка периферии микроконтроллера

В целях выполнения эксперимента проведём ряд настроек микроконтроллера и платы MDR32 Miluino в конфигураторе FX-Designer.

1. Для генерации выходного сигнала используем таймер TMR3, он же в нашем случае будет являться источником прерываний. В конфигураторе включаем таймер «MDR_TMR3», и в его настройках включаем для канала № 3 режим работы «ШИМ В» – ШИМ с прямым выходом на вывод микроконтроллера, в данном случае автоматически назначается вывод PB5 (рис. 2).
2. Частоту тактирования ядра микроконтроллера поднимаем до максимальной – 80 МГц. Для этого на вкладке «Тактирование» (рис. 3) указываем частоту внешнего кварцевого резонатора и переключаем мультиплексоры CPU_C1_SEL и CPU_C2_SEL так, чтобы частота с выхода внешнего генератора HSE прошла через PLL, в котором указываем множитель x5. После этого переключаем мультиплексор HCLK_SEL

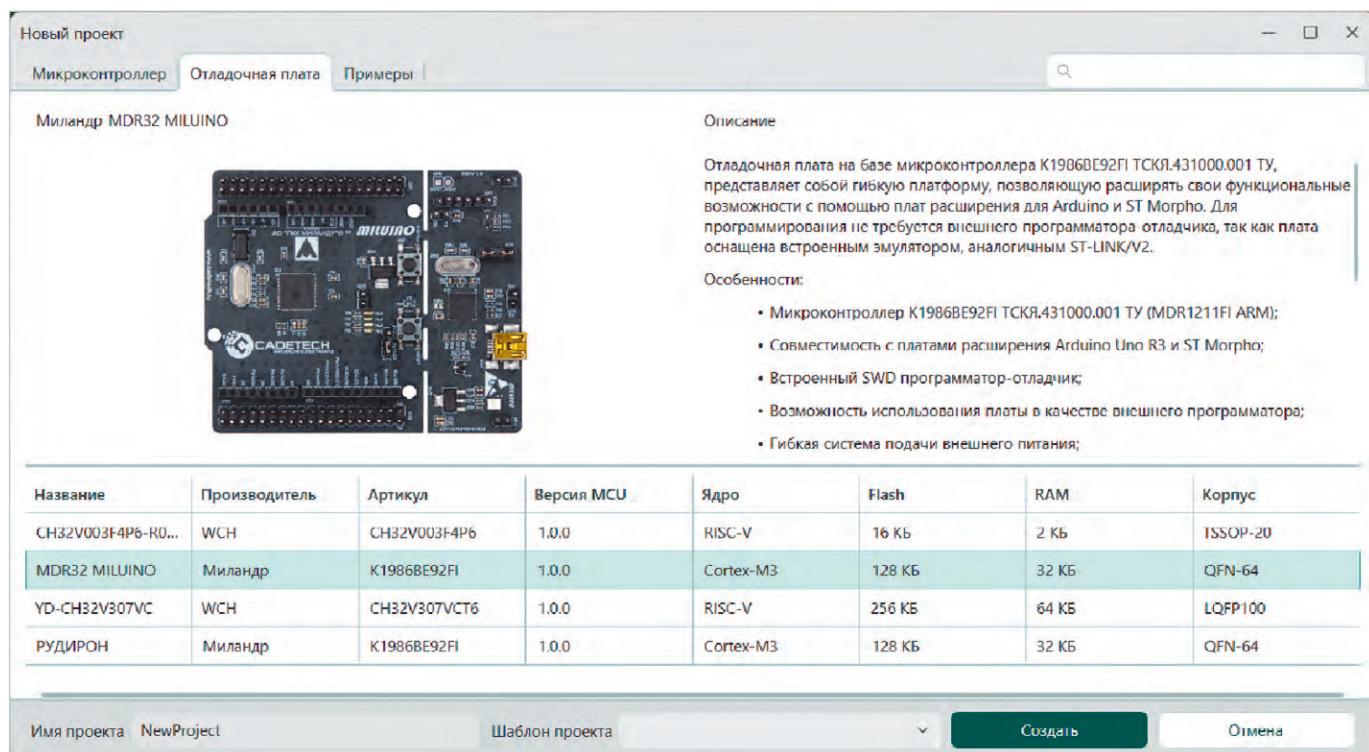


Рис. 1. Отладочная плата MDR32 Miluino

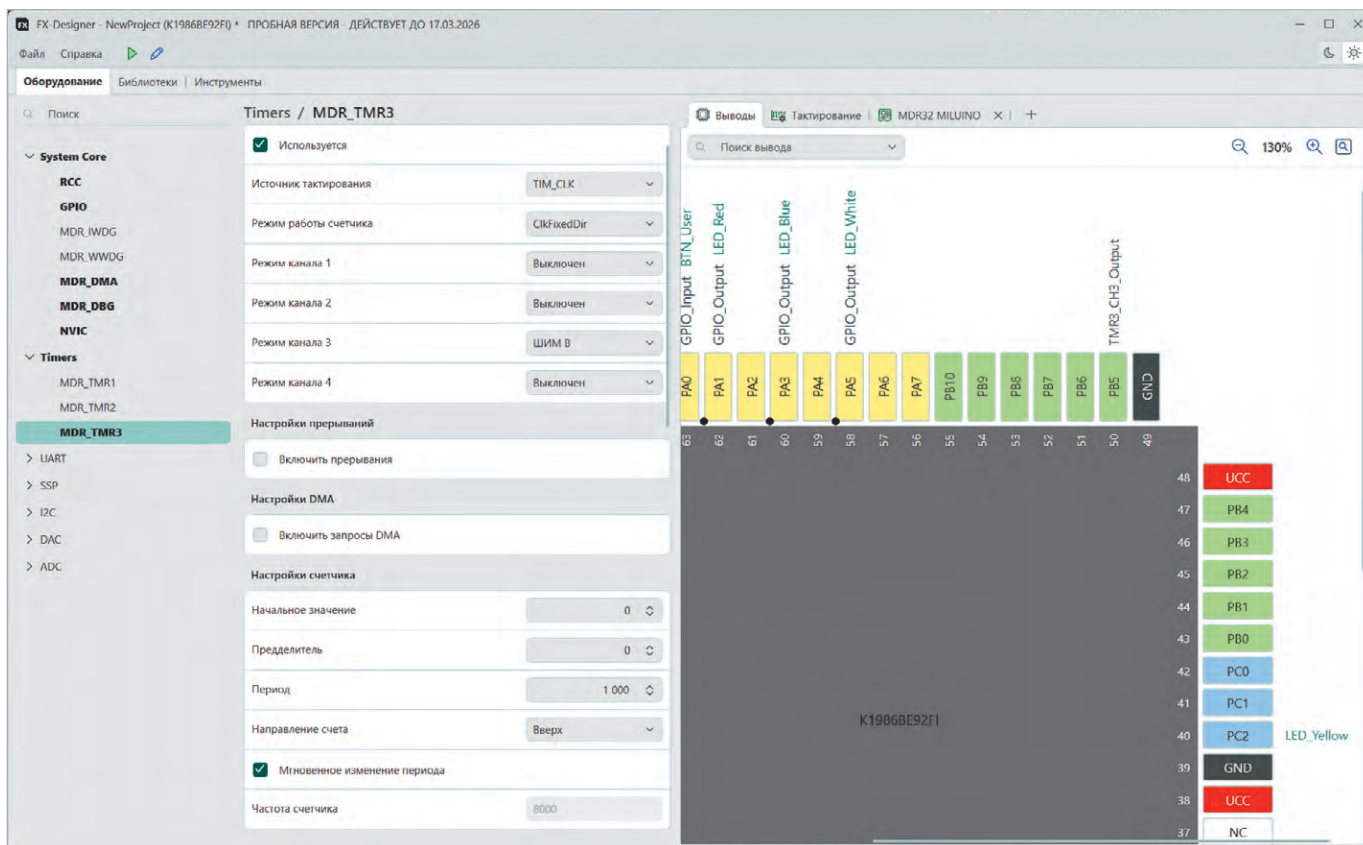


Рис. 2. Настройка таймера TMR3 в FX-Designer

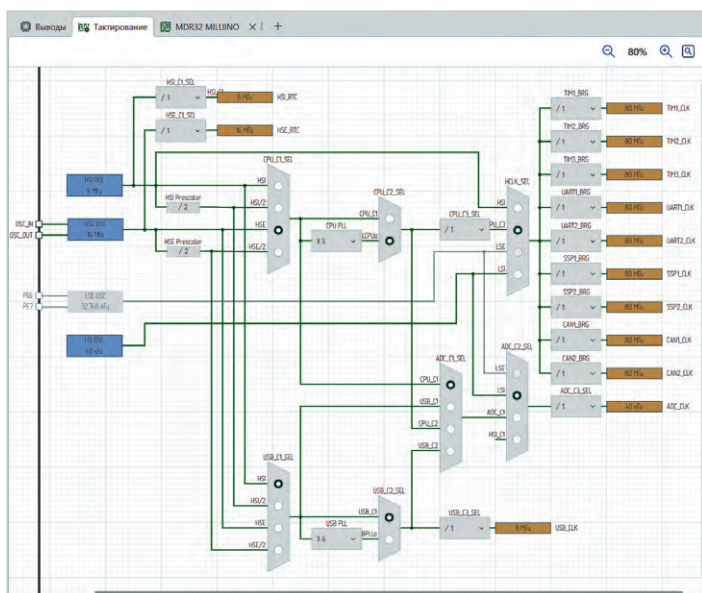


Рис. 3. Графическое представление схемы тактирования микроконтроллера

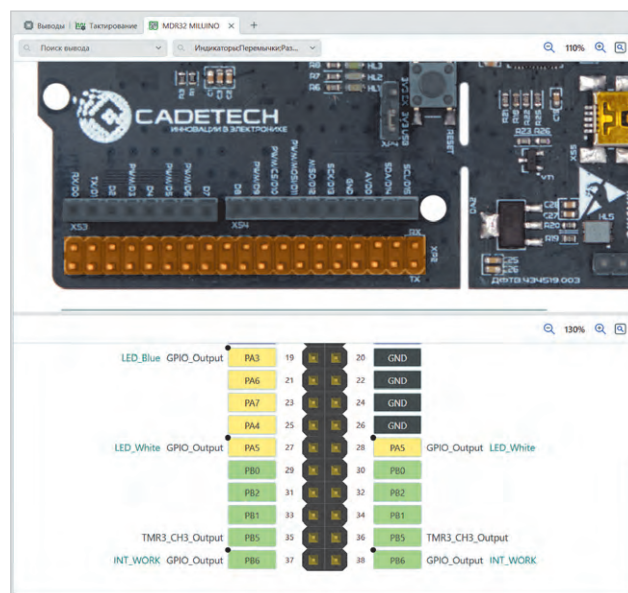


Рис. 4. Визуализация расположения разъёма на отладочной плате и назначение его выводов

```

void Timer3_IRQHandler(void)
{
    // USER CODE BEGIN Timer3_IRQHandler_Init
    PORT_WriteBit(INT_WORK_Port, INT_WORK_Pin, SET);
    // USER CODE END Timer3_IRQHandler_Init
    // USER CODE BEGIN Timer3_IRQHandler_Exit
    // Сбрасываем флаг прерывания
    MDR_TIMER3->STATUS = ~TIMER_STATUS_CCR_REF_CH3;
    PORT_WriteBit(INT_WORK_Port, INT_WORK_Pin, RESET);
    // USER CODE END Timer3_IRQHandler_Exit
}
    
```

Рис. 5. Исходный код обработчика прерывания таймера TIM3

на PLL, чтобы он использовался как источник тактирования для HCLK.
 3. Назначенные ранее выводы микроконтроллера отображаются на разъёме XP2 отладочной платы MDR32 Miluino (рис. 4): выход таймера (вывод PB5) и выход сигнала INT_WORK (вывод PB6).
 4. После генерации исходного кода проекта добавляем код в обработчик прерывания. В начале обработчика прерывания выставляем «1» на

вывод INT_WORK, после сбрасываем флаг прерывания, чтобы избежать повторного вызова, и выставляем «0» на вывод INT_WORK (рис. 5).
 После этого подключаем осциллограф к выводам микроконтроллера PB5 и PB6. На выводе PB5 наблюдаем периодический сигнал запроса на прерывание. На выводе INT_WORK (PB6) наблюдаем короткие импульсы, передний фронт которых означает начало

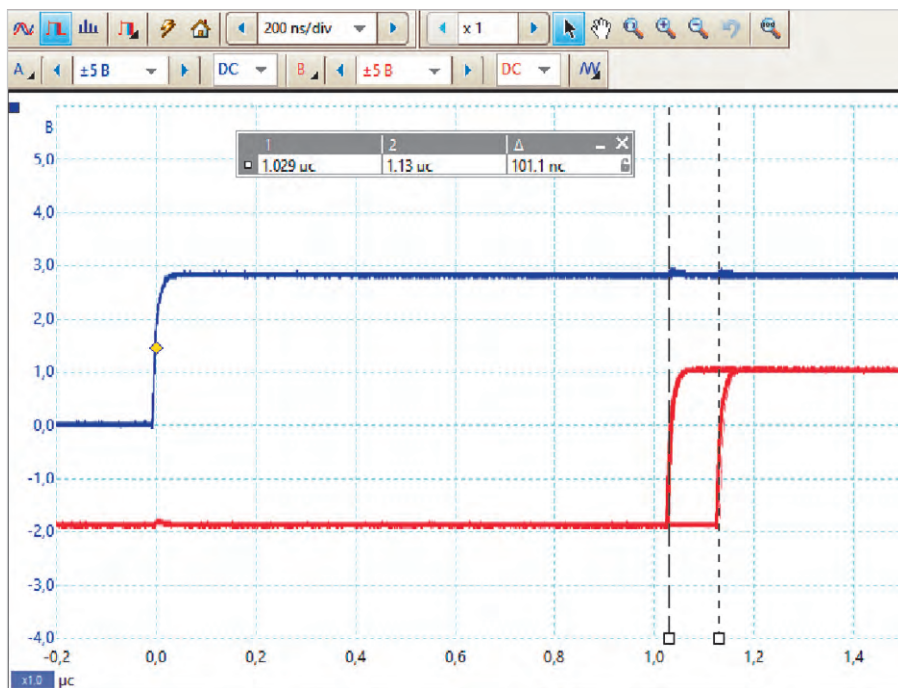


Рис. 6. Осциллограмма задержки обработки прерывания без ОСРВ

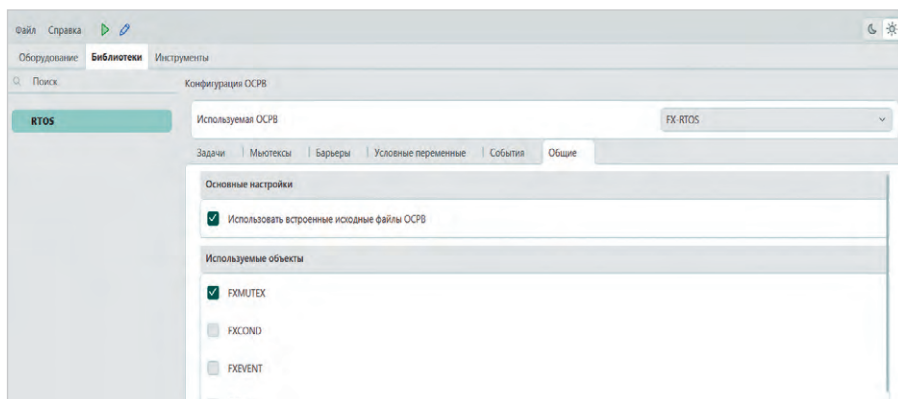


Рис. 7. Настройка ОСРВ FX-RTOS в интерфейсе конфигуратора FX-Designer

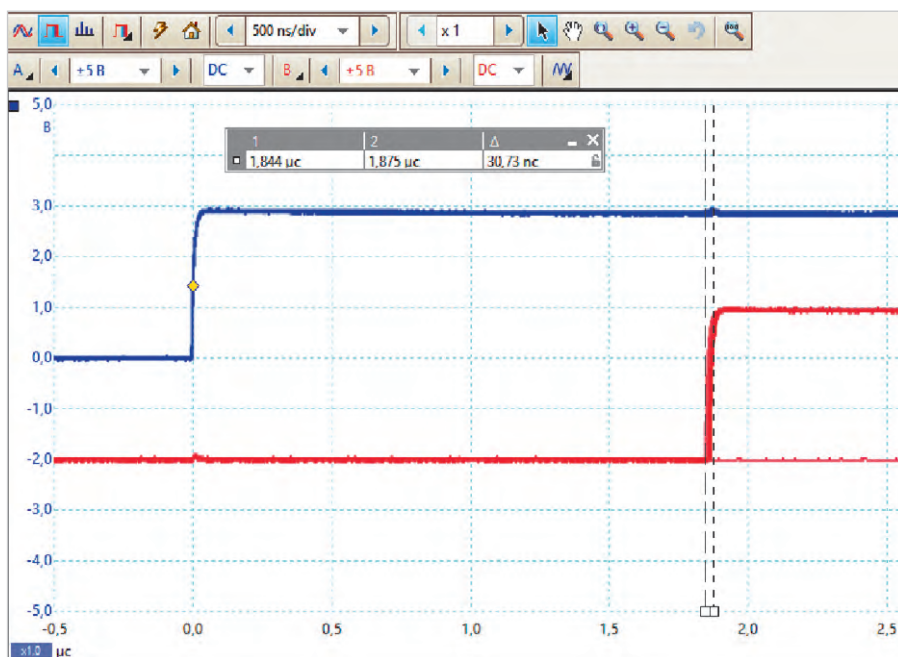


Рис. 8. Осциллограмма задержки обработки прерывания под управлением ОСРВ

выполнения пользовательского кода в обработчике прерывания. Далее измерим задержки между прерыванием и началом выполнения пользовательского кода в самом прерывании.

Результаты измерений

Вариант № 1 – проверка задержки прерывания без ОСРВ (рис. 6)

Осциллограмма в режиме накопления – захватывается большое количество сигналов для визуализации возможного джиттера. Синий график – источник прерывания, по нему включена синхронизация захвата сигнала. Красный график – сигнал INT_WORK.

На основании полученного графика определяем минимальную и максимальную задержки обработки прерывания: 1,029 мкс и 1,13 мкс соответственно.

Вариант № 2 – подключаем ОСРВ FX-RTOS для проверки задержки (рис. 7)

Проводим повторную генерацию исходного кода проекта и проверяем изменения в задержке обработки прерывания (рис. 8).

При работе прерываний под управлением ОСРВ добавилась небольшая задержка. Минимальная задержка составляет 1,844 мкс, а максимальная – 1,875 мкс. На основании вышеуказанного можно сделать следующий предварительный вывод: применение ОСРВ может добавить задержку обработки прерываний 0,8 мкс относительно задержки без ОСРВ.

Если в прерывании не используются функции ОСРВ, то его можно обрабатывать, как и в варианте № 1. Но в этом случае прерывание может происходить на стеке любых потоков, что необходимо учитывать при разработке встраиваемого программного обеспечения.

Заключение

В результате проведенного эксперимента получены максимальная и минимальная задержки реакции на прерывание. Важно понимать, что данные характеристики не являются исчерпывающими для корректной оценки параметров конечного изделия, хоть и позволяют сформировать представление о требованиях, которым оно может соответствовать. На практике необходимо учитывать и ряд других параметров, например, таких как максимальная частота прерываний, при которой не происходит пропусков событий, средняя и медианная задержки, а также их изменение при работе под нагрузкой.



НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

Текстильные отходы – в энергию: российские учёные разработали быстрый способ получения материалов для суперконденсаторов

Исследователи из Национального исследовательского технологического университета МИСИС совместно со специалистами НИИ перспективных материалов и технологий представили технологию переработки текстильных отходов в высокоэффективные углеродные материалы для накопителей энергии. Новый метод позволяет превращать хлопковый мусор в основу для электродов суперконденсатора всего за несколько минут – вместо примерно полутора часов, требуемых при традиционной термической обработке.

Ключевая особенность технологии заключается в использовании микроволнового излучения в специальном волноводе, работающем в режиме «бегущей волны». Такой подход обеспечивает равномерный и чрезвычайно быстрый нагрев материала по всему объёму. В отличие от классического обжига в печах, где тепло распространяется постепенно от поверхности к центру, микро-

волновая обработка позволяет практически мгновенно преобразовывать органическое сырьё в пористый углерод.

В качестве исходного материала используются обычные отходы текстильной промышленности – прежде всего, хлопковые ткани. Это делает процесс не только технологически эффективным, но и экологически выгодным, поскольку переработка текстиля позволяет сократить объёмы промышленного мусора и соответствует принципам экономики замкнутого цикла.

Полученный углерод обладает оптимальной пористой структурой для электрохимических устройств. В материале сочетаются поры разных размеров: крупные каналы облегчают транспорт ионов электролита, а мелкие увеличивают активную поверхность электрода. Такая архитектура значительно улучшает характеристики накопителей энергии, особенно при работе на высоких токах.

Испытания показали, что изготовленные из нового материала электроды демонстрируют высокую долговечность. После 20 тысяч циклов зарядки и разрядки они сохраняют более 95% своей первоначальной ёмко-



сти, что является важным показателем для практического применения.

Разработчики считают, что технология может стать основой для производства недорогих и долговечных накопителей энергии. Потенциальные области применения включают системы питания электротранспорта, гибридные энергетические установки, а также портативную электронику, где суперконденсаторы используются для быстрого накопления и отдачи энергии.

SOVTEST
ВАШ ПАРТНЕР ПО КАЧЕСТВУ



А г. Курск, ул. К. Маркса, зд. 135/6
Т +7 (4712) 54-54-17 W sovtest-ate.ru
E info@sovtest-ate.ru

ПОЛУАВТОМАТ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ЗАЧИСТКИ ПРОВОДА МГТФ, МС, МГШВ С ПОМОЩЬЮ ИНФРАКРАСНОГО СО₂ ЛАЗЕРА



Полуавтомат Milaser300S — идеальное решение для быстрой, точной и безопасной зачистки широкого спектра проводов

Типы обрабатываемых проводов: одножильный провод, двухжильный провод, витая пара, многожильный кабель, коаксиальный кабель, плоский/ленточный кабель/шлейфы.

Преимущества Milaser300S

- Высокое качество и отсутствие повреждений — лазерный луч отражается от проводника, покрытия или других металлических поверхностей.
- Легкое и чистое удаление жестких и трудно снимаемых изоляционных материалов (PTFE/Teflon, Tefzel, PVC Polyurethane Silicon Kapton® Polyimide Polyesterimide Polyester Fibreglass Polyethylene Nylon).
- Точность зачистки провода +/- 0,2 мм
- Стабильная повторяемость процесса зачистки

провода, не зависящая от человеческого фактора.

- Минимальное сечение провода 0,001 мм². Внешний диаметр круглого провода < 6 мм (0,24"), ширина плоского кабеля < 100 мм.
- Высокая производительность за счет групповой обработки заготовок.
- Лазер эффективно удаляет высокотемпературные, твердые или мягкие изоляционные материалы.



Реклама

Практика разработки современных вычислителей: COTS-платформы как уход от кастомных решений

Олег Холодный

В мире встраиваемой компьютерной техники для ответственных задач, где требования к надёжности, стойкости к ВВФ, сертификации, производительности и срокам жизни продукта крайне высоки, практикуются разные принципы разработки. Имеются подходы создания с нуля кастомизированного продукта, а также использования готовых COTS аппаратных платформ, что называется, с полки. Разработка специализированных аппаратных или программно-аппаратных платформ под конкретную задачу/рынок в определённых случаях является нормой, но влечёт за собой серьёзные затраты, длительные циклы создания и существенные риски. В определённый момент развития мирового рынка встраиваемых систем концепция COTS (Commercial Off-The-Shelf – коммерческие готовые аппаратные решения) кардинально изменила подход к созданию сложной высоконадёжной электроники.

История концепции COTS: от военных стандартов к массовому рынку

Идея использования коммерческих компонентов в серьёзных ответственных проектах родилась не на пустом месте. Ее истоки лежат в оборонной и аэрокосмической отраслях США в конце 1980-х – начале 1990-х годов. Разработка специализированной электроники по стандарту MIL-STD была невероятно дорогой и медленной. В то же время гражданский рынок персональных компьютеров и серверов демонстрировал бурный рост, высокую производительность и относительно низкую стоимость, прежде всего за счёт массового спроса и высокой серийности.

Перед инженерами и управленческим звеном встал резонный вопрос: почему бы не использовать эти отработанные, мощные и доступные технологии в критических системах? Так стал популяризоваться подход COTS. Изначально это вызывало скепсис – коммерческие компоненты не были рассчитаны на экстремальные температуры, вибрацию, многолетний срок службы и длительную доступность, не проходили соответствующих отраслевых испытаний. Однако выгода от их использования была столь очевидна, что

индустрия ответила созданием нового класса продуктов – COTS – коммерчески готовых компонентов, доработанных и испытанных для жёстких условий эксплуатации.

Со временем концепция COTS эволюционировала. Сегодня это не просто отдельные компоненты, а целые экосистемы готовых вычислителей и модулей, одноплатных компьютеров (SBC) и программно-аппаратных платформ, которые можно быстро интегрировать в конечное целевое изделие или систему с минимальными затратами.

Снижение затрат, циклов разработки и вывода на рынок

Важный тезис концепции готовых продуктов COTS – концентрация на ключевой компетенции вместо распыления ресурсов.

Разработка собственной аппаратной платформы в защищённом исполнении – это масштабный проект. Он требует серьёзных ресурсов: команды высококвалифицированных инженеров-схемотехников, электронщиков, специалистов по РСВ-дизайну/ЕМС, инженеров-конструкторов, программного обеспечения для проектирования и моделирования, оборудования для рабочих



Подробнее с характеристиками продуктов, рассмотренных в статье, можно ознакомиться, перейдя по ссылке в QR-коде

мест. Штат, площади, оборудование и ПО являются существенными затратами, но далеко не единственными. Как только макетирование завершено и РКД разработано, следуют не менее ресурсоёмкие этапы прототипирования, создания опытных экземпляров, испытаний/сертификации, постановки продукта на серийное производство, поддержания жизненного цикла. Многолетний опыт показывает, что создание подобной инфраструктуры, организация её профессионального функционирования наиболее целесообразны в рамках профильной компании. Это обеспечивает снижение циклов разработки и затрат.

Когда крупный отраслевой системный интегратор или OEM-производитель специализированного вычислительного комплекса строит собственные инженерные подходы вокруг концепции доступных COTS-решений, ему не нужно инвестировать миллионы и тратить годы на проектирование электронных модулей, встраиваемых вычислителей для конкретной целевой системы, проводить их сертификацию/валидацию. Готовые аппаратные решения позволяют сосредоточиться на основной задаче – разработке программного обеспечения, архитектуре построения и уникальной функциональности конечной системы.

На отечественном рынке это особенно актуально в свете требований к импортозамещению, где сроки выполнения ОКР (опытно-конструкторских работ), как следствие вывода продуктов на рынок, становятся критическим фактором. Использование COTS-платформ позволяет значительно сократить этапы основных



Рис. 1. Компактный универсальный вычислитель BLOK-S Rugged (ЛКЖТ.466259.030ТУ)

конструкторских работ, перенося фокус на собственные целевые приложения и корневые компетенции.

Доступ к передовым технологиям

Производители COTS-оборудования следят за рыночными тенденциями и постоянно обновляют свои линейки, опираясь на новинки комплектующих, современные технологии и стандарты. Для пользователей это возможность создавать конкурентоспособные системные продукты на базе доступных компонентов, минимизируя зависимость от стремительно устаревающих решений, повышать ТТХ и уровень собственных целевых решений.

R&D-цикл по разработке собственной аппаратной платформы без испытаний и сертификации – это процесс, в среднем занимающий от 12 до 24 месяцев. За это время технологический ландшафт меняется кардинально: появляются новые поколения процессоров, могут обновляться стандарты и даже актуальные интерфейсы. Что это значит на практике: вы начинаете проект на базе актуального процессора, а через 18 месяцев, когда ваша плата и механика готовы к серийному производству, этот процессор уже морально устарел, а на рынке доминирует следующее поколение, производительность и энергоэффективность которого на 30–50% превышает выбранное решение.

В качестве примера продуктов, демонстрирующих, с какой скоро-

стью профильный OEM-производитель COTS-платформ использует новейшую компонентную базу, можно рассмотреть российские промышленные компьютеры (универсальные вычислители) BLOK Industrial|Rugged, BLOK-S Rugged (рис. 1), BLOK-GPU фирмы «РТСофт-ВС». Изделия построены с использованием открытого международного стандарта COM Express (PICMG COM.0). В 2025 г. завершены работы по обеспечению совместимости с новейшими процессорными модулями COM Express с ЦПУ 13th Gen Intel® Core™ Raptor Lake, на завершающем этапе ведутся работы по валидации платформ на базе 14th Gen Intel® Core™ Ultra. На сегодняшний день процессоры 13-го и 14-го поколений – одни из самых передовых многоядерных мобильных процессоров на рынке, с прекрасной энергоэффективностью и производительностью.

Примечательно, что инженерный путь платформы серии BLOK (рис. 2) начали в 2014 г. ещё на базе ЦПУ 4-го поколения Intel® Core™ Haswell. В течение более чем 10 лет серийного выпуска обновление аппаратной базы ведётся регулярно. Миграция на новые перспективные ЦПУ происходит фактически параллельно с выходом в серийную стадию кристаллов в каналах мировых производителей.

Работа в рамках современной компонентной базы является важным аспектом COTS-платформ, но не единственным. Тестирование новых модулей COM Express в составе изделий

серии BLOK не проходит в отрыве от других составляющих: обеспечения совместимости с отечественными ОС (Astra Linux 1,8, РЕД ОС 8, КПДА «Нейтрино», ALT Linux), проведения лабораторных испытаний на стойкость к ВВФ, сертификации по отечественной нормативной базе (промышленность, ГОСТ РВ, «Росатом», ж/д), поддержания длительного жизненного цикла от 7 лет и более. Для защищённых изделий класса COTS важно всё: как инновационная составляющая, так и процедуры быстрого безопасного внедрения целевых систем на ответственные объекты для долгосрочной надёжной эксплуатации.

Проверенный временем факт: OEM-производитель COTS-платформ, корневой компетенцией которого является создание готовых аппаратных платформ, концентрирует на этой задаче лучшие кадры и ресурсы, использует продвинутый мировой и локальный опыт. Он инвестирует в НИОКР и своевременную модернизацию, чтобы затем «упаковать» результат этих сложных разработок в готовый высокотехнологичный продукт, доступный для рынка – для широкого потребителя.

Повышение надёжности

COTS-платформы производятся массово в рамках инфраструктуры профильного OEM-производителя. При серийном выпуске на таких предприятиях изделия проходят обкатку в большом объёме проектов сотен и тысяч устройств: отрабатываются рекламации, совершенствуется РКД, технологические этапы производства. Таким образом сосредотачивается опыт, концентрируется экспертиза и оптимизируются процессы: специализированный производитель изделий класса COTS занимается одним делом – созданием надёжных вычислительных платформ, поддержанием длительного жизненного цикла. Процесс проектирования, производства и тестирования отточен годами, используются передовые проверенные методики валидации, внедрение которых в непрофильной компании просто напросто нерентабельно.

Ведущие крупные производители встраиваемой компьютерной техники работают напрямую с оптимальными цепочками поставки компонентов (Intel, AMD, NXP



Рис. 2. Промышленный компьютер серии BLOK Industrial/Rugged (ЛКЖТ.466259.012ТУ / ЛКЖТ.466259.023ТУ) для монтажа в стойку 19"

и др.) и имеют отлаженный строгий входной контроль, прозрачные дорожные карты выпуска и систему управления жизненным циклом (End-of-Life – EOL) своей продукции. В каналах таких OEM-производителей ведётся постоянная проверка новых комплектующих и ЭКБ, происходит информирование клиентов об аппаратных изменениях с целью упреждающей адаптации ПО и адаптации работы изделия в целевой системе.

Весь перечень мероприятий, проводимых в отношении серийной COTS-продукции, положительно сказывается на потребительских свойствах, повышает удобство работы и надёжность. Как показывает практика, такая техника имеет более высокие показатели MTBF, сроки службы и гарантии.

COTS в российских реалиях: межотраслевое применение

Как же обстоят дела с COTS в России? В классическом обиходе терминология COTS в кругах отечественных системных интеграторов и OEM-производителей практически не используется или используется крайне редко, что в целом не говорит об отсутствии подобных продуктов на локальном рынке. Данный термин является концепцией, он не имеет жёсткой специализации по отношению к какому-то конкретному типу продуктов или стандартов. В разных описательных материалах российских OEM-производителей

можно встретить понятия-синонимы, такие как «промышленные компьютеры/вычислители, построенные на базе открытых стандартов» или «вычислители или промышленные компьютеры межотраслевого/межвидового применения».

Среди российских профессионалов OEM-производителей встраиваемой компьютерной техники есть немало компаний, которые выпускают изделия класса COTS, в том числе с использованием COTS-компонентов уровня модулей: COM Express, VPX, cPCI и др. Отечественная экосистема готовых изделий с полки довольно широка.

Параллельно с использованием готовых продуктов существует противоположный подход, который не менее популярен: создание полностью кастомных узкоспециализированных вычислительных платформ на базе проприетарных технических решений (интерфейсы, формфакторы, протоколы и т.д.). Как правило, такой подход реализуется в рамках крупных концернов или привычной заводской кооперации и имеет свои плюсы и минусы. Из очевидных минусов – дополнительная финансовая нагрузка на отрасль, которая связана с процедурами НИОКР/ОКР, постановкой на производство, сертификацией аппаратных решений, чей функционал фактически уже покрыт готовыми коммерчески доступными продуктами. Сложно сказать, что продукция такого типа живёт по рыночным законам. Владение кастомными продуктами

сопряжено со сложностью и дорогостоящей управления жизненным циклом, низкой скоростью внедрения/модернизации, использованием не самой современной аппаратной базы, отсутствием кадров/ресурсов для рыночной оптимизации и коммерциализации созданных решений.

В завершение

Концепция COTS в виде готовых межотраслевых аппаратных платформ доказала свою самостоятельность и состоятельность как в мире, так и в России, став основой для современных высокотехнологичных проектов. В российских реалиях, с фокусом на импортозамещение и ускорение цикла разработки, этот подход приобретает особое стратегическое значение. Он позволяет перевести создание сложной электроники из дорогостоящего и рискованного ОКР в область стандартизированного, эффективного и предсказуемого процесса применения готовой техники. Использование готовых решений, таких как отечественные платформы серии BLOK, – это взвешенная стратегическая политика, позволяющая выполнять задачи госзаказа и коммерческие проекты в сжатые сроки с оптимальными затратами. Такая техника весьма конкурентна по отношению к зарубежным аналогам и обеспечивает высокий уровень технологического суверенитета.

Автор – директор по продукту
ГК «РТСофт»
www.rtsoft-es.ru
тел.: +7(495)967-1505
e-mail: sales@rtsoft-es.ru



Промышленный компьютер серии BLOK Industrial/Rugged в стойку 19"



Компактный встраиваемый вычислитель BLOK-S Rugged



Промышленный монитор GT777

Бактерии могут путешествовать между планетами: эксперимент показал выживаемость микробов после «марсианского» удара астероида

Крошечные формы жизни, скрытые внутри обломков, выброшенных при ударе астероида, теоретически способны перелетать между планетами – и даже выживать в этом процессе. К такому выводу пришли исследователи из Университета Джона Хопкинса, результаты работы которых опубликованы в журнале PNAS Nexus.

Эксперимент показал, что некоторые бактерии способны выдерживать экстремальные давления, сопоставимые с теми, которые возникают при выбросе пород с поверхности Марса после удара астероида. Более того, такие микроорганизмы потенциально способны пережить дальнейшее путешествие через межпланетное пространство.

По словам старшего автора исследования К.Т. Рамеша, инженера, изучающего поведение материалов в экстремальных условиях, результаты работы заставляют по-новому взглянуть на вопрос происхождения жизни.

«Жизнь может выжить, если её выбросить с одной планеты и перенести на другую. Это действительно меняет представление о том, как могла возникнуть жизнь и как она появилась на Земле», – отметил он.

Поверхности большинства тел Солнечной системы покрыты ударными кратерами. Марс – одна из наиболее кратерированных планет, и давно известно, что мощные столкновения могут выбрасывать фрагменты породы в космос. На Земле уже обнаружено множество метеоритов марсианского происхождения.

Однако до сих пор оставался открытым вопрос: могут ли вместе с такими обломками покидать планету и живые организмы. Согласно гипотезе литопанспермии, микроорганизмы, скрытые внутри выброшенных пород, способны путешествовать через космос и осесть на других планетах.

Предыдущие лабораторные эксперименты давали неоднозначные результаты и, как правило, проводились с организмами, широко распространёнными на Земле, но не обязательно приспособленными к экстремальным условиям других планет.

Чтобы проверить, способен ли микроорганизм пережить стресс, связанный с выбросом из планетной коры, исследовательская группа разработала специальную экспериментальную установку, имитирующую давление при ударе астероида.

В качестве модели учёные выбрали бактерию *Deinococcus radiodurans* – один из самых устойчивых известных микроорганизмов. Эта бактерия обитает в экстремальных средах, включая высокогорные пустыни Чили, и известна своей способностью переносить сильное излучение, экстремальную сухость и низкие температуры. Её клеточная оболочка отличается высокой прочностью, а механизмы восстановления ДНК позволяют клетке переживать серьёзные повреждения.

«Мы пока не знаем, существует ли жизнь на Марсе. Но если она есть, вполне возможно, что она обладает сходными механизмами выживания», – пояснил Рамеш.

В эксперименте бактерии помещали между металлическими пластинами и подвергали ударному воздействию с помощью газовой пушки. Снаряд разогнался до скорости около 300 миль в час и создавал давление от 1 до 3 гигапаскалей – сопоставимое с условиями, возникающими при мощных космических ударах.

Для сравнения: давление на дне Марианской впадины, самой глубокой точки Мирового океана, составляет около 0,1 гигапаскаля. Таким образом, даже минимальное давление в эксперименте более чем в десять раз превышало этот показатель.

После каждого удара исследователи анализировали, выжили ли клетки, и изучали генетический материал уцелевших бактерий, чтобы понять, какие механизмы помогли им выдержать столь экстремальное воздействие.

Результаты оказались неожиданными. Бактерии демонстрировали высокую устойчивость: при давлении 1,4 гигапаскаля выживало большинство клеток, а при 2,4 гигапаскаля жизнеспособность сохраняли около 60% образцов.

При более мягких воздействиях клетки практически не демонстрировали признаков повреждений. Однако при максимальных нагрузках исследователи обнаружили разрывы клеточных мембран и повреждения внутренних структур.

«Мы ожидали, что бактерии погибнут уже при первом уровне давления, – рассказала ведущий автор работы, аспирантка Лили Чжао. – Но оказалось наоборот: мы постоянно повышали нагрузку, пытаясь их уничтожить, и это оказалось гораздо сложнее, чем предполагалось».

В какой-то момент эксперимент пришлось остановить из-за повреждения оборудования: стальная конструкция установки начала разрушаться раньше, чем бактерии потеряли жизнеспособность.



По оценкам исследователей, при столкновениях астероидов с Марсом выброшенные фрагменты могут испытывать давление до примерно 5 гигапаскалей. В лабораторных условиях бактерия смогла пережить почти 3 гигапаскаля – значительно больше, чем предполагалось в предыдущих моделях.

«Мы показали, что жизнь может пережить крупные космические удары и выброс пород в космос, – отметила Чжао. – Это означает, что микроорганизмы потенциально способны перемещаться между планетами. Возможно, мы сами в каком-то смысле марсиане».

Такая возможность имеет важные последствия для политики планетарной защиты и планирования космических миссий. При отправке аппаратов на потенциально обитаемые миры – например на Марс – действуют строгие протоколы стерилизации, призванные предотвратить загрязнение других планет земными микроорганизмами. Аналогичные меры применяются и при возвращении образцов на Землю.

Однако новое исследование показывает, что природный перенос микроорганизмов между планетами может происходить гораздо легче, чем считалось ранее.

Особое внимание учёные обращают на спутник Марса Фобос. Он обращается настолько близко к планете, что выброшенные при ударах обломки могут достигать его поверхности при значительно меньших давлениях, чем те, которые необходимы для попадания на Землю.

«Возможно, нам следует гораздо осторожнее подходить к вопросу о том, какие планеты и спутники мы посещаем», – подчеркнул Рамеш.

В дальнейшем исследовательская группа планирует изучить, могут ли повторные ударные события способствовать эволюции ещё более устойчивых микроорганизмов. Также учёные намерены проверить, способны ли выдерживать подобные экстремальные условия другие формы жизни, включая грибы.



Особенности задания значений регистров при программировании для RISC-V

Евгений Ерёмин

Всё чаще появляется информация о перспективах использования в разрабатываемых отечественных микропроцессорах архитектуры под названием RISC-V. К сожалению, её подробности, особенно на русском языке, описаны недостаточно. Между тем разработка программного обеспечения для RISC-V имеет определённую специфику. В частности, в данной статье подробно рассматривается проблема задания непосредственных операндов (констант) в инструкциях RISC-V. Показано, что эти широко распространённые действия в RISC-V имеют некоторые не слишком удобные для программиста особенности. На конкретных примерах описывается оптимальный выбор необходимых инструкций. Материалы статьи будут полезны при освоении технологии RISC-V, особенно тем будущим специалистам, которые не имеют предварительного опыта работы с программами на уровне языка микропроцессоров.

«... Очень трудно навскидку сказать, что измеряется такими величинами. Фактически 32-разрядное целое в большинстве случаев используется меньше, чем наполовину, – старшие биты оказываются незадействованными».

К. Касперски [1]

«Как правило, операнд является целым числом в дополнительном коде, и левый разряд поля операнда в команде является знаковым. При загрузке операнда в регистр знак расширяется влево для заполнения свободных разрядов регистра по обычному правилу».

В. Столлинс [2]



Введение

В последнее время большой интерес вызывает стандарт на систему команд процессоров под названием RISC-V [3, 4]. Всемирно известный Массачусетский технологический институт внёс RISC-V в список десяти прорывных технологий 2023 года

[5]. Принципиальная особенность состоит в том, что любой желающий может пользоваться ею **бесплатно** вплоть до коммерческих реализаций непосредственно в кристалле. Кроме того, RISC-V – это **открытый** стандарт, т.е. предусмотрены воз-

можности его расширения под конкретные задачи.

Разработку RISC-V начала в 2010 году команда учёных из университета Беркли под руководством профессоров Крсте Асановича и Дэвида Паттерсона. Последний широко известен не только как разработчик RISC-архитектуры SPARC, но и как автор классических книг по устройству компьютеров. Первоначально спроектированный для исследований компьютерной архитектуры и применения в образовании, RISC-V постепенно стал стандартом свободной и открытой архитектуры для промышленного применения. В 2015 году возник некоммерческий консорциум RISC-V Foundation, целью которого является создание открытого сообщества разработчиков программного и аппаратного обеспечения, основанного на RISC-V. В консорциум входят множество компаний, в том числе AMD, Google, Hewlett Packard Enterprise, IBM, Microsoft, NVIDIA, Oracle и другие. В 2022 году к ним присоединилась Intel. Большую роль в развитии RISC-V играют китайские производители и организации, ведущей среди которых является Китайская академия наук.

В 2022 году в России образован самостоятельный Альянс RISC-V, призванный развивать и популяризировать архитектуру RISC-V в нашей стране. Как написано на официальном сайте Альянса (<https://riscv-alliance.ru>), «основная цель российского Альянса – создание открытого сообщества разработчиков программного и аппаратного обеспечения, контролируемого участниками сообщества для дальнейшего развития архитектуры RISC-V в России».

В нашей стране налажено производство нескольких типов микроконтроллеров с архитектурой RISC-V. Наиболее известный из них под названием «Амур» (K1948BK018) предназначен для широкого круга применений в устройствах автоматики. Другой микроконтроллер K1986BK025 (и его модификации) позициониру-

ван более узко как устройство для приборов и систем учёта энергоресурсов. Несмотря на относительную скромность возможностей, эти чипы могут рассматриваться как первый успешный шаг на пути создания полноценных отечественных микропроцессоров. В то же время ограниченность ресурсов выпускаемых микросхем делает полезными понимание основных идей их программирования на низком уровне.

По нашему мнению, особую актуальность рассмотрению вопросов, связанных с RISC-V, придаёт недостаточное количество материалов по данной архитектуре, особенно на русском языке. Оригинальное английское изложение стандарта хотя и достаточно подробно для технических специалистов, но читается тяжело; часто многие очевидные авторам-разработчикам детали пропущены. Например, довольно трудно самостоятельно догадаться, зачем таким хитрым способом переставляются биты в смещении у команд переходов, а ведь там есть определённый смысл [6].

В качестве источников, помогающих разобраться в стандарте, прежде всего упомянем авторский Атлас [7] и диссертацию одного из разработчиков стандарта Э. Уотермана [8]. В широко известных книгах [9] и [10], переписанных недавно под RISC-V (последняя переведена на русский язык), про процессор рассказывается «попутно» – хорошо, понятно, но только те детали, которые связаны с изложением основной темы книги. Из удачных вводных материалов на русском языке хотелось бы также порекомендовать читателям обзор [11] и описание в Сети [12].

В данной статье будет детально рассмотрена простая на первый взгляд проблема программного занесения в регистр микропроцессора требуемого значения. Но, как оказывается при более подробном рассмотрении, при задании некоторых величин могут возникать трудности. Они специфичны для RISC-V, так что познания по другим процессорам не всегда помогают, о чём свидетельствуют встречающиеся на форумах вопросы.

Что такое RISC-V?

Рассмотрение начнем с названия. Аббревиатура RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) – компьютер с сокращён-

ной системой команд) введена давно и описывает компьютер, у которого набор команд содержит только самые необходимые, зато очень быстро выполняемые операции (особенности сокращённого набора будут обсуждаться далее). Технология RISC зарекомендовала себя настолько хорошо, что даже создатели более ранней альтернативной ветви процессоров CISC (*Complex Instruction Set Computer*) – компьютер с полной или, как иногда переводят, «сложной» системой команд), таких как Intel, сейчас используют внутри тщательно оптимизированное RISC-ядро.

Что касается последнего символа V в названии RISC-V, то это римская цифра пять, так что по-русски, видимо, правильно читать имя как «RISC пять» (или, возможно, «RISC пятый»). «Пятёрка» означает [3, 4] порядковый номер набора RISC-инструкций, разработанного в университете Беркли в США (предыдущие четыре: RISC-I, RISC-II, SOAR и SPUR). С другой стороны, авторы стандарта упоминают, что одновременно символ V ссылается на слова «Variations» и «Vectors», намекая на одну из целей разработки: исследование разнообразных компьютерных архитектур.

Как сокращают систему команд

«Областью, в которой “встречаются” программист и конструктор компьютеров, является набор машинных команд» [2]. В литературе часто используется английский эквивалент термина: ISA – *Instruction Set Architecture*.

С одной стороны, инженерам хочется, чтобы набор инструкций был как можно проще: тогда его легче реализовать и оптимизировать. Напротив, программисты желают видеть как можно больше всевозможных аппаратно реализованных инструкций, причём чем каждая из них будет более вариативной и мощной, тем удобнее: можно быстрее написать крупную программную систему и сделать её компактнее. В этом и заключается корень проблемы. По сути, речь идёт о **границе раздела «полномочий» аппаратной и программной частей**.

Первоначально программисты писали программы на языках, близких к машинному. Поэтому было удобно, когда система команд процес-

сора хорошо развита и разнообразна. По сравнению с «ручными» вычислениями машины получали результат очень быстро, а значит, требования к оптимизации были тогда не особенно высокими. Но со временем ситуация существенно менялась. Росли возможности языков программирования высокого уровня, писать программы на них стало значительно легче и быстрее. Как следствие, всё большее количество программистов отдалялось от машинного языка, так что требования к удобству низкоуровневой системы команд компьютера отодвигались на задний план. Зато требования к производительности компьютера, наоборот, выросли, в том числе и потому, что по мере увеличения количества промежуточных программных слоёв происходит потеря эффективности результирующего кода.

Казалось бы, чем мощнее инструкции в системе команд процессора, тем легче получить эффективный код. Но, как показывает кропотливый статистический анализ кода транслированных программ, его основная часть состоит главным образом из простых команд [2]. Секрет, видимо, в том, что стремление к универсальности плохо сочетается со спецификой сложных и уникальных инструкций. Следовательно, и с этой точки зрения сильно усложнять систему команд тоже не требуется, напротив, вполне можно обойтись усечённым набором самых необходимых инструкций. Большой исторический опыт конструирования вычислительной техники де-факто сформировал и «отточил» компактный универсальный набор элементарных инструкций, на базе которого может быть реализована любая программа.

Таким образом, мы видим, что эволюция компьютеров естественным путём приводит к изменениям в построении набора машинных инструкций. Ради получения более высокой производительности от полной системы команд CISC происходит переход к упрощённой RISC. В частности, на основе анализа опубликованных данных в [13] сделан вывод о том, что при равной тактовой частоте производительность RISC по сравнению с CISC приблизительно удваивается.

Кроме того, есть ещё одно мощное положительное следствие из рассматриваемого RISC-подхода – упрощение электронной схемы процессора.

В типовой СБИС CISC-процессора примерно половина площади кристалла занята памятью микропрограмм для инструкций, а в микросхеме процессора RISC-I узел управления занимает только 6% площади микросхемы [2].

Как же следует строить набор инструкций RISC-процессоров, чтобы оставались только самые простые и быстрые инструкции? Здесь можно отметить следующие базовые идеи.

Известно, что наиболее медленные операции – это обмен данными с памятью, поскольку он требует согласования работы процессора с внешним для него ОЗУ. Отсюда во всех RISC-процессорах основная часть команд работает только с небольшой собственной внутренней памятью – *регистрами* (часто используется термин *регистровый файл*). Желательно, чтобы регистры были в достаточном количестве.

Для общения с ОЗУ тщательно разрабатывается несколько специализированных инструкций. В литературе их принято называть терминами *LOAD* и *STORE* – загрузить в регистр и сохранить из него. Попутно заметим, что рассматриваемые операции имеют довольно ограниченные возможности в адресации данных по сравнению с CISC-машинами, опять же ради повышения производительности.

Ещё одно важное свойство, помогающее ускорить выполнение операций в RISC, заключается в том, что все инструкции имеют стандартизированную кодировку: размер инструкций и их структура (*формат*), за редким исключением, одинаковы, что упрощает и ускоряет расшифровку.

Предположим, нам удалось разработать для RISC-процессора компактный набор инструкций. А как быть с теми командами, которые были «сокращены» при конструировании? Очень просто: их надо составлять из нескольких имеющихся. В частности, стержневая тема данной статьи как раз и состоит в изучении оптимальных комбинаций инструкций для одного из наиболее распространённых программных фрагментов.

Наконец, обсуждая вопрос о построении системы команд, нельзя не отметить, что в RISC-V заложена оригинальная стратегия: имеется небольшой обязательный набор инструкций, который можно расширять дополнительными стандартными модулями

или даже разрабатывать свои. Например, в базовом наборе нет операций умножения и деления, но при необходимости можно добавить к нему расширение *M*, где они все сгруппированы. Аналогичным образом, если потребуется, в ISA включаются стандартные модули обработки вещественных чисел *F* (обычная точность) и *D* (двойная).

Использование констант в инструкциях

В программах часто используются некоторые неизменяющиеся значения (константы). Поэтому в инструкциях процессора полезно предусмотреть механизм для задания константы непосредственно в коде самой инструкции. Такой метод, когда обрабатываемое значение находится внутри команды и не требует дополнительного обращения к памяти, принято называть *непосредственной адресацией* данных. Саму константу обычно называют *непосредственным операндом* (англ. – *Immediate*). Достоинства очевидны: после считывания команды константа немедленно доступна для использования. Недостаток в непосредственном методе адресации тоже имеется: величина константы ограничена, поскольку она является одной из составных частей полной инструкции процессора. Как правило, в современных компьютерах длина поля под константу значительно меньше длины всего слова.

Хотя известны способы сделать размер константы произвольным, они не подходят для RISC-процессоров. Так, в 64-битных процессорах семейства Intel константа может иметь размер 1, 2, 4 или 8 байт [14]. Разумеется, длина команды при этом будет зависеть от размера константы, что противоречит принципу единства размера инструкций и их структуры, принятому в RISC-технологии. Другой способ справиться с ограничением и получить «полноразмерную» константу применялся в некогда распространённом семействе машин PDP. Там константа не входила в явном виде внутрь кода инструкции: собственно инструкция помещалась в первое слово, а константа – в следующее [15]. Такой способ для технологии RISC тоже не подходит, поскольку он нарушает однозначность чтения инструкций из памяти.

Для решения описанной проблемы в RISC любая константа обычно делится на две части: старшую и младшую, причём они не обязательно одинаковы по размеру. Каждая часть заносится в регистр с помощью отдельной инструкции. В итоге вместо одной команды в программе получаем две, но это как раз допускается RISC-идеологией.

Важно учитывать, что константы бывают как положительные, так и отрицательные. Поэтому в вычислительных устройствах широко применяется так называемое **правило расширения знака**: в случае отрицательных значений дополняемые слева разряды заполняются не нулями, а единицами. Часто говорят, что знаковый (по сложившейся традиции старший) бит «укороченной» константы расширяется до полного размера, иначе говоря, знак копируется во все добавленные разряды (см. второй эпиграф).

Расширение знака у непосредственного операнда часто осложняет работу с последним. Поэтому, например, в RISC-компьютере MIPS логические операции AND, OR и XOR специально объявлены беззнаковыми [16] и **на константы в них правило расширения знака не распространяется**. Работает это следующим образом.

Пример 1

Пусть требуется сформировать в регистре \$s0 32-битное шестнадцатеричное значение 0x1234AA77. В MIPS полное значение делится на две половинки по 16 бит. В результате, используя исключительный характер логической операции OR, можно получить требуемую константу двумя инструкциями:

LUI \$s0, 0x1234;

ORI \$s0, 0xAA77.

Первая из них загружает в регистр \$s0 старшие 16 бит, а вторая – младшие. Отметим, что команда **LUI** младшие биты в \$s0 сбрасывает в ноль, так что в них в результате операции **ORI** всегда получится значение непосредственного операнда.

Хотя младшая половина константы в данном случае содержит в своём самом старшем бите 1, расширение знака операнда не происходит благодаря принятому для инструкции **ORI** исключению из общего правила. Забегая вперед, скажем, что в RISC-V «отключить» действие расширения



Рис. 1. Формирование константы из двух частей

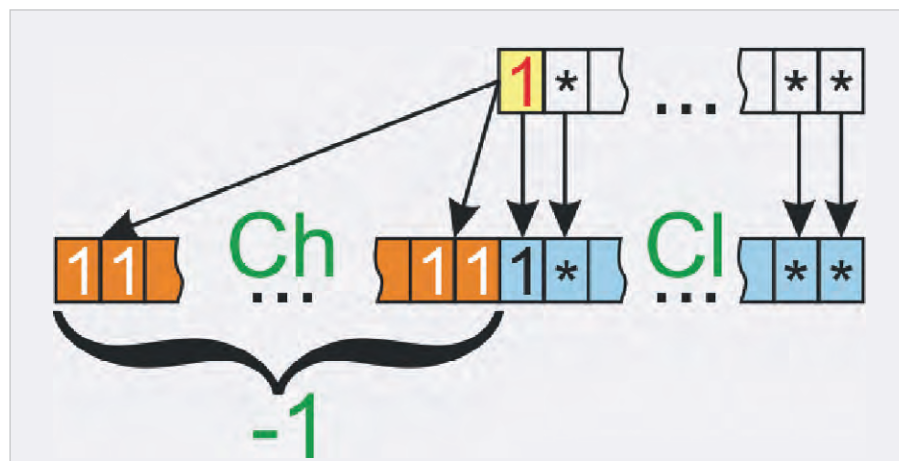


Рис. 2. Влияние расширения знака на формирование константы

знака в операциях над регистрами невозможно.

Аналогичным образом устроена система команд в RISC-архитектуре PowerPC [2]. А вот в компьютере SPARC, чтобы избежать учета влияния знака, принята другая хитрость [17]. Там константа для задания старшей («верхней») части регистра содержит 22 бита, а младшая – 13. Нетрудно видеть, что $22 + 13 > 32$, т.е. имеет место запас, который позволяет при задании младшей части вообще не пользоваться знаковым битом.

Посмотрим теперь, как формируются константы в RISC-V.

Константа в RISC-V: постановка задачи

Будем рассматривать базовую архитектуру стандарта RISC-V, которая маркируется как RV32I: набор RISC-V инструкций для работы с 32-битными целочисленными данными. Регистры для таких данных, что очевидно, тоже будут иметь разрядность **32 бита**.

Система команд стандарта построена так, что многие инструкции имеют вариант, оперирующий с непосредственной константой. Возьмём для примера часто используемую инструкцию сложения с константой **ADDI (Add Immediate):**
ADDI x7, x6, 8.

Она прибавляет к числу из регистра x6 константу 8 и результат помещает в регистр x7 (т.е. $x7 = x6 + 8$). Согласно стандарту под хранение непосредственного операнда в любой команде выделяется **12 бит**. Общее количество возможных значений, таким образом, $2^{12} = 4096$. Из них ровно половина – отрицательные числа. Учитывая, что есть нулевое значение, окончательно имеем диапазон от -2048 до 2047 включительно.

Итак, в регистре 32 бита, а в константе – 12. Для заполнения 20 старших бит в системе команд RISC-V предусмотрена специальная инструкция **LUI**. Она загружает (Load) в верхнюю (Upper) часть регистра константу, входящую непосредственно в код команды (Immediate). Константа как раз имеет размер 20 бит. Младшие 12 бит при записи в регистр гарантированно обнуляются. Например, инструкция

LUI x31, 1
занесёт в регистр x31 число $1000_{16} = 4096$.

Объединяя **LUI** с **ADDI**, можно обеспечить доступ ко всем $20 + 12 = 32$ битам регистров. Сразу подчеркнём, что наличие отрицательных значений осложняет картину. Но об этом немного позже.

Для удобства обсуждения введём обозначения. Полную 32-битную кон-

станту, значение которой мы будем формировать в регистре, обозначим **C**. Она образуется из двух неодинаковых по размеру частей. Старшие 20 бит (здесь и далее будем использовать полное обозначение Ch_{20} , или просто **Ch**) задаются с помощью команды **LUI**, а младшие 12 (Cl_{12} , или **Cl**) прибавляются посредством **ADDI**. Для большей наглядности процесс формирования константы в RISC-V изображён на рис. 1.

Будем пользоваться стандартной нумерацией бит справа налево, начиная с нуля. Тогда Cl_{12} состоит из бит с 11-го по 0-й, а Ch_{20} содержит биты константы с 31-го по 12-й. Формально можно считать, что знак Cl_{12} определяется 11-м битом константы. При расширении знака слагаемого значение этого бита заносится во все биты 31–12.

Далее ради наглядности будем писать **шестнадцатеричные** значения констант, подчёркивая основание системы счисления обозначением **h** после них. Например, $10h$.

Примечание. Это не совсем по стандарту ассемблера, но попытки использовать общепринятую запись $0x10$ делают инструкции RISC-V, где регистры **тоже маркируются буквой x**, плохо читаемыми: имена регистров трудно отличать от констант.

Варианты задания констант: примеры

Особенности формирования констант в RISC-V отчётливо видны на примерах.

Пример 2

Пусть требуется занести в регистр x6 положительное значение, не превышающее $7Fh$, например, $20h$. Очевидно, что для размещения данного небольшого числа в Cl_{12} вполне достаточно бит, поэтому хватает одной инструкции:

ADDI x6, x0, 20h.

В RISC-V содержимое x0 всегда гарантированно равно 0, так что результат получается $0 + 20 = 20h$. Вычисленная константа будет записана в x6.

Мы знаем, что Cl_{12} определяет 12 младших бит числа. Старшие биты определяются по правилу расширения знака, которое было сформулировано выше. В нашем случае число положительно, поскольку его 11-й бит нулевой, следовательно, все 20 старших бит регистра x6 автоматически обнулятся и получится полно-

Таблица. Варианты формирования константы

Вариант	Пример	Значения C	Ch ₂₀	Cl ₁₂	Команды	Коррекция Ch+1
v1	2	0 ≤ C ≤ 7FF	= 0	≥ 0	ADDI R, x0, Cl	Нет, и нет LUI
v2	6	F...F800 ≤ C ≤ F...F	+1 = 0	< 0		Да, но нет LUI
v3	5	1000 < C < F...F800	= 0	< 0	LUI R, Ch+1 ADDI R, R, Cl	Да
	4		≠ 0			
	3		≠ 0	> 0	LUI R, Ch ADDI R, R, Cl	Нет
v4	7	C = 1000, 2000, ...	≠ 0	= 0	LUI R, Ch	Нет

ценное 32-разрядное положительное число 20h.

Пример 3

А теперь занесём в этот же регистр большее положительное значение, например, 1020h. Здесь уже потребуются обе части: **Ch**₂₀ = 1 и **Cl**₁₂ = 20h. При разделении числа на составляющие учитываем, что 12 бит – это три последние **шестнадцатеричные** цифры в записи константы. В данном случае для формирования константы потребуются две инструкции.

LUI x6, 1;

ADDI x6, x6, 20h.

Первая определяет старшие биты **Ch**₂₀, а вторая прибавляет к полученному в x6 значению **Cl**₁₂. Полная запись сложения выглядит так: 00001 000 + 00000 020 = 00001 020. Здесь **Ch** и **Cl** для наглядности разделены пробелом.

Но, к сожалению, не всегда дело обстоит так просто.

Пример 4

Попробуем занести в регистр x6 (можно было бы выбрать и другой) константу 1800h по схеме, предложенной в предыдущем примере. Получим инструкции LUI x6, 1 и ADDI x6, x6, 800h (специально не оформляем это как кодовый фрагмент, так как он будет работать не совсем правильно). Здесь **Ch** = 1, а **Cl** = 800h. Когда процессор RISC-V выполнит эти инструкции, то ответ получится не 1800h, как ожидалось, а всего лишь 800h. Подвох заключается в том, что по принятым правилам будут складываться числа 00001 000 + FFFFF 800 = 00000 800 (у второго слагаемого 800h автоматически расширяется знак – рис. 2).

Как это исправить? Обратим внимание, что в старших 20 битах после расширения знака **Cl** вместо нулей устанавливаются единицы. Фактически старшая часть операнда имеет шестнадцатеричное значение FFFFF, т.е. в общепринятом десятичном представлении –1. Следовательно, из **Ch** неявным образом вычитает-

ся 1. Если это заранее предусмотреть и скорректировать **Ch**, предварительно увеличив его на 1, то ответ станет правильным.

LUI x6, 2;

ADDI x6, x6, 800h.

Приведённый скорректированный фрагмент обеспечит занесение в регистр x6 требуемой константы 1800h.

Примечание. По нашему мнению, наиболее противоестественно здесь то, что значение исходной константы требуется **подменять** ради получения правильного итогового результата. Кстати говоря, это не только впечатление автора. Так, в [10] не без иронии сказано, что обязательное расширение знака непосредственного операнда, принятое в RISC-V, «выглядит довольно необычно». Перед нами типичный пример «встречи» программиста и конструктора машины, о которой говорилось выше, причём все выгоды тут явно получил конструктор.

Подчеркнём, что коррекция **Ch** требуется, только когда старший бит **Cl** (с номером 11) равен 1. В стандарте [4] можно найти красивую неявную рекомендацию: прибавлять к **Ch** старший бит **Cl** (см. описание псевдоопераций на с. 139). Действительно, когда старший бит равен 1, коррекция **Ch** будет, а когда он 0 – нет, поскольку прибавление нуля ничего не меняет. С теоретической точки зрения выглядит очень изящно, но потребуются дополнительные инструкции выделения бита и его сдвига. Сравните такой алгоритм с принятым в теоретической RISC-модели Д. Кнута [18], где загрузка каждой из частей константы никак **не влияла** на все остальные биты. Целесообразно также ещё раз вернуться к примеру 1 и убедиться, насколько в принятой там ISA задание констант устроено нагляднее и проще.

Пример 5

Рассмотрим ещё один выделяющийся вариант. Попробуем занести в регистр значение 800h = 2048. Формально следуя описанному в предыдущем примере алгоритму, немедленно получаем работоспособный фрагмент:

LUI x6, 1;

ADDI x6, x6, 800h.

Тем не менее присмотримся к ситуации повнимательнее. Сразу бросается в глаза, что для формирования 12-битной константы с формально нулевым **Ch** невозможно обойтись без предварительной операции **LUI**. Причём подчеркнём, что речь здесь идёт не об одном значении, а о целом диапазоне чисел от 800h до FFFh (т.е. от 2048 до 4095 в десятичном виде). Ещё более печально, что трудности возникают не только с числами. Как известно, для выделения значений отдельных бит при помощи логической операции **AND** используются константы-маски, содержащие единственную единицу в нужном бите. Это не какая-то экзотика: подобный приём часто требуется для анализа отдельного управляющего бита в регистре состояния внешнего устройства. Так вот, оказывается, что любую подобную маску, кроме 800h, удаётся получить одной инструкцией: биты от 0 до 10 можно установить посредством **ADDI**, а с 12 по 31 – с помощью **LUI**. И только для «несчастливого» 11-го бита требуется нестандартный вариант из двух инструкций. А чем, собственно, отличается этот бит от всех остальных? Ничем, кроме заложенных в формат инструкций правил!

Пример 6

Интересный и важный для практики частный случай имеет место при небольших отрицательных значениях. Рассмотрим, следуя [19], значение –1 = FFFFF FFFh. Здесь **Ch** = FFFFFh и **Cl** = FFFh. По общей схеме примера 4 получим инструкции LUI x6, 0 и ADDI x6, x6, FFFh. Первая из них явно бесполезна (что, кстати, в [19] не указывается). Несколько подправив вторую, получим оптимальное решение **ADDI x6, x0, FFFh**

(напоминаем, что x0 всегда равно 0). Правильные (единичные) значения старших бит будут установлены за счёт расширения знака: здесь оно сыграет положительную роль.

Сравнивая данный вариант с примером 2, приходим к выводу, что в

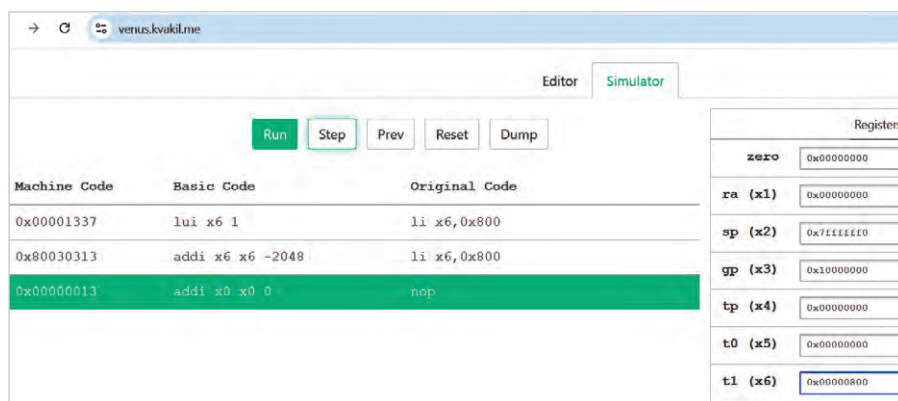


Рис. 3. Реализация примера 5 в симуляторе Venus

случае, когда константа **по модулю** (!) невелика, для её записи в регистр удаётся обойтись одной инструкцией **ADDI** независимо от знака. Это приятный вывод, поскольку чаще всего в программах требуются именно такие «небольшие» константы.

Пример 7

Рассмотрим ещё один вариант оптимизации. Существуют числа, содержащие в младшей части много нулей. Если в константе последние 12 бит нулевые, то **CI** = 0, и прибавлять её нет смысла. Пусть, например, нам требуется занести в **x6** константу 1000h. Тогда достаточно написать **LUI x6, 1**.

Данная оптимизация, в отличие от предыдущей, встречается довольно редко. Но зато если **CI** = 0, то вторую инструкцию можно пропустить.

Подведём некоторые итоги по описанным выше примерам. Все возможные варианты формирования значения в регистре **R** (вместо **R** можно подставлять любой из регистров от **x1** до **x31**) сведены в таблицу.

В вариантах **v1** и **v2** используется только команда **ADDI**, в **v4** – только **LUI**, а в общем случае **v3** требуются оба слагаемых. Обращаем ваше внимание на разницу в инструкции **ADDI** в вариантах **v1** и **v3**.

Псевдоинструкция **LI**

Для удобства программирования в языке ассемблер часто вводятся так называемые псевдоинструкции. *Псевдоинструкция* – это запись некоторой формальной (не существующей в системе команд процессора) инструкции, которая заменяется одной или, реже, несколькими реальными инструкциями. Пусть, например, требуется скопировать содержимое **x6** в **x7**. Инструкция копирования в явном виде отсутствует в RISC-V, но

указанное действие может быть легко выполнено как **ADDI x7, x6, 0**.

Записанную специфическую операцию сложения легко понять: к **x6** прибавляется константа 0 (т.е. фактически значение не меняется!), и результат помещается в **x7**. Ради удобства программирования и для повышения наглядности можно договориться вместо такой операции ввести псевдоинструкцию **mv**, которая в нашем случае примет вид **mv x7, x6**.

Встречая в тексте псевдоинструкцию **mv**, транслятор легко преобразует её запись в текст реально существующей команды **ADDI** (подобное преобразование исходного текста программы принято называть *препроцессинг*, т.е. обработка **перед** процессом трансляции).

Примечание. Интуитивное представление, что сложение будет выполняться дольше, чем простое копирование данных, как ни странно, не соответствует действительности. Даже в довольно старой модели процессора Intel 80386 команды **ADD** и **MOV** уже выполняются за одинаковое число тактов [20].

К теме нашего обсуждения имеет непосредственное отношение псевдоинструкция **li** (**Load Immediate**). Вот конкретный пример: **li x6, 9999h**.

Эту псевдоинструкцию принципиально невозможно заменить на какую-либо одну инструкцию RISC-V, потому что константа «не помещается» в отведённые форматом 12 бит. Поэтому транслятор вынужден подобрать эквивалентную последовательность команд, которая выполнит требуемое действие.

Вместо раскрытия псевдооперации **li** в документации стандарта

[3, 4] записана «обтекаемая» фраза «Myriad Sequences», что можно перевести как «множество последовательностей». Очевидно, что речь идёт об отсутствии единого универсального решения для произвольного аргумента. В более подробном Атласе [7] имеется намёк на устройство таких последовательностей: они используют «как можно меньше инструкций» и расширяются для RV32I как «**lui and/or addi**» (про RV64I речь пойдёт в следующем разделе). По сути, это такое «архивированное» описание приведённой выше таблицы, вполне понятное посвящённым.

Наличие псевдоинструкции **li** освобождает программиста от необходимости следить за особенностями кода констант. Так, в недавно вышедшей книге по ассемблеру RISC-V [21] расширение знака в константах вообще не рассматривается. Тем не менее особенности, связанные с расширением знака в процессоре, от этого не исчезают. Поэтому, по мнению автора, утверждение «введём псевдоинструкцию **li** и забудем о деталях задания констант» некорректно: помнить стоит хотя бы потому, что в других операциях, где псевдоинструкции не предусмотрены, программисту тоже будет необходимо грамотно задать непосредственный операнд (при этом, возможно, потребуется модификация по правилам, описанным выше). В частности, именно такая ситуация возникает в логических инструкциях, когда в маске в 11-м бите находится 1.

И ещё одно замечание. Препроцессинг, по своей сути, есть обработка текста. Псевдоинструкция **li** заметно сложнее: надо выделить в строке текстовую запись константы, перевести её в двоичный код, разделить его на части и по получившимся значениям **выбрать способ** и сформировать подходящий к конкретному случаю фрагмент **из одной или двух строк**. Между прочим, перед этим потребуются перевести старшую и младшую части двоичного числа обратно в текстовую форму. Таким образом, действия для псевдоинструкции **li** выходят далеко за рамки задачи преобразования одного текста в другой.

Чтобы убедиться в правильности приведённого выше описания механизмов формирования констант, можно взять какое-то профессионально написанное программное обеспе-

чение и убедиться, что для загрузки константы в регистр действительно может потребоваться несколько команд. Автору кажется самым простым, быстрым и универсальным путем обратиться к онлайн-симулятору **Venus** (<https://venus.kvakil.me/>). Работа с ним не потребует никаких дополнительных знаний и предварительной подготовки.

Воспользуемся тем, что Venus поддерживает псевдооперацию **li**. Набёрём на странице редактора программы (*Editor*) любой из примеров 2...7 в виде строки

li x6, const

(где **const** – это требуемое итоговое значение десятичной константы; напомним, что перед шестнадцатеричным значением необходимо добавлять символы *0x*). Изучим показанную на странице выполнения (*Simulator*) результирующую программу и убедимся в том, что Venus работает в **полном соответствии** с построенной выше таблицей.

Результаты пошагового выполнения (режим *Step*) для примера 5 приведены на рис. 3. Итоговую константу можно посмотреть в правой части окна в регистре **x6**.

Константы 64 бита в RISC-V

Стандарт RISC-V предусматривает не только 32-битную, но и 64-битную и даже 128-битную архитектуры. Расширение, как подчёркивается в стандарте, делается в основном ради увеличения адресного пространства ОЗУ, что позволит наращивать его объём. Касательно размера данных $2^{32} = 4\,294\,967\,296$ представляет собой вполне достаточную для практики величину (вспомните также первый эпиграф к статье). Если в отдельных задачах потребуются большая разрядность, то программисты умеют с этим справляться. Например, на основе 32-битных данных реализована неограниченная целочисленная арифметика в языке Python [22].

Кратко рассмотрим формирование 64-битных констант в архитектуре RV64I. Она сохраняет все инструкции набора RV32I и добавляет к нему 15 дополнительных инструкций. Подчеркнём, что инструкции в RV64I по-прежнему **имеют размер 32 бита**.

Разрядность регистров процессора увеличивается до 64 бит, а значит, нужно иметь механизм загруз-

ки констант такого размера. Как уже упоминалось ранее, последовательность инструкций при формировании констант «пунктирно намечена» в Атласе RISC-V [7]. Для 64-битной константы там рекомендована серия из 8 инструкций. Первые две повторяют задание 32-битной константы (**LUI** и **ADDI**), что подробно обсуждалось выше. Далее предлагается трижды повторить пару инструкций **SLLI** (сдвиг влево) и **ADDI**. Такой алгоритм позволяет постепенно (за три шага) заполнить оставшиеся 32 бита. Приятным обстоятельством служит тот факт, что прибавлять за один раз достаточно 10–11 бит, так что знаковый разряд можно не трогать. Следовательно, формирование 64-битной константы не приводит к появлению новых вариантов, связанных с расширением знака. В то же время для некоторых значений констант, особенно при наличии в них большого числа нулей, количество инструкций можно сократить. Кроме того, в зависимости от конструкции машины, вместо выполнения 8 (!) предложенных инструкций может оказаться быстрее прочитать одной командой готовую константу из ОЗУ.

Заключение

На основе проведённого детального рассмотрения вариантов формирования константы в регистрах процессоров стандарта RISC-V можно сформулировать следующие выводы.

Любая константа заносится в 32-битный регистр по частям; старшая **Ch** содержит 20 бит, а младшая **Ci** – 12.

Занесение младшей части константы **Ci** в регистр выполняется с помощью инструкции **ADDI**. Операнд для неё всегда получается «механическим» выделением младших 12 бит (3 последние шестнадцатеричные цифры в константе).

Для занесения старшей части константы **Ch** в регистр используется инструкция **LUI**, в качестве начального значения её операнда берутся старшие 20 бит (5 первых шестнадцатеричных цифр из 8 в полной записи 32-битного числа). Конечное значение зависит от состояния старшего (11-го) бита в **Ci**. Если в этом бите 1, то **Ch** приходится корректировать, прибавляя к нему 1. В противоположном случае коррекция не требуется.

Причиной появления указанной неоднозначности служит обязатель-

ность расширения знака непосредственного операнда во всех операциях, в том числе в **ADDI**. Из-за этого старшие биты могут стать ненулевыми и изменить итоговую сумму. Здесь трудности программирования возникают вследствие упрощения аппаратной конструкции.

В общем случае (вариант **v3** в таблице) константа заносится в регистр двумя инструкциями: сначала **LUI**, а затем **ADDI**. Когда значение константы по модулю мало (варианты **v1** или **v2**), то **Ch** = 0 и команда **LUI** не нужна (операнд **rs1** в **ADDI** при этом меняется на **x0**). Это очень важный и часто встречающийся на практике случай. Есть ещё довольно редкий вариант **v4**, в котором **Ci** = 0; тогда исключается команда **ADDI**.

Подчеркнём, что 11-й бит в младшей части константы выделен исключительно форматом инструкций. Все разговоры о знаке **Ci** носят формальный характер. Более того, бит этот не следует путать с «настоящим» знаком итогового значения константы в 31-м бите.

Существует псевдоинструкция **li**, которая «скрывает» все перечисленные выше варианты от программиста. Она позволяет написать любую константу и быть уверенным, что компилятор подберёт инструкции, обеспечивающие правильный результат. По мнению автора, понимать существующие в RISC-V особенности формирования констант всё равно требуется, хотя бы для того, чтобы не ошибиться там, где нет псевдоинструкций.

Литература

1. Касперски К. ПК: решение проблем. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 560 с.
2. Столлингс В. Структурная организация и архитектура компьютерных систем. М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. 896 с.
3. Waterman A., Lee Y., Patterson D.A., Asanović K. The RISC-V Instruction Set Manual, Volume I: User-Level ISA, Version 2.1. Technical Report No. UCB/EECS-2016-118. May 31, 2016. URL: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2016/EECS-2016-118.pdf>.
4. The RISC-V Instruction Set Manual. Volume I: Unprivileged Architecture. Version 20250508. URL: <https://docs.riscv.org/>

- reference/isa/_attachments/riscv-unprivileged.pdf.
- A chip design that changes everything: 10 Breakthrough Technologies 2023. URL: <https://www.technologyreview.com/2023/01/09/1064876/riscv-computer-chips-10-breakthrough-technologies-2023/>.
 - Регистры и модель памяти. Виды адресации. URL: https://uneex.ru/LecturesCMC/ArchitectureAssembler2022/02_MemoryRegisters.
 - Patterson D.A., Waterman A.S. The RISC-V Reader: An Open Architecture Atlas. Strawberry Canyon, 2017. 200 p. URL: <https://www.cs.sfu.ca/~ashriram/Courses/CS295/assets/books/rvbook.pdf>.
 - Waterman A.S. Design of the RISC-V Instruction Set Architecture. PhD dissertation, Dept. Elect. Eng. and Comp. Sci. Univ. of California, Berkeley, CA, USA, 2016. URL: <https://people.eecs.berkeley.edu/~krste/papers/EECS-2016-1.pdf>.
 - Patterson D.A., Hennessy J.L. The Hardware/Software Interface: RISC-V Edition. Cambridge, MA: Morgan Kaufmann Publishers, 2018. URL: https://www.cs.sfu.ca/~ashriram/Courses/CS295/assets/books/HandP_RISCV.pdf.
 - Харрис Д.М., Харрис С.Л. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера: RISC-V. М.: ДМК Пресс, 2021. 810 с.
 - Фролов В.А., Галактионов В.А., Санжаров В.В. Исследование технологии RISC-V // Труды ИСП РАН. 2020. Том 32, вып. 2. С. 81–98.
 - Создание процессора со свободной архитектурой RISC-V. URL: <https://v2020e.ru/blog/sozдание-protссора-so-svobodnoj-arkhitekturoj-risc-v-chast-1>.
 - Крейгзон Х. Архитектура компьютеров и ее реализация. М.: Мир, 2004. 416 с.
 - Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual. 2023. 5066 p.
 - Лин В. PDP-11 и VAX-11. Архитектура ЭВМ и программирование на языке ассемблера. М.: Радио и связь, 1989. 320 с.
 - Харрис Д.М., Харрис С.Л. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. М.: ДМК Пресс, 2017. 792 с. (Бесплатный официальный перевод книги доступен по ссылке https://is.ifmo.ru/books/2016/digital-design-and-computer-architecture-russian-translation_July16_2016.pdf).
 - Таненбаум Э. Архитектура компьютера. СПб.: Питер, 2003. 704 с.
 - Кнут Д.Э. Искусство программирования. Том 1, вып. 1. MMIX – RISC-компьютер нового тысячелетия. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2007. 160 с.
 - Ледин Дж. Современная архитектура и устройство компьютеров. СПб.: БХВ-Петербург, 2024. 656 с.
 - Смит Б.Э., Джонсон М.Т. Архитектура и программирование микропроцессора INTEL 80386. М.: Конкорд, 1992. 334 с.
 - Смит С. Программирование на языке ассемблера RISC-V. М.: ДМК Пресс, 2025. 276 с.
 - Golubin A. Python Internals: Arbitrary-precision Integer Implementation. URL: <https://rushter.com/blog/python-integer-implementation/>.





АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

ЭЛЕКОНД

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

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

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


Реклама

НОВОСТИ МИРА. ЧИТАЙТЕ НА ПОРТАЛЕ WWW.CTA.RU

Китайские инженеры научили гуманоидных роботов выполнять сальто и боевые удары: представлен фреймворк OmniXtreme

Пекинский институт общего искусственного интеллекта – Beijing Institute for General Artificial Intelligence (BIGAI) – представил новую систему управления движением гуманоидных роботов под названием OmniXtreme.

Разработка предназначена для выполнения высокодинамичных действий и позволяет роботам демонстрировать широкий набор сложных движений – от сальто назад до флэров Томаса и ударов ногами, характерных для боевых искусств.

По словам разработчиков, ключевая особенность OmniXtreme заключается в способности управлять множеством сложных действий с помощью единого алгоритма. Такой подход реализует концепцию «одна политика – множество движений», что существенно повышает эффективность обучения гуманоидных систем продвинутым физическим навыкам.

Задача достижения высококоординированных динамических движений долгое время

оставалась одной из наиболее сложных в робототехнике. В последние годы для её решения активно применяется обучение с подкреплением, позволяющее роботам осваивать сложные моторные навыки через масштабные симуляции. Однако по мере увеличения количества движений и их сложности точность управления обычно снижается, что ограничивает масштабируемость таких систем.

В OmniXtreme разработчики предложили альтернативный подход. Вместо обучения единой политики управления «с нуля», как это делается в традиционных системах обучения с подкреплением, используется двухэтапная схема подготовки модели. Сначала формируется базовая динамическая модель движения, после чего она дообучается для выполнения конкретных высокоскоростных манёвров.

По данным BIGAI, такая архитектура позволила добиться уровня успешности свыше 90% при выполнении различных высокодинамичных задач на реальных гуманоидных роботах.

Исследователи считают, что предложенная архитектура способна решить давнюю



проблему баланса между точностью управления и масштабируемостью набора движений. В перспективе OmniXtreme может стать фундаментом для нового поколения систем обобщённого управления движением гуманоидных роботов, открывая путь к освоению значительно более сложных физических навыков и расширению сфер практического применения таких машин.



ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ МОДУЛИ ПИТАНИЯ

- ✦ Совместимость с модулями питания DC-DC 2-го и 3-го поколений компании Vicor
- ✦ Обширный выбор моделей с выходными мощностями от 75 до 600 Вт
- ✦ Входные напряжения 9-77 В, 100-425 В
- ✦ Форм-факторы Full Brick, Half Brick, Quarter Brick
- ✦ Широкий диапазон рабочих температур от -55 до +100 °C



PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
+7 (495) 232-52-22 + INFO@PROCHIP.RU + WWW.PROCHIP.RU



Реклама

Автоматика управления дорожными светофорами

Олег Вальпа

Введение

В современном мире регулирование движения транспортных средств осуществляется огромным количеством светофоров. Первый светофор примитивного типа был установлен 10 декабря 1868 года в Лондоне. С тех пор светофоры пережили длинную историю эволюции.

В настоящее время существует большое многообразие исполнения этих устройств, но все светофоры объединяет единый принцип трёхцветных сигналов и их расположения. Поэтому водители легко ориентируются по сигналам светофора в любой стране мира.

Здесь рассмотрен проект автоматизации трёхцветного светофора, разработанный автором статьи на основе

программируемого логического контроллера.

Проект

Рассмотрим процесс создания регулятора на конкретном примере. В проекте реализовано управление четырьмя трёхцветными светофорами, устанавливаемыми на перекрёстке пересечения двух дорог. Диаграмма работы такого светофора представлена на рис. 1.

Полный цикл работы светофора состоит из шести тактов. В каждом такте определённой длительности светится один или несколько сигналов светофора.

Управление светофорами производится попарно. Светофоры 1 и 3 уста-



Дополнительные материалы к этой статье можно скачать, перейдя по ссылке в QR-коде

навливаются для обоих направлений движения по первой дороге перекрёстка, а светофоры 2 и 4 аналогично для второй дороги перекрёстка, пересекающей первую, как показано на рис. 2.

Сигналы регулирования для каждого светофора одной пары одинаковы. Поэтому для управления всеми светофорами требуется 6 выходных портов контроллера: три порта для пары 1 и 3 и три порта для пары 2 и 4.

Для автоматизации управления светофорами был выбран программируемый логический контроллер Matrix-1021-70-4 отечественной ком-



Рис. 1. Диаграмма работы светофора

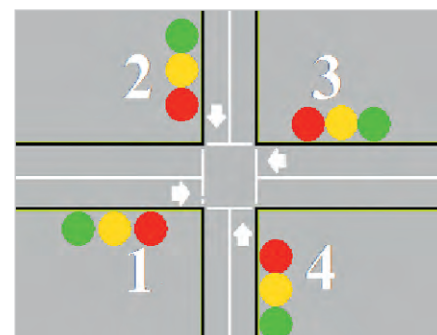


Рис. 2. Схема расположения светофоров

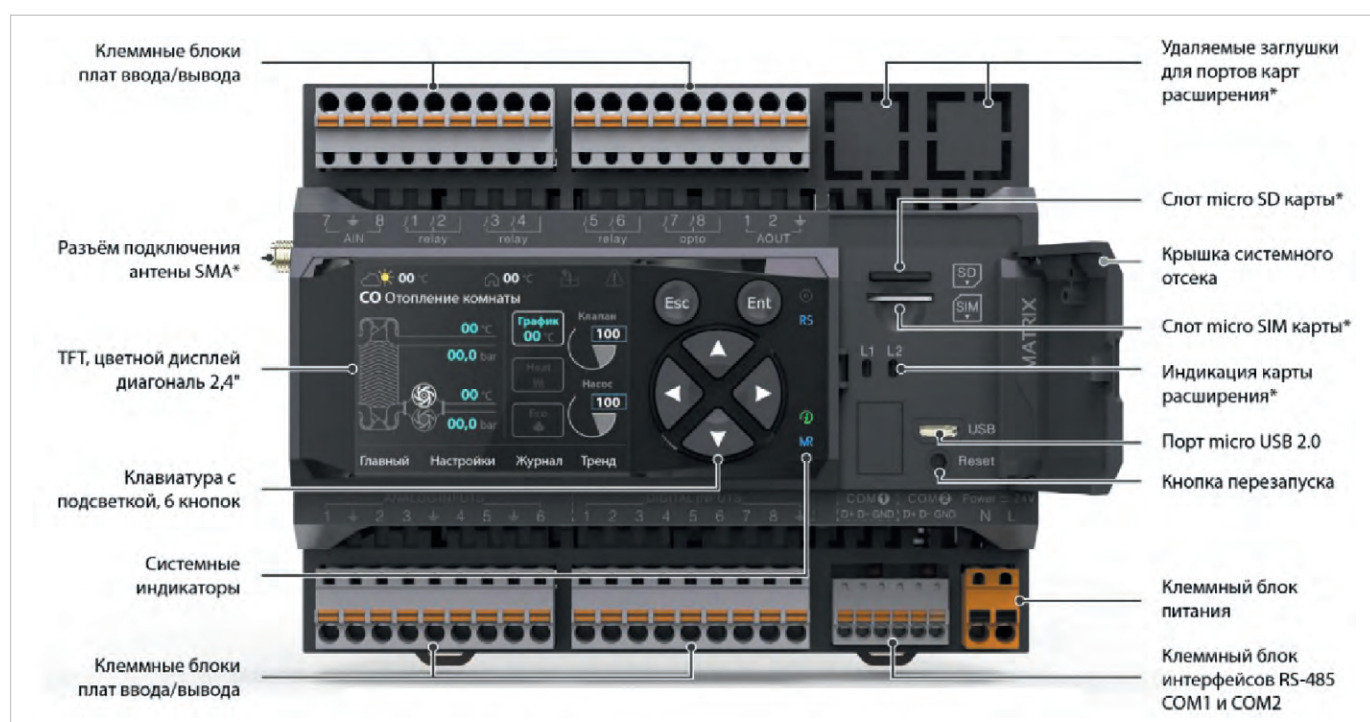


Рис. 3. Внешний контроллер Matrix

пании Segnetics [1]. Внешний вид контроллера Matrix представлен на рис. 3.

Данный контроллер имеет множество типов исполнений, позволяющих подобрать вариант с необходимым количеством выходных портов. Варианты исполнений контроллера приведены на рис. 4.

Коммутацию сигнальных фонарей светофора можно выполнять непосредственно с помощью контактов сильноточных реле выходных портов контроллера, что значительно упрощает схему подключения светофоров. В данном проекте выходы DOUT1, DOUT2 и DOUT3 управляют красным, жёлтым и зелёным сигналами первой пары светофоров, соответственно, а выходы DOUT4, DOUT5 и DOUT6 управляют такими же сигналами второй пары светофоров.

Питание контроллера осуществляется от источника постоянного тока с напряжением 24 В.

Программа

Программа управления светофорами написана на языке функциональных блоков в свободной среде разработки SMLogix [2]. Достаточно подробное описание этой среды разработки и работы с ней приведено в источнике [3]. Внешний вид главного окна программы представлен на рис. 5.

Тип	AIN	DIN	DOUT			AOUT
			Опто	Симистор	Реле	
Matrix - 1020-XX-X	8	8	2		6	2
Matrix - 1021-XX-X	8	8	1		5	4
Matrix - 1320-XX-X	6	8	2	2	6	2
Matrix - 1321-XX-X	6	8	1	2	5	4
Matrix - 2230-XX-X		16			12	
Matrix - 2233-XX-X		16		4	8	
Matrix - 2234-XX-X		16	4		8	
Matrix - 3030-XX-X					24	
Matrix - 2222-XX-X		32				

Рис. 4. Варианты исполнения контроллера Matrix

В программе реализовано два режима работы светофора. Первый режим обеспечивает регулирование движения на перекрёстках в рабочее время путём чередования проезда сначала по одной, а затем по другой дороге. Во втором режиме формируется жёлтый мигающий сигнал всех светофоров, который используется в нерабочее время. В этом режиме работы светофоров проезд перекрёстка транспортными средствами осуществляется согласно правилам проезда нерегулируемых перекрёстков и знакам приоритета.

Кроме того, в программе реализована возможность организации движения через несколько перекрёстков в режиме «зелёная волна». Этот режим позволяет проехать протяжённый участок дороги с перекрёстками без остановок перед ними для ожидания разрешающего сигнала.

Режим «зелёная волна» возможен при движении транспортных средств на определённой скорости, рекомендованной на данном участке дороги, и синхронизации светофоров на этом участке, формирующей разрешающий зелёный сигнал во время приближения транспорта к очередному перекрёстку.

Такой режим движения имеет множество очевидных преимуществ, таких как устранение транспортных пробок, снижение количества вредных выбросов в атмосферу, уменьшение расхода топлива, повышение ресурса транспорта, экономия времени в пути и т.п.

Организация режима «зелёная волна» осуществляется путём задания одинакового временного цикла для всех светофоров, установленных на выбранном участке дороги, и установкой определённой задержки для

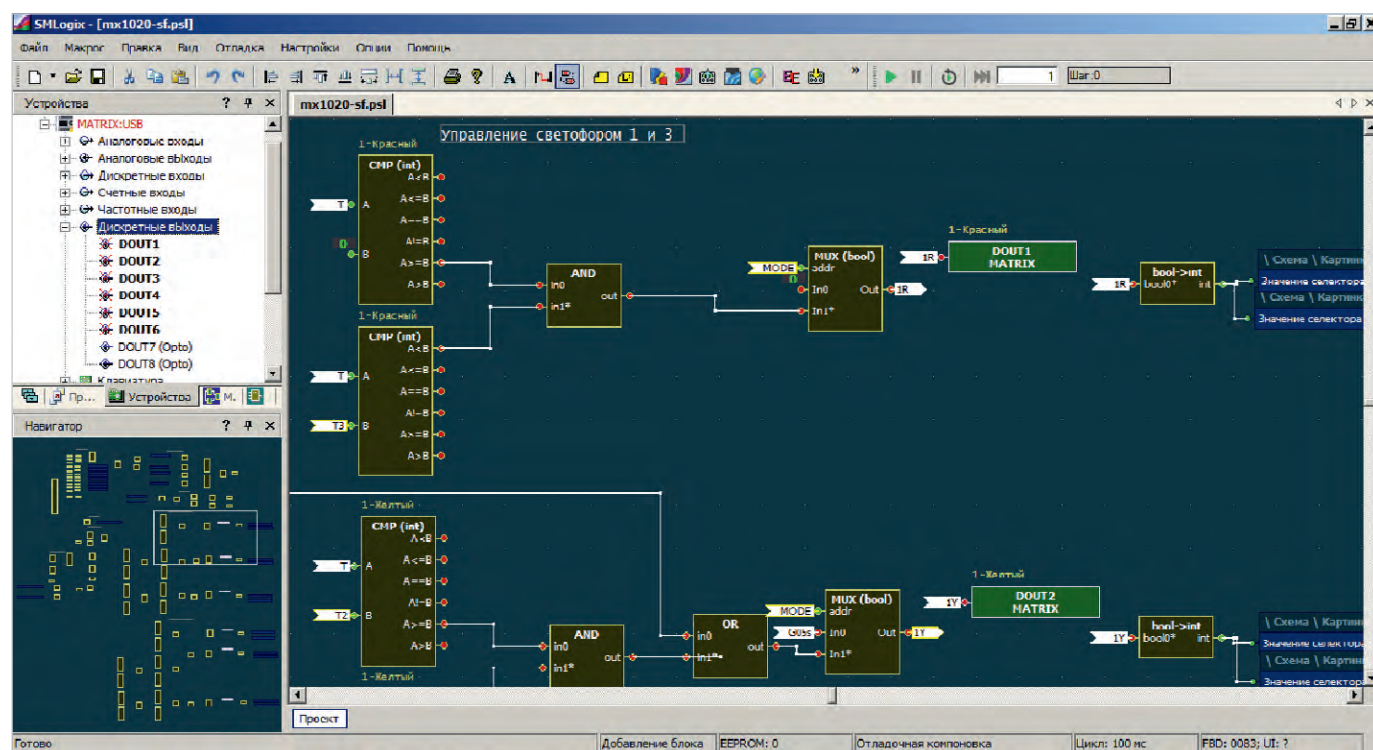


Рис. 5. Главное окно программы



Рис. 6. Окно SMART

синхронизации светофоров каждого перекрёстка.

Благодаря наличию внутренних часов реального времени в контроллерах и установленной задержки запуска автоматики управление светофорами будет происходить с временным сдвигом, обеспечивающим включение разрешающего сигнала светофоров по пути движения транспорта на данном участке.

Наглядную демонстрацию «зелёной волны» можно увидеть при просмотре анимационного файла «green_wave.gif», размещённого среди дополнительных материалов к этой статье.

Например, при скорости движения автомобиля 54 км/ч, т.е. 15 м/с, и расстоянии до очередного перекрёстка, равном 300 метров, задержка для включения разрешающего сигнала светофора очередного перекрёстка составит: $300 : 15 = 20$ секунд.

Таким образом, зная расстояние между перекрёстками любого участка дороги, можно вычислить время задержки для каждой группы светофоров и организовать режим «зелёная волна», установив вычисленное время задержки в контроллере автоматики соответствующей группы светофоров.

Интерфейс программы создан с помощью встроенного программного инструмента SMART среды разработки, который запускается на панели инструментов. Окно программного

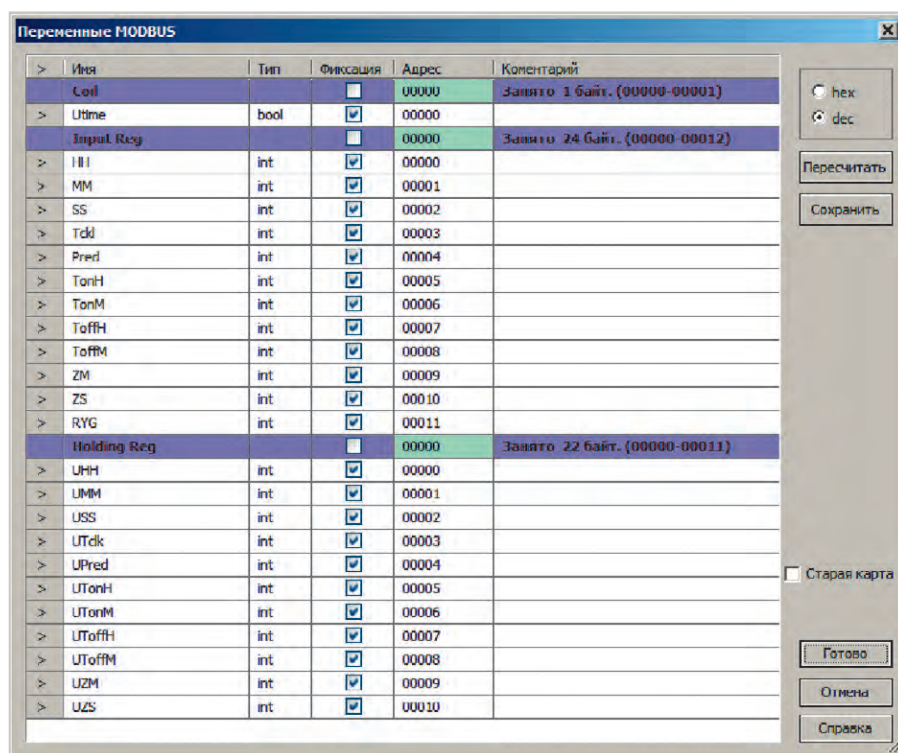


Рис. 7. Карта памяти регистров

инструмента SMART с разработанным интерфейсом приведено на рис. 6.

Главным окном в данном интерфейсе является окно меню, на котором размещаются графические значки для остальных экранов с их названиями.

Раздел меню «Справка» содержит текстовое описание программы. С помощью меню «Время» устанавливаются энергонезависимые календарь и часы контроллера. Меню «Схема»

содержит схему перекрёстка с динамически изменяющимися сигналами всех светофоров, подключённых к контроллеру в реальном времени. Меню «Настройки» позволяет задать: время цикла светофора в секундах, долю цикла для красного сигнала в %, время начала и окончания работы светофора в течение суток и задержку для синхронизации режима «зелёная волна». Меню «График» позволяет уви-

деть циклограмму работы светофора в виде графиков красного, жёлтого и зелёного сигнала.

Загрузка программы в контроллер производится непосредственно из среды разработки SMLogix через кабель связи MicroUSB, подключённый к порту USB компьютера. При этом питание контроллера осуществляется от того же порта USB напряжением 5 В.

После загрузки программы проекта в контроллер можно проверить её работу в режиме эмуляции. Для этого необходимо нажать кнопку «Подключиться с отладкой» на панели инструментов или клавишу F5 на клавиатуре компьютера. При этом проект автоматически транслируется в код загрузочной программы, запишется в контроллер и стартует. На экране компьютера будет отображаться информация о состоянии используемых в программе портов, счётчиков, компараторов и других элементов, а на дисплее контроллера отобразится главный экран «Меню». С помощью навигационных кнопок контроллера можно перемещаться по элементам меню и активировать их поочерё-

дно кнопкой «Ent». Выход из любого элемента меню производится кнопкой «Esc».

Диспетчеризация

Контроллер позволяет обеспечить диспетчеризацию светофоров с помощью встроенных в него интерфейсов. В проект добавлены регистры с картой памяти, приведённой на рис. 7.

С помощью этих регистров можно дистанционно устанавливать часы контроллера и менять настройки параметров программы, а также считывать информацию о функционировании светофоров по интерфейсу RS-485 или Ethernet и отображать её на персональном компьютере. Для этих целей можно использовать широко распространённую компьютерную программу mbpoll.exe.

Заключение

Готовый файл проекта с картой регистров для диспетчеризации и справочными файлами размещён на сайте журнала и может быть использован для использования и дальнейшего развития.

Данный проект может быть использован в качестве учебного материала и на практике, для изготовления автоматики светофоров и их установки, например, на макетах или на территории предприятия.

При необходимости проект можно развить и осуществить раздельное управление каждым светофором, например, для организации последовательного проезда перекрёстка со всех четырёх направлений. В таком случае потребуется контроллер, имеющий 12 выходных портов. Для практической реализации такого проекта можно использовать контроллер Matrix-2230-70-4 или Pixel2-3022-70-4 той же компании. Изменение типа контроллера в проекте выполняется простым изменением его свойств в проекте.

Источники и ресурсы:

1. URL: <https://segnetics.com/ru/Matrix>.
2. URL: <https://www.segnetics.com/ru/smlogix>.
3. Вальна О. Программирование логических контроллеров // СТА. 2025. № 1. С. 18.
4. URL: <https://www.cta.ru>.





erkonmarket.ru

Собственное производство:

- Аттенюаторы ПР1-25 (50-2000 Вт)
- Силовые резисторы Р1-150М (до 1500 Вт)
- Мощные наборы резисторов НР1-82
- Проволочные чип-индуктивности
- Прецизионные чип-резисторы Р1-8П (допуск от ±0,1%)
- Чип-резисторы Р1-8В стандарта АЕС-Q200

Все электронные компоненты в один клик 24/7

Удобные фильтры и информативное описание

Быстрая обработка входящих заказов

Возможность представить вашу продукцию на нашем сайте








8 800 550 39 09

г. Н. Новгород, ул. Нартова, д.6
 info@erkonmarket.ru



Реклама

Линейные интегральные стабилизаторы напряжения с низким падением напряжения на регулирующем элементе

Виктор Жданкин (info@prochip.ru)

В статье представлены интегральные линейные стабилизаторы с малым падением напряжения на регулирующем элементе (LDO-стабилизаторы, Low Dropout Output), выпускаемые предприятием ХМТИ (Xi'an Microelectronics Technology Institute), для применения в качестве вторичного источника электропитания в аппаратуре с батарейным питанием, дополнительных стабилизаторов напряжения в импульсных источниках питания. Линейные регуляторы подразделяются на радиационно-стойкие модели для применения в бортовой аппаратуре космических аппаратов и модели уровня качества Military для аппаратуры специального применения. Выпускаются микросхемы для формирования положительного и отрицательного напряжения, а также с расщеплённым выходом для питания аналоговых устройств. Выходное напряжение может быть фиксированным и регулируемым.

Линейные интегральные стабилизаторы напряжения выпускаются многими предприятиями в течение нескольких десятилетий в широкой номенклатуре и в разнообразных конструктивных

исполнениях, с различными диапазонами входных и выходных напряжений, сервисными функциями и защитами.

Одним из известных изготовителей LDO-стабилизаторов напряжения

с минимальным падением напряжения является корпорация M.S. Kennedy (США), целевыми сегментами которой является космическая и оборонная промышленность. Продукция корпорации с 2009 года поставлялась в Россию и использовалась в некоторых космических программах и применениях, требующих высокой надёжности [1].

В настоящее время продукция корпорации в Россию не поставляется, поэтому в качестве альтернативного решения для применения в серийной аппаратуре предлагается рассмотреть изделия предприятия ХМТИ (Китай), которое является подразделением Китайской корпорации аэрокосмической науки и техники (China Aerospace Science and Technology, CASC) и Девятой Академии (China Academy

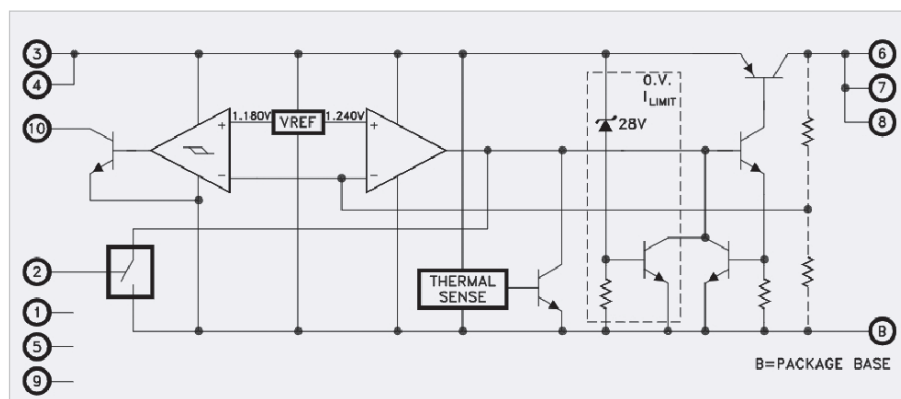


Рис. 1. Эквивалентная схема микросхемы LDO-линейного стабилизатора напряжения LSK5101-00 с регулируемым выходным напряжением

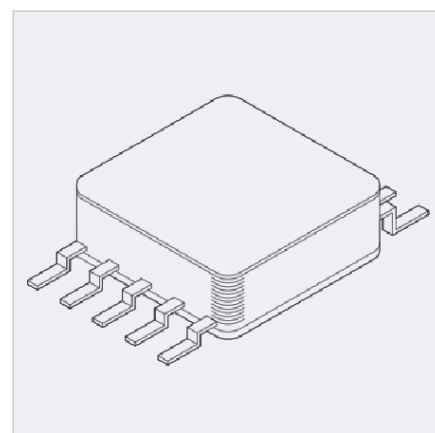


Рис. 2. Корпус FCP10

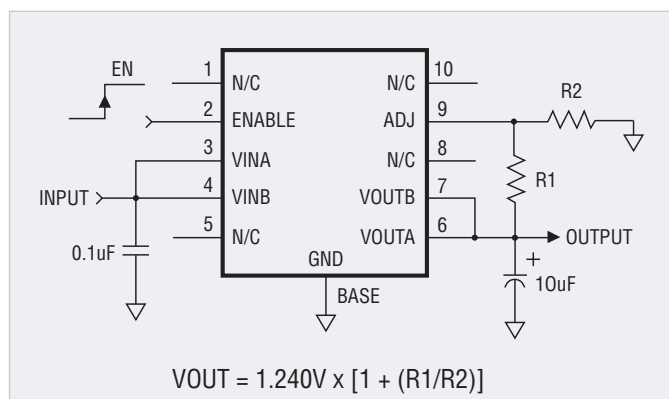


Рис. 3. Схема включения стабилизатора в режиме регулировки выходного напряжения

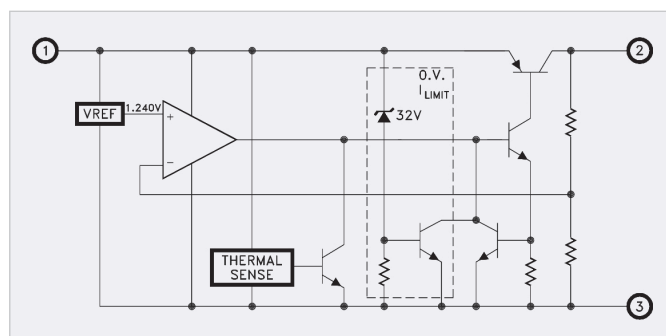


Рис. 4. Эквивалентная схема линейного стабилизатора напряжения с фиксированным выходным напряжением и минимальным падением напряжения на проходном элементе

of Aerospace Electronics Technology, CAAET). Предлагаемые изделия конструктивно и функционально совместимы с интегральными микросхемами LDO-стабилизаторов корпорации M.S. Kennedy.

Микросхемы уровня качества Space и Military выпускаются в конструктивно-совместимых корпусах, что позволяет для создания прототипов космической аппаратуры применять более дешёвые изделия и избегать дополнительных временных и финансовых затрат при изготовлении конечных изделий.

В табл. 1 представлены основные технические характеристики микросхем LDO-стабилизаторов уровня качества Military с минимальным падением напряжения на проходном элементе без специфицированных показателей радиационной стойкости.

Микросхемы характеризуются широким диапазоном входного напряжения (до 26 В), формируют стандартный ряд выходных напряжений 1,5; 1,8; 1,9; 2,5; 3,3; 5; 12 и ± 10 В, а также выпускается модель с регулируемым выходным напряжением. Обеспечивается ток нагрузки 1,5; 3 и ± 3 А. Микросхемы выпускаются в корпусах для поверхностного монтажа и установки в отверстия печатной платы – FCP10, TO-253-5-TD, SMD-1, TO-257-G, TO-257-TD. Микросхемы содержат ряд сервисных и защитных функций. Интегрирована схема защиты от обратного включения батареи, перегрузки по току, тепловая защита. Функция выключения внешним сигналом (Enable) повышает гибкость применения микросхемы в системе электропитания реализацией определённого алгоритма подачи напряжения к отдельным узлам функциональной части аппаратуры. Выход контроля состояния микросхемы (Flag Out) позволяет контролировать состояние микросхемы и передавать «флаг» ошибки в управляющую систему.

Основным назначением линейных стабилизаторов является установка непосредственно около питаемого узла и точное поддержание напряжения питания на нагрузке. Первичное формирование постоянного напряжения осуществляет сетевой источник напряжения или импульсный преобразователь с гальванической развязкой. Другим назначением LDO-стабилизаторов является применение в аппаратуре с батарейным питанием.

На рис. 1 представлена эквивалентная схема микросхемы LSK5101-00, которая оснащена всем перечисленным выше функционалом. Микросхема выполнена в 10-выводном корпусе для поверхностного монтажа FCP10 (рис. 2).

Стабилизатор состоит из источника прецизионного опорного напряжения, выполненного на стабилитроне с напряжением запрещённой зоны φ_s («интегральный стабилитрон») с хорошей температурной стабильностью (не хуже 0,01 %/К); усилителя сигнала ошибки (операционного усилителя), резистивного делителя, проходного элемента, выполненного на *p-n-p*-транзисторе со сверхвысоким усилением. В линейном стабилизаторе с *p-n-p*-транзистором падение напряжения небольшое. Но схема имеет конфигурацию с общим эмиттером с большим выходным импедансом, поэтому к конденсатору, требующемуся для обеспечения устойчивости, предъявляются высокие требования – величина его ёмкости не должна сильно отличаться от рекомендуемой, и его эквивалентное последовательное сопротивление (Equivalent Series Resistance, ESR) не должно быть велико. Рекомендуется устанавливать конденсатор с минимальной ёмкостью 10 мкФ и размещать его необходимо непосредственно на входных питающих контактах параллельно нагрузке. При установленном конденсаторе уровень шума на выходе не более 400 мкВ в диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц. Нестабильность по току при изменении тока нагрузки от 10 мА до 1,5 А составляет $\pm 0,2\%$. Нестабильность по напряжению при токе в нагрузке 10 мА и изменении входного напряжения от минимального до максимального значения 26 В составляет $\pm 0,05\%$.

Подача TTL-сигнала низкого уровня на вход управления переводит стабилизатор в режим пониженного потребления – в режиме покоя потребляется ток около 10 мкА. Высокий уровень на входе активирует внутренние схемы смещения и включает устройство. В случае, когда не планируется использовать функцию дистанционного управления, необходимо вывод Enable соединить с выводом IN.

Модели с фиксированным выходным напряжением снабжены сигнальным выводом состояния (FLAG), активный низкий уровень сигнала на выходе компаратора диагностирует

состояние выхода из рабочего режима. Сигнал извещает о состоянии низкого входного напряжения на входе и ограничении выходного тока. Чрезвычайно высокий уровень импульсов напряжения на входе также активирует выход сигнала. Открытый коллектор сигнала состояния позволяет подтянуть этот выход к шине напряжения от 3 до 26 В. Эта особенность позволяет организовать сопряжение с практически любыми логическими схемами.

На рис. 3 представлена схема корректного включения микросхемы LSK5101-00 в режиме подстройки выходного напряжения. Последовательное включение резисторов R1+R2 должно быть выбрано таким, чтобы обеспечить требование к минимальному выходному току стабилизатора 10 мА.

Необходимое выходное напряжение определяется по формуле:

$$V_{\text{OUT}} = 1,24 \text{ В} \times [1 + (R1/R2)].$$

Падение напряжения на регулирующем транзисторе 350 мВ (максимальное значение 600 мВ) при максимальном выходном токе 1,5 А.

Микросхемы LDO-стабилизаторов напряжения стабильно функционируют при рабочих температурах от -55°C до $+125^\circ\text{C}$. Диапазон температур хранения от -65°C до $+150^\circ\text{C}$.

На рис. 4 показана эквивалентная схема линейного стабилизатора LSK5215-1.5 с фиксированным выходным напряжением 1,5 В, выполненного в корпусе SMD-1.

Стабилизатор с фиксированным выходным напряжением состоит из прецизионного источника опорного напряжения (ИОН) на основе интегрального стабилитрона – напряжение стабилизации равно ширине запрещённой зоны полупроводника (кремния), составляющей примерно 1,205 В с высокой температурной стабильностью. ИОН служит для создания необходимого входного опорного уровня для усилителя сигнала ошибки. Усилитель ошибки (операционный усилитель с большим коэффициентом усиления и малым температурным уходом) формирует сигнал рассогласования на основании сравнения напряжения источника опорного напряжения и сигнала от измерителя сигнала, выполненного в виде резистивного делителя. Существенное снижение падения напряжения на стабилизаторе достигается путём

Таблица 1. Основные параметры микросхем регуляторов напряжения с небольшим падением напряжения на регулирующем элементе уровня качества Military

Заказной номер	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток (макс.), А	Вход управления EN	Корпус	Уровень качества	Промышленный аналог
LSK5101-00	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	Регулируемое ($1,24 \sim V_{IN} - V_D$)	1,5	Есть	FCP10	QJB(H)/K	MSK5101-00
LSK5131-1.5TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,5	3	Есть	TO-253-5-TD	QJB(H)/K	MSK5131-1.5TD
LSK5131-1.8TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,8	3	Есть	TO-253-5-TD	QJB(H)/K	MSK5131-1.8TD
LSK5131-1.9TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,9	3	Есть	TO-253-5-TD	QJB(H)/K	MSK5131-1.9TD
LSK5131-12TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	12	3	Есть	TO-253-5-TD	QJB(H)/K	MSK5131-12TD
LSK5131-2.5TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	3	Есть	TO-253-5-TD	QJB(H)/K	MSK5131-2.5TD
LSK5131-3.3TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	3	Есть	TO-253-5-TD	QJB(H)/K	MSK5131-3.3TD
LSK5131-5.0TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	3	Есть	TO-253-5-TD	QJB(H)/K	MSK5131-5.0TD
LSK5215-1.5	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,5	1,5	Нет	SMD-1	QJB(H)/K	MSK5215-1.5
LSK5215-1.8	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,8	1,5	Нет	SMD-1	QJB(H)/K, H, G	MSK5215-1.8
LSK5215-1.9	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,9	1,5	Нет	SMD-1	QJB(H)/K	MSK5215-1.9
LSK5215-12	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	12	1,5	Нет	SMD-1	QJB(H)/K	MSK5215-12
LSK5215-2.5	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	1,5	Нет	SMD-1	QJB(H)/K, H	MSK5215-2.5
LSK5215-3.3	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	1,5	Нет	SMD-1	QJB(H)/K, H, G	MSK5215-3.3
LSK5215-5.0	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	1,5	Нет	SMD-1	QJB(H)/K	MSK5215-5.0
LSK5230-1.5	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,5	3	Нет	SMD-1	QJB(H)/K, H, G	MSK5230-1.5
LSK5230-1.8	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,8	3	Нет	SMD-1	QJB(H)/K, H, G	MSK5230-1.8
LSK5230-1.9	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,9	3	Нет	SMD-1	QJB(H)/K	MSK5230-1.9
LSK5230-12	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	12	3	Нет	SMD-1	QJB(H)/K	MSK5230-12
LSK5230-2.5	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	3	Нет	SMD-1	QJB(H)/K, H, G	MSK5230-2.5
LSK5230-3.3	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	3	Нет	SMD-1	QJB(H)/K, H, G	MSK5230-3.3
LSK5230-5.0 V	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	3	Нет	SMD-1	QJB(H)/K, G	MSK5230-5.0
LSK5232-1.5G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,5	3	Нет	TO-257-G	QJB(H)/K	MSK5232-1.5G
LSK5232-1.5TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,5	3	Нет	TO-257-TD	QJB(H)/K, G	MSK5232-1.5TD
LSK5232-1.8G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,8	3	Нет	TO-257-G	QJB(H)/K, H, G	MSK5232-1.8G
LSK5232-1.8TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,8	3	Нет	TO-257-TD	QJB(H)/K, H, G	MSK5232-1.8TD
LSK5232-1.9G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,9	3	Нет	TO-257-G	QJB(H)/K	MSK5232-1.9G
LSK5232-1.9TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,9	3	Нет	TO-257-TD	QJB(H)/K, H, G	MSK5232-1.9TD
LSK5232-12G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	12	3	Нет	TO-257-G	QJB(H)/K	MSK5232-12G
LSK5232-2.5G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	3	Нет	TO-257-G	QJB(H)/K, G	MSK5232-2.5G
LSK5232-2.5TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	3	Нет	TO-257-TD	G, H, QJB(H)/K	MSK5232-2.5TD
LSK5232-3.3G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	3	Нет	TO-257-G	QJB(H)/K, H, G	MSK5232-3.3G
LSK5232-3.3TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	3	Нет	TO-257-TD	QJB(H)/K, H, G	MSK5232-3.3TD
LSK5232-5.0G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	3	Нет	TO-257-G	QJB(H)/K	MSK5232-5.0G
LSK5232-5.0TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	3	Нет	TO-257-TD	QJB(H)/K, H	MSK5232-5.0TD
LSK5209	$V_{OUT} + V_D \sim 26$ $V_{OUT} - V_D \sim -26$	± 10	3 -3	Нет	TO-253-5-TD	QJB(H)/K	MSK5209TD

применения в качестве регулирующего элемента *p-n-p*-транзистора с высоким коэффициентом усиления по току h_{21} , имеющего более низкое напряжение насыщения, чем его *n-p-n* аналог. Интегральные стабилизаторы напряжения с фиксированным выходным напряжением представляют собой конструктивно и функционально законченные микросхемы, не требуют дополнительных внешних компонентов (кроме конденсаторов) и благодаря этому повышают надёжность аппаратуры.

Микросхемы защищены от переплюсовки по входу, перегрузки по току,

перегрева и выдерживают импульсы напряжения амплитудой до 60 В.

Пульсация выходного напряжения может быть минимизирована подключением к выходу фильтрующего конденсатора. Для обеспечения оптимальных рабочих характеристик рекомендуется применять конденсаторы с минимальной ёмкостью 33 мкФ, устанавливая их на выводах нагрузки. Величина эквивалентного последовательного сопротивления (ESR) не должна быть слишком низкой. Танталовые конденсаторы являются наилучшим выбором при быстрых переходных колебаниях нагрузки и

обладают достаточной стабильностью и надёжностью для работы в критических условиях. Но алюминиевые электролитические конденсаторы также отлично работают в большинстве применений. Величина ESR алюминиевых электролитических конденсаторов значительно увеличивается по мере уменьшения температуры. Танталовые конденсаторы характеризуются большим сроком службы и способностью выдерживать жёсткие условия внешней среды. Для использования в космической технике предпочтительно применение танталовых конденсаторов.

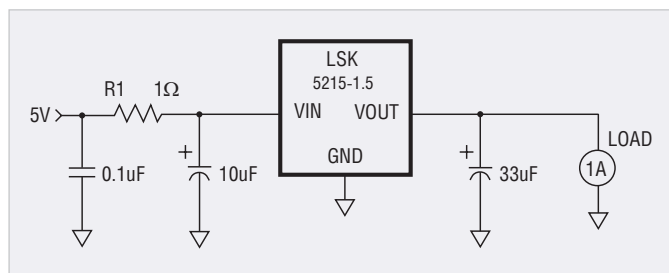


Рис. 5. Схема включения микросхемы LSK5215-1.5 для обеспечения оптимального напряжения на входе

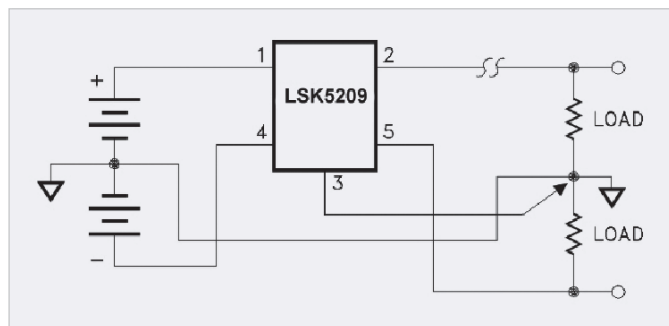


Рис. 7. Схема включения микросхемы LSK5215 для обеспечения лучшей стабилизации напряжения и устранения паразитного контура с замыканием на землю

Минимизация рассеиваемой мощности

Во многих применениях не представляется возможным воспользоваться преимуществом чрезвычайно низкого падения напряжения на регулирующем элементе стабилизатора вследствие большого перепада между входным и выходным напряжением. Простая схема, показанная на рис. 5, иллюстрирует способ снижения входного напряжения стабилизатора до правильного значения падения напряжения, обеспечив при этом минимизированное значение рассеиваемой внутренней мощности. Для заданной длительной максимальной нагрузки 1 А сопротивление резистора R1 может быть выбрано таким, чтобы падение напряжения на нём обеспечивало на входе стабилизатора напряжение 4 В. Это учитывает допустимое отклонение выходного напряжения и требования к значению падения напряжения. Резистор должен быть выбран с учётом требуемых уровней мощности.

Двухканальная микросхема стабилизатора LSK5209 обеспечивает чрезвычайно низкое падение напряжения на каналах положительного и отрицательного напряжения. Это в сочетании с низким тепловым сопротивлением «переход – корпус» Θ_{jc} делает возможным повышенный выходной ток наряду с исключительной эффек-

тивностью устройства. Вследствие повышенной эффективности устройства может быть использован небольшой герметичный 5-выводной корпус, обеспечивающий максимальные эксплуатационные показатели и наряду с этим занимающий минимальную площадь платы. Выходные напряжения отрегулированы с максимальной точностью до $\pm 1\%$, что обеспечивает стабильное и точное функционирование. Кроме того, оба канала стабилизатора обеспечивают внутреннюю защиту от короткого замыкания и тепловую защиту, что обеспечивает надёжность схемы и устраняет необходимость в применении внешних компонентов и чрезмерном снижении номинальных рабочих параметров. Эквивалентная схема микросхемы показана на рис. 6.

На рис. 7 показана схема включения микросхемы для обеспечения лучшей стабилизации напряжения и устранения паразитного контура с замыканием на землю. Для получения лучших результатов вывод заземления должен быть непосредственно соединён с нагрузкой. Это практически устраняет влияние паразитного контура с замыканием на землю и исключает избыточное падение напряжения на чувствительном участке схемы. Также важно обеспечить как можно меньшую длину соединения между стабилизатором и нагрузкой, так как это непосредственно влияет на стабиль-

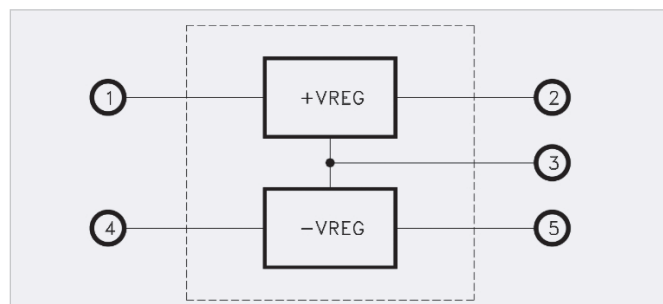


Рис. 6. Эквивалентная схема двоярного линейного стабилизатора LSK5209 с низким падением напряжения на регулирующих элементах

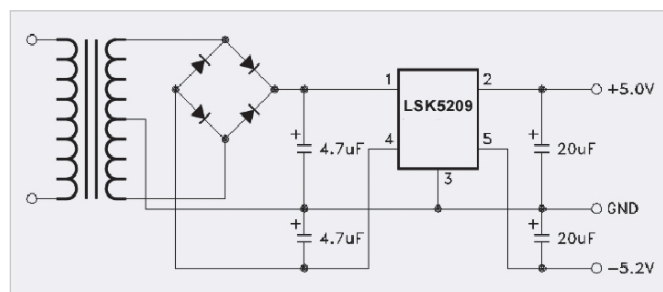


Рис. 8. Схема включения микросхемы LSK5209 с первичным источником напряжения

ность выходного напряжения и тока нагрузки. Для большей части применений на выходе стабилизатора следует установить танталовый конденсатор ёмкостью 47 мкФ как можно ближе к корпусу. Эта мера эффективно снизит выходной импеданс стабилизатора, улучшит переходную характеристику и исключит любые генерации, которые обычно могут быть связаны со стабилизаторами напряжения. Для лучшей стабилизации напряжения могут быть установлены дополнительные шунтирующие конденсаторы в месте расположения удалённой нагрузки. Рекомендуется также использовать танталовые конденсаторы. Если стабилизатор располагается не близко к конденсаторам фильтра первичного источника, должны быть добавлены танталовые конденсаторы ёмкостью 4,7 мкФ (мин.) на входе стабилизатора (рис. 8). Также можно применять электролитические конденсаторы, но при одинаковых номинальных значениях ёмкостей габариты электролитических конденсаторов будут значительно больше.

Выключение при перегрузке

Стабилизаторы напряжения снабжены защитой от перегрузки по току и тепловой защитой. Когда максимальное значение рассеиваемой мощности не превышено, стабилизаторы будут ограничивать ток немного выше их

Таблица 2. Основные параметры радиационно-устойчивых микросхем регуляторов напряжения с небольшим падением напряжения на регулирующем элементе

Заказной номер	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток (макс.), А	Вход управления EN	Радиационная стойкость, крад (Si)	Корпус	Уровень качества	Промышленный аналог
LW5101-00	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	Регулируемый (1,24 ... $V_{IN} - V_D$)	1,5	Есть	50	FCP10	YB, YC, H	MSK5101-00H
LW5101-3.3	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	1,5	Есть	50	FCP10	YB, YC, H	MSK5101-3.3H
LW5101-5	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	1,5	Есть	50	FCP10	YB, YC, H	MSK5101-5.0H
LW5115-00TS	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	Регулируемый (1,24 ... $V_{IN} - V_D$)	1,5	Есть	50	TO-253-5-TS	YB, YC, H	MSK5101-00HTS
LW5130-00TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	Регулируемый (1,24 ... $V_{IN} - V_D$)	3	Есть	50	TO-253-5-TD	H	MSK5130-00HTD
LW5131-1.5TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,5	3	Есть	50	TO-253-5-TD	H	MSK5131-1.5HTD
LW5131-2.5TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	3	Есть	50	TO-253-5-TD	H	MSK5131-2.5HTD
LW5131-3.3TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	3	Есть	50	TO-253-5-TD	H	MSK5131-3.3HTD
LW5215-1.8	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,8	1,5	Нет	50	SMD-1	H	MSK5215-1.8H
LW5215-3.3	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	1,5	Нет	50	SMD-1	H	MSK5215-3.3H
LW5230-1.5	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,5	3	Нет	50	SMD-1	YB, YC, H	MSK5230-1.5H
LW5230-1.8	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,8	3	Нет	50	SMD-1	YB, YC, H	MSK5230-1.8H
LW5230-1.9	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,9	3	Нет	50	SMD-1	YB, YC, H	MSK5230-1.9H
LW5230-2.5	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	3	Нет	50	SMD-1	YB, YC, H	MSK5230-2.5H
LW5230-3.3	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	3	Нет	50	SMD-1	YB, YC, H	MSK5230-3.3H
LW5230-5.0	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	3	Нет	50	SMD-1	YB, YC, H	MSK5230-5.0H
LW5232-1.5G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,5	3	Нет	50	TO-257-G	YB, YC, H	MSK5232-1.8HG
LW5232-1.8TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,8	3	Нет	50	TO-257-TD	YB, YC, H	MSK5232-1.8HTD
LW5232-1.9G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,9	3	Нет	50	TO-257-G	YB, YC, H	MSK5232-1.9HG
LW5232-1.9TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,9	3	Нет	50	TO-257-TD	YB, YC, H	MSK5232-1.9HTD
LW5232-12G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	12	3	Нет	50	TO-257-G	YB, YC, H	MSK5232-12HG
LW5232-2.5G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	3	Нет	50	TO-257-G	YB, YC, H	MSK5232-2.5HG
LW5232-2.5TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	3	Нет	50	TO-257-TD	YB, YC, H	MSK5232-2.5HTD
LW5232-2.5TS	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	3	Нет	50	TO-257-TS	H	MSK5232-2.5HTS
LW5232-3.3G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	3	Нет	50	TO-257-G	YB, YC, H	MSK5232-3.3HG
LW5232-5.0G	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	3	Нет	50	TO-257-G	YB, YC, H	MSK5232-5.0HG
LW5232-5.0TD	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	3	Нет	50	TO-257-TD	YB, YC, H	MSK5232-5.0HTD
LW5232-5.0TS	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	5	3	Нет	50	TO-257-TS	H	MSK5232-5.0HTS
LW5275-1.5	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,5	7,5	Нет	50	SMD-1	YB, YC, H	MSK5275-1.5H
LW5275-1.8	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,8	7,5	Нет	50	SMD-1	H	MSK5275-1.8H
LW5275-1.9	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	1,9	7,5	Нет	50	SMD-1	H	MSK5275-1.9H
LW5275-2.5	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	2,5	7,5	Нет	50	SMD-1	H	MSK5275-2.5H
LW5275-3.3	$V_{OUT} + V_D \sim 26$	3,3	7,5	Нет	50	SMD-1	YB, YC, H	MSK5275-3.3H
LW5332-5.0	-8...20	-5	3	Нет	50	TO-257-G	YB, YC, H	MSK5332-5.0H
LW5176-1.5	2,5...26	1,5	7,5	Есть	50	TO-253-5-TD	YB, YC, H	MSK5176-1.5H
LW5231	$V_{IN} - V_{OUT} 1,5...35$	Регулируемый	3	Нет	100	SMD-1	H	MSK5231H
LW5251-1.2	3,3...6,5	1,2	5	Нет	100	SMD-1	H	MSK5251-1.2H

номинального значения 3 А. Тем не менее, когда разница между входным и выходным напряжением $V_{IN} - V_{OUT}$ повышается, отключение происходит относительно графика максимальной рассеиваемой мощности (рис. 9).

В том случае, когда устройство сильно нагрелось и температура перехода его кристалла (+150°C) превышает номинальную температуру из-за чрезмерной температуры окружающей среды, недостаточного отвода тепла

и т.д., стабилизаторы также отключаются до тех пор, пока не будет достигнута соответствующая температура полупроводникового перехода. Следует также заметить, что в случае критической перегрузки, такой как длительное короткое замыкание, устройство не сможет восстановить рабочее состояние. В этих случаях оно должно быть выключено, после чего напряжение приложено повторно после устранения причины отключения.

Радиационно-устойчивые микросхемы линейных стабилизаторов напряжения с малым падением напряжения на регулирующем элементе

Радиационно-устойчивые модели интегральных линейных стабилизаторов предназначены для длительной работы в бортовой аппаратуре космических аппаратов в условиях воздействия полей ионизирующей радиации.

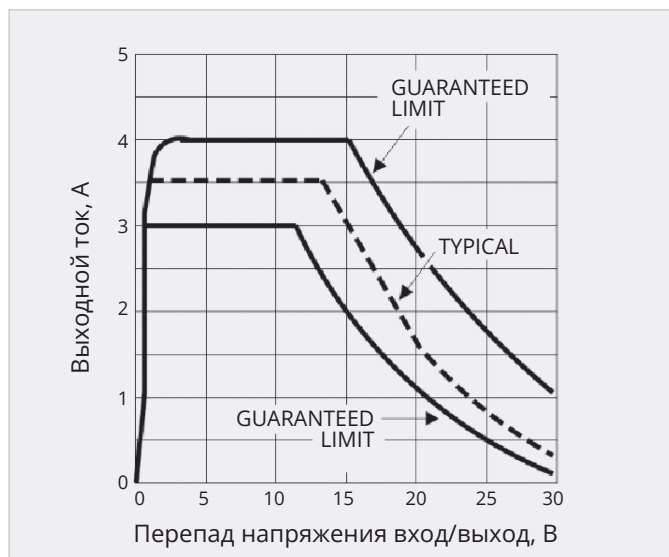


Рис. 9. График зависимости выходного тока от разницы между входным и выходным напряжениями микросхемы LSK5209

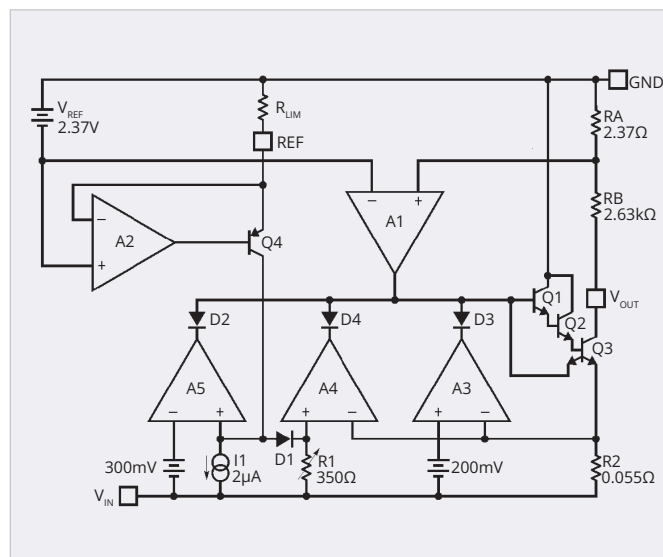


Рис. 10. Упрощённая электрическая схема радиационно-устойчивого интегрального стабилизатора напряжения LW5332-5.0

щих излучений космического пространства и других воздействующих факторов внешней среды. Компания M.S. Kennedy для производства своих изделий применяет радиационно-стойкие кристаллы, которые обеспечивают стойкость к эффекту полной накопленной дозы 100 крад (Si).

Микросхемы линейных стабилизаторов напряжения с малым падением напряжения на регулирующем элементе предприятия ХМТИ, основные характеристики которых представлены в табл. 2, характеризуются стойкостью к эффекту полной накопленной дозы 50 крад (Si), только для двух моделей значение этого параметра указано 100 крад (Si).

Стабилизаторы напряжения, выпускаемые предприятием ХМТИ для применения в изделиях космического приборостроения, изготавливаются по биполярной технологии в виде монолитных интегральных микросхем, все элементы которых выполняются на одной общей кремниевой подложке. Для уменьшения влияния ионизирующего излучения на электрические параметры устройств для изоляции элементов схемы применяется изоляция диэлектрической плёнкой, в качестве которой применяется слой двуоксида кремния SiO₂. Применение диэлектрической плёнки для разделения отдельных элементов микросхемы приводит к уменьшению токов утечки и исключает образование паразитных транзисторных структур.

Основным недостатком диэлектрической изоляции является увеличение

числа технологических операций и, соответственно, стоимости. Как отмечалось ранее, линейные стабилизаторы напряжения состоят из блоков, которые выполнены на основе различных структур и имеют схемотехнические особенности. Для повышения уровня радиационной стойкости каждого блока стабилизатора напряжения применяются различные конструктивно-технологические приёмы и схемотехнические меры, подбираются оптимальные режимы работы, которые подробно рассмотрены в многочисленной литературе [2], [3].

Для повышения радиационной стойкости микросхемы горизонтальный (боковой, продольный, латеральный) *p-n-p*-транзистор, который имеет низкую устойчивость к воздействию радиации, заменяется на транзистор с вертикальной структурой. Вместо диффузионных резисторов применяются тонкоплёночные резисторы – диффузионные резисторы, так же, как и транзисторы, при высоком уровне ионизации закорачиваются фототоками. Применяются также поликремниевые высокоомные и низкоомные резисторы.

Линейные стабилизаторы напряжения являются одними из самых уязвимых узлов, причём модели с малым выходным напряжением (до 5 В) демонстрируют более низкий уровень параметрического отказа по сравнению с моделями с большим уровнем выходного напряжения (от 5 В и более). При воздействии стационарного ионизирующего излучения радиа-

ционную стойкость устройства будут определять микросхемы с малым уровнем выходного напряжения [4]. Наиболее чувствительным к воздействию импульсного ионизирующего излучения и дозовым эффектам облучения является выходное напряжение, причём стабилизаторы напряжения отрицательной полярности более чувствительны к эффектам мощности дозы, дозовая деградация параметров стабилизаторов замедляется при уменьшении напряжения питания.

Далее более подробно рассмотрим радиационно-устойчивый интегральный стабилизатор напряжения LW5332-5.0 с отрицательным выходным напряжением.

Структура радиационно-устойчивой микросхемы LW5332-5.0 с выходным напряжением –5 В и падением напряжения 1,2 В на регулирующем элементе приведена на рис. 10.

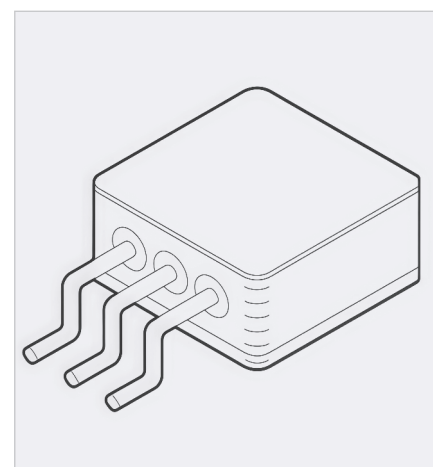


Рис. 11. Внешний вид корпуса LW5332

Таблица 3. Электрические характеристики радиационно-устойчивого линейного интегрального стабилизатора напряжения LW5332-5.0

Параметр	Обозначение	Режим тестирования	Мин. значение	Макс. значение	Единица измерения
Диапазон выходного напряжения	V_{OUT}	$I_{OUT} = 10 \text{ мА}, V_{IN} = V_{OUT} + 3 \text{ В}$	-5,05	-4,95	В
Падение напряжения	VDO	$0 \text{ А} \leq I_{OUT} \leq 3 \text{ А}, \Delta V_{OUT} = 1\%$	-	1,2	В
Коэффициент нестабильности по току	SL	$10 \text{ мА} \leq I_{OUT} \leq 3 \text{ А}, V_{IN} = V_{OUT} + 3 \text{ В}$	-1	1	%
Коэффициент нестабильности по напряжению	SV	$I_{OUT} = 10 \text{ мА}, (V_{OUT} + 3 \text{ В}) \leq V_{IN} \leq (V_{OUT} + 15 \text{ В})$	-0,5	0,5	%
Ток покоя	IQ	$V_{IN} = V_{OUT} + 3 \text{ В}, I_{OUT} = 10 \text{ мА}$	-	10	мА
Ток короткого замыкания	ISC	$V_{IN} = V_{OUT} + 5 \text{ В}$	-	-3,3	А
Подавление пульсаций	RR	$I_{OUT} = 3 \text{ А}, C_{OUT} = 25 \text{ мкФ}, f = 120 \text{ Гц}$	60	-	дБ

Таблица 4. Электрические характеристики микросхемы стабилизатора напряжения LW5332-5.0 после воздействия ионизирующего излучения

Параметр	Обозначение	Режим тестирования $T_A = 25^\circ\text{C}, C_{OUT} \geq 33 \text{ мкФ}$	Мин. значение	Макс. значение	Единица измерения
Диапазон выходного напряжения	V_{OUT}	$I_{OUT} = 10 \text{ мА}, V_{IN} = V_{OUT} + 3 \text{ В}$	-5,10	-4,90	В
Падение напряжения	V_{DO}	$I_{OUT} = 250 \text{ мА}, \Delta V_{OUT} = 1\%$	-	1,2	В
Коэффициент нестабильности по напряжению	S_V	$I_{OUT} = 10 \text{ мА}, (V_{OUT} + 3 \text{ В}) \leq V_{IN} \leq (V_{OUT} + 15 \text{ В})$	-0,75	0,75	%
Коэффициент нестабильности по току	S_L	$V_{IN} = V_{OUT} + 3 \text{ В}, 10 \text{ мА} \leq I_{OUT} \leq 3 \text{ А}$	-2	2	%
Ток покоя (статический ток)	I_Q	$V_{IN} = V_{OUT} + 3 \text{ В}, I_{OUT} = 10 \text{ мА}$	-	10	мА

Схема состоит из следующих основных функциональных узлов:

- источника опорного напряжения (2,37 В);
- узла сравнения и усиления сигнала рассогласования (операционный усилитель A1);
- последовательного регулирующего элемента (транзисторы Q1, Q2, Q3);
- узла защиты от перегрузок по току;
- узла защиты от теплового перегрева;
- цепи отрицательной обратной связи, образуемой делителем напряжения R_A, R_B .

Микросхема имеет в составе несколько усилительных каскадов, транзисторы входных каскадов которых

защищаются транзисторами в диодном включении для закорачивания фототоков, имеются также резисторы между цепями возможных соединений с шинами источников питания. Использование специальных методик отбраковки потенциально нестойких образцов, в частности, радиационно-термическая обработка, даёт возможность отбраковывать кристаллы с макродефектами, расположенными в пассивирующей оксидной плёнке над p-n-переходом, и тем самым повышать процент выхода годных изделий на пластине и, как следствие, надёжность бортовой аппаратуры космических аппаратов.

Электрические параметры микросхемы практически не меняются при воздействии ионизирующего излучения (табл. 3 и табл. 4) – гарантирует стойкость к эффекту полной накопленной дозы не менее 50 крад (Si).

Микросхема выпускается в трёхвыводном корпусе с выводами типа «крыло чайки» (корпус TO-257-G) с тепловым сопротивлением на участке переход–корпус $R_{\theta JC} = 7^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (рис. 11).

Рекомендации по применению микросхемы LW5332-5.0 аналогичны рекомендациям, рассмотренным для микросхемы LSK5209.

Заключение

Представленные интегральные стабилизаторы напряжения по электрическим и конструктивным параметрам являются практически полными аналогами линейных стабилизаторов компании M.S.Kennedy (США), что позволяет применять их в разработанной серийной аппаратуре без перепроектирования конструкции. Долговременная надёжность и высокая стабильность рабочих характеристик стабилизаторов в жёстких условиях эксплуатации гарантируется совершенной системой обеспечения качества электронной продукции, разработанной на предприятии ХМТИ: контроль пластины – комплексные испытания – термотренировка – анализ отказа. Объём испытаний, все проверки и испытательные процедуры осуществляются согласно требованиям китайских стандартов качества GJB, которые практически совпадают с американскими стандартами MIL и европейскими стандартами ECSS.

Литература

1. Яковлев Д. Радиационно-стойкие изделия корпорации M.S. Kennedy // Компоненты и технологии. 2013. № 11.
2. Бойченко Д.В., Кессаринский Л.Н., Давыдов Г.Г. Радиационные эффекты космического пространства в аналоговых интегральных схемах // в сб. «Радиационная стойкость изделий ЭКБ»: Научное издание / под ред. А.И. Чумакова. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. 512 с.
3. Чумаков А.И. Радиационные эффекты в интегральных схемах. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2024. 384 с.: ил.
4. Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В. Космическая электроника. В 2 кн. Кн. 1. М.: Техносфера, 2015. 696 с.



Соединители серии СКЦ102 для высокоскоростной передачи информации, работы в радиочастотных трактах, мультиплексорных линиях информационного обмена и подключения питания

Сергей Галинович

Акционерное общество «Завод Атлант», входящее в состав IPG PROM GROUP, освоило в серийное производство номенклатуру соединителей, обеспечивающих решение задач по организации высокоскоростной передачи информации, реализации проектов по монтажу локальных сетей и обмена данных, подключению периферийных устройств и передаче радиочастотных сигналов.

Современные технологии в авиационной, космической и технике гражданского и двойного назначения, а также в объектах АСУ ТП РЖД, нефтегазовой и энергетической отраслях становятся всё более сложными, требуя управления растущим потоком информации на более высоких скоростях. Большой рост объёмов передаваемой и обрабатываемой информации реализуется на высокоскоростной передаче данных с использованием дифференциальных пар, где два сигнала передаются одновременно по двум проводникам, но с противоположными направлениями тока или фазы (рис. 1).



Рис. 1. Разъём серии СКЦ102 Вилка приборного исполнения СКЦ102-8/25В011-NFP с комбинированным подключением вставок-контактов

Номенклатура

АО «Завод Атлант» серийно изготавливает и поставляет на рынки применения изделия серии СКЦ102 по КРШЕ.430421.001 ТУ для предприятий ВПК и по СЦНК.430421.010ТУ для применения в гражданских отраслях промышленности. Данные изделия позволяют решать задачи:

- по высокоскоростной передаче информации в линиях информационного обмена по протоко-

лам 10/100/1000 BASE-T стандарта Ethernet на базе дифференциальных пар на частотах до 3 ГГц;

- организации локальных вычислительных сетей и обмена данных стандарта Ethernet на базе витых пар;
- подключения периферийных устройств к вычислительной технике с обеспечением обмена данными со скоростью передачи информации до 480 Мбит/с на базе витых пар;
- организации передачи радиочастотных сигналов с частотами до 3 ГГц и 18 ГГц;
- подключения питания с токовыми нагрузками до 41 А и напряжением до 150 В.

Номенклатурный ряд соединителей серии СКЦ102 представлен вилками и розетками как приборного исполнения с прямоугольным фланцем, так и соответствующим исполнением для монтажа на кабель. Изделия являются функциональными аналогами ф. Amphenol серии III по MIL-DTL-38999 для установки вставок-контактов #8 условного размера и полностью взаимозаменяемы и взаимосочленимы с импортными разъёмами.

Линейка соединителей соответствует 9, 11, 17, 21, 23, 25 условным размерам корпусов по MIL-DTL-38999 (рис. 2).



Рис. 2. Разъёмы серии СКЦ102. Приборное и кабельное исполнение

В серии СКЦ102 выпускаются изделия с покрытием никелем и кадмием (рис. 3), обеспечивающие защиту от агрессивных воздействующих факторов.



Рис. 3. Разъёмы серии СКЦ102: Розетка СКЦ102-1/11Р011-NWII, покрытие кадмий; Вилка СКЦ102-1/11В011-NFP, покрытие никель, приборное исполнение

Конструктивное исполнение соединителей имеет 7 вариантов пятишпоночных поляризационных ключей, чтобы неправильное соединение сопрягаемых частей было исключено. Для обеспечения надёжного соединения при вибрациях, ускорениях и в тяжёлых условиях эксплуатации соединители серии СКЦ102 оснащены трёхзаходной резьбой самозапирающимся замком. Соединители имеют всеклиматическое исполнение и предназначены для внутреннего и наружного монтажа.

Соединители серии СКЦ102 поставляются в собранном виде. Аксессуары к соединителям (прямые, угловые кожухи, гайки, эксплуатационные заглушки, «извлекатели» контактов, обжимной инструмент) поставляются по отдельному заказу.

Решаемые задачи

Для реализации задач по высокоскоростной передаче информации и построения локальных линий информационного обмена протокола 10/100/1000 BASE-T стандарта Ethernet длиной не более 100 метров, скоростью передачи информации

до 1000 Мбит/с на частотах до 3 ГГц, волновым сопротивлением 100 Ом предприятием серийно изготавливаются и поставляются вставки-контакты #8 условного размера для установок в соединители серии СКЦ102.

Тип ТВ8

Извлекаемые твинаксиальные вставки-контакты (штырь и гнездо) (рис. 4) для подключения одной дифференциальной пары методом обжимки на кабель.



Рис. 4. Тип ТВ8 (твинаксиальные вставки-контакты)

Тип КВ8

Извлекаемые квадраксиальные вставки-контакты (штырь и гнездо) (рис. 5) для подключения двух дифференциальных пар методом обжимки на кабель.

Вставки-контакты КВ8-100-Ш(Г)О-101 предназначены для монтажа на кабели: Tensolite NF24Q100, ABS 1503 KD24, а также отечественных марок КВЭО-100-200-1×4-0,59, КВСЭО-100-200-1×4-0,59 ДКЮГ.358300.031ТУ.



Рис. 5. Тип КВ8 (квадраксиальные вставки-контакты)

Предусмотрен конструктивный вариант вставок-контактов КВ8-100-Ш(Г)О-102 для монтажа на кабель КВЧнг(А)-5е-БГ 1×4×0,78 ФЖТК.357400.063ТУ.

Номенклатурный ряд вставок-контактов типа КВ8 (рис. 6) имеет конструктивный типонаминал для непосредственного монтажа в отверстия печатной платы.

Применение КВ8-100-Ш(Г)П-151(162) позволяет уменьшить массогабаритные характеристики приборов.



Рис. 6. КВ8 конструктивный типонаминал для непосредственного монтажа в отверстия печатной платы

Тип КВКВ8

Извлекаемые октоаксиальные вставки-контакты КВКВ8-100-Ш(Г)О-102 (рис. 7) обеспечивают подключение 4 дифференциальных пар и монтируются на кабель СК-КФ 4×2×0,40 ФЖТК.357400.085ТУ методом обжимки.



Рис. 7. Тип КВКВ8 (октоаксиальные вставки-контакты)

Применение соединителей серии СКЦ102 и вставок-контактов типов ТВ8, КВ8, КВКВ8 (рис. 8) позволяет гибко решать проекты по применению разных конструктивных особенностей у потребителя и решать сложные схематические задачи.



Рис. 8. Разъёмы серии СКЦ102и ШНЦ160. Схема применения соединителей в проекте по высокоскоростной передаче информации

Для реализации решений организации передачи радиочастотных сигналов предприятием разработаны и серийно поставляются радиочастотные вставки-контакты #8 условного размера для установки в соединители СКЦ120.

Тип РЧ8

Извлекаемые радиочастотные вставки-контакты (штырь и гнездо) #8 условного размера.

РЧ8-50(75)Ш(Г)О-101 (рис. 9) с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом, с рабочей частотой до 3 ГГц для монтажа на кабель: РК 50-1,5-11 ГОСТ 11326.62, РК 50-1,5-21 ГОСТ 11326.73, РК 75-1,5-11 ГОСТ 11326.68, РК 75-1,5-22 ТУ 16-505.197.



Рис. 9. Тип РЧ8 радиочастотные вставки-контакты (штырь и гнездо) #8 условного размера

Тип РЧ8-Пк

Для работы на частотах до 18 ГГц серийно поставляются вставки-контакты (штырь и гнездо) РЧ8-50Ш(Г)Пк-102 (рис. 10) – с волновым сопротивлением 50 Ом для монтажа на кабель РК-50-1,5-218 ДКЮГ.358800.023ТУ.

РЧ8-75Ш(Г)Пк-103 – с волновым сопротивлением 75 Ом, для монтажа на кабель РК-50-1,5-211 ДКЮГ.358800.023ТУ.



Рис. 10. Тип РЧ8-Пк

Предприятие предлагает комплексную поставку изделий для выполнения проектов передачи информации в радиочастотных трактах (рис. 11) до 3 ГГц вставок-контактов типа РЧ8-50 с соединителями собственного производства серии СР-50-1, СР-50-2 (аналоги серии SMB, MCX) и для работы в радиочастотном диапазоне до 18 ГГц с разъёмами серии СР-50-7 (аналоги серии SMA).

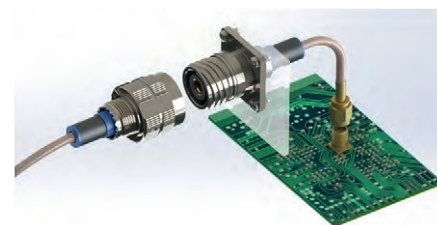


Рис. 11. Разъёмы серий СКЦ102 и СР-50-7. Схема применения разъёмов серии СКЦ102 с вставкой-контактом типа РЧ8-50Пк и радиочастотных соединителей серии СР-50-7

Тип TP8

75-омные радиочастотные коаксиальные вставки-контакты #8 условного размера (рис. 12) предназначены для работы в радиочастотных трактах в диапазоне частот до 500 МГц. Номенклатура представлена штыревой вставкой-контактом TP8-75ШО-100, предназначенной для монтажа на кабель и гнездовым исполнением TP8-75-ГП-101 для монтажа в отверстия платы.



Рис. 12. Тип TP8

Тип КТВ8

Радиочастотные 75-омные концентрические твинаксиальные вставки-контакты для работы в мультиплексных системах передачи информации в диапазоне частот до 20 МГц (рис. 13).

Конструктивное исполнение КТВ8-75-Ш(Г)О-101 для монтажа на кабель КВСТ-75 ДКЮГ.358300.010ТУ, КТВ8-75-Ш(Г)О-102 на кабель КВСФ-75 ТУ 16.705.198-81.



Рис. 13. Тип КТВ8

Вставки-контакты, предназначенные для работы в радиочастотных трактах, поставляются по СЦНК.430451.001 ТУ для предприятий ВПК и по СЦНК.430451.003ТУ для применения в гражданских отраслях промышленности.

Гарантией безотказной работы вставок-контактов является правильный выбор их для соединителей СКЦ102 с учётом технических параметров и эксплуатационных режимов, которые в процессе эксплуатации не должны превышать значений, указанных в технических условиях СЦНК.430451.001ТУ.

Новинка

В настоящее время предприятие серийно проводит поставки соединителей СКЦ102 с RJ45 вставкой (8P8S-

вставкой) и USB2.0 отечественного производства.

Соединители цилиндрические СКЦ102 с RJ45-вставкой (8P8S-вставка) (рис. 14) предназначены для подключения телекоммуникационного оборудования при организации локальных компьютерных сетей.



Рис. 14. Соединители цилиндрические СКЦ102 с RJ45-вставкой (8P8S-вставка)

Соединители цилиндрические СКЦ102 с USB2.0 (тип А) вставкой предназначены для подключения периферийных устройств к вычислительной технике с обеспечением обмена данными со скоростью передачи информации до 480 Мбит/с.

Конструктивные исполнения данных изделий включают в себя:

- кабельную вилку для объёмного монтажа на кабель с RJ45-вставкой (8P8S-вставкой) и USB2.0;
- приборную розетку для объёмного монтажа на кабель;
- приборную розетку для прямого печатного монтажа в отверстия печатной платы;
- приборную розетку врубного коммутационного сочленения для подключения коммутационного кабеля с разъёмом RJ45-вставкой (8P8S-вставкой) или USB2.0.

Соединители изготавливаются во всеклиматическом исполнении и предназначены для ручной сборки (монтажа) аппаратуры.

Новые разработки

АО «Завод Атлант» в настоящее время проводит ряд опытно-конструкторских работ по постановке на производство линейки новых изделий СКЦ102 (рис. 15) для нужд ракетно-космической отрасли, самолётостроения, нефтегазового кластера и других отраслей промышленности.

Герметичный переходник вилка комбинированная СКЦ102 для линий информационного обмена протокола 10/100/1000 BASE-T, 10G BASE-T стандарта Ethernet и подключения питания с токовой нагрузкой до 41 А, напряжением до 150 В.



Рис. 15. Вилка комбинированная СКЦ102

Разъём предназначен для эксплуатации при перепаде давления $1,3 \cdot 10^{-7}$ Па при выводе интерфейсов стандарта Ethernet из герметичных отсеков.

Для управления потоками информации, радиочастотными трактами и питанием разрабатываются комбинированные соединители СКЦ102 с извлекаемыми сигнальными контактами #22D (рис. 16) с токовыми нагрузками до 5 А.



Рис. 16. Соединитель СКЦ102 с извлекаемым сигнальным контактом #22D

Для обеспечения подключения питания на базе разъёмов СКЦ102 ведётся разработка силовых вставок-контактов СВ8 #8 условного размера (рис. 17), обеспечивающих токовую нагрузку до 41 А напряжением 150 В.



Рис. 17. Силовые вставки-контакты СВ8 #8 условного размера

Предприятие проводит гибкую ценовую политику, ориентированную на заказчика, и готово при необходимости масштабировать свои мощности, внедрять новые технологии, добавлять элементы производственной кооперации, необходимые для комплексного оказания услуг заказчику.

АО «Завод Атлант»
market@zavodatlant.ru
<https://zavodatlant26.pf>
+7 (865 45) 2-44-75, 2-52-75
Сергей Галинович



Применение микросхемы КР1114ЕУ4А в импульсных источниках вторичного электропитания

Сергей Шишкин

В данной публикации автор приводит схемотехнические решения для построения импульсных источников вторичного электропитания с применением отечественного ШИМ-контроллера КР1114ЕУ4А – аналога TL494CN. Рассмотрены примеры повышающего и понижающего импульсных стабилизаторов напряжения, регулируемого двухтактного преобразователя напряжения, а также двухканального стабилизатора тока.

Введение

Отечественная микросхема КР1114ЕУ4А (далее КР1114ЕУ4А или микросхема) предназначена для построения различных схем управления с широтно-импульсной модуляцией ШИМ на выбранной (фиксированной) частоте. В настоящее время выпускается серийно. Производитель АО «ГРУППА КРЕМНИЙ ЭЛ», Россия. Внешний вид микросхемы КР1114ЕУ4А в корпусе 16-DIP приведён на рис. 1.

TL494CN выпускается фирмой TEXAS INSTRUMENT (США). Кроме того, она выпускается рядом фирм под разными наименованиями. Например, фирма SHARP (Япония) выпускает микросхему IR3M02, фирма SAMSUNG (Корея) – KA7500, фирма FUJITSU (Япония) – MB3759. На базе данной микросхемы можно разрабатывать самые различные схемы управления для двухтактных и однотактных импульсных источников питания. КР1114ЕУ4А обеспечивает разработчику расширенные возможности при разработке схем управления источников вторичного электропитания ИВП и

реализует полный набор функций ШИМ-управления. Микросхема осуществляет формирование опорного напряжения, усиление сигнала ошибки, формирование пилообразного напряжения, ШИМ-модуляцию, формирование 2-тактного выхода, защиту от сквозных токов, защиту от перегрузок, внешнюю синхронизацию, обеспечение мягкого запуска, широкий диапазон регулировки, возможность внешнего включения. Основные технические характеристики и предельно допустимые режимы эксплуатации этой микросхемы приведены в табл. 1.

Более подробное описание микросхемы приведено в [1] и [2]. Независимые выходные формирователи микросхемы на транзисторах обеспечивают возможность работы выходного каскада по схеме с общим эмиттером или по схеме эмиттерного повторителя. Конечно, только в одной публикации невозможно описать все применения данной микросхемы. Рассмотрим её применение в следующих типовых схемах на конкретных примерах:

- импульсного понижающего стабилизатора напряжения;
- импульсного повышающего стабилизатора напряжения;
- импульсного регулируемого двухтактного преобразователя напряжения;
- импульсного двухканального стабилизатора тока.

Импульсный понижающий стабилизатор напряжения

Функциональная схема импульсного понижающего стабилизатора напряжения приведена на рис. 2.

В импульсном понижающем стабилизаторе напряжения (далее ПСН) регулирующим элементом РЭ преобразует входное постоянное напряжение $U_{вх}$ в серию последовательных импульсов определённой длительности и частоты, а сглаживающий фильтр (диод VD1, дроссель L1, конденсатор C1) преобразует их опять в выходное постоянное напряжение. С помощью обратной связи схема управления СУ управляет регулирующим элементом таким образом, что в итоге позволяет получить заданную стабильность выходного напряжения $U_{н}$. Схемы управления в импульсных стабилизаторах выполняются в зависимости от способа стабилизации выходного напряжения. Сами же стабилизаторы в зависимости от способа стабилизации могут быть отнесены к следующим системам регулирования: релейная систе-



Рис. 1. Внешний вид микросхемы КР1114ЕУ4А

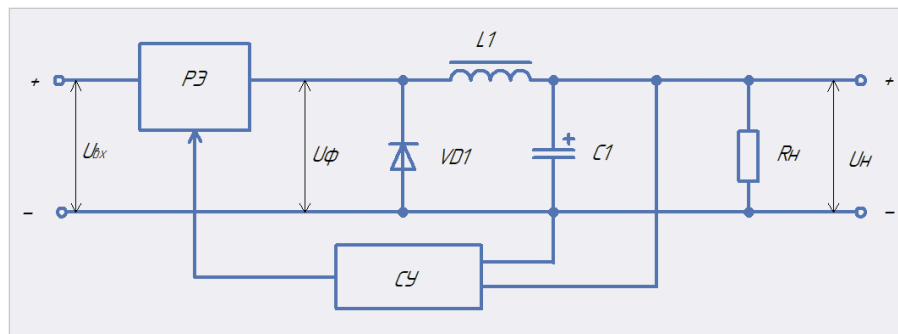


Рис. 2. Функциональная схема импульсного понижающего стабилизатора напряжения

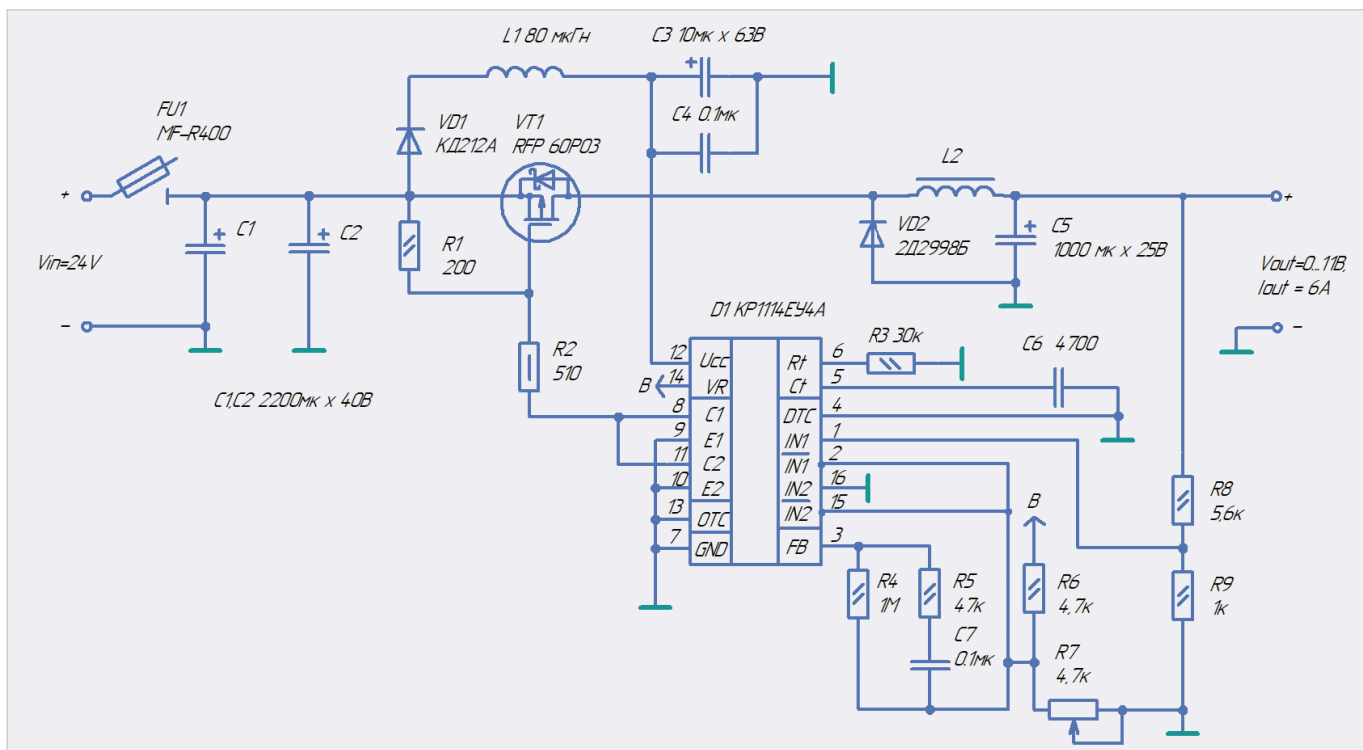


Рис. 3. Принципиальная схема импульсного понижающего стабилизатора напряжения

ма регулирования (РСР) с частотно-импульсной модуляцией (ЧИМ), а также с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

В стабилизаторах с ШИМ частота импульсов – величина стабильная, а их длительность обратно пропорциональна значению выходного напряжения. К недостаткам схемы с ШИМ, пожалуй, можно отнести сравнительно сложную схему управления. Основные функциональные узлы схемы управления с ШИМ: источник опорного напряжения, задающий гене-

ратор, усилитель ошибки (один или несколько), ШИМ-компаратор, выходные усилители (формирователи). Применение интегральных микросхем типа KP1114EY4A, а также других ШИМ-контроллеров позволяют значительно упростить схему управления импульсных источников вторичного электропитания ИВЭП, в частности, упростить схему ПСН.

Принципиальная схема ПСН приведена на рис. 3.

Основные технические характеристики ПСН приведены в табл. 2.

В представляемом ПСН максимальное входное напряжение может быть доведено до 30 В, оно ограничено максимально допустимым напряжением сток-исток р-канального полевого транзистора VT1 RFP 60P03 фирмы MITSUBISHI ELECTRIC. Резистор R3 и конденсатор C6 задают частоту генератора пилообразного напряжения. Частота генератора в KP1114EY4A определяется по формуле: $f = 1,1/R_3 \cdot C_6$. С источника опорного напряжения (вывод 14) через резистивный делитель R6, R7 на инвертирующий вход

Таблица 1. Основные технические характеристики KP1114EY4A

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания Ucc	41 В
Входное напряжение усилителя	(Ucc+0,3) В
Выходное напряжение коллектора	41 В
Выходной ток коллектора (каждого транзистора)	250 мА
Выходное опорное напряжение	4,75...5,25 В
Общая мощность рассеивания в непрерывном режиме (корпус DIP-16 при Ta < 25°C)	1000 мВт
Рабочий диапазон температур окружающей среды	-10...+70°C
Ток через вывод обратной связи	< 0,3 мА
Ёмкость времязадающего конденсатора Ct	0,0...10 000 нФ
Сопротивление времязадающего резистора	1...500 кОм
Частота генератора	1...300 кГц
Ток потребления микросхемы	< 20 мА
Длительность фронта импульса выходного тока	< 200 нс
Длительность спада импульса выходного тока	< 100 нс

Таблица 2. Основные технические характеристики импульсного понижающего стабилизатора напряжения

Наименование параметра	Значение
Входное напряжение, В	20...30
Выходное напряжение, В	0...11
Максимальный ток нагрузки, А	До 6
Среднее значение КПД при максимальном токе нагрузки во всём интервале выходного напряжения, %	≈ 90
Амплитуда пульсаций выходного напряжения, мВ	<100
Нестабильность выходного напряжения при изменении тока нагрузки и температуры окружающей среды, от номинального значения, %	1
Частота преобразования, кГц	15
Интервал рабочей температуры, °C	-25...+85

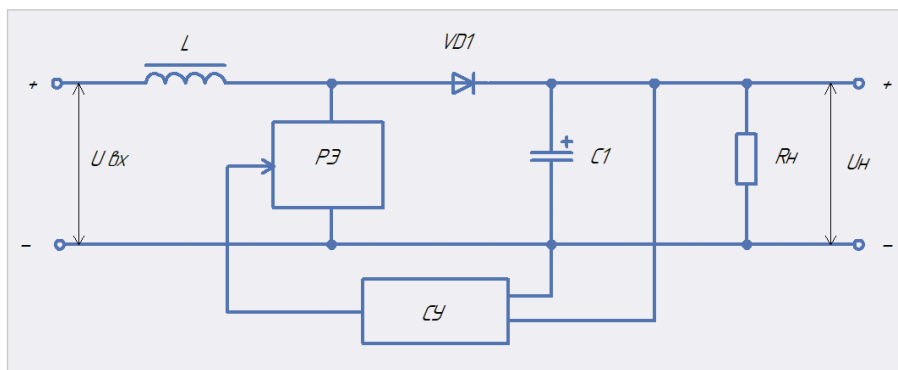


Рис. 4. Функциональная схема импульсного параллельного стабилизатора напряжения повышающего типа

усилителя ошибки № 1 (вывод 2) подаётся часть образцового напряжения. Сигнал обратной связи через делитель R8, R9 подаёт на неинвертирующий вход усилителя ошибки № 1 (вывод 1) микросхемы. Регулировка выходного напряжения осуществляется резистором R7. Резистор R5 и конденсатор C7 осуществляют частотную коррекцию усилителя ошибки № 1.

Следует отметить, что независимые выходные формирователи микросхемы обеспечивают работу выходного каскада как в двухтактном, так и в однотактном режимах. В ПСН выходной формирователь микросхемы включён в однотактном режиме. Для этого вывод 13 включён на землю. Два выходных транзистора (коллекторы – выводы 8, 11; соответственно эмиттеры – выводы 9, 10) включены

по схеме с общим эмиттером и работают параллельно. При этом выходная частота равна частоте генератора. Выходной каскад микросхемы через резистивный делитель R1, R2 управляет регулирующим элементом РЭ стабилизатора – полевым транзистором VT1. По питанию микросхемы (вывод 12) для подавления различных высокочастотных помех, для более устойчивой работы стабилизатора в целом включён LC-фильтр на элементах L1, C3, C4. Как видно из принципиальной схемы ПСН, при применении микросхемы KP1114EУ4А требуется сравнительное небольшое число выносных элементов. Для защиты стабилизатора от перегрузки по току применён самовосстанавливающийся предохранитель FU1 MF-R400 фирмы BORNIS. Уменьшить коммутационные

потери и повысить КПД стабилизатора удалось благодаря использованию диода Шоттки (VD2) КД2998Б с параметрами: постоянное прямое напряжение 0,54 В; средний прямой ток 30 А; диапазон частот без снижения электрических параметров 10...200 кГц; импульсное обратное напряжение 30 В. Экспериментально было установлено, что ПСН имеет максимальный КПД ($\approx 90\%$) на частоте 12 кГц. КПД при выходной мощности до 10 Вт ($U_{\text{вых}} = 10 \text{ В}$) достигает $\approx 93\%$.

Дроссель L2 выполнен на двух сложенных вместе кольцевых магнитопроводах МП-140 К24×13×6,5 и содержит 45 витков провода ПЭТВ-2 1,1, уложенных равномерно в два слоя по всему периметру кольца. Между слоями проложены два слоя лакоткани ЛШМС-105-0.06 ГОСТ 2214-78. Индуктивность дросселя L2 порядка 220 мкГн. Резисторы типа С2-33Н. Конденсаторы C1, C2, C3, C5-K50-35; C4, C6, C7-K10-17. Переменный резистор R7 типа СП5-3 или СП5-2ВА. Дроссель L1 ДМ-0.1-80. Макет стабилизатора был выполнен на макетной плате с размерами 55×55 мм. При монтаже целесообразно разделить землю силовой части стабилизатора и землю микросхемы, а также минимизировать длину проводников (особенно силовой части). Транзистор устанавливается на радиаторе. Площадь эффективной поверхности радиатора не менее

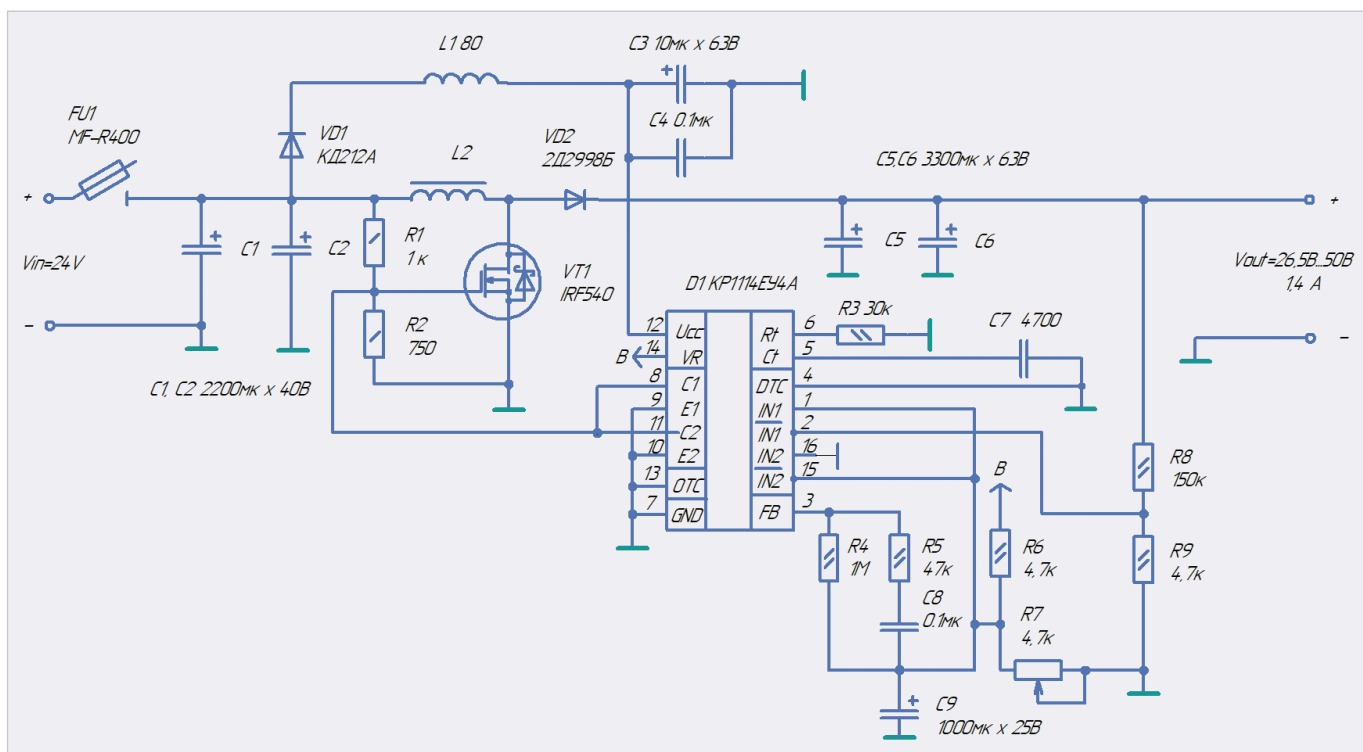


Рис. 5. Принципиальная схема импульсного параллельного стабилизатора повышающего стабилизатора

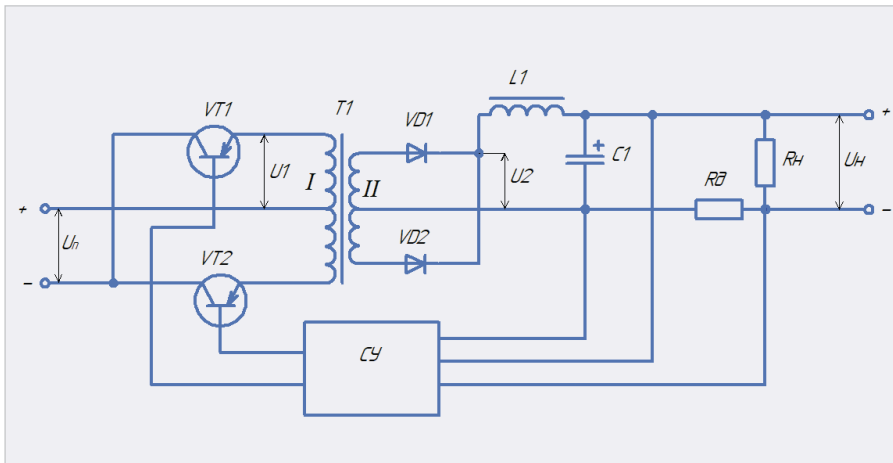


Рис. 6. Функциональная схема импульсного регулируемого двухтактного преобразователя напряжения

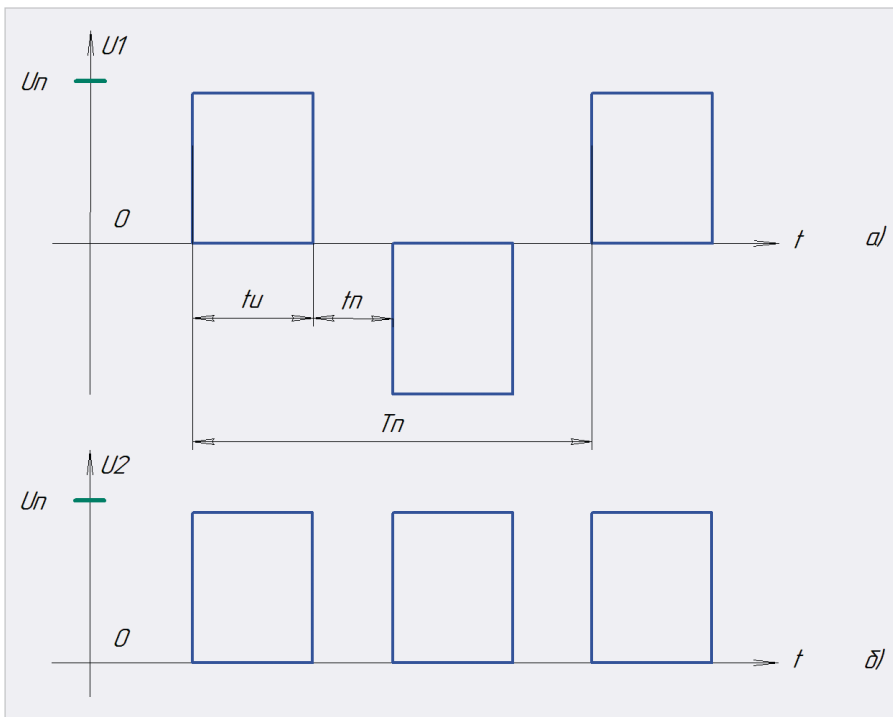


Рис. 7. Временная диаграмма, поясняющая работу ДПН

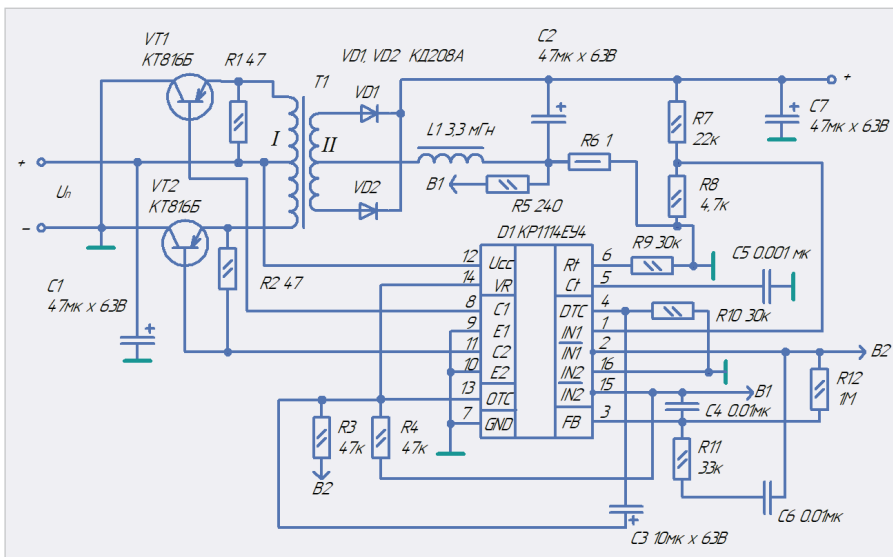


Рис. 8. Принципиальная схема ДПН на базе KP1114EY4A

110 см². Настройка ПСН заключается в установке необходимого значения выходного напряжения с помощью резистора R7.

Импульсный повышающий стабилизатор напряжения

На рис. 4 приведена функциональная схема импульсного параллельного стабилизатора напряжения повышающего типа.

В данном импульсном параллельном стабилизаторе напряжения повышающего типа (далее СПТ) регулирующий элемент РЭ, работающий в импульсном режиме, включён параллельно нагрузке Rн. Диод VD1 блокирует нагрузку Rн и конденсатор C1 от регулирующего элемента РЭ. Когда РЭ открыт, ток от источника Uвх протекает через дроссель L, запасая в нём энергию. Диод VD1 при этом отсекает нагрузку и не позволяет конденсатору C1 разрядиться через открытый РЭ. Ток в нагрузку в этот промежуток времени поступает только от конденсатора C. В следующий момент, когда РЭ закрыт, ЭДС самоиндукции дросселя L суммируется с входным напряжением, и энергия дросселя отдаётся в нагрузку. При этом выходное напряжение будет больше входного. В отличие от понижающего стабилизатора (рис. 2), здесь дроссель не является элементом фильтра, а выходное напряжение становится больше входного на величину, которая определяется индуктивностью дросселя L и скважностью работы регулирующего элемента РЭ. Пример принципиальной схемы СПТ приведён на рис. 5.

Основные технические характеристики СПТ приведены в табл. 3.

Амплитуда пульсаций выходного напряжения стабилизатора при максимальной нагрузке порядка ~200 мВ. Уменьшить пульсации можно, увеличив ёмкость выходного фильтра. Для более «мягкого» запуска между землёй и неинвертирующим входом усилителя ошибки № 1 (вывод 1) включён конденсатор C9.

Дроссель L2 такой же, как и в схеме понижающего стабилизатора. Транзистор VT1 IRF540 – n-канальный полевой транзистор с параметрами (максимальные значения): Vси = 100 В, Iси = 28 А, Rси = 0,077 Ом. Транзистор VT1 следует установить на радиаторе. Резисторы типа C2-33Н. Конденсаторы C1...C3, C5, C6, C9 типа K50-35; C4, C7, C8 типа K10-17. Переменные резисторы

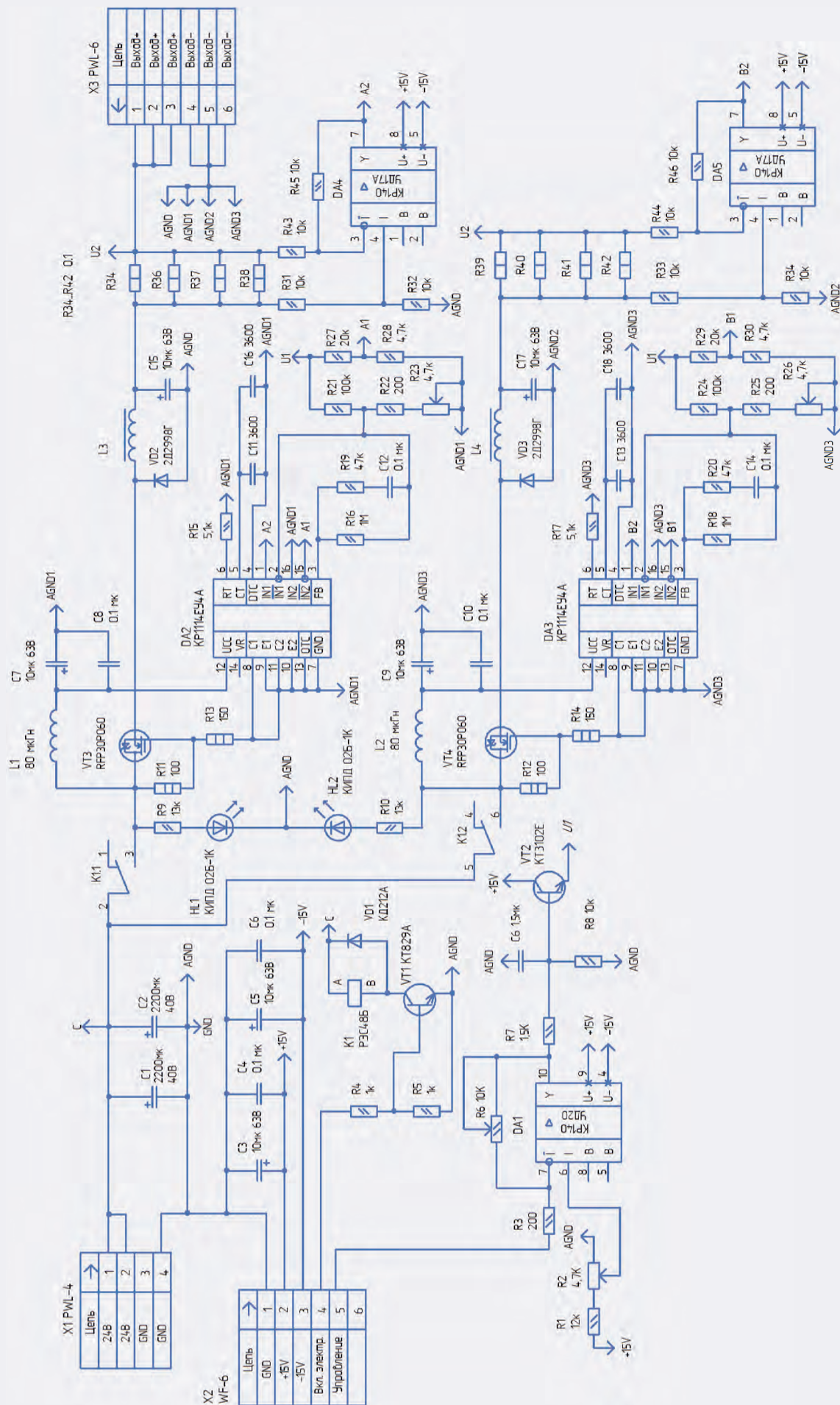


Рис. 9. Принципиальная схема двухканального импульсного стабилизатора тока

сторы СП5-3 или СП5-2ВА. Транзистор VT1 следует установить на радиаторе. Площадь эффективной поверхности радиатора не менее 100 см². Первое включение СПТ лучше сделать при небольшой нагрузке 0,1...0,2 А и минимальном выходном напряжении (устанавливается резистором R7). Затем медленно увеличивать выходное напряжение до необходимого значения.

В СПТ дроссель L2 не участвует в сглаживании пульсации выходного постоянного напряжения, и для качественной фильтрации выходного постоянного напряжения необходимо применять выходные фильтры с достаточно большими значениями L или C. Это приводит к увеличению массы и габаритов фильтра и устройства в целом. Поэтому удельная мощность понижающего стабилизатора больше, чем повышающего.

Импульсный регулируемый двухтактный преобразователь напряжения

На рис. 6 приведена функциональная схема импульсного регулируемого двухтактного преобразователя напряжения (далее – ДПН).

Временная диаграмма, поясняющая работу ДПН, приведена на рис. 7.

ДПН выполнен на силовых транзисторах VT1, VT2. В их коллекторные цепи включена первичная обмотка трансформатора T1. К вторичной обмотке трансформатора T1 подключён выпрямитель на диодах VD1, VD2 со сглаживающим LC-фильтром (дроссель L1, конденсатор C1). Схема управления СУ работает по принципу широтно-импульсной модуляции. Она следит за выходным напряжением Uн на нагрузке Rн и управляет

переключением транзисторов, регулируя длительность паузы tp на нуле (рис. 7) таким образом, что среднее значение выходного выпрямленного напряжения на нагрузке Un остаётся неизменным с определённой точностью, при изменении входного напряжения питания Uп или тока нагрузки. Защиту силовых транзисторов VT1, VT2 от перегрузки по току или короткого замыкания в нагрузке также осуществляет СУ. Для этого последовательно с нагрузкой включён датчик Rд, сигнал с которого подаётся на схему управления и запирает силовые транзисторы при коротком замыкании в нагрузке. Принципиальная схема ДПН на базе KP1114EY4A приведена на рис. 8.

Основные технические характеристики ДПН приведены в табл. 4.

Резисторы типа С2-33Н. Конденсаторы C1...C3, C7 типа К50-35; C4...C6 типа К10-17. Дроссель L1 типа FERROCORE COIL 1010-3,3 проволочный ТНТ 3,3 мГн.

Импульсный двухканальный стабилизатор тока

Как стабилизатор напряжения переделать в стабилизатор тока? Да очень просто. Включаем последовательно с нагрузкой небольшое сопротивление, порядка 0,05...1 Ом (значение данного сопротивления определяется током нагрузки). При этом СУ устройства должна осуществлять функцию стабилизации напряжения на данном резисторе. При стабилизации напряжения на данном резисторе решается задача стабилизации тока в нагрузке. Принципиальная схема импульсного двухканального стабилизатора тока (далее – ИСТ), выполненного на базе KP1114EY4A, приведена на рис. 9.

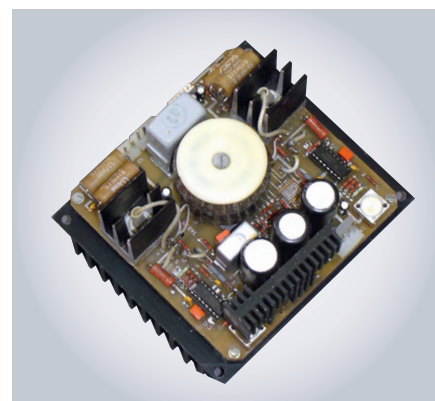


Рис. 10. Внешний вид двухканального импульсного стабилизатора тока

Внешний вид двухканального ИСТ приведён на рис. 10.

На фотографии видно, что элементы СУ очень компактно расположены на печатной плате и занимают сравнительно небольшое место. Под платой находится радиатор. На нём размещены силовые транзисторы. Приведённый ИСТ может быть применён для питания электролизёра. Диапазон регулировки выходного тока от 6 до 16 А. Основные технические характеристики стабилизатора тока приведены в табл. 5.

В ИСТ применена 2-канальная схема. Каждый канал представляет собой стабилизатор тока (далее стабилизаторы тока № 1 и № 2). Стабилизаторы тока № 1 и № 2 собраны по схеме импульсного понижающего стабилизатора в режиме стабилизации тока. Максимальный выходной ток каждого стабилизатора – 8 А. Выходные токи стабилизаторов суммируются в нагрузке. Схемотехника стабилизаторов тока № 1 и № 2 – совершенно одинаковая. При работе они не оказывают никакого влияния друг на друга.

Стабилизатор тока № 1 собран на полевом транзисторе VT3, микросхе-

Таблица 3. Основные технические характеристики СПТ

Наименование параметра	Значение
Входное напряжение, В	24 ± 1
Выходное напряжение, В	26,5...50 В
Максимальный ток нагрузки, А (при U _{вых} = 50 В)	1,4
Среднее значение КПД при максимальном токе нагрузки во всём интервале выходного напряжения, %	≈ 92
Амплитуда пульсаций выходного напряжения, мВ	< 200
Нестабильность выходного напряжения при изменении тока нагрузки и температуры окружающей среды, от номинального значения, %	1,5
Частота преобразования, кГц	15
Интервал рабочей температуры, °С	-25...+85

Таблица 4. Основные технические характеристики ДПН

Наименование параметра	Значение
Входное напряжение, В	8...20
Выходное напряжение, В	28 В
Максимальный ток нагрузки, А	0,2
Среднее значение КПД при максимальном токе нагрузки во всём интервале выходного напряжения, %	≈ 85
Амплитуда пульсаций выходного напряжения, мВ	< 100
Частота преобразования, кГц	73
Интервал рабочей температуры, °С	-25...+85

Таблица 5. Основные технические характеристики стабилизатора тока

Наименование параметра	Значение
Количество каналов	2
Режим работы	Стабилизатор тока
Входные питающие напряжения, В	24 ±15
Максимальный выходной ток, А	16
Максимальная выходная мощность, Вт	100
Энергетическая плотность (удельная мощность), Вт/дм ³	250
Диапазон изменения выходного тока, А	6...16
Диапазон изменения управляющего напряжения, В	2,5...5
Нестабильность выходного тока при изменении тока нагрузки и температуры окружающей среды, %	1
Среднее значение КПД во всём интервале выходного тока, %	70
Частота преобразования, кГц	15

ме DA2, диоде VD2, дросселе L3, датчике тока (на резисторах R34...R38), дифференциальном усилителе DA4. Стабилизатор тока № 2 собран соответственно на полевом транзисторе VT4, микросхеме DA3, диоде VD3, дросселе L4, датчике тока (на резисторах R39...R42), дифференциальном усилителе DA5. Рассмотрим работу стабилизатора тока № 1. Входное напряжение 24 В поступает на стабилизаторы № 1 и № 2 с соединителя X1 через группу контактов реле K1 на оба канала ИСТ. Резистор R15 и конденсаторы C11, C16 задают частоту генератора пилообразного напряжения микросхемы DA2. Управляющее напряжение поступает на инвертирующий вход усилителя ошибки № 1 (вывод 2 микросхемы DA2) с делителя R21, R22, R23. Сигнал обратной связи подаётся на неинвертирующий вход усилителя ошибки № 1 (вывод 1) микросхемы DA2. Резистор R19 и конденсатор C12 осуществляют частотную коррекцию усилителя ошибки № 1. Как уже упоминалось, независимые выходные формирователи микросхемы KP1114EY4A обеспечивают работу выходного каскада как в двухтактном, так и в однотактном режимах. Выходной формирователь микросхемы включён в однотактном режиме. Для этого вывод 13 включён на землю. Два выходных транзистора (коллекторы – выводы 8, 11; соответственно эмиттеры – выводы 9, 10) включены по схеме с общим эмиттером и работают параллельно. При этом выходная частота равна частоте генератора. Выходной каскад KP1114EY4A через резистивный делитель R11, R13 управляет регулирующим элементом

РЭ стабилизатора – полевым транзистором VT3. По питанию KP1114EY4A (вывод 12) для подавления различных высокочастотных помех для более устойчивой работы стабилизатора в целом включён LC-фильтр на элементах L1, C7, C8. На микросхеме DA4 выполнен дифференциальный усилитель, преобразующий сигнал ток-напряжение. Выходное напряжение с усилителя (вывод 7 микросхемы DA4) поступает на неинвертирующий вход усилителя ошибки № 1 ШИМ-контроллера DA2 (вывод 1). Датчик тока (параллельные резисторы R34...R38) включён последовательно с нагрузкой. Значение тока в нагрузке (напряжение на инвертирующем входе усилителя, вывод 2 микросхемы DA2) задаётся делителем R21...R23. Управляющее напряжение на данный делитель поступает с эмиттера транзистора VT2. Резистором R23 осуществляется корректировка подаваемого на вход 2 микросхемы DA2 управляющего напряжения. В результате стабилизация напряжения на датчике тока приводит к стабилизации тока в нагрузке. Включение датчиков тока на выходе в каждом стабилизаторе тока позволяет развязать их друг от друга.

Стабилизатор тока № 2 построен совершенно аналогичным образом и состоит из таких же по номиналу и типу элементов и работает точно так же. Управляющее напряжение с эмиттера транзистора VT2 поступает на два стабилизатора одновременно. Для включения источника необходимо установить уровень сигнала «Вкл. электр.» в лог. 1 (уровень TTL), при этом открывается транзи-

стор VT1. Контакты реле K1 включают оба стабилизатора одновременно. После включения реле K1 включаются индикаторы HL1, HL2, которые позволяют визуально контролировать наличие напряжения на входе стабилизаторов.

Источники опорного напряжения микросхем DA3, DA3 в ИСТ не задействованы. Функциональный узел, формирующий опорное напряжение (оно является в схеме и управляющим) для стабилизаторов тока № 1 и № 2, включает в себя: операционный усилитель DA1 и выходной транзистор VT2. Внешнее входное напряжение, задающее ток в нагрузке ИСТ, поступает на него с контакта 5 соединителя X2. Выходное напряжение с данного функционального узла соответствует определённому значению управляющего напряжения, которое с эмиттера транзистора VT5 поступает на оба стабилизатора тока. Резисторами R2 и R6 устанавливается смещение и коэффициент усиления операционного усилителя DA1. Более точная регулировка в каналах стабилизации тока № 1 и № 2 осуществляется соответственно резисторами R23 и R26.

Заключение

Микросхема K1114EY4A реализует полный набор функций ШИМ-управления и обеспечивает разработчику широкие возможности при разработке схем управления импульсных источников вторичного электропитания ИВЭП. Независимые выходные формирователи микросхемы обеспечивают работу выходного каскада как в двухтактном, так и в однотактном режимах. Применение ШИМ-контроллеров типа K1114EY4A позволяет значительно увеличить энергетическую плотность вторичных источников электропитания, разработанных на её базе. В настоящее время кроме серийного производства данной микросхемы на предприятиях, выпускающих ИВЭП, накоплены значительные технологические запасы K1114EY4A и её аналога TL494CN.

Литература

1. Микросхемы интегральные KP1114EY4A. Технические условия. БКО.348.901-02ТУ/02.
2. Интегральные микросхемы: Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. М.: ДОДЕКА, 1997. 224 с.



Государство оценило производителя бионических протезов «Моторика» более чем в 10 млрд рублей

Госкорпорация развития ВЭБ.РФ оценила компанию «Моторика», одного из крупнейших российских разработчиков бионических протезов, примерно в 10 млрд рублей. Такая оценка следует из сделки, в рамках которой государственная структура получила долю в компании.

Как стало известно CNews, принадлежащее ВЭБ.РФ акционерное общество «Вэб.дв» получило почти 6% в МК АО «Группа Моторика», владеющем российскими активами разработчика бионических протезов. Компания занимается созданием высокотехнологичных протезов конечностей и ведёт исследования в области «очувствления» протезов – передачи пользователю тактильной обратной связи.

Согласно отчётности за 2025 год, представленной в марте 2026 года, «Вэб.дв» приобрело 5 919 710 обыкновенных акций «Группы Моторика», что соответствует 5,6% уставного капитала. Сделка была закрыта 30 декабря 2025 года. Рыночная стоимость полученной доли составила 578 млн рублей, что подразумевает общую оценку компании примерно в 10,2 млрд рублей.

В пресс-службе ВЭБ.РФ подтвердили факт оценки, отметив, что она проводилась в соответствии с действующими законодательными требованиями. При этом конкретные параметры оценки в корпорации комментировать отказались.

Ранее ВЭБ.РФ владел долей в «Моторике» через инвестиционное товарищество «Дальневосточный фонд развития и внедрения высоких технологий» (ДФВТ). В августе 2025 года соглашение о товариществе было прекращено в связи с истечением срока действия. В ноябре было принято решение о распределении активов ликвидируемого фонда между участниками.

Совокупный объём инвестиционных обязательств ДФВТ на момент первого закрытия составлял около 4,9 млрд рублей, из которых на долю «Вэб.дв» приходилось 1,7 млрд рублей. Среди участников фонда также упоминались «Роснано», «Фонд развития Дальнего Востока и Арктики» и Российская венчурная компания.

В ВЭБ.РФ пояснили, что изменения носят технический и плановый характер и связаны исключительно с ликвидацией инвестиционного товарищества. После завершения срока его активы распределяются между инвесторами пропорционально их долям участия и не оказыва-



ют существенного влияния на управление проектами.

По мнению отраслевых экспертов, оценка «Моторики» примерно в 10 млрд рублей выглядит обоснованной с учётом динамики рынка и положения компании в отрасли.

Генеральный директор венчурного фонда «Трамплин» Сергей Сухих отметил, что капитализация на уровне 9,8–10 млрд рублей соответствует текущим рыночным перспективам компании. По его словам, сектор реабилитационных технологий в России активно развивается благодаря государственной поддержке.

Правительство утвердило стратегию развития отрасли реабилитации до 2030 года, предполагающую рост доли отечественной продукции и увеличение промышленного производства медицинских устройств. Дополнительным фактором поддержки стало введение с 2025–2026 годов новых правил приоритета российской продукции при государственных закупках.

По словам Сухих, эти меры фактически формируют гарантированный рынок для отечественных производителей протезов, включая «Моторику». Основными заказчиками остаются государственные центры реабилитации и системы социального обеспечения.

По открытым данным, выручка компании в 2024 году составила около 4,2 млрд рублей. При этом эксперты ожидают, что в 2025 году компания продемонстрирует значительный рост как по выручке, так и по прибыли.

Проект «Моторика» был запущен в 2014 году. Первые прототипы создавались на базе 3D-печати, а уже в 2015 году компания зарегистрировала свой первый бионический протез. В 2017 году был представлен протез руки с интегрированной системой NFC-оплаты.

В последующие годы компания активно развивала цифровые технологии реабилитации. В 2019 году она начала внедрять решения для функциональной адаптации пользователей в виртуальной реальности, а в 2020 году представила протез-гаджет, разработанный совместно с инженерами Samsung Research Russia и специалистами Университета ИТМО.

В устройство были интегрированы часы Galaxy Watch, что позволило пользователю

управлять функциями протеза и анализировать телеметрию работы системы.

В 2021 году «Моторика» привлекла около 300 млн рублей инвестиций: 200 млн рублей от Дальневосточного фонда высоких технологий и ещё 100 млн рублей от Российского фонда прямых инвестиций.

Средства направлялись на развитие продуктовой линейки, масштабирование производства и расширение сервисной сети. Среди целевых международных рынков компания рассматривала Индию, страны Азиатско-Тихоокеанского региона, Ближний Восток и Европейский союз.

В рамках этих планов предполагалось также создание исследовательского центра на Дальнем Востоке совместно с медицинским центром Дальневосточного федерального университета.

В июне 2024 года компания получила ещё 900 млн рублей инвестиций от управляющей компании «Первая». Эти средства были направлены в головную структуру «Хомо Ауктус», которая позднее была преобразована в МК АО «Группа Моторика».

В том же году компания запустила сразу несколько новых направлений разработки, включая инвазивные нейростимуляторы, протезы нижних конечностей и инвалидные кресла-коляски. Также совместно с Федеральным центром мозга и нейротехнологий ФМБА России был создан Центр кибернетической медицины и нейропротезирования.

Кроме того, компания приобрела контрольную долю – 50,1% – в ООО «Завод специального оборудования».

Структура конечных владельцев «Группы Моторика» официально не раскрывается. Однако известно, что «Роснано» продолжает владеть долей в компании через группу «Моторика». Ранее также сообщалось, что около 12,5% акций могло перейти структуре, связанной с Газпромбанком.

По мнению аналитиков, дальнейшее развитие компании во многом будет зависеть от динамики внутреннего рынка медицинских технологий и реализации стратегии выхода на публичный рынок капитала.



Космическая версия зарождения жизни

Часть 2. Неопознанные атмосферные образования Роуна Джозефа с точки зрения современной науки

Виктор Алексеев

В первой части статьи были рассмотрены видеозаписи результатов американско-итальянской системы привязанных спутников (TSS-1R), полученные ровно тридцать лет назад во время миссии космического шаттла «Колумбия» (22 февраля 1996 года). В опубликованной не так давно статье известного астробиолога Роуна Джозефа [1] предлагалось интерпретировать некоторые атмосферные плазменные образования, зафиксированные на этих видеозаписях, как самоорганизующиеся субстанции, которые миллиарды лет назад могли инициировать зарождение биологической жизни на Земле.

Во второй части статьи показано, насколько доказательны с точки зрения современной науки новые аргументы в поддержку внеземного зарождения жизни, предложенные Роуном Джозефом.

Тропосферная плазма и протожизнь по версии Роуна Джозефа

Заголовок этого раздела взят из статьи Роуна Джозефа (Rawn Joseph) [1], обсуждение которой мы начали в прошлом номере журнала «Современная электроника» № 2, 2026. В этой работе международная группа исследователей аномальных явлений под руководством Роуна Джозефа спустя тридцать лет решила заново проанализировать результаты экспериментов, проведённых во время полёта шаттла STS-75 в 1996 году. В частности, эта группа авторов пришла к заключению о том, что зафиксированные на видеозаписях космического корабля Columbia плазменные образования могли способствовать образованию РНК и зарожде-



Рис. 1. Объект «Pinnacle Island», обнаруженный марсоходом Opportunity (NASA/JPL-Caltech). Интерпретация данного объекта как возможного биологического образования была предложена Р. Джозефом в 2014 г. [8]

нию протожизни на Земле миллиарды лет назад.

Авторы статьи старались заставить своих читателей просто поверить в предлагаемый феномен, для объяснения которого не требовалось ни специального образования, ни даже простейших логических объяснений. Поэтому имеет смысл попытаться разобраться, что в этой статье может представлять интерес с точки зрения современной науки.

В первую очередь стоит напомнить, что Роун Джозеф (Rawn Gabriel Joseph) по образованию и ранней профессиональной деятельности невробиолог и нейропсихиатр, имеющий степень PhD, автор учебника по нейронаукам [2].

В 2000 году в первой своей книге Джозеф начал разрабатывать идею зарождения жизни в космосе [3]. Стоит отметить, что название издательства University Press на титульном листе является собственной торговой маркой Роуна Джозефа, не имеющей никакого отношения к университету [4]. Позже Джозеф продолжил развивать это направление на своих собственных сайтах: Journal of Cosmology, Cosmology.com, BrainMind.com.

С 2012 года Джозеф начинает эксплуатировать новый вариант основной темы: «плазмоиды в термосфере и НЛО». По этой тематике появился ряд таких статей, как «Доказательства существования внеземных экстремофилов и плазмы в термосфере», «Вне-

земная жизнь в термосфере» и другие [5].

Первая работа, в которой Джозеф интерпретировал видео, полученные во время полётов Columbia, была опубликована в 2012 году под названием «Evidence of Extremophiles and Plasmas in the Thermosphere» [6]. В этой статье была предложена интерпретация видеоматериалов Columbia как доказательства того, что плазменные образования в термосфере могут быть «внеземными экстремофилами» или плазменными типами форм жизни. Полную библиографию Роуна Джозефа можно найти на сайте [7].

Характерным примером является интерпретация снимков поверхности Марса. Джозеф пришёл к выводу о том, что объект, получивший впоследствии название «Pinnacle Island», может представлять собой «предполагаемый биологический организм» – Putative Biological Organism (рис. 1) [8].

В ответ на это NASA официально заявило, что объект имеет чисто геологическое происхождение [9, 10, 11].

Его интерпретация основывалась исключительно на визуальном сходстве формы объекта с биологическими структурами. Такой подход порождает трактовки явлений исключительно в рамках одной главенствующей идеи. Например, авторы статьи однозначно и категорично утверждают, что исследуемые ими объекты на видеозаписях являются неопознанными плазменными образованиями, которые двигаются с огромными скоростями, мгновенно останавливаются, разворачиваются на 180 градусов и преследуют друг друга [1]. При этом выводы делаются на основании единственного аргумента «выглядят, как живые».

Например, в предыдущей работе на эту тему Джозеф сравнивает один из снимков, полученных из видеоматериалов полета шаттла STS-75, с клеточной структурой зелёных водорослей Eudorina Elegans, живущих колониями, которые обычно состоят из 32 или

64 клеток, заключённых в общую сферическую сферу [6].

Методологические ограничения данного подхода отмечались рядом исследователей. Так, физик David Brin пишет, что: «... хотя эта статья Роуна Джозефа интересна и увлекательна для чтения и демонстрирует амбициозное стремление, которое делает честь доктору, в ней есть несколько вопиющих недостатков. Главный из них заключается в том, что эта статья создаёт притянутую за уши теорию...» [12].

Эта вводная информация позволяет понять метод исследования, который использовался авторским коллективом работы [1] для интерпретации видеоматериалов, полученных во время полёта шаттла STS-75, тридцатилетний юбилей которого поклонники космонавтики отмечают 22 февраля 2026 года.

Пылевая плазма

Поскольку в начале своей статьи [1] авторы приводят краткий обзор общепризнанных научных фактов из области физики атмосферной пылевой плазмы, для оценки их выводов необходимо обратиться к физике сложной плазмы.

В частности, Джозеф цитирует работы известного российского физика-теоретика Вадима Николаевича Цитовича, одного из ведущих специалистов по физике неравновесной плазмы, который двадцать лет назад сформулировал базовые свойства пылевой плазмы [13].

Пылевая плазма (Dusty Plasma) представляет собой ионизированный газ, содержащий электроны, ионы и твёрдые заряженные микрочастицы (пыль). Упрощённая схема процесса получения пылевой плазмы в лабораторных условиях выглядит следующим образом.

Экспериментальная установка представляла собой газоразрядную камеру, заполненную инертным газом при низком давлении порядка 10 Па. Если подать на её электроды напряжение и медленно его увеличивать, то сначала атомы и молекулы газа будут превращаться в ионы и электроны. При определённом напряжении возникнет тлеющий разряд. То есть молекулы и ионы будут диссоциировать на соответствующих электродах. Затем нам нужно «впрыснуть» в камеру микрочастицы диэлектрика с высоким коэф-

фициентом ионизации, такие как, например, диоксид церия. Эти частицы, взаимодействуя с ионами и электронами плазмы, будут заряжаться. Таким образом получим заряженные частицы, левитирующие в плазме за счёт равновесия гравитационных и кулоновских сил.

Следует чётко различать два типа лабораторной пылевой плазмы: «криогенную» и «комнатную». Например, в ранних работах российских экспериментаторов (2005 г.), на результаты которых ссылается В.Н. Цитович, изучалась криогенная пылевая кристаллическая плазма, возникающая при тлеющем газовом разряде в гелии при температуре около 4,2 К.

С другой стороны, современное экспериментальное лабораторное оборудование позволяет получать пылевую плазму при тлеющем разряде в благородном газе (Ar) при комнатной температуре. Такая плазма получила название «холодная пылевая плазма» (Cold Dusty Plasma). В этой плазме температура электронов составляет примерно 1–5 эВ, а сам реактор находится при комнатной температуре. Слово «холодная» (Cold) здесь подчёркивает отличие от «горячей» плазмы, температура которой находится в районе 100°C. Высокотемпературная плазма (High Temperature Plasma), реализующаяся в процессе термоядерного синтеза, имеет температуру выше миллиона градусов Цельсия.

В качестве примера установки для исследования криогенной пылевой кристаллической плазмы можно привести работы советских учёных. Например, установка Сергея Антипова из АН СССР работала следующим образом [14]. На первом этапе организовывался стандартный тлеющий разряд в гелии при низком давлении (10...100 Па) и комнатной температуре. При этом использовалась примерно такая же схема, как и описанная выше.

На следующем этапе в плазму вводили микрочастицы размером несколько микрон, состоящие из диэлектриков или оксидов типа двуокиси церия.

На следующем этапе реакторную трубку охлаждали с помощью жидкого азота до температуры около 77 К, а затем с помощью жидкого гелия довели температуру до примерно 4,2 К.

Подавление теплового движения способствовало усилению кулоновского взаимодействия, в результате чего в районе электродов начинали ска-

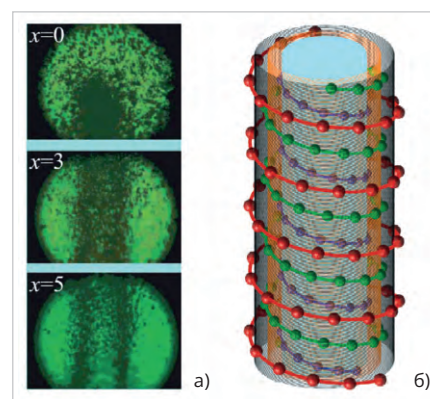


Рис. 2: а) следы микрочастиц, движущихся самоорганизующимся образом, на стенках разрядной камеры в криогенной плазме постоянного тока при $T = 2,7$ К; б) модель центральной части спиральной структуры криогенной плазмы, основанная на результатах экспериментов

пливаться слоистые структуры с концентрацией примерно 109 частиц на кубический сантиметр. Наряду с этим межчастичное расстояние становилось сравнимым с радиусом экранирования, и кулоновское отталкивание между частицами начинало доминировать над тепловым движением. Это условие было ключевым для начала процесса кристаллизации (параметр связи $\Gamma \gg 1$). Вся система постепенно переходила в кристаллоподобное состояние, где частицы занимали почти регулярные позиции с малой амплитудой колебаний вокруг равновесных мест. В результате образовывалась так называемая самоорганизующаяся кулоновская плазма. Поскольку Dusty Plasma является открытой системой с неравновесными процессами, сопровождающимися обменом энергией, она стремится к переходу в состояние с упорядоченными структурами (Plasma Crystals, Chains, Helices). Таким образом, самоорганизация возникает благодаря неравновесным процессам, обусловленным балансом электростатических взаимодействий, инерционных эффектов и динамических возмущений. Некоторые конфигурации демонстрируют метастабильные состояния при медленном изменении внешних параметров, таких как плотность плазмы и напряжённость поля.

Для визуализации структуры реактор просвечивался через специальные окна лазером с длиной волны 532 нм, на которой свет рассеивался микрочастицами. В рассеянном свете образо-

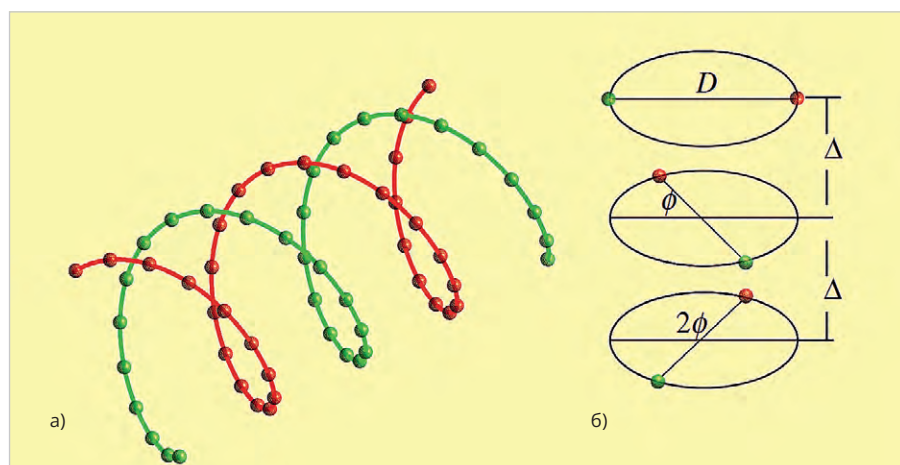


Рис. 3. Пример численного моделирования двойной PHLC-структуры

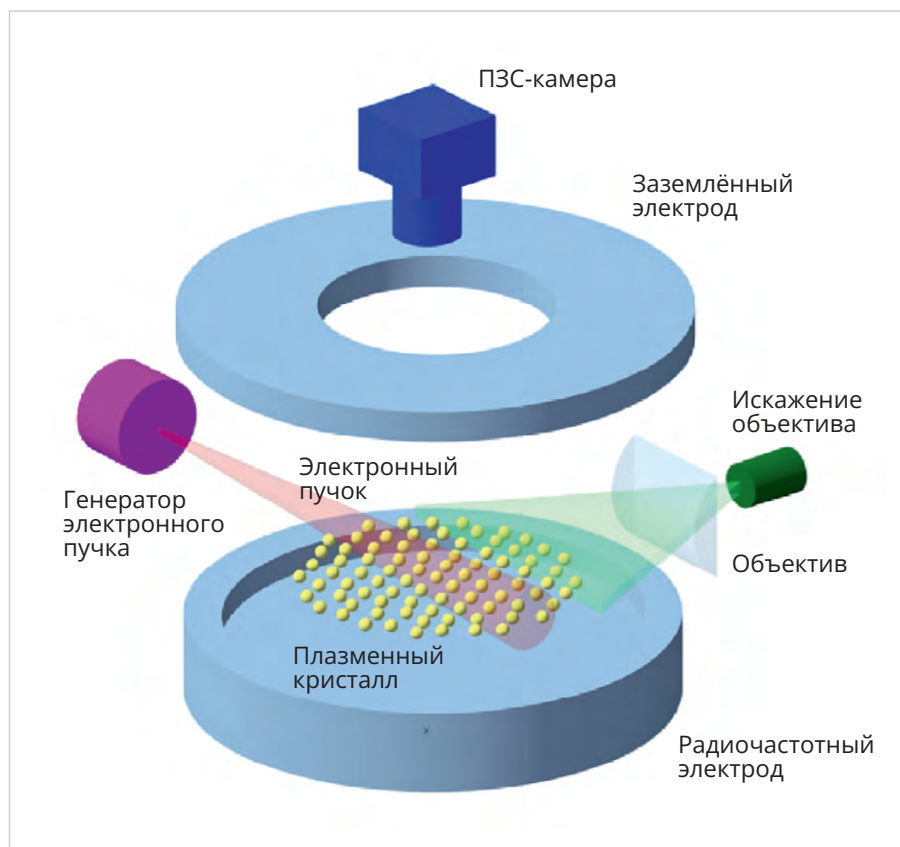


Рис. 4. Установка для облучения плазменного кристалла электронным пучком: верхний слой кристалла освещается световым лучом, получаемым от лазерного диода (ЛД), и контролируется ПЗС-камерой

вавшиеся структуры снимали высокоскоростной CCD-камерой. Результаты съёмки позволяли определять с помощью специального ПО расстояния между микрочастицами и оценивать структуру образовавшегося кристалла.

На рис. 2а [13] показаны следы спиральных структур на стенках камеры, наблюдаемые в описанной выше установке. Следует подчеркнуть, что на рисунке «а» показан не сам «снимок непосредственно плазменного кристалла», а следы конической спиральной структуры от микрочастиц,

выделенные чёрным цветом. Зелёным цветом отмечен фон тлеющего разряда. Три рисунка соответствуют различным расстояниям: от вершины конуса ($x = 0$ мм); середина конуса ($x = 3$ мм); основание конуса ($x = 5$ мм).

На рис. 2б приведена теоретическая модель структуры центральной части спиральной части Worm Like (форма червяка), разработанная на основе экспериментальных данных, показанных на рис. 2а.

В последующих экспериментах наблюдались также вихревые потоки

и конвекция частиц вокруг цилиндрических плазменных кристаллов, что подтвердило динамический характер структур Self-Organized и их взаимодействие с окружающей плазмой. Важным в этой работе Сергея Антипова является то, что в условиях криогенного тлеющего разряда экспериментально было подтверждено формирование кристаллоподобных структур.

Дальнейшие эксперименты, проведённые в различных лабораториях мира, доказали существование криогенных плазменных кристаллов, имеющих спиралевидные структуры. Результаты численного моделирования структур типа Plasma Helix-Like Crystal, выполненные В.Н. Цитовичем с сотрудниками в рамках молекулярно-динамического подхода и анализа устойчивости самосогласованных конфигураций заряженных частиц, показаны на рис. 3 [13].

В последние годы активно изучаются вихревые структуры в пылевой плазме (Dusty Plasma). Подробный обзор современных теоретических, вычислительных и экспериментальных работ представлен в работе М. Choudhary (2025) [15].

В современных экспериментах в основном используются установки, работающие с пылевой плазмой при комнатных температурах. Схему работы таких установок можно разделить на две части. Сначала подготавливают пылевую плазму при комнатной температуре в соответствии с описанной выше методикой работы с криогенной плазмой. На втором этапе образуются упорядоченные структуры с различными формами.

Для формирования кристаллов подобных структур в установках с комнатной температурой используются следующие методы [16]:

- внешнее воздействие электронным пучком;
- градиент ионного потока (Ion Drag Gradient).

В установке, показанной на рис. 4, плазменный кристалл, полученный с помощью описанных выше методов, облучается сфокусированным пучком электронов.

Схема включает несколько вакуумных секций, соединённых по оси распространения пучка. В первой секции создаётся пучок электронов с применением разряда типа Пеннинга. В магнитно-электрической ловушке создаётся низкотемпера-

турная плазма, из которой свободные электроны извлекаются через малое отверстие экстракционного электрода. При подаче ускоряющего напряжения (10 кВ) формируется поток электронов, который через диафрагменное отверстие вводится в камеру пылевой плазмы и начинает взаимодействовать с заряженными пылевыми частицами. Импульс, передаваемый быстрыми электронами, создаёт дополнительную силу сопротивления (Electron Drag), вызывающую направленное движение частиц. В результате формируются вихревые течения или вращение всей структуры. Изменяя энергию, ток и геометрию пучка, а также параметры плазмы (давление газа, мощность ВЧ-разряда, размер частиц), установка позволяла моделировать широкий спектр коллективных эффектов в пылевой кристаллической плазме.

Интересные результаты были получены при воздействии электронного пучка на двумерный плазменный кристалл [17].

Целью эксперимента являлось исследование управляемого вращения плазмы. В этих экспериментах измерялась скорость движения частиц в зависимости от таких параметров разряда, как энергия пучка (8–14 кэВ), давление газа и размеры частиц известны.

На рис. 5 показана динамика квазидвумерного плазменного кристалла при боковом облучении электронным пучком. На этом рисунке приведены траектории движения отдельных пылевых частиц, восстановленные методом отслеживания частиц (PTV). Наблюдается формирование concentрических орбит, свидетельствующих о вращении всей кристаллической структуры как единого объекта. При этом внутренняя часть кристалла вращается медленнее, тогда как частицы на периферии обладают большей линейной скоростью.

Механизм вращения связан с асимметричным воздействием электронного пучка. Поскольку пучок смещён относительно центра кристалла, частицы, расположенные на облучаемой стороне, испытывают дополнительную силу электронного сопротивления. Благодаря сильному кулоновскому взаимодействию между частицами возникающий локальный импульс перераспределяется по всей структуре, приводя к появлению

крутящего момента и последующему вращению кристалла.

Важной особенностью является сохранение кристаллической симметрии. Несмотря на вращение, структура в целом остаётся упорядоченной, хотя отдельные частицы могут совершать скачкообразные перестройки положений.

Большое внимание исследованиям кристаллической пылевой плазмы уделяется РФ. В институтах Академии наук ФИАН и ИКИ РАН разработаны установки типа «Кристалл-1/2» и гиперболические ловушки для 2D/3D-кристаллов в стратифицированных разрядах. Ведутся работы по волновой динамике, зарядке частиц, моделированию фронтов плавления/горения [18].

Фундаментальными исследованиями фазовых переходов и самосборки в упорядоченных структурах комплексной плазмы занимаются в НОЦ «Плазма» [19]. Вопросами плазмохимии и разработками виртуальных датчиков для плазмохимического травления занимаются в МГУ, МАИ, ФТИ имени Иоффе [20].

Подробный обзор российских исследований в области структурированной комплексной плазмы приведён в статье [21].

Стационарные лабораторные установки, подобные описанной выше, позволяют формировать квазидвумерные плазменные кристаллы и управляемо воздействовать на них внешними силами. Однако наличие силы тяжести на Земле ограничивает толщину и объём формируемых структур. При этом микрочастицы левитируют в узкой области плазменной оболочки над электродом, а формируемый кристалл остаётся преимущественно двумерным.

Идея изучения трёхмерных объёмных структур и крупномасштабной динамики пылевой плазмы в условиях невесомости впервые была реализована с использованием беспилотных космических запусков в рамках немецкой программы TEXUS (Technologische Experimente Unter Schwerelosigkeit). Первый запуск, проведённый в ноябре 1996 года с базы ESRANGE (Швеция), обеспечил 6 минут исследований пылевой плазмы в условиях микрогравитации. Экспериментальная полётная установка включала RF-разрядную камеру, лазерную подсветку и ПЗС-камеры, фиксирующие

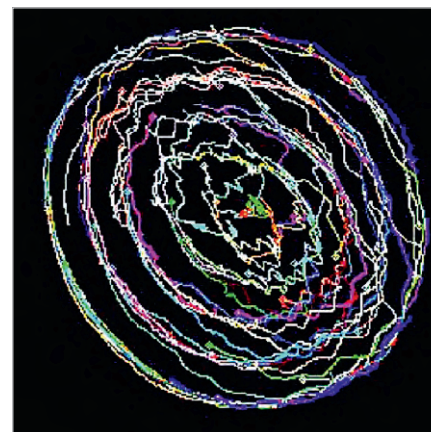


Рис. 5. Динамика квазидвумерного плазменного кристалла при боковом облучении электронным пучком

данные на борту для последующего анализа в наземной лаборатории.

В этой установке использовался симметричный параллельнопластинчатый RF-разряд (0,5 Вт) в стеклянном цилиндре (диаметр ~13,6 см, высота 7 см), заполненный криптоном при давлении ~0,4 мбар. В качестве микрочастиц использовались полимерные сферы диаметром 14,9 мкм. Плазма образовывалась между двумя плоскими электродами, расположенными параллельно друг другу. На один электрод подавалось переменное высокочастотное напряжение (13,56 МГц), вызывающее ионизацию газа (аргон). В этом случае электроны успевали, в то время как тяжёлые ионы почти не реагировали. Таким образом, у поверхности электродов возникают плазменные оболочки (Sheath).

В условиях микрогравитации эксперименты TEXUS-35 продемонстрировали крупномасштабные конвективные структуры и вихревые потоки вокруг пустот (Voids) в объёме комплексной плазмы. Важно то, что эти структуры воспроизводимы и объясняются суммарным действием электрической силы, ионного дрега и межчастичного взаимодействия.

Полёт TEXUS-35 стал отправной точкой для микрогравитационных исследований комплексной плазмы: доказал возможность 3D-структур, выявил роль термофореза в Void и вихревую динамику, обосновав необходимость долгосрочных экспериментов на МКС. Последующие исследования TEXUS-36 (1998) и параболические запуски привели к полноценным ISS-программам [22].

Естественным развитием европейской программы TEXUSUS стала иници-

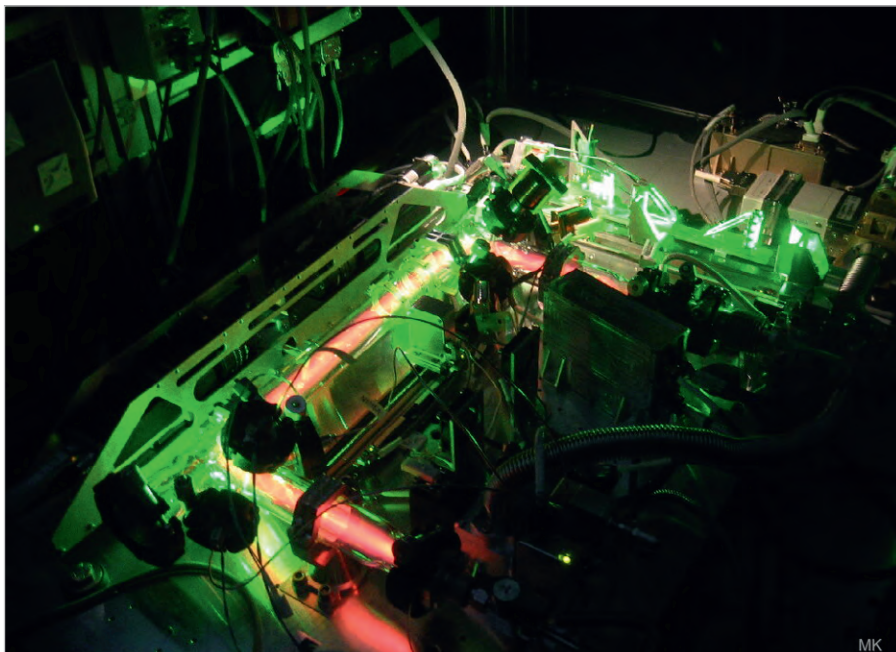


Рис. 6. Установка ПК-4 на МКС [28]

ированная Россией международная долгосрочная программа исследований на борту международной космической станции. Из наиболее интересных работ в этой области стоит отметить проект «Плазменный кристалл», который проводится на борту (МКС) с 2001 года. Начало этих работ было положено в январе 1998 года на орбитальной станции «Мир» с первой установки ПК-1, по конструкции аналогичной описанной выше для проекта TEXUS. Проект частично продолжается и в настоящее время. За эти годы установка для исследований комплексной плазмы постоянно модернизировалась.

Результаты исследований ПК-1, ПК-2, ПК-3 описаны в работах [23–27]. Последняя модель ПК-4, запущенная в 2015 году, представляет собой сложный программно-измерительный комплекс с реактором на основе высокочастотной пылевой газоразрядной трубки. В состав этого оборудования входят: модернизированный газоразрядный реактор с дополнительными клапанами и регуляторами газа для контроля утечек и стабильности потока; вакуумная камера в гермоблоке; программируемая ПЗС-камера; специализированный управляющий компьютер. Внешний вид установки ПК-4 показан на рис. 6.

Этот международный эксперимент стал одним из ключевых проектов по исследованию комплексной плазмы в условиях микрогравитации. В ходе экспериментов было

показано, что заряженные микрочастицы в плазме способны формировать трёхмерные «плазменные кристаллы», демонстрирующие фазовые переходы, коллективные колебательные моды (Dust-Lattice Waves), дефекты решётки и нелинейную динамику. Условия «невесомости» на МКС позволили впервые исследовать объёмные сильносвязанные кулоновские системы (Strongly Coupled Coulomb Systems – SCCS). В этом состоянии пылевой плазмы заряженные микрочастицы взаимодействуют друг с другом настолько сильно, что их энергия электростатического отталкивания значительно превышает их кинетическую энергию (тепловую энергию движения). Ключевым преимуществом микрогравитации является возможность формирования однородных трёхмерных облаков частиц, тогда как в гравитационном поле они сжимаются и образуют квазидвумерные структуры. В результате микрочастицы располагаются в реакторе таким образом, что образуют внутреннюю 3D-полость, что даже в принципе недостижимо в наземных условиях [29].

Многолетние исследования на борту МКС, выполненные в рамках «ПК-1-ПК-4», позволили уточнить ряд фундаментальных проблем в гидродинамике (ударные волны, турбулентность в упорядоченных средах). В астрофизике результаты экспериментов ПК-4 используются при моделировании процессов в кольцах Сатурна и в недрах белых карликов [30].

По результатам исследований ПК-1-ПК-4 было опубликовано около 130 научных работ, обобщённых в подробном отчёте, подготовленном авторским коллективом в составе двадцати пяти известных российских и европейских учёных [31].

В процессе работ по проекту «Плазменный кристалл» были получены уникальные результаты, которые найдут практическое применение в таких прикладных областях, например, как:

- поверхностные явления на границе полупроводников;
- плазменное напыление и травление в производстве микрочипов;
- открытые струи холодной плазмы в медицине и косметологии.

Из последних публикаций по этой теме можно отметить работу [32]. Статья посвящена перспективам организации на орбите в космосе производства прецизионных микрокомплектующих с использованием прямого плазменного формования и плазменно-ассистированной печати, а также нуклеации частиц в плазме и левитации. Авторы подчёркивают, что сочетание микрогравитации, вакуума и солнечной энергии создаёт уникальные условия для формирования материалов и структур, недостижимых на Земле, включая снижение внутренних напряжений, равномерное тепловое распределение и отсутствие окисления при печати. В работе делается вывод, что накопленный наземный технологический задел уже достаточен для перехода к космическим экспериментам по плазменной 3D-печати и формированию структур непосредственно в условиях микрогравитации.

В заключение этого раздела можно сказать, что многолетние лабораторные и космические эксперименты сформировали целостное представление о физике комплексной плазмы, включая процессы зарядки микрочастиц, фазовые переходы, коллективные течения и самоорганизацию в плазменных кристаллах. Современные работы по плазменно-поддерживаемым технологиям, в том числе аддитивному производству в микрогравитации, демонстрируют, что накопленная экспериментальная и теоретическая база уже позволяет уверенно описывать механизмы нуклеации пылевых частиц, их динамику и взаимодействие с плазменной средой. Таким образом, исследования

последних десятилетий показывают, что комплексная плазма перестала быть исключительно экзотическим объектом фундаментальной физики и превратилась в хорошо изученную модельную систему, обладающую значительным потенциалом для прикладных космических технологий и будущих производственных процессов вне Земли.

Комментарии экспертов

В своей статье [1] Роун Джозеф, ссылаясь на работу Вадима Николаевича Цитовича [13], выделяет из её контекста две основные мысли:

- при достижении определённых условий пылевая плазма начинает самопроизвольно выстраиваться в упорядоченные структуры;
- под действием внешних факторов эти упорядоченные структуры пылевой плазмы могут принимать форму, напоминающую структуру ДНК (рис. 3).

Напомним, что в работе [13] приведены результаты моделирования поведения микрочастиц, взвешенных в криогенной плазме, которые сопоставлялись с экспериментальными данными, полученными С.Н. Антоновым [14]. Компьютерная симуляция показала, что наиболее близкие к эксперименту теоретические вычисления могут быть получены при учёте нелинейных взаимодействий различных факторов (кулоновские силы, гравитация, подвижность, давление газа, вязкость и т.д.) на положение микрочастиц в цилиндрическом реакторе.

Эти два свойства пылевой плазмы, отмеченные выше, были неоднократно доказаны в течение последних двадцати лет, как экспериментально, так и теоретически. Иными словами, свойство пылевой плазмы самоорганизовываться в упорядоченные структуры, в том числе и в форме спирали, является неоспоримым научным фактом.

Именно эти свойства Роун Джозеф использует в качестве научной основы своей гипотезы о термосферной плазме как источнике протожизни на Земле.

При этом Джозеф оставляет без внимания тот факт, что в своей статье [13] В.Н. Цитович оперирует понятиями «общей теории открытых нелинейных систем». В указанной работе он описывает процесс самоорганизации пылевой плазмы, используя термин «Self-

Organization», который применяется для объяснения спонтанного упорядочивания микрочастиц пылевой плазмы при охлаждении до температуры около 4,2 К. Этот термин используется в контексте формирования стабильных взаимодействующих геликоидальных структур (Helical Structures Dusty Plasma) в пылевой плазме, где пылевые частицы под влиянием плазменных потоков, перезарядки и перескрининга поляризации организуются в конфигурации, имитирующие свойства живой материи. Именно с этой точки зрения В.Н. Цитович вводит термин «Inorganic Living Matter», рассматривая его в качестве иллюстрации процесса самоорганизации.

Наряду с этим данный термин был применён в контексте обсуждения процессов самоорганизации начальной пылевой плазмы, возникающих при качественных резких изменениях в поведении нелинейной динамической системы при вариациях параметров, от которых она зависит. Ещё раз подчеркнём, что используемые В.Н. Цитовичем характеристики бифуркационных переходов и структурной устойчивости плазменных конфигураций, такие как Memory Marks, Self-Duplication, Evolution-Like Behaviour, Non-Hamiltonian Dynamics, относятся к общей динамике нелинейной открытой системы. Эти явления трактуются в физическом, а не в биохимическом смысле, и не предполагают наличия генетической информации, молекулярной репликации или метаболизма.

Никакой прямой аналогии с чисто биологическими процессами В.Н. Цитович не отмечает. Скорее наоборот, он подчёркивает роль нелинейных механизмов плазменных взаимодействий, таких как Over-Screening of Plasma Polarization, обеспечивающих аттракцию даже одноимённо заряженных структур. При этом он детально описывает такие физические механизмы, как плазменные потоки, топология без прямых упоминаний внеземной жизни.

Второй аргумент, который использует Джозеф, – это полученный в модельных расчётах В.Н. Цитовича спиральный вид кристаллической формы пылевой плазмы, напоминающий структуру ДНК (рис. 3). Используемая в работе [13] математическая модель построена так, что учитывает поступательное движение микрочастицы вперёд под действием суммар-

ного вектора сил при одновременном вращении вокруг оси направления движения. Характерный простой пример – это нарезка резьбы на токарном станке. Подобные структуры часто встречаются в природе и объясняются хорошо известными законами физики, химии, биологии и т.д. В каждом конкретном случае есть вращение и поступательное движение, обусловленные особенностями физико-химических взаимодействий. В частности, двойная спираль ДНК объясняется компромиссом между кулоновским отталкиванием и водородными связями. Движение электронов в магнитном поле имеет цикло-винтовую траекторию благодаря действию двух векторов. Винтовые дислокации в кристаллах определяются дефектами решётки и упругими напряжениями. Галактические рукава определяются дифференциальным вращением галактики.

В то же время спиралевидные структуры возникают потому, что это наиболее выгодная энергетически форма, обеспечивающая равномерное распределение напряжения и устойчивость к флуктуациям. Также следует учитывать, что спираль является естественной формой, возникающей при нарушении симметрии.

Таким образом, спиралевидная структура кристаллической пылевой плазмы не является чем-то исключительным и хорошо вписывается в общую теорию универсальной динамики открытых нелинейных систем.

От теоретических основ авторы [1] переходят к экспериментальным доказательствам своей гипотезы, используя для этого фотографии, экстрагированные с использованием специального программного обеспечения из видеоматериалов, полученных во время полётов шаттлов: STS-48, STS-75, STS-80, STS-96, STS-101, STS-106, STS-115, STS-119, STS-123.

В работе [1] сказано, что выполненные в ней исследования аномальных атмосферных явлений базировались на видеозаписях с космических шаттлов NASA, собранных авторами работ [33, 34].

Это именно те самые видео, размещённые на YouTube, с помощью которых авторы [1] обосновывают значительную часть доказательств своей идеи: Movement Morphology of Unknown Atmospheric Phenomena; Collisionality; Energy Cannibalism;



Рис. 7. Момент обрыва троса, зафиксированный камерой высокого разрешения OVHD

Hunter Predator Behavior и другие аналогичные, описание которых приведено в первой части статьи (СОЭЛ № 2, 2026).

Однако использование именно этих материалов представляет серьёзную техническую проблему в доказательствах Роуна Джозефа, которая заключается в том, что большинство использованных им видео были сняты на камеры типа LLTV с очень низким разрешением.

Как ранее упоминалось в первой части статьи, на шаттлах STS было несколько типов видеокамер, предназначенных для фиксации различных экспериментов и событий.

В данной статье мы остановимся только на тех камерах, полученные с которых видео были использованы в статье [1].

Специально для съёмки эксперимента TSS-1R на шаттле STS-75 в грузовом отсеке (Payload Bay) была установлена кубовая камера (OVHD – Overhead Camera), с помощью которой был снят основной отчёт по результатам этого эксперимента.

В грузовом отсеке и в критически важных местах шаттлов были установлены аварийные камеры с функцией ночного видения (LLTV – Low-Light), предназначенные для наблюдения в условиях недостаточной освещённости. Именно такими камерами с низким разрешением было сделано большинство видео, использованных Джозефом для своих публикаций.

Видеокамера с высокими пространственным разрешением и качеством цветопередачи HDTV была установлена в кабине шаттла и использовалась для съёмок в ручном режиме. Эта экспериментальная HDTV-система с японским модулем в первую очередь предназначалась для прямых сеансов связи с командным центром в Хьюстоне. Также эта камера была задействована в специальных экспериментах, таких, например, как дистанционное зондирование Земли [35].



Рис. 8. Оторвавшийся трос со спутником, зафиксированный камерой ночного видения LLTV с низким разрешением

Одним из наиболее уязвимых моментов системы доказательств своей идеи в статье Роуна Джозефа является то, что он использует в разные моменты стоп-кадры видео, снятые разными камерами STS-75 в разное время и в разных условиях, не подчёркивая эти важнейшие моменты.

Для того чтобы понять, каким именно способом Джозеф доказывает значимость своей идеи, имеет смысл напомнить суть эксперимента TSS-1R, проведённого во время полёта шаттла STS-75 (старт 22.02.1996). В процессе этого эксперимента из транспортного отсека Columbia на высоте 296 км от поверхности Земли разворачивался проводящий трос, соединённый с небольшим спутником-зондом на конце. Когда трос развернулся почти полностью, 26 февраля 1996 г. в 01:30 UTC он неожиданно оборвался на длине развёртывания примерно 19,7 км. Весь процесс и обрыв троса были зафиксированы специальной камерой OVHD и камерой ночного видения LLTV 26 февраля 1996 [36].

На рис. 7 показан момент обрыва троса, зафиксированный специальной камерой OVHD с высоким разрешением. Характерными особенностями данного снимка являются: чистый фон; полное отсутствие каких-либо артефактов; чёткое изображение при отсутствии специальных методов усиления яркости и контрастности.

На рис. 8 показан оторвавшийся трос со спутником, зафиксированный камерой ночного видения LLTV с низким разрешением.

После обрыва троса телеметрический спутник TSS-1R начал удаляться от шаттла со скоростью около 100 км/ч и в конце концов вышел на независимую орбиту ниже шаттла Columbia (перигей 277 км, апогей 320 км). После

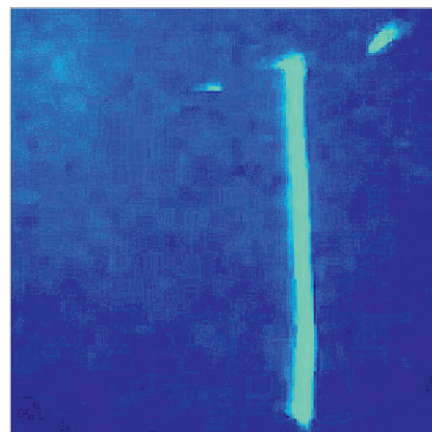


Рис. 9. Вид оторвавшегося троса TSS с поверхности Земли на фоне звёздного неба, полученный австралийским астрономом-любителем [36]

обрыва троса TSS-1R остался функциональным, и экипаж Columbia активировал его научные инструменты (плазменный контактёр, датчики электромагнитных полей и спектрометры) для проведения запланированных измерений плазмы и взаимодействий с ионосферой. Несмотря на то что шаттл и спутник оставались на сходных орбитах, по мере расхождения по фазе происходили пролёты, во время которых экипаж мог наблюдать и снимать спутник. Следующее сближение орбит произошло 27 февраля, когда расстояние между шаттлом и TSS-1R сократилось примерно до 170 км.

В принципе камеры LLTV могли обнаруживать яркие точечные источники на больших дистанциях, однако их изображение формировалось функцией рассеяния оптики и электронного усиления, что исключало возможность определения геометрических размеров наблюдаемых объектов. На таких расстояниях спутник с оторвавшимся тросом выглядел на снимках как светящиеся точки, которые не представляли никакого интереса.

На видео, представленном на презентации результатов полёта STS-75, есть фрагмент, заснятый с Земли астрономом-любителем Полом Мэем (Paul May) из Австралии, на котором отчётливо виден оторвавшийся трос длиной 19,7 км на фоне звёздного неба (рис. 9).

Подсвечиваемый солнцем блестящий трос выглядит как одиночная светящаяся линия. На этом видео запечатлён также пролёт метеорита, хорошо видимый на кадрах оригинальной презентации NASA.

Рисунок 8 взят из статьи [1] (Figure 3). Дословный перевод подписи к этому рисунку с камеры LLTV выглядит так: «Плазмоподобные образования размером до 1 км, движущиеся вокруг электрифицированного троса на высоте 200 миль над Землей в термосфере».

С другой стороны, никаких неопознанных светящихся плазменных образований, «устремившихся со всех сторон к тросу после обрыва», как утверждается в статье [1], на снимках, сделанных с помощью камеры высокого разрешения OVHD STS-75 (рис. 3), и видео австралийского астронома нет.

Наиболее полный и корректный разбор «сырых» видео, взятых из YouTube, которые использовал в своих статьях Джозеф, сделал Джеймс Оберг (James Oberg) – известный американский журналист, историк космонавтики и бывший инженер, проработавший в NASA более 22 лет [37].

Прежде всего Оберг отметил, что распространявшиеся по сети видеоархивы со сценами обрыва троса в полёте STS-75 были выполнены с помощью служебных аварийных монохромных видеокамер низкой освещённости LLTV, которые не были предназначены для точных измерений геометрии, кинематики и фотометрии. Их задача заключалась исключительно в визуальном контроле операций за бортом и состоянии критически важных систем шаттла [38].

Для камер ночного видения типа LLTV характерны дефокусировка, усиление сигнала и ограниченный динамический диапазон, приводящие к эффектам Blooming. В результате наблюдаемая форма и размер светящихся объектов определяются не геометрическими параметрами источника, а функцией рассеяния оптической системы и режимами электронного усиления [39].

Типичное угловое разрешение такой камеры составляет $\theta \approx 3\text{--}5$ миллирадиан. Это значит, что неразмытое, более-менее чёткое изображение на расстоянии 20 км может быть получено с помощью камер LLTV ночного видения для предметов с размерами около 50–100 м. Если ярко освещённые предметы находятся в непосредственной близости к камере, то LLTV видит их как большой светящийся диск [40].

На кадрах свободно летящего троса, полученных с помощью LLTV и анализируемых Джозефом (рис. 5, 6, 8 «Современной электроники» № 2), его

полная длина в 20 километров соответствует масштабированной ширине в угловых единицах (или в порядке нескольких сотен метров).

Авторы [1] подчёркивают, что при обработке видеоматериалов они применяли специальное программное обеспечение (СПО). Прежде всего, вызывают сомнения аргументы, основанные на использовании именно тех СПО, которые упоминаются в статье [1] в качестве одного из преимуществ своего метода исследования. Так, СПО RegiStax изначально было предназначено для улучшения качества астрономических снимков с помощью выравнивания и объединения ряда кадров. Это СПО делает более чёткие изображения астрономических объектов за счёт объединения большого количества последовательных фотографий одного и того же объекта стека Stacking [41]. Нужно сказать, что RegiStax не предназначен для измерения скоростей по трекам движущихся объектов, поскольку его алгоритмы ориентированы на увеличение качества изображения, а не на количественное измерение движения. Поскольку в статье [1] не учитывалась калибровка таких входных параметров съёмки, как частота кадров, экспозиция, стабильность платформы, компрессия видеопотока, а также влияние автоэкспозиции и автофокуса на последовательность кадров, результаты, полученные Джозефом для оценки скорости движения плазменных образований, нельзя рассматривать как достоверные экспериментальные данные. Отсюда автоматически возникает ошибка при оценках размеров удалённых объектов.

Также в статье [1] отмечается, что для обработки некоторых фотографий была использована специальная компьютерная технология Fotor Image Enhancement Software. Однако известно, что при использовании потребительского программного обеспечения Fotor, алгоритмы которого корректируют яркость, контрастность, резкость и другие параметры, возникает вероятность того, что с усилением контрастности будут усилены локальные градиенты яркости, возникнут «ореолы» (Halos). В результате повышается опасность возникновения на снимках псевдоструктур и артефактов [42, 43].

Заметим, что NASA неоднократно предупреждало своих партнёров об аккуратном использовании программ-

ного обеспечения, предназначенного для повышения контрастности, которое может менять первоначальную структуру изображения [44, 45].

Особого внимания заслуживает метод Джозефа, использованный им при оценке размеров исследованных объектов, которая укладывается в следующую схему.

Сначала стоп-кадры «сырых» видеозаписей, сделанных LLTV-камерой STS-75, были обработаны программными фильтрами Fotor Image Enhancement Software. Затем на основании известных значений длины кабеля (19,7 км) и его толщины (2,54 мм) была сделана оценка углового размера изображения. Предполагая, что неопознанный плазмод находится в непосредственной близости к тросу, декларировались его размеры – «километр и больше». Никаких формул и никаких фактических расчётов Джозеф не предоставляет. При этом он нигде не указывает расстояние до объекта или точное астрономическое время съёмки, по которому можно было бы определить это расстояние. Кроме того, Джозеф манипулирует с разрешением своих рисунков, не указывая, с помощью какой именно камеры – LLTV или OVHD – было сделано исходное видео.

Без специальной калибровки, позволяющей привязать пиксель к метрам, как это делается при съёмках специальными научными камерами, сделанные на глаз оценки скоростей и размеров не имеют смысла.

Понятно, что такой подход является технически некорректным. Линейный размер нельзя получить без независимого определения дальности до объекта и без учёта таких параметров оптики, как, например, дефокус, пересвет, насыщение, электронное усиление.

Кроме того, на качество снимков, сделанных аварийными камерами LLTV, влияет засветка струями от двигателей при микроманеврировании, а также быстрый «пересвет». Таким образом, «аномальные» объекты наблюдаются исключительно на LLTV-видеоматериалах служебного назначения, тогда как записи камер с высокой пространственной разрешающей способностью (Payload Bay и HDTV) подобных структур не демонстрируют.

Другой тип артефактов возникает, когда мелкие объекты при расфокусировке камеры формируют «дискообразный» образ (Point Spread Function –

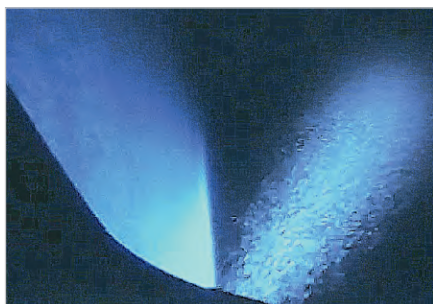


Рис. 10. Сброс технической воды из кабины шаттла STS-75

PSF), «диаметр» которого на кадре не равен реальному диаметру объекта.

Причина возникновения PSF в видеоматериалах, использованных Джозефом, связана с тем, что в грузовом отсеке STS-75, где была установлена камера LLTV, для увеличения градусов обзора использовалось параболическое зеркало, которое видно на некоторых снимках шаттла [46].

В ряде случаев оптический отпечаток зеркала, видимый на фоне троса и Земли, создавал на видео артефакты в виде «бублика с дыркой». Пример такого бублика приведён на рис. 9 (Современная электроника № 2, 2026).

Достаточно много внимания в статье [1] уделено результатам компьютерного анализа траекторий полёта и скорости небольших объектов, основанного на 20-секундных и 53-секундных стабильных последовательностях видеоматериалов, полученных во время полёта STS-75. Этот анализ показал, что многие объекты (небольшие «плазмоды») демонстрировали мгновенные отклонения от траектории на 45, 90 и 180 градусов, резко изменяли свою скорость, неожиданно останавливались.

Не затрагивая алгоритм самого компьютерного анализа, который упоминается лишь только в общих чертах, остановимся на объяснении этого явления самими астронавтами, которые не раз его наблюдали.

Один из астронавтов, комментирующих видеоматериалы STS-75, отмечает кадры, потрясающие своей необычной красотой. Одним из таких «чудес света» является периодический сброс части технической воды, которая должна поддерживаться на строго определённом уровне. Этот процесс показан на рис. 10.

Вода в условиях вакуума и низкой температуры мгновенно кристаллизуется, превращаясь в хрусталики льда с самыми причудливыми формами.

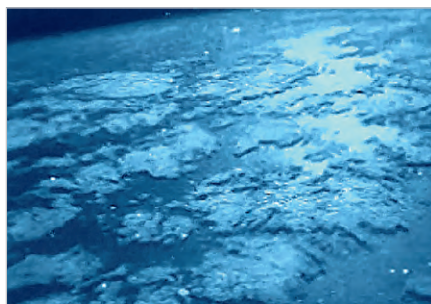


Рис. 11. Кристаллики льда вокруг шаттла, вспыхивающие на выходе из теневой области

Астронавт Том Джонс в блоге на своём сайте более подробно объяснил подобные процессы возникновения ложных артефактов на камерах LLTV, работающих в условиях низкой освещённости. Образовавшиеся частицы льда плавают вокруг шаттла на расстоянии около десятков метров, потому что они находятся на той же орбите, движутся с той же огромной скоростью в условиях почти полного вакуума, где нет сопротивления. Чтобы понять, как получены эти снимки и что на них изображено, на самом деле нужно учитывать особенности освещения на орбите шаттла в период «орбитальных сумерек». Внизу темно, в то время как наверху светит яркое солнце. Когда эти частицы выходят из тени шаттла, они вспыхивают за счёт подсветки солнцем снизу, как лампочки. При этом камеры, работающие в режиме ночного видения, просто засвечиваются [47].

С одной стороны, эти кристаллики льда могут быть не в фокусе камер LLTV, особенно в режиме ночной съёмки. Это вызывает ложные кадры удалённого объекта, который на самом деле был снят в непосредственной близости к камере, настроенной на бесконечное фокусное расстояние [48].

Именно такие случаи Джозеф трактует как «удалённые объекты с огромными размерами».

С другой стороны, хрусталики льда, вращающиеся вокруг корабля, вспыхивающие разными цветами на фоне земных пейзажей, представляют незабываемую фантастическую картину (рис. 11).

Сторонники Роуна Джозефа всячески подчёркивают «неопределённость», «неопознанность» и «неопределимость» плазменных атмосферных образований, зафиксированных в полётах космических кораблей серии STS.



Рис. 12. Так выглядят реальные плазменные образования в атмосфере, классифицируемые как «спрайт» из общего класса «транзиентных световых событий»

Вместе с тем ничего мистического и необычного в картинках, приведённых в статье [1], нет. Всё достаточно прозаично и объяснимо с точки зрения современной науки.

Заключение

Интерес к плазменным образованиям в верхней атмосфере Земли в последние годы значительно вырос. В первую очередь это связано с задачами обеспечения устойчивости радиосвязи, спутниковой навигации и космических систем. Как было показано в этой статье, лабораторные исследования пылевой плазмы, проведённые как в наземных условиях, так и на космических станциях, позволили понять основные процессы возникновения и поведения кристаллической пылевой плазмы.

В настоящее время также достаточно хорошо изучены и систематизированы атмосферные плазменные явления, которые разбиты на три основных класса: транзиентные световые события (Transient Luminous Events – TLE); среднемасштабные перемещающиеся ионосферные возмущения (Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbances – MSTID); экваториальные плазменные пузырьки (Equatorial Plasma Bubbles – EPB). Все перечисленные явления находятся под постоянным глобальным мониторингом с использованием разветвлённых сетей спутников, радиолокаторов и систем GNSS. Крупные события, такие как спрайты или эльфы, в ряде случаев наблюдаются даже невооружённым глазом (рис. 12) [49].

Анализ наблюдений однозначно показывает, что во время полётов космических кораблей серии STS, включая миссию STS-75, не было зафиксировано никаких экстраординарных атмосферных плазменных явлений, выходящих за рамки хорошо известных и подробно описанных процессов.

Подводя итог, необходимо подчеркнуть, что, по мнению экспертов NASA, результаты экспериментов, полученных во время полётов STS-48, STS-75, STS-80, STS-96, STS-101, STS-106, STS-115, STS-119, STS-123, на которые ссылается Роун Джозеф в своей статье, не содержали свидетельств существования неизвестных форм плазменных образований. Как отмечает Джеймс Оберг, подобные гипотетические объекты имели бы тот же угловой размер и яркость, что и полная луна, если смотреть с поверхности Земли. Эти объекты были бы видны в дневном небе любому человеку на Земле, на кораблях или в самолетах вдоль траектории полета шаттла. Они также были бы видны на всех спутниковых снимках, включая метеорологические. За периоды рассматриваемых Джозефом полётов шаттлов Columbia не было ни одного сообщения о таких быстро движущихся гигантских объектах, похожих на луну. Однозначный вывод из этого заключается в том, что таких объектов вообще никогда не существовало [50].

В то же время можно допустить чисто гипотетическую возможность того, что около четырёх миллиардов лет назад могли существовать условия, при которых плазменные процессы каким-то образом участвовали в зарождении жизни. Однако ни конкретных механизмов, ни экспериментально проверяемых сценариев такого участия в статье [1] предложено не было.

Именно такой метод – выдвигание предположений, принципиально не допускающих проверки или опровержения, – является ключевой особенностью научно-исследовательской концепции, используемой Роуном Джозефом. Подобные утверждения относятся к классу «недоказуемых гипотез», которые невозможно корректно оценить в рамках существующих научных знаний. Однако следует принять во внимание тот факт, что за 25 лет упорного труда Роун Джозеф сформировал мощную рекламную-консалтинговую структуру, включающую


в себя публикации книг и журналов, блоги в сетях и интервью в массмедиа. Вершину пирамиды венчает бизнес платных консультационных услуг, организованный Джозефом и его коллегами Consult With Rhawn Gabriel Joseph, Ph.D. Расценки на эти услуги можно посмотреть на сайте [51].

Литература

1. *Joseph R., Impey C., Planchon O., del Gaudio R., Abu Safa M., Sumanarathna A.R., Ansbro E., Duvall D., Bianciardi G., Gibson C.H., Schild R.* Extraterrestrial Life in the Thermosphere: Plasmas, UAP, Pre-Life, Fourth State of Matter // *Journal of Modern Physics*. 2024. Vol. 15, № 3. P. 322–374. URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=131506>.
2. *Joseph R.* *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Clinical Neuroscience*. Boca Raton: CRC Press, 2000. URL: <https://www.routledge.com/Neuropsychiatry-Neuropsychology-and-Clinical-Neuroscience/Joseph/p/book/9780849300571>.
3. *Joseph R.* *Astrobiology, the Origin of Life, and the Death of Darwinism*. California: University Press, 2000. URL: <http://BrainMind.com/ViralRNAWorlds.html>.
4. *Joseph R.* Publications: books and editions [Электронный ресурс]. URL: <https://www.abebooks.com/book-search/author/rhawn-joseph>.
5. Scientific Publications. Brief Biography of Rhawn Joseph, Ph.D. [Электронный ресурс]. URL: <http://brainmind.com/publications.html>.
6. *Joseph R.* Evidence of Extremophiles and Plasmas in the Thermosphere: Behaviors and Morphologies Indicative of Cellular Structures and Life Observed 200 Miles Above Earth // *Cosmology*. com. 2012. 9 March. P. 23–52. URL: <https://cosmology.com/ExtraterrestrialExtremophiles.pdf>.
7. Evidence of Life on Mars: A Bibliography. All Articles Published by Rhawn Joseph et al. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/384605946_Evidence_of_Life_on_Mars_A_Bibliography_All_Articles_Published_by_Rhawn_Joseph_et_al.
8. Pinnacle Island [Изображение]. URL: <http://planetary.s3.amazonaws.com/>

assets/images/mer_updates/2014-01/20140203_2-Pinnacle-Island-false-cropped-Sol3540B-01072014_P2594_1_False_L257.jpg.

9. NASA Mars Rover Opportunity Examines «Pinnacle Island» Rock Feature [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nasa.gov/jpl/opportunity/nasa-mars-rover-opportunity-examines-pinnacle-island-rock-feature/>.
10. Is Mysterious Mars Rock a Fungus? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.courthousenews.com/is-mysterious-mars-rock-a-fungus/>.
11. *Joseph v. Bolden et al.* Case No. 3:14-cv-00435, U.S. District Court, Northern District of California (San Francisco Division), filed January 27, 2014 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.courtlistener.com/docket/4377747/joseph-v-bolden/>.
12. *Brin D.* Sentient Developments blog [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sentientdevelopments.com/2009/09/explanation-for-lifes-origins-that.html>.
13. *Tsytovich V.N., Morfill G.E., Fortov V.E., Gusein-Zade N.G., Klumov B.A., Vladimirov S.V.* From plasma crystals and helical structures towards inorganic living matter // *New Journal of Physics*. 2007. Vol. 9. Art. 263. URL: <https://doi.org/10.1088/1367-2630/9/8/263>.
14. *Antipov S.N., Asinovskii E.I., Fortov V.E., Kirilli A.V.* Dusty Plasma Structures in Cryogenic DC Discharges. New York: AIP. URL: https://www.researchgate.net/publication/253813134_Dusty_Plasma_Structures_in_Cryogenic_DC_Discharges.
15. *Choudhary M.* A review on the vortex and coherent structures in dusty plasma medium // *Journal of Plasma Physics*. 2025. Vol. 91. № 1. Art. E7. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-plasma-physics/article/review-on-the-vortex-and-coherent-structures-in-dusty-plasma-medium/C4F2BEB9F72D502A56682AF0AB599E1C>.
16. *Ticoş C.M., Ticoş D., Williams J.D.* Kinetic effects in a plasma crystal induced by an external electron beam // *Physics of Plasmas*. 2019. Vol. 26. Art. 043702. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5092749>.
17. *Ticoş D., Constantin E., Mitu M.L., Scurtu A., Ticoş C.M.* A laboratory

- platform for studying rotational dust flows in a plasma crystal irradiated by a 10 keV electron beam // *Scientific Reports*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28152-8>.
18. *Yurchenko S.O.* et al. Flame propagation in two-dimensional solids: particle-resolved studies with complex plasmas // *Physical Review E*. 2017. Vol. 96. Art. 043201. URL: <https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.96.043201>.
 19. НОЦ «Плазма». Плазменные кристаллы [Электронный ресурс]. URL: https://plazma.karelia.ru/pub/events/plasma_crystals.pdf.
 20. *Bogdanova M.* et al. Virtual IED sensor for df-rf CCP discharges // *Plasma Sources Science and Technology*. Vol. 30. № 7. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6595/abf71b>.
 21. Статус исследований в области физики плазмы и плазменных технологий в России в 2023 году // *Физика плазмы*. 2024. Т. 50. № 8. URL: <https://ogarev-online.ru/0367-2921/article/view/280628>.
 22. *Morfill G.E.* et al. Condensed plasmas under microgravity // *Physical Review Letters*. 1999. Vol. 83. P. 1598. URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.83.1598>.
 23. *Форттов В.Е., Храпак А.Г., Храпак С.А.* Пылевая плазма // *Успехи физических наук*. 2004. Т. 174. № 5. URL: [https://files.academic-fortov.ru/Article/V.E._Fortov_A.G._Khrapak_S.A._Khrapak_et_al._Dust_plasma_UVN_174495_544_\(2004\).pdf](https://files.academic-fortov.ru/Article/V.E._Fortov_A.G._Khrapak_S.A._Khrapak_et_al._Dust_plasma_UVN_174495_544_(2004).pdf).
 24. *Fortov V.E.* et al. Complex (dusty) plasmas: current status, open issues, perspectives // *Physics Reports*. 2005. Vol. 421. P. 1–103. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0370157305003339>.
 25. *Morfill G.E., Ivlev A.V., Thomas H.M.* Complex (dusty) plasmas – kinetic studies of strong coupling phenomena // *Physics of Plasmas*. 2012. Vol. 19. Art. 055402. URL: <https://pubs.aip.org/aip/pop/article-abstract/19/5/055402/597023>.
 26. *Tsyтович В.Н.* Self-organized dusty structures in a complex plasma under microgravity conditions // *Physics-Uspexhi*. 2015. Vol. 58. P. 150–166. URL: <https://ufn.ru/en/articles/2015/2/c/>.
 27. *Tsyтович В.Н.* Perspectives of experimental and theoretical studies of self-organized dust structures // *Успехи физических наук*. 2015. Т. 58. № 2. P. 150–166. URL: https://ufn.ru/ufn15/ufn15_2/ufn152c.pdf.
 28. ESA. Plasma Kristall [Электронный ресурс]. URL: <https://lnk.ua/YN32YOYVJ>.
 29. *Thoma M.H.* et al. Complex plasma research under microgravity conditions // *NPJ Microgravity*. 2023. Vol. 9. Art. 13. URL: <https://www.nature.com/articles/s41526-023-00261-8>.
 30. *Fortov V.E., Morfill G.E.* Complex and Dusty Plasmas: From Laboratory to Space. Boca Raton: CRC Press, 2019. URL: <https://www.routledge.com/Complex-and-Dusty-Plasmas-From-Laboratory-to-Space/Fortov-Morfill/p/book/9780367384630>.
 31. *Петров О.Ф.* и др. Предварительные итоги эксперимента «Плазменный кристалл 4» // Пилотируемые полёты в космос. 2024. № 4 (53). URL: https://www.gctc.ru/media/files/Periodicheskie_izdaniya/ppk_2024_4_total_53/4_stat.a_petrov_zobnin.pdf.
 32. *Levchenko I.* et al. Plasma-enabled additive manufacturing in space // *Progress in Aerospace Sciences*. 2025. Vol. 157. Art. 101125. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037604212500051X>.
 33. *Joseph R.* Biological UFOs, Extraterrestrial Extremophiles. Evidence From NASA [Видеозапись]. 2012. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Yb67zM1Sh-Q>.
 34. *Joseph R.* Biological UFOs II, Hunters, Predators, Electromagnetic Extremophiles [Видеозапись]. 2012. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=DARCIc4pCw>.
 35. STS 75 [Электронный ресурс]. NASA. 1996. URL: <https://www.nasa.gov/gallery/sts-75/>.
 36. Space Shuttle Flight 75 (STS 75). Post Flight Presentation [Видеозапись]. URL: <https://nss.org/space-shuttle-flight-75-sts-75-post-flight-presentation-video/>.
 37. *Oberg J.* Misinterpreting STS 75 video imagery [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jamesoberg.com/ufo-sts-75.html>.
 38. *Oberg J.* STS 75 Tether Incident: Debunking UFO Claims [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jamesoberg.com/99purdue-75-tether.html>.
 39. System Considerations for Implementing Low Light Level Television. NCJRS, 1972. URL: <https://www.ojp.gov/ncjrs/virtual-library/abstracts/system-considerations-implementing-low-light-level-television>.
 40. *Oberg J.* Flight Plan STS 75 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.jamesoberg.com>.
 41. Registax [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Registax>.
 42. *Gonzalez R.C., Woods R.E.* Digital Image Processing. 4th ed. Pearson, 2018. URL: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/digital-image-processing/P200000003339>.
 43. *Jähne B.* Digital Image Processing. 6th ed. Berlin: Springer, 2005. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/3-540-27563-0>.
 44. NASA Image Use Policy [Электронный ресурс]. URL: <https://science.nasa.gov/image-use-policy/>.
 45. Hubble Imaging Processing Notes [Электронный ресурс]. URL: <https://hubblesite.org/contents/articles/hubble-imaging-processing>.
 46. UFO believers, tether incident alien footage // *Chron.com* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.chron.com/news/nation-world/space/article/UFO-believers-tether-incident-alien-ufo-footage-5761801.php>.
 47. Did UFOs Visit STS 80 Columbia? [Электронный ресурс]. URL: <https://astronauttomjones.com/2011/04/18/did-ufos-visit-sts-80-columbia/>.
 48. *Katnik G.N.* et al. Debris/Ice/TPS Assessment and Integrated Photographic Analysis. NASA. URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19980027610/downloads/19980027610.pdf>.
 49. Red Sprite – Transient Luminous Events [Электронный ресурс]. URL: <https://skybrary.aero/articles/transient-luminous-events-tles>.
 50. *Oberg J.* STS 75 Shuttle “Tether” Video Analysis [Электронный ресурс]. URL: <https://rense.com/general/stsd.htm>.
 51. Consult With Rhawn Gabriel Joseph, Ph.D. [Электронный ресурс]. URL: <http://brainmind.com/Consult.html>. 

Знаменитый разработчик радиотелескопов, волноводов, РЛС и радаров А.А. Пистолькорс

Андрей Кашкаров

Среди исследователей и разработчиков, стоявших у истоков разных областей современной электроники, есть много имён, известных лишь в научном сообществе. Тем не менее без них развитие отечественной радиоэлектроники было бы другим. В статье рассказывается о научном пути и результатах исследований доктора наук Александра Александровича Пистолькорса, как фундаментальных, так и прикладных, нашедших широкое применение в развивающихся областях науки и техники в XX веке и определивших на десятилетия вперёд прогресс в развитии радиотехники, электроники и связи. Метод наведённых ЭДС, принцип двойственности, теория связанных линий для передачи информации, оптические волноводы и фазированные антенные решетки, голографические линзы, фотонные кристаллы – их создание и совершенствование напрямую связано с Александром Пистолькорсом.

Плодотворный путь учёного и педагога

В разные периоды Пистолькорс активно взаимодействовал с академиком А.И. Бергом и В.А. Котельниковым, Б.А. Введенским, А.Н. Шукным, А.Л. Минцом, А.А. Расплетиним, А.А. Харкевичем, Н.Д. Девятковым и многими другими, воспитал не одно поколение перспективных учёных, среди которых А.Л. Микаэлян, Л.Д. Бахрах, Б.И. Сапсович, Г.А. Евстропов (академики РАН) и другие. К слову, А.И. Берг был не только крупным учёным, но и заместителем министра обороны СССР в 60-х годах XX века. Поэтому неудивительно, что часть разработок учёных, в том числе Пистолькорса, много лет была засекречена. Постараемся приоткрыть эту тайну для читателей.

Александр Александрович Пистолькорс (10 октября 1896 г. – 23 марта 1996 г.) прожил яркую насыщенную жизнь: уважаемый учёный, родоначальник научной школы, внёсший значительный вклад в развитие радиотехники и связи, советский радиотехник, специалист в области антенной техники, член-корреспондент РАН (1946), заслуженный изобретатель РСФСР – автор 40 изобретений, часть из которых запатентована, оставил современникам выдающееся научное наследие. На рис. 1 представлен фотопортрет А.А. Пистолькорса.

«Начало» и становление радиотехника из шотландского рода

Александр Александрович происходил из дворянского рода Пистолькорсов в Шотландии. «Пистолькорс» переводится как «пистолет крестом». Известная история рода свидетельствует, что многие Пистолькорсы прославились на военном поприще, а отец будущего учёного Александр Август Юлиус Пистолькорс закончил Московский университет, стал юристом, статским советником, чиновником Императорской канцелярии.

Сначала Александр Александрович обучался радиотехнике в Офицерской электротехнической школе в Санкт-Петербурге. Во время Первой мировой войны на Кавказском фронте служил начальником малой радиостанции. В Гражданскую войну в оккупированном интервентами Баку Пистолькорс более полугодом был радистом подпольной радиотелеграфной станции, державшей связь с новым советским правительством. За добросовестную службу отмечен наградами часами [4].

Стартовой площадкой для научной деятельности Пистолькорса стала знаменитая в то время Нижегородская радиолоборатория имени М.А. Бонч-Бруевича, где начинающий учёный изучал теорию и практически разрабатывал коротковолновые антен-

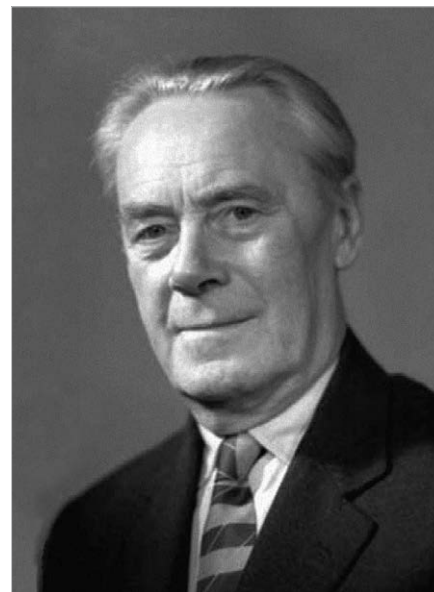


Рис. 1. Фотопортрет А.А. Пистолькорса

ны. Бонч-Бруевич лично руководил научной работой дипломного проекта А. Пистолькорса, разработавшего метод расчёта сопротивления излучения сложных коротковолновых антенн, впервые использовав метод наведённых ЭДС, получивший впоследствии широкое применение.

Можно записать в его заслуги изобретение метода расчёта сопротивления излучения с применением наведённых электродвижущих сил, признанный как в России, так и за границей. В это же время Пистолькорс пишет первые научные статьи.

На рис. 2 показан фотоснимок 1925 года, где А.А. Пистолькорс во втором ряду в центре с коллегами по Нижегородской радиолоборатории.

С 1923 по 1927 годы Александр – студент Московского высшего технического училища (МВТУ, ныне МГТУ имени Баумана). После закрытия лаборатории в 1929 году вместе с другими сотрудниками А.А. Пистолькорс переезжает в Ленинград и вплоть до эвакуации в 1942 году работает в Центральной радиолоборатории Электротехнического треста заводов слабого тока. В это время в исследованиях



Рис. 2. Архивный фотоснимок 1925 года. А.А. Пистолькорс во втором ряду в центре с коллегами по Нижегородской радиолaborатории имени М.А. Бонч-Бруевича

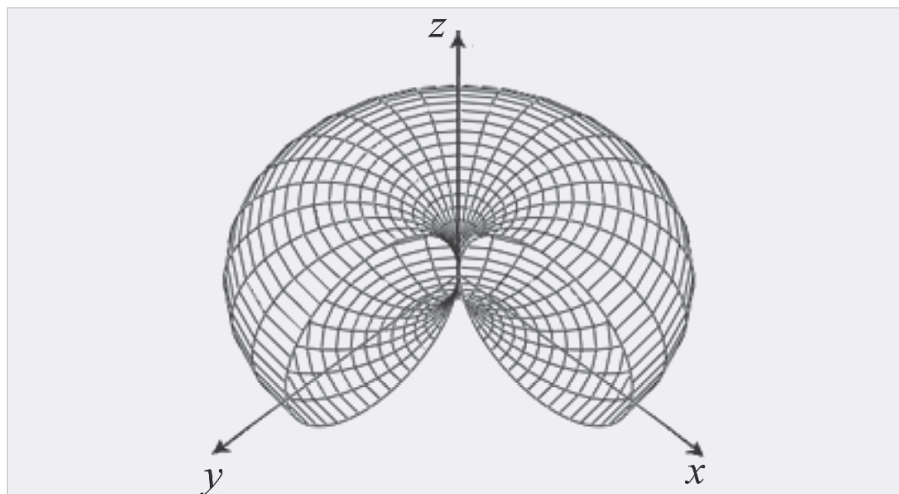


Рис. 3. Некоторые результаты открытого А. Пистолькорсом представления о формах излучения волнового кабеля

учёного уделялось внимание проблематике распространения радиоволн, особенно в связи с освоением КВ и УКВ диапазонов, а также созданию эффективных приёмных антенн. А.А. Пистолькорс предложил эффективный метод расчёта необходимого распределения тока в коротковолновой антенне по заданной диаграмме направленности, развил несколько фундаментальных методов в теории антенн. Его статьи по теме синтеза антенн ещё в 1929 году заслужили международное признание коллег.

На рис. 3 показаны результаты открытого Пистолькорсом представления о формах излучения волнового кабеля, а именно, пространственная ДН элементарного электрического вибратора.

Одновременно он преподавал в ленинградских вузах, с 1937 года в статусе профессора. Другим важным направлением этих лет, у истоков которого стоял Пистолькорс, стало исследование свойств гиротропных сред и развитие волновых ферритовых устройств. С 1945 года работал в Московском НИИ приборостроения и одновременно преподавал в Московском электротехническом институте связи. В 1961 году за выдающиеся работы в области радио удостоен Золотой медали АН СССР имени А.С. Попова.

Результаты исследований А.А. Пистолькорса применяются и сегодня, без них невозможно представить развитие современной радиоэлектроники. Результаты практико-ориентированных исследования учёного по приме-

нению многозеркальных антенн и ферритов в технике СВЧ и разработке двухзеркальных антенн и ферритовых устройств (вместе с учениками Л.Д. Бахрахом и А.Л. Микаэляном) в 1961 году были оценены на высшем государственном уровне и принесли Пистолькорсу Ленинскую премию СССР.

Успех развития радиолокационных систем в значительной степени был связан с разработкой антенно-волноводной СВЧ-техники, и А.А. Пистолькорс как научный руководитель возглавил фундаментальные и прикладные исследования в этой новой, быстро развивающейся области, уделяя особое внимание техническим направлениям СВЧ-техники.

В 80-е годы XX века А.А. Пистолькорс и до самой смерти занимался разработкой нового тогда направления в теории антенн: адаптивными антенными системами. В память Александра Александровича проводятся конференции и учреждена ведомственная медаль.

Учёный скончался в 1996 году на сотом году жизни, не дожив до векового юбилея несколько месяцев, а последнюю научную статью без соавторов самостоятельно написал в возрасте 97 лет.

Ещё до войны Александром Александровичем был спроектирован большой солнечный радиотелескоп для радиоастрофизической обсерватории Института солнечно-земной физики в 220 км от Иркутска. Позже под руководством А.А. Пистолькорса спроектированы и построены радиоцентры магистральной радиосвязи для Москвы, Иркутска и Комсомольска-на-Амуре, разработаны антенные устройства оборонного назначения, спроектирован большой крестообразный солнечный радиотелескоп, построенный вблизи Иркутска.

На рис. 4 показан радиотелескоп ТНА-1500, одним из разработчиков которого был А.А. Пистолькорс. Этот 64-метровый зеркальный радиотелескоп под шифром РТ-64 был установлен под Москвой для связи с космическими аппаратами. Позже Пистолькорс создал похожий сферический двухзеркальный телескоп.

Талант Александра Александровича раскрылся в голографии – одном из новых тогда направлений физики. Пистолькорса знают как автора фундаментальных работ о разре-



Рис. 4. Радиотелескоп ТНА-1500, одним из разработчиков которого был А.А. Пистолькорс

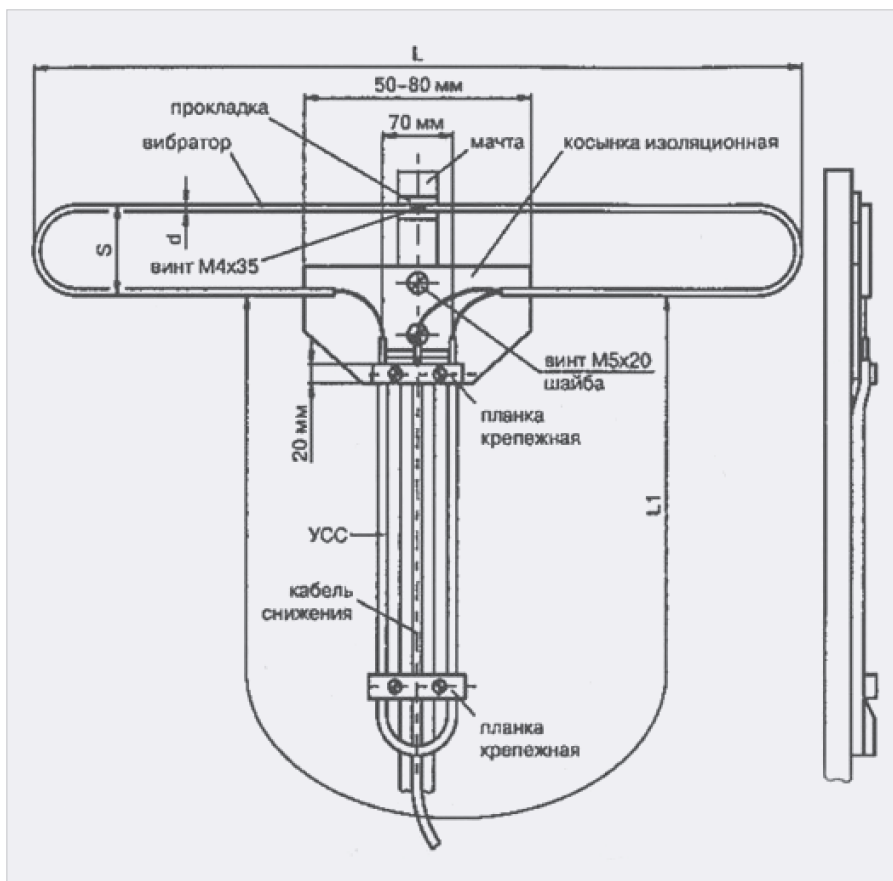


Рис. 5. Схема элементов шлейфа-вибратора Пистолькорса

шающих способностях голограммы. Интерес учёного к квантовой электронике и применению лазеров в радиопромышленности позволил создать при НИИ-17 научный центр. В 1946 году уже признанного специалиста в области антенно-фидерных устройств пригласили на работу в НИИ-17 (концерн радиостроения «Вега»). В те годы основным направлением «центра» была разработка

самолётных радиолокационных СВЧ-систем. Как научный руководитель А.А. Пистолькорс возглавил фундаментальные и прикладные исследования антенно-волновой СВЧ-техники. Тогда это направление науки было перспективным и бурно развивающимся.

Пистолькорс принимал участие в работе Межведомственного координационного совета по антенно-волновой технике, образованного по

его инициативе в 1960-е годы, и Межведомственного совета по квантовой электронике.

А.А. Пистолькорс – инициатор и бесменный руководитель семинаров по теории и технике антенн, организатор секции «Антенные сооружения» Совета по радиоастрономии АН СССР, почётный член НТОРЭС имени А.С. Попова. В 1959 году учёный избран членом IEEE, а в 1978 году ему присвоено звание пожизненного члена этого института. Учёный, педагог и практик награждён двумя орденами Ленина, орденами Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, «Знак Почёта» и многими медалями [4].

В 1980-е годы XX века Пистолькорс отличился в разработке и улучшении адаптивных антенных систем. Работы учёного и его учеников получили заслуженное признание в СССР и за рубежом. Пистолькорс разработал и ввёл в практику ряд новых типов антенн, в том числе согнутый вибратор (шлейф-вибратор Пистолькорса), применяемый в телевизионных приёмных антеннах и не только. Особое значение для создания радиопрозрачных обтекателей и укрытий антенн имеют исследования Александра Александровича по дифракции волн в диэлектрических слоистых структурах. На рис. 5 схематически показаны элементы шлейф-вибратора Пистолькорса.

Неудивительно, что его ученики стали ведущими специалистами в различных направлениях электроники. Он был талантливым педагогом, до конца жизни координировал работу научных конференций и выпуск изданий по теории и технике антенн, которые способствовали распространению новых знаний. Коллеги и ученики отмечали благожелательное отношение и поддержку Пистолькорса. При многих заслугах в жизни Александр Александрович был скромным человеком, не занимал высоких постов и отличался неприхотливостью в быту [1].

Метод наведённых ЭДС, теория связанных линий и другие

Метод наведённых ЭДС и принцип двойственности – фундаментальные принципы в области электромагнетизма, применяемые в смежных областях. К примеру, метод наведённых ЭДС связан с расчётом индуктивности и измерением токов. Теория связанных линий для передачи информации

развивалась с участием Пистолькорса, Х.С. Блэка и других исследователей, работавших над улучшением передачи сигналов в XX веке, анализом и оптимизацией линий передачи информации в многожильных кабелях и линиях. А.А. Пистолькорс совместно с П.Н. Рамлау запатентовал схему турникетной антенны, состоявшей из двух взаимно перпендикулярных вибраторов, возбуждаемых со сдвигом фаз в 90° , а также предложил схему однонаправленного ответвителя для радиотехнических измерений и углового вибратора с ДН. Много современных разработок, в том числе связанных с волноводами и оптоволоконным способом передачи данных, базируется на результатах исследований этих учёных.

Современникам наиболее известна «схема Пистолькорса»: полезный сигнал после фазового модулятора возводится в квадрат, затем демодулируется, в результате достигается сжатие потоковых данных в несколько раз, что даёт повышение скорости передачи данных без фатальных ошибок.

С развитием эры цифровой связи эти возможности получили ещё более перспективное развитие. На рис. 6 показана «блок-схема Пистолькорса» – ОФМ на основе сравнения полярностей. Представлена иллюстрация формирования сигнала по методу сравнения полярностей, в которой для создания опорного напряжения используется схема Пистолькорса. Удвоение частоты устраняет манипуляцию фазы, поэтому возможна узкополосная фильтрация опорного сигнала, уменьшающая действие помех. Полоса фильтра не должна быть очень малой, чтобы с помощью корректировки опорного напряжения управлять фазовыми импульсами. При этом импульсное изменение фазового опорного напряжения не вызывает искажение модулированного сигнала. Это разные, хоть и смежные направления в электромагнетизме, связанные с особенностями источника излучения антенны, вибратора, создаваемому в эфире полю. Для решения профессиональных задач Пистолькорс использовал методы дискретизации и численного моделирования.

Решённые проблемные вопросы

В результате в НИИ-17, впоследствии преобразованном в Институт

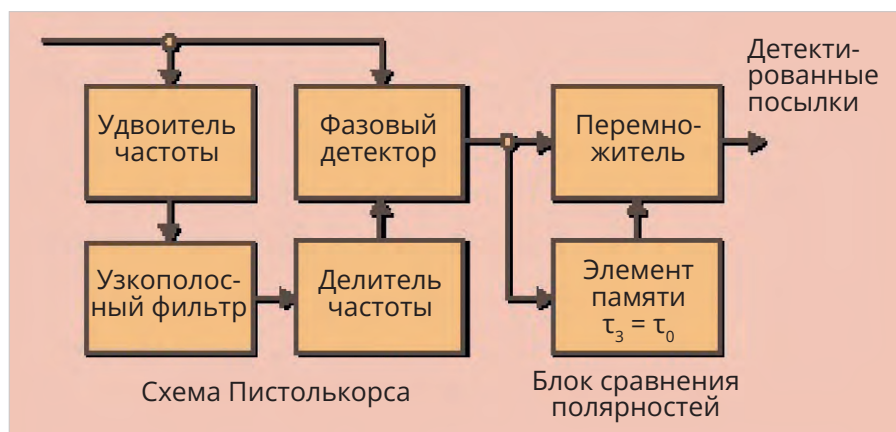


Рис. 6. «Блок-схема Пистолькорса» – ОФМ на основе сравнения полярностей

радиооптики, был создан мощный научный центр, имеющий в составе перспективных конструкторов по развитию и применению лазерной техники для нужд оборонной и радиопромышленности.

После создания первых лазеров появилось много предложений по их применению в разных областях науки и техники благодаря большой мощности лазерных установок в узком спектре и возможности реализации коротких по времени импульсов излучения.

Для электронных генераторов большой мощности принципиально важным параметром является высокая когерентность излучения. Первые лазеры использовали оптические резонаторы, размеры которых во много раз превышали длину волны. В результате одновременно возбуждается большое число собственных колебаний на разных частотах и со случайными фазами, что определяет низкую пространственную и временную когерентности. Диаграмма излучения получается «изрезанной», а в случае фокусировки размер «пятна» существенно превосходит дифракционный предел [2].

Отчасти поэтому усилия при разработке лазеров были направлены на поиск и создание эффективного метода селекции колебаний с меньшими потерями энергии, который может обеспечить генерацию лазерного излучения без заметного снижения мощности. Такой метод был заимствован из теории волноводных резонаторов, близких к «предельному», которым очень интересовался А.А. Пистолькорс. В результате был впервые реализован одномодовый (гелий-неоновый) лазер, имеющий дифракционную расходимость излучения, а позже – рубиновый одномодовый лазер, с помощью

которого впервые создана импульсная голограмма [3].

В начале 60-х годов был создан Межведомственный совет по квантовой электронике под председательством заместителя министра радиопромышленности, объединивший ведущих специалистов АН СССР и разных министерств для координации деятельности по развитию и применению лазерных установок в СССР. А.А. Пистолькорс принимал активное участие в работе совета.

Работы по оборонной промышленности

После эвакуации из блокадного Ленинграда в Тбилиси учёный получил первые результаты, относящиеся к принципу двойственности в электродинамике и теории антенн, создал основы общей теории дифракционных антенн. Тогда же учёный написал монографию «Антенны», изданную в 1947 году и надолго ставшую учебником, настольной книгой для специалистов по антенной технике.

С 1940-х годов Пистолькорс с коллегами продолжают работы по созданию радиолокационных станций для обнаружения и сопровождения воздушных целей противника самолётами-истребителями при проведении воздушного боя в условиях отсутствия видимости. Так, уже к началу Великой Отечественной войны созданы радиолокационные станции дальнего обнаружения, такие как РУС-1, получившие дальнейшее развитие и стоявшие на вооружении подразделения связи и РЛС вплоть до конца XX века. Новые радиотехнические средства позволяли вести более точный огонь, а значит, более эффективно отражать атаки противника и экономить снаряды.

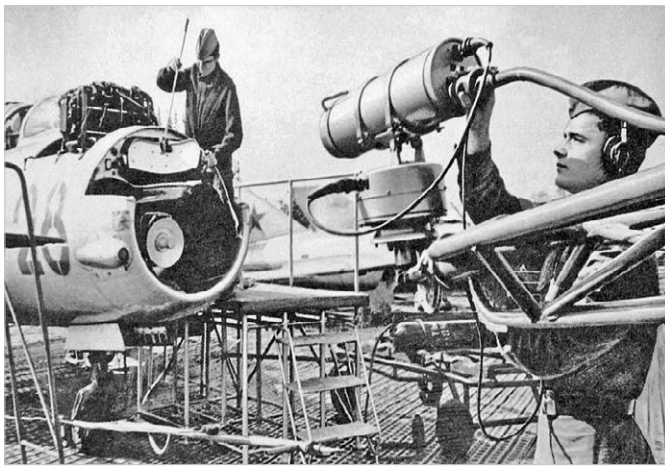


Рис. 7. Иллюстрация обслуживания и настройки антенного устройства РЛС РП-1 «Изумруд» на самолете МиГ-19П

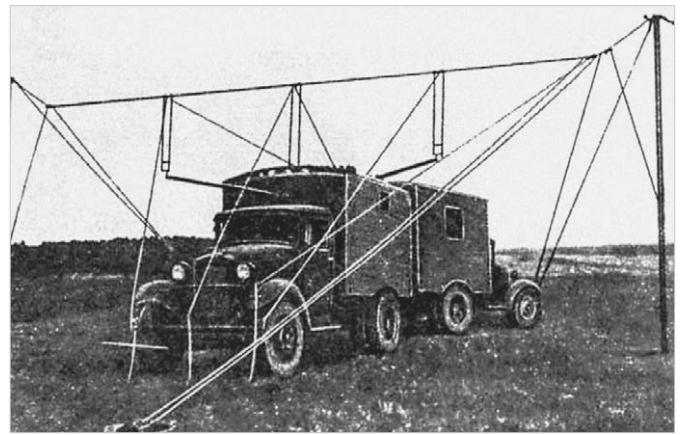


Рис. 8. Радиолокационная станция РУС-1, антенны для которой разрабатывались под руководством А.А. Пистолькорса

В ЦНИИС Министерства обороны Пистолькорс руководил созданием антенно-фидерных устройств для войск связи. При его активном участии созданы станции прицеливания «Торий-А» для самолета МиГ-15, станция «Аргон» для самолета Ту-16, станция «Изумруд» для самолетов МиГ-17П и МиГ-19П и другие. В 1950-е годы широкое развитие получает теория А.А. Пистолькорса о создании многозеркальной СВЧ-антенны.

На рис. 7 представлена иллюстрация обслуживания и настройки антенного устройства РЛС РП-1 «Изумруд» на самолете МиГ-19П.

Устройство могло совмещать функции обзора и прицеливания, что было особенно удобно для авиационной радиолокации. Многозеркальные антенны получили распространение в СССР и в мире в радиотехнических комплексах и в радиоастрономии.

На рис. 8 показана радиолокационная станция РУС-1, антенны для которой разрабатывались под руководством А.А. Пистолькорса.

Результаты работы Пистолькорса в развитии электроники и смежных областей

Развитие радиотехники и микроэлектроники шло по пути освоения всё более высоких частот. Непрерывно возрастали требования к объёму и уровню подготовки радиоинженеров по электродинамике СВЧ, в частности, по теории электромагнитного поля (ЭМП). Теория электромагнитного поля – основополагающий раздел дисциплины «Электродинамика и распространение радиоволн», изучающий общие закономерности

макроскопических электромагнитных процессов.

Всё это происходило в начале 50-х годов XX века, когда техника СВЧ-систем и разнообразных применений в радиолокации и связи находилась на пике развития. Характерной особенностью развития СВЧ-техники явилось широкое использование методов классической оптики с линзами с переменным показателем преломления. Этому способствовало построение неоднородной среды, обеспечивающей преобразование волнового фронта. Метод явился основой развития градиентной оптики и привёл ученика Пистолькорса А. Микаэляна к идее самофокусирующего оптического волновода – селфока, теория которого была опубликована в 1951 году в «Докладах АН СССР» [2].

Только через 18 лет идея селфока была реализована экспериментально в Японии в виде оптического световода. Создание первого оптического волновода привело к развитию оптических линий передачи информации. Впоследствии по инициативе академиком А.М. Прохорова и Р.В. Хохлова явление самофокусировки в градиентной среде было зафиксировано в виде открытия и получило широкое признание за рубежом. В этой области разработанный Пистолькорсом с использованием функций Матье-Ганкеля способ получил широкую известность.

Помимо СВЧ-линзовых антенн с переменным показателем преломления, реализованных из «искусственного» диэлектрика, широкое развитие получила идея А.А. Пистолькорса по созданию многозеркальных СВЧ-антенн по типу двухзеркаль-

ных оптических телескопов, применяемых в астрономии. Это позволило, в частности, совместить функции обзора и прицеливания в одной антенне, что особенно важно для бортовых радиолокаторов и систем связи. А.А. Пистолькорс является признанным лидером в этой области электронной техники в нашей стране.

Не менее важным для совершенствования радиолокационных и радиорелейных систем связи явилось создание и развитие СВЧ-ферритовой техники. Оно началось необычно и инициировано общением А.А. Пистолькорса с академиком А.И. Бергом (заместителем министра обороны), который посетовал на неустойчивую работу РЛС и их элементов – радиолокаторов – в военной области.

Пистолькорс во взаимодействии с коллегами тогда обоснованно, приведя в пример эффект Фарадея и другие магнитооптические явления, доказал возможность изолировать генератор от воздействия волн, отражённых от антенны, и неоднородностей волноводного тракта. Это одна из малоизвестных заслуг учёного Пистолькорса в защите своей страны.

Затем А.А. Пистолькорс инициировал развитие нового научного направления, связанного с исследованием магнитооптических явлений в СВЧ-диапазоне и созданием отдельного класса волноводных устройств и первых экспериментальных образцов ферритовых вентилях. Благодаря инициативе Александра Александровича и пониманию конструкторами радиолокационных систем важности решения этой задачи теперь эти разработки известны широкому кругу специалистов в области волноводно-феррито-

вой техники. Так, многозеркальные антенны и волноводно-ферритные устройства зародились в нашей стране и затем были доведены до широкого практического применения.

А.А. Пистолькорс также инициировал разработку и применение ферритовых устройств в радиорелейных системах связи, которыми занимался НИИ Радио Министерства связи СССР.

Несмотря на бурное развитие техники СВЧ, в середине 50-х годов делались попытки продвинуться в ещё более коротковолновые (миллиметровый и субмиллиметровый) диапазоны волн, где обозначились перспективы изобретений на основе и с использованием остронаправленных диаграмм излучения при небольших размерах антенн. Однако в то время техника СВЧ не получила в СССР развития из-за трудностей создания волноводов с малыми потерями и других причин.

В середине XX века начала быстро развиваться отечественная наука и в области квантовой электроники – нового научного направления, связанного с использованием явления индуцированного излучения, для создания малошумящих усилителей – мазеров и когерентных источников излучения в оптическом диапазоне волн – лазеров.

Фундаментальные исследования в области квантовой электроники интенсивно проводились в США. Характерной особенностью фундаментальных исследований, проводимых параллельно в СССР, была направленность на конечную цель, то есть создание когерентного оптического генератора. Это и позволило в итоге успешно осваивать оптический диапазон волн для разнообразных практических применений.

Параллельно в ФИАН СССР под руководством А.Н. Прохорова и Н.Г. Басова проводились исследования мазеров и других вариантов малошумящих усилителей с использованием туннельного эффекта в полупроводниках, а также на нелинейных эффектах в ферритах, к изучению которых был подключён А.А. Пистолькорс и его ученик – будущий академик РАН А.Л. Микаэлян.

В 1960 году уже появился первый лазер на рубине, что открыло возможности освоения оптического диапазона волн и новых направлений исследований, связанных с применением лазеров.



Рис. 9. Награждение А.А. Пистолькорса орденом Ленина в 1986 году

В середине XX века специалисты в области радиолокации и связи прохладно относились к перспективе использования оптического диапазона волн, в том числе из-за расчётных больших потерь при распространении волн в атмосфере. Этому «научному пессимизму» способствовали несколько факторов: отсутствие оптических волноводов для передачи информации, низкая эффективность лазеров, шумовые ограничения при приёме и другие. Многие учёные считали развитие лазерной техники нецелесообразным. Но не А.А. Пистолькорс, внимательный к деталям, обладавший чутьём и принципиальным характером. Он, напротив, увидел перспективы применения квантовых генераторных устройств – лазеров (КГУ). В результате продолжающихся исследований к концу 1961 года создана экспериментальная установка для исследования лазеров.

Помимо проработки очевидных применений (авиационные дальнометры на твердотельном лазере, фазовые высотометры на полупроводниковом лазере, авиационная система разведки местности на аргоновом лазере), которые в дальнейшем успешно внедрялись в виде самостоятельных промышленных разработок, новые предложения разработчика Пистолькорса базировались на использовании доплеровского смещения частоты (в оптическом диапазоне на несколько порядков больше,

чем в радиодиапазоне) для повышения точности измерения скорости и других навигационных характеристик [2]. А также его работы связаны с лазерными и голографическими методами записи и обработки информации. На рис. 9 представлен фотодоклад – награждение А.А. Пистолькорса орденом Ленина в 1986 году.

Таким запомнился учёный с мировым именем, стоявший у истоков фундаментальных исследований в области электромагнитных излучений, которые нашли широкое применение при создании фотонных кристаллов и фазированных антенных решёток.

Литература

1. А.А. Пистолькорс – выдающийся учёный XX века в области радиотехники и связи. URL: <https://www.computer-museum.ru/connect/pistol Kors.htm>.
2. Александр Пистолькорс – патриарх радиотехники. URL: <https://rostec.ru/media/news/aleksandr-pistol Kors-patriarkh-radiotekhniki/#end>.
3. Микаэлян А.Л., Коровицын А.В., Наумова Л.В. Одномодовый (гелий-неоновый) лазер с дифракционной расходимостью излучения // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики, ЖЭТФ. 1965. Т. 2, вып. 1.
4. Пистолькорс Александр Александрович. URL: https://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=4590534.





EXPO ELECTRONICA

28-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ



ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ,
МОДУЛИ И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ



ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ
И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОНИКИ



ВСТРАИВАЕМЫЕ СИСТЕМЫ



РОБОТОТЕХНИКА

СОВМЕСТНО С



2-Я ВЫСТАВКА ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ
ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ



БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ, АНАЛИТИКА
И ОБЛАЧНЫЕ РЕШЕНИЯ



ИТ-ИНФРАСТРУКТУРА
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ



ОБОРУДОВАНИЕ, РЕШЕНИЯ
И УСЛУГИ ДЛЯ ТРАНСПОРТА,
НАВИГАЦИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ



ЦИФРОВИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ
БИЗНЕСА, ГОРОДА И ПРОИЗВОДСТВА

14–16.04.2026

МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО

800+ УЧАСТНИКОВ
ЖДУТ ВАС!



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER



ПОЛУЧИТЕ
БЕСПЛАТНЫЙ БИЛЕТ
ПО ПРОМОКОДУ

print26



Специализированные конференции

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ 2026

Промышленная автоматизация

Цифровизация производства

Интернет вещей и большие данные

Искусственный интеллект

Информационная безопасность

Автоматизация зданий и инженерных систем

21-я специализированная конференция
11.02 ПТА – ЕКАТЕРИНБУРГ

7-я специализированная конференция
24.03 ПТА – КАЗАНЬ

17-я специализированная конференция
26–27.05 ПТА – САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

5-я специализированная конференция
22.09 ПТА – УФА

16-я специализированная конференция
27.10 ПТА – НОВОСИБИРСК

www.pta-expo.ru