

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Новосибирск  
2024

Всероссийская научная  
конференция молодых ученых

# НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

Сборник  
научных трудов

Часть 6

г. Новосибирск, 04-08 декабря 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

---

# НАУКА ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИИ

---

---

**XVII Всероссийская научная конференция молодых ученых  
г. Новосибирск, 04-08 декабря 2023 г.**

**Сборник научных трудов  
в 11-и частях**

**Часть 6**

НОВОСИБИРСК  
2024

УДК 62(063)  
ББК 72.5я431  
Н34

**Н34 НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ:** XVII Всероссийская научная конференция молодых ученых (г. Новосибирск, 04-08 декабря 2023 г.) // Сборник научных трудов в 11 ч. / Под ред. Соколовой Д.О. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2024.

ISBN 978-5-7782-5128-1  
Часть 6: – 88 с.  
ISBN 978-5-7782-5134-2

В сборнике опубликованы материалы научных исследований, представленных на XVII Всероссийской научной конференции молодых ученых.

В части 1 сборника представлены материалы по направлению «Информатика, автоматика, вычислительная и измерительная техника». В части 2 сборника представлены материалы по направлению «Информационные технологии математического моделирования и обработки данных». В части 3 сборника представлены материалы по направлению «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств. Материаловедение, технологические процессы и аппараты». В части 4 сборника представлены материалы по направлению «Энергетика». В части 5 сборника представлены материалы по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». В части 6 сборника представлены материалы по направлению «Электроника и биомедицинская техника». В части 7 сборника представлены материалы по направлению «Экономика и управление». В частях 8 и 9 сборника представлены материалы по направлению «Гуманитарные науки и современность». В части 10 сборника представлены материалы по направлению «Актуальные проблемы авиаракетостроения». В части 11 сборника представлены материалы по направлению «Экология и техносферная безопасность».

---

---

УДК 62(063)  
ББК 72.5я431

ISBN 978-5-7782-5134-2 (Ч.6)  
ISBN 978-5-7782-5128-1

© Коллектив авторов, 2024  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2024

## **Секция ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ И СИЛОВАЯ** **ЭЛЕКТРОНИКА**

### **РЕГУЛЯТОР ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ОБЩИМ КОММУТАТОРОМ**

**М.С. Ачкасова, Р.Ю. Сараханова**  
**Новосибирский государственный технический университет,**  
**г. Новосибирск, kukumisoo@gmail.com**  
**Научный руководитель: Удовиченко А.В., к.т.н., доцент**

*В рамках исследования был рассмотрен регулятор переменного напряжения (РПН) с общим коммутатором. В работе представлен анализ оценки эффективности созданного регулятора, который позволил выявить преимущества и недостатки устройства. Рассмотрены характеристики и исследованы зависимости коэффициентов гармоник от глубины модуляции для выводов о качестве тока. Были получены результаты моделирования в различных режимах и при различных параметрах нагрузки, частоты и глубины модуляции для однофазной, трехфазной схем и активной, активно-индуктивной нагрузок.*

*As part of the study, an alternating voltage regulator (AVR) with a common switch was considered. The paper presents an analysis of the evaluation of the effectiveness of the created regulator, which revealed the advantages and disadvantages of the device. The characteristics are considered and the dependences of the harmonic coefficients on the modulation depth for conclusions about the current quality are investigated. Simulation results were obtained in various modes and at different load parameters, frequency and modulation depth for single-phase, three-phase circuits and active, active-inductive loads.*

РПН с общим коммутатором является важным компонентом во многих областях, где требуется стабильное и точное напряжение для обеспечения надежной работы электротехнических систем. Цель исследования заключается в разработке и анализе эффективного РПН с общим коммутатором, который обеспечивает стабильность напряжения при изменении частоты и нагрузки, а также в проведении анализа существующих проблем в силовой электронике и выделении ключевых аспектов и научных результатов исследования.

Схема РПН с общим коммутатором содержит: в каждой фазе источник питания со своим реактором, который параллельно соединен с конденсатором при этом два конца этой цепи соединены с входом трехфазного диодного моста, к выходу которых подсоединены транзисторы (эта комбинация образует ключ переменного тока, чтобы

можно было работать с переменным сигналом), и также подключенная ко входу второго трехфазного диодного моста с транзистором нагрузка, состоящая из последовательно соединенных реактора и активного сопротивления (Рисунок 1).

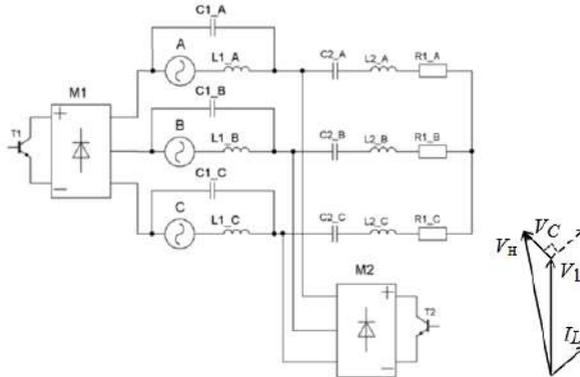


Рис. 1 – Схема РПН с общим коммутатором и векторная диаграмма

Главным возможным применением данного регулятора может считаться его использование, например, в ветровых установках. Работу схемы можно объяснить по векторной диаграмме (Рисунок 1). Напряжение в нагрузке определяется как сумма напряжений сети и конденсатора, собственно, поэтому и возникает повышение напряжения в регуляторе.

Исходя из эксперимента эпюры входного и выходного напряжения при разных параметрах нагрузки показали, что напряжение все равно остается стабильным и не изменяется, даже с увеличением сопротивления. Внешняя характеристика показала, что напряжение не проседает. Регулировочная характеристика оценила диапазон регулирования схемы и показала, что напряжение повышается практически на 50%.

Также был произведен расчет КПД. Схема работает оптимально при максимальной глубине модуляции и КПД близок к 95 %. С помощью метода алгебраизации дифференциальных уравнений был произведен расчет параметров:  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U_c$ . Метод АДУ хорош тем, что с помощью него можно выразить нужные токи и напряжения через параметры цепи, не используя дифференциальные уравнения первого и более высоких порядков. Были получены результаты: при максимальной мощности результаты совпадают с расчетными, однако к минусам данного режима можно отнести расхождение вне рабочего диапазона, это вызвано тем,

что однофазная схема является усредненной и нуждается в модификации, которая приблизит ее к имитационной модели. В данном контуре могут происходить потери, и сдвиг обуславливается реактивными элементами.

В рамках данного исследования было выявлено, что при большой входной емкости на нагрузке находится меньшее напряжение, нежели при низкой входной емкости, когда появляется более высокое напряжение. При этом, ставить дополнительный конденсатор не является эффективным решением, так как напряжение на нагрузке будет менее, чем при активно-индуктивной нагрузке. В свою очередь, сравнивая активную и активно-индуктивную нагрузки, можно заключить, что при последней нагрузке возможно получить наибольшее выходное напряжение.

Литература:

1. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники / Г.С. Зиновьев. – 5 изд. – Новосибирск : НГТУ, 2012. – 667 с.

2. Удовиченко, А.В. Регуляторы переменного напряжения с улучшенной электромагнитной совместимостью для электротехнических систем улучшения качества электрической энергии / А.В. Удовиченко // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – 2013. – 170с.

3. Зиновьев Г. С., Сидоров А. В., Удовиченко А. В. Повышающе-понижающие регуляторы переменного напряжения с улучшенной электро-магнитной совместимостью //Известия высших учебных заведений. Электро-механика. – 2013. – №. 6. – С. 53-57.

4. Udovichenko A. V., Zinoviev G. S. New family of AC regulators with the switched quasi-impedance of power supply or load //2013 14th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devic-es. – IEEE, 2013. – С. 377-381.

5. Удовиченко А. В. Новый тип регуляторов переменного напряжения с коммутируемым квазиимпедансом источника питания и нагрузки //Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. – 2019. – №. 4 (45). – С. 63-73.

## ГЕНЕРАТОР ЗАДЕРЖАННЫХ ИМПУЛЬСОВ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ И ЗАДЕРЖКОЙ

Т.И. Абрамец

Новосибирский Государственный Технический Университет,  
Институт Ядерной Физики им. Будкера,  
Новосибирск, timofei180@mail.ru

Научный руководитель от НГТУ: Беркин А.Б., к.т.н., доцент  
Научный руководитель от ИЯФ: Куркин Г.Я., к.т.н., в.н.с.

*Генераторы Задержанных Импульсов (ГЗИ) и Генераторы Временных Интервалов (ГВИ) уже давно используются в системах синхронизации больших научных ускорителей. В частности, ГЗИ используется для синхронизации систем требовательных к точности, например кикеры отклоняющие пучки частиц, электронная пушка и линейный ускоритель. ГВИ используются для синхронизации систем не требовательных к точности запуска, например начало подготовки отклоняющих магнитов и кикеров к инжекции пучков частиц и просмотр сигналов на измерительной аппаратуре. Поэтому в Институте Ядерной Физики им. Будкера (ИЯФ) возникла необходимость разработки устройства, которое будет выполнять функцию как ГВИ так и ГЗИ для грубой и точной синхронизации. Представлены результаты разработки внутренней схемотехники ПЛИС, электрической принципиальной схемы и печатной платы «ГВИЗИ2023Т».*

*Delayed Pulse Generators (DPGs) and Time Interval Generators (TIGs) have long been used in the synchronisation systems of large scientific accelerators. In particular, DPGs are used to synchronise systems requiring high precision, such as particle beam deflector kickers, electron guns and linear accelerators. TIGs are used to synchronise systems that do not require start-up accuracy, such as starting the preparation of deflector magnets and kickers for particle beam injection and monitor signals. Therefore, at the Budker Institute of Nuclear Physics (BINP) there was a need to develop a device that would act as both a GVI and a GZI for coarse and precise synchronization. The results of the development of the internal FPGA circuitry, the electrical circuit diagram and the printed circuit board of the "GWIZI2023T" are presented.*

Поскольку основной принцип синхронизации, используемый в ускорительных системах, заключается в введении дополнительной задержки в сигнал управления, а требования к точности при инжекции составляют 1/10 длительности пучка, то соответственно на частоте около 180 МГц примерно составляет 100 пс. Все устройства находятся на разном удалении друг от друга, поэтому импульсы запуска могут приходиться с разной задержкой, которая зависит от длины кабелей и от

внутрисхемных задержек устройств. В ИЯФ есть два типа устройств, которые осуществляют синхронизацию:

1. Генераторы Временных Интервалов (ГВИ) – используются для подготовки медленных элементов (зарядных линий кикеров и магнитов) к инжекции с неопределенностью 10 нс и диапазоном регулировки задержки до 214 сек.
2. Генераторы Задержанных Импульсов (ГЗИ) – для инжекции заряженных частиц из Линака перед ускорительное кольцо и из него в основное экспериментальное кольцо.

Требования к устройству, следующие:

- Два режима работы: ГВИ и ГЗИ
- Ток и Амплитуда выходного импульса: 300 мА, 15 В.
- Количество каналов – 12.
- Параметры ГВИ:  
Неопределенность задержки выходного импульса 10 нс.  
Максимальная задержка 214,7 сек.
- Параметры ГЗИ:  
Неопределенность задержки выходного импульса <150 ps.  
Максимальная задержка 10 мкс.

Принцип работы ГВИ:

По приходу задерживаемого импульса, он привязывается к тактовой частоте 10 МГц, которая формируется через специальный делитель и с этого момента начинают считать счетчики каналов, частота подаваемая на счетчики может варьироваться от 10 МГц до 360 Гц, что позволяет увеличивать диапазон регулировки.

Принцип работы ГЗИ:

Для обеспечения высокой точности нужно учесть джиттер, и то, что задерживаемый импульс может прийти в любой момент независимо от тактовых импульсов кварцевого генератора. На рисунке 1 представлено схематическое изображение метода прецизионной регулировки задержки выходного импульса с учетом неопределенности тактовых импульсов. Принцип в том, что как только приходит импульс запуска мы начинаем заряд определенного конденсатора. Поскольку мы знаем ток заряда, то мы можем точно рассчитать до какого уровня напряжения он зарядиться. Затем внутренняя логика ПЛИС должна «проверить» был ли импульс запуска на спаде и фронте тактового импульса, как только оба условия выполнены заряд конденсатора прерывается. Далее включаются внутренние счетчики ПЛИС, которые отсчитывают необходимое для нас время, вводя таким образом свою задержку. По концу счета конденсатор дозаряжается и как только уровни на входах компаратора совпадут, он сформирует логическую единицу на выход к усилительному каскаду.

Регулировка осуществляется через установку начального напряжения на конденсаторе до прихода импульса запуска. Соответственно схематическое изображение данной части устройства показано на рисунке 2.

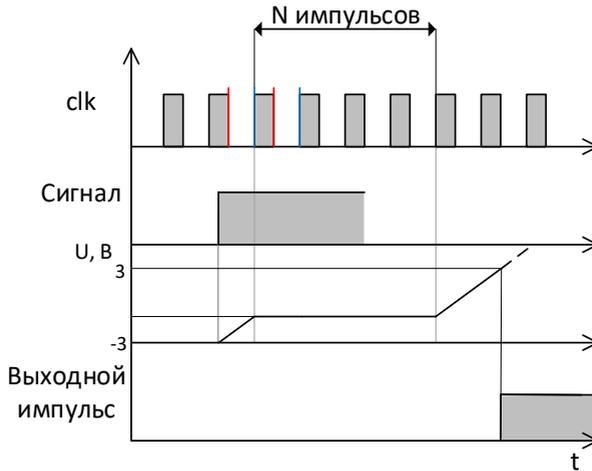


Рис. 1 — схематическое изображение прецизионной регулировки выходного импульса ГЗИ

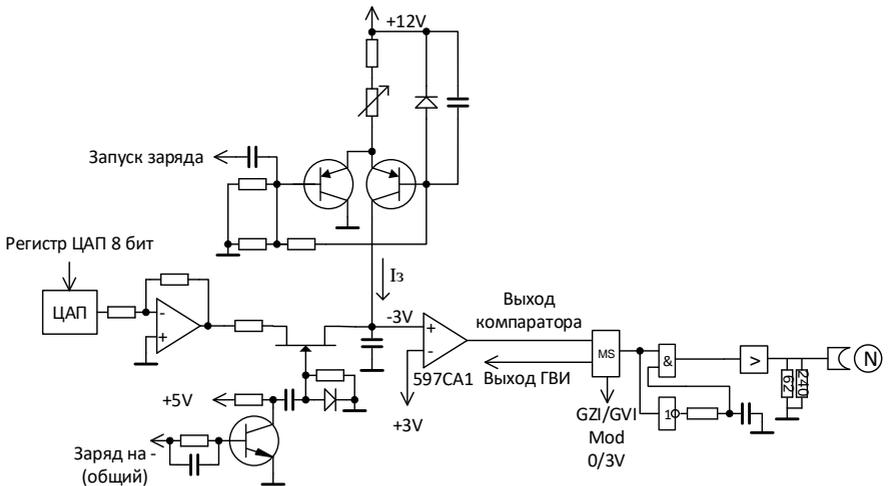


Рис. 2 — схематическое изображение прецизионной регулировки выходного импульса ГЗИ

Для обеспечения точности необходимо, чтобы конденсатор за время пока работают счетчики не разрядился. Поэтому нам нужно учесть ток утечки компаратора. Поэтому для выбранного нами компаратора 597СА1 произвели замер входного тока на всем диапазоне используемых нами напряжений был произведен замер входного тока. В результате эксперимента было выяснено что входной ток при разных напряжениях не превышает 20 нА, что значительно меньше расчетного тока, который может повлиять на работу схемы.

Поскольку изначально мы планировали разрабатывать прошивку для ПЛИС EPM240, то предварительно необходимо было проверить что количества логических элементов хватит для поставленной задачи. На рисунке 3 представлено схематическое изображение внутренней логики ПЛИС. Структурно цифровая схемотехника состоит из 4-х счетчиков задержки, счетчика рабочего цикла, двух SPI интерфейсов, памяти, логики определяющей режим работы устройства и асинхронного блока режима ГЗИ.

Соответственно электрическая принципиальная одного канала представлена на рисунке 4.

Оказалось, что количество макроячеек, занимаемое схемой на рис. 3 больше, чем имеется в EPM240, из-за чего мы решили использовать EPM570 с большим числом макроячеек из той же серии.

При разработке электрической принципиальной схемы нужно учитывать, что в итоге необходимо будет подстраивать ток заряда каждого каскада и напряжение на входе операционного усилителя вследствие разброса характеристик.



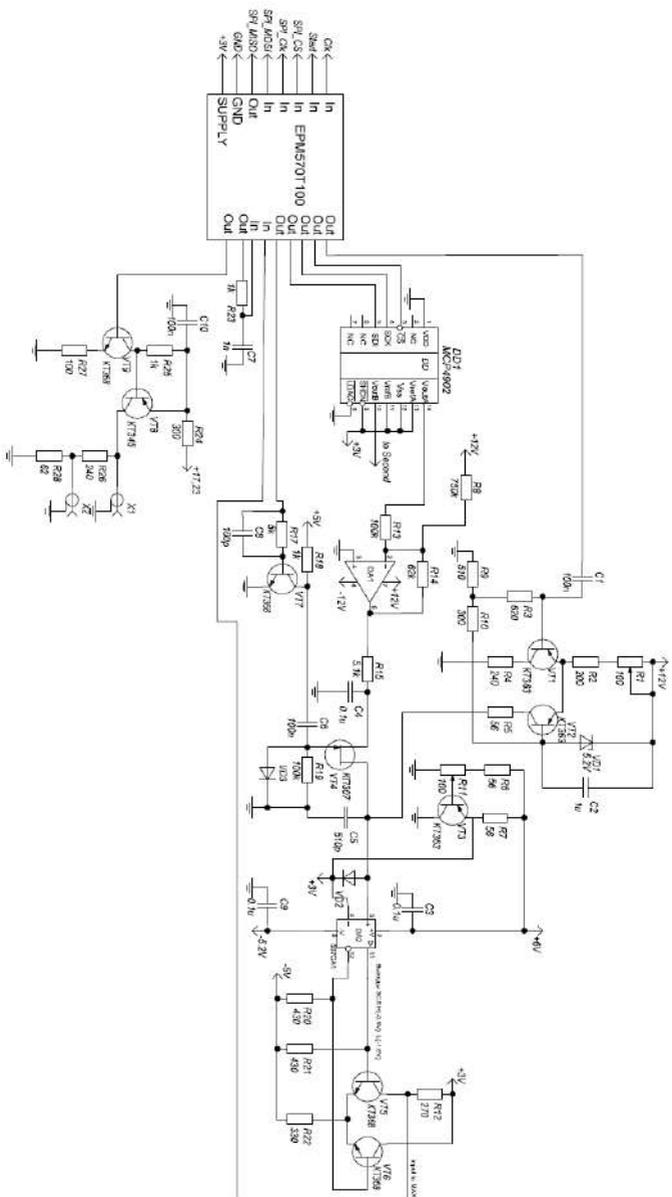


Рис. 4 — электрическая принципиальная схема одного канал

На рисунке 5 представлена печатная плата тестового образца ГВИЗИ2023Т. Плата уже была заказана и по плану должна быть готова к 20.11.2023. После разработки прошивки для тестового образца, проверки работоспособности планируется разработка серии устройств, которые затем будут встроены в работу ВЭПП-4 и ВЭПП-2000.

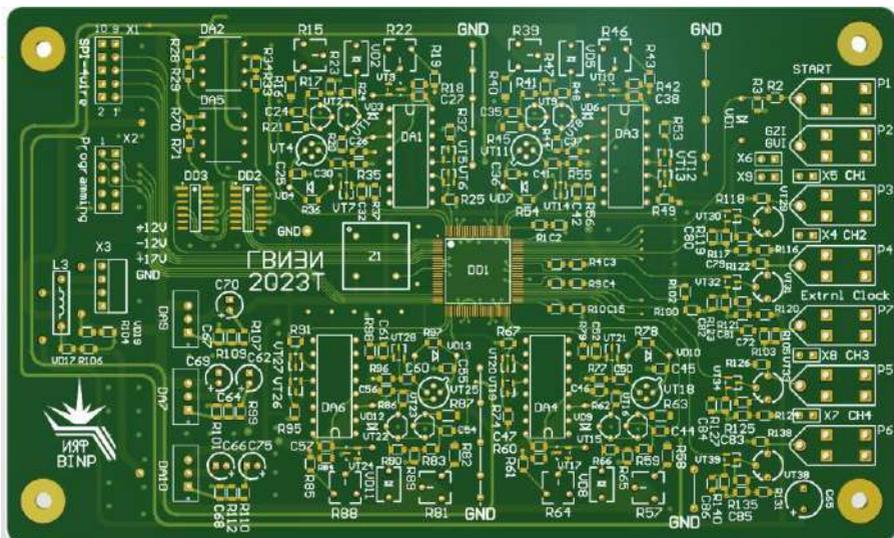


Рис. 5 — Печатная плата ГВИЗИ2023Т в 3D режиме Altium Designer

#### Литература

1. Электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-4М – [Web-документ], – URL: [<https://v4.inp.nsk.su/vepp4/index.html>].
2. А. Н. Журавлев, С. Е. Карнаев, Е. Б. Левичев, О. И. Мешков, С. А. Никитин, И. Б. Николаев, П. А. Пиминов, Статус Ускорительного Комплекса ВЭПП-4, – Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, 2020 г.

# ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ЧАСОВ В СТИЛИСТИКЕ ПОСТАПАКАЛИПТИЧЕСКИХ ИГР

**Т.В. Фонакова**

**Томский политехнический университет,  
г. Томск, tvb11@tpu.ru**

*В данной статье описан алгоритм проектирования и изготовления печатной платы часов в домашних условиях, проанализированы проблемы, возникающие на этапах изготовления, представлен прототип и MVP проекта часов на газоразрядных индикаторах. Также, выявлена и описана потребительская группа для изготовленного изделия.*

*This article describes an algorithm for designing and manufacturing a printed circuit board of a watch at home, analyzes the problems that arise at the manufacturing stages, presents a prototype and MVP of a watch project on gas-discharge indicators. Also, the consumer group for the manufactured product is identified and described.*

## **Введение**

Существующие системы деятельности [1] достаточно давно научились производить точные механизмы расчета времени. Тем не менее людям, использующим данные изделия, этого оказалось недостаточно. По этой причине на рынке постоянно появлялось большое количество изделий, условно называемых «часы», разрабатывавшихся под разные функции. Потребительских групп, желающих приобрести такие изделия всегда было достаточно много и автору хотелось бы сосредоточиться на одной из них – группе поклонников постапокалиптических игровых вселенных. Они представлены такими играми как The Last of Us, Half-Life, сериях Fallout и Metro. В подобных играх используются разные способы выживания, в том числе изготовление предметов из не предназначенных для этого промышленных деталей. Примером таких изделий могут служить наручные часы на газоразрядных лампах из серии игр Metro 2033. Настоящая работа посвящена разработке и сборке настольных часов на газоразрядных индикаторах.

Проектирование моделей трех печатных плат, в том числе их электрических схем, велось в среде KiCad [2]. На данном этапе определились их габаритные размеры, количество слоев и расположение логической и силовой части электронных компонентов. После разделения логических и силовых частей печатных плат был проведен этап трассировки, позволивший соединить компоненты дорожками, по которым будет поступать питание к каждому элементу цепи. Готовые РСВ-модели плат были напечатана в масштабе 1:1 на лазерном принтере,

с использованием специализированной бумаги. После, распечатки модели с помощью утюга соединяются с подготовленным текстолитом. На данном этапе важно не перегреть текстолит, иначе тонер будет испорчен. На заключительном этапе подготовки слой бумаги смывается проточной водой, результат по одной из плат см. рисунке 1.



Рис. 1 – Результат применения метода лазерного утюга

Для травления использован раствор перекиси водорода с растворенной лимонной кислотой и солью в пропорциях: на 100 мл перекиси водорода 30 г лимонной кислоты и 5 г поваренной соли [3]. При нагревании реакция будет протекать быстрее. Печатная плата в растворе представлена на рисунке 1. Медь, не закрытая тонером на текстолите, реагирует и выпадет в осадок в виде медного купороса ( $\text{CuSO}_4$ ). Итог данной процедуры продемонстрирован на рисунке 2. Результатом данного этапа является готовая для пайки печатная плата.

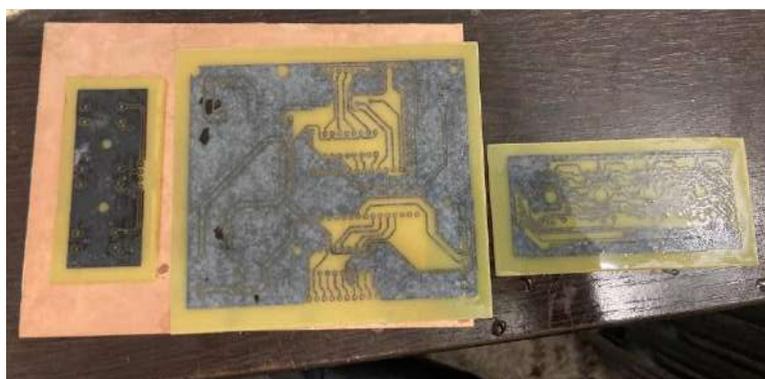


Рис. 2 – Результат реакции раствора и меди на текстолите

В следствие проведенной реакции получились платы с необходимыми медными дорожками под тонером. Необходимо убрать излишки тонера спиртом и получить готовую к следующему этапу печатную плату. Результат по одной из плат без тонера представлена на рисунке 3.

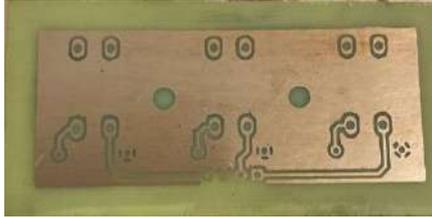


Рис. 3 – Плата, подготовленная к нанесению припоя

Недостаток метода лазерно-утюжной технологии заключается в слипании дорожек, которые остаются под тонером. Поэтому для изготовления плат с микросхемами данный метод не используется. С другой стороны, преимущество данного метода заключается в экономии бюджета и времени изготовления платы. Для изготовления печатной платы в домашних условиях метод лазерно-утюжной технологии является приоритетным, а иногда и единственно возможным из-за отсутствия специального оборудования. На рисунках 4.1 и 4.2 представлен собранный прототип проекта часов на газоразрядных индикаторах. Так же был создан специальный корпус, в который были смонтированы описанные компоненты – финальный результат работы можно видеть на рисунке 5.



Рис. 4.1 – Фронтальный вид



Рис. 4.2 – Вид сверху



Рис. 5 – Итоговый вариант настольных часов

Таким образом, в рамках данной работы были достигнуты следующие результаты: описан алгоритм проектирования и изготовления печатной платы часов на газоразрядных индикаторах в домашних условиях, проанализированы проблемы, возникающие на этапах изготовления, представлен прототип и MVP проекта часов на газоразрядных индикаторах.

Литература:

1. Щедровицкий П. Г., Кузнецов Ю. В. От разделения труда к разделению деятельности // Философские науки. – 2014. – №6. – С. 49-64
2. Reference manual // KiCad docs. URL: <https://docs.kicad.org/7.0/en/kicad/kicad.html> (дата обращения: 30.10.2022)
3. Рахманов, Д. Е. Травление печатных плат методом "ЛУТ" / Д. Е. Рахманов // Информация и образование: границы коммуникаций. – 2019. – № 11(19). – С. 131-132. – EDN LLGCWW

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ С КАСКАДНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ Н-МОСТОВ В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ**

**Е.А. Швейгерт**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, [shveygert.egor@gmail.com](mailto:shveygert.egor@gmail.com)**

**Научный руководитель: Нос О.В., д-р техн. наук, доцент**

*В статье рассматриваются возможные варианты смещения нейтральной точки в следствии выхода из строя одной и более ячеек при каскадном включении Н-мостов для симметрирования питающих токов двигателя.*

*The paper considers possible options of neutral point bias due to the failure of one or more cells in the cascade connection of H-bridges for symmetry of electromotor supply currents.*

## **Введение**

Одним из направлений развития современного электропривода переменного тока является переход к автоматическому регулированию угловой скорости ротора электрических машин большой мощности, порядка единиц-десятков МВт, для питания фазных обмоток статора которых применяются преобразователи частоты, реализованные на основании многоуровневой топологии, в рамках которой выделяют три базовых типа автономных инверторов напряжения, а именно с фиксированной нейтральной точкой [1], с плавающими конденсаторами [1] и с каскадным, или иначе последовательным включением H-мостов [1]. В последнем случае имеет место улучшенный гармонический состав потребляемых токов, модульный принцип монтажа силовой части, а также большое количество уровней, благодаря чему данная конфигурация получила наибольшее распространение в практических приложениях.

Для повышения надежности электромеханических систем данного класса при выходе из строя элементов в управляющей или силовой части полупроводникового преобразователя желательно сохранить его работоспособность, которую можно реализовать за счет введения в работу резервных ячеек, сохранения одинакового числа рабочих модулей во всех трех стойках или преднамеренного смещения потенциала нейтральной точки [2]. Данный доклад посвящён вопросам практической реализации последнего способа для формирования симметричной системы трехфазных гармонических токов двигателя.

Как следует из названия данной топологии, силовая схема каждой из фаз представляет собой последовательное соединение  $n$  идентичных H-мостов, подключенных через звено постоянного тока и выпрямитель к индивидуальной вторичной обмотке трансформатора. Закон коммутации силовых ключей инвертора осуществляется в соответствии с ШИМ в случае предмодуляции нулевой составляющей и фазовом сдвиге опорного сигнала в каждом из силовых модулей, равным  $180^\circ/n$ . [3]

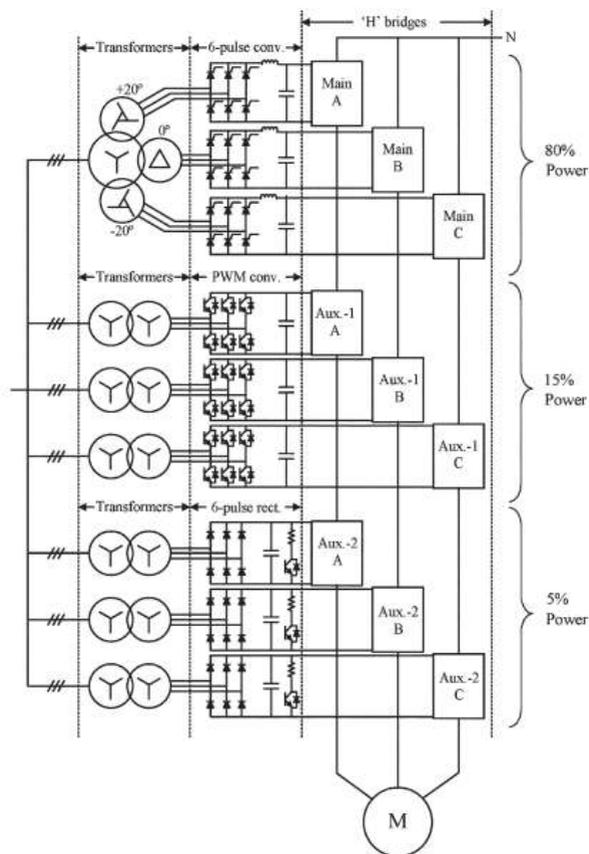


Рис. 1 – Функциональная схема многоуровневого преобразователя с каскадным включением Н-мостов

В безаварийном состоянии силового преобразователя на его выходе формируются линейные напряжения, векторная диаграмма которых образует собой равносторонний треугольник со сторонами  $|u_{ab}| = |u_{cb}| = |u_{ac}|$ , как это показано на рисунке 2.

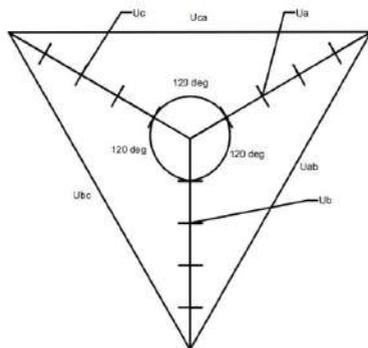


Рис. 2 - векторная диаграмма в форме равностороннего треугольника

Из рисунка выше видно, что относительно нейтральной точки расположены три вектора фазных напряжений, длина которых определяется количеством ячеек в стойке. Между концами этих векторов строятся вектора линейных напряжений. По умолчанию углы между фазами равны 120 градусам. Таким образом при одинаковой амплитуде фазных напряжений выстраивается равносторонний треугольник.

Однако при выходе из строя одной или более стоек, амплитуда фазного напряжения уменьшается, в следствии чего линейное напряжение становится не симметричным, что иллюстрировано на рисунке 3.

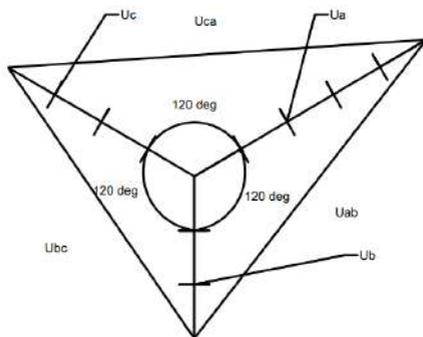


Рис. 3 - треугольник напряжений с выведенными из строя стойками.

Идея симметрирования токов за счет смещения потенциала нейтральной точки заключается в выравнивании линейных напряжений путем изменения угла между фазами, что изображено на рисунке 4.

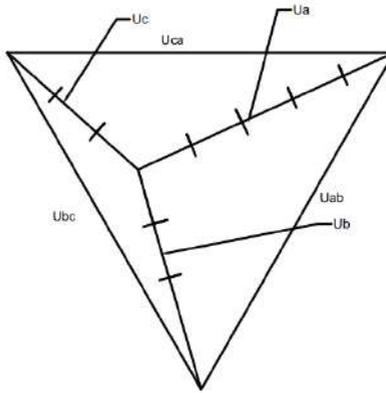


Рис. 4 -равносторонний треугольник со смещенной нейтральной точкой  
 Техническая реализация смещения нейтральной точки преобразователя с каскадным включением Н-мостов может осуществляется при помощи изменения коэффициента передачи канала ШИМ, применении нулевой составляющей напряжения или смещения векторов напряжений на заданные углы.

#### Заключение

В этой статье были рассмотрены проблемы, которые появляются при выходе из строя Н-мостов при их каскадном включении. Статья описывает принцип смещения нейтральной точки для симметрирования питающих токов электродвигателя и предлагает три способа технической реализации.

#### Литература:

1. Нос О.В. Алгоритмы управления многоуровневым инвертором напряжения с каскадным включением Н-мостов в аварийном режиме работы / Нос О.В., Дыбко М.А., Нос Н.И.// Электротехника. - 2021. - №12. - С. 37-42.
2. Mariusz Malinowski A survey on Cascaded Multilevel Invertors / Mariusz Malinowski, Jose Rodriguez, Marcelo A. Perez.// IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS. - 2010. - №7. - С. 2197-2203.
3. Pablo Lezanna Extended Operation of Cascade Multicell Converters Under Fault Condition / Pablo Lezanna, Gabriel Ortiz. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS. - 2009. - №7. - С. 2697-2700.

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРА ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ.

В.В. Абрамов

Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, abramov.2019@stud.nstu.ru

Научный руководитель: Удовиченко А.В., к.т.н., доцент.

*Данная работа посвящена разработке и исследованию регулятора переменного напряжения. В работе был выбран преобразователь, описан принцип его работы, смоделирована схема и сняты энергетические характеристики.*

*This work is devoted to the development and research of an alternating voltage regulator. In the work, a converter was selected, the principle of its operation was described, the circuit was modeled and the energy characteristics were removed.*

Регуляторы переменного напряжения имеют широкое применение не только в промышленности, но и в бытовых условиях. Они используются во многих устройствах, как для регулирования напряжения сети, так и для стабилизации напряжения на отдельных приборах. Регуляторы переменного напряжения позволяют обеспечивать стабильность напряжения и защищать электронные приборы от перенапряжений и недостаточного питания. Для выполнения данных задач отлично подойдёт повышающе-понижающий преобразователь. Ограничимся использованием данной схемы только в быту. Это условие освобождает нас от применения трехфазных регуляторов, поэтому за основу возьмем однофазный преобразователь. Отказ от трансформатора позволит нам уменьшить стоимость устройства и его габариты. Для дальнейшей работы будем рассматривать однофазный бестрансформаторный повышающе-понижающий регулятор переменного напряжения (см. Рис.1).

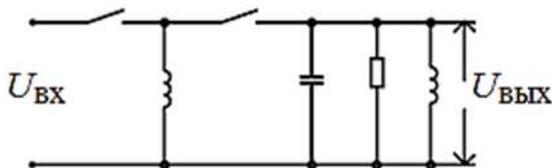


Рис.1 – Принципиальная схема повышающе-понижающего регулятора переменного напряжения.

Главной особенностью данного регулятора переменного напряжения является единичный коэффициент мощности. Коэффициент мощности определяет, насколько переменный ток на нагрузке будет сдвигаться по фазе относительно напряжения на ней (см. Рис.2).

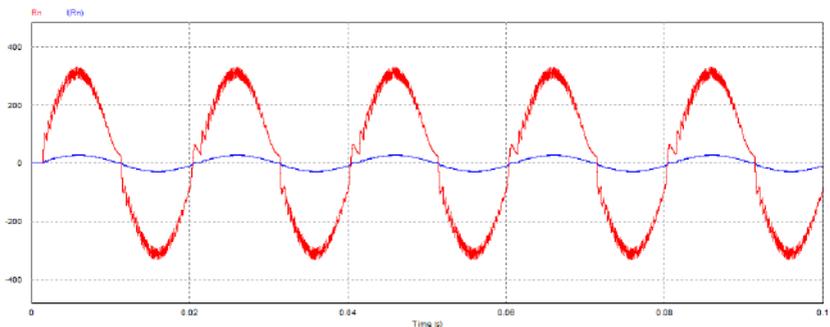


Рис.2 – Временные диаграммы тока и напряжения на нагрузке.

По представленным зависимостям видно, что сдвиг по фазе минимален, что указывает на близкий к единице коэффициент мощности.

Теперь построим график зависимости напряжения нагрузки от тока нагрузки при разных  $\cos\varphi$  (см. Рис.3).

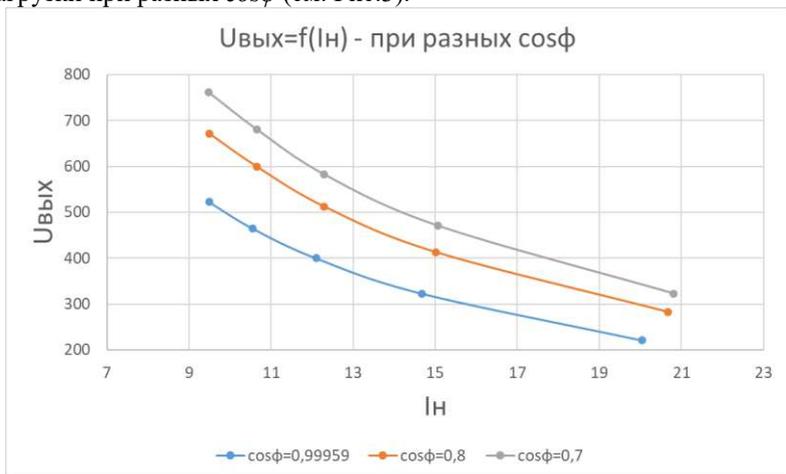


Рис.3 – Зависимость напряжения нагрузки от тока нагрузки при разных  $\cos\varphi$ .

По выходной характеристике можно увидеть, что она изменяется по закону Ома, при увеличении тока нагрузки, уменьшается напряжение нагрузки. При  $\cos\varphi = 0,99$  характеристика имеет более гладкий вид, что сказывается на более корректной работе преобразователя.

Моделирование и энергетические диаграммы показали точность работы регулятора, это значит, что данный преобразователь переменного напряжения можно внедрять на производство для бытового использования. Применение отлично подойдет для загородных домов, в которых бывают случаи с падением или со скачками напряжения. Регулятор позволит стабилизировать напряжение.

Литература:

1. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. Ч.1. – 199 с.
2. «ПОВЫШАЮЩЕ-ПОНИЖАЮЩИЙ РЕГУЛЯТОР ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ» [Электронный ресурс]. "Edrid" URL: <https://edrid.ru/rid/216.015.322f.html>

## **ДИСКРЕТНЫЕ СПОСОБЫ ШИМ В СОСТАВЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕГУЛЯТОРА**

**Д.М. Ивлев**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, makiff1999@gmail.com**

**Научный руководитель: Баховцев И.А., д.т.н., проф. каф. ЭЭ**

*Ранее были исследованы способы дискретной ШИМ для управления инвертором напряжения в составе электропривода (ЭП), при этом получена область устойчивости при изменении параметров системы регулирования и рекомендовано для улучшения качества выходной энергии скорректировать параметры регулятора. В данных тезисах отражены результаты такой работы – параметрического синтеза регулятора. Параметром качества оптимизации был коэффициент гармоник тока ( $K_{гтн}$ ) статора ЭП. В результате была получена трехмерная область зависимости  $K_{гтн}$  от параметров регулятора. Данный подход позволил также увеличить область устойчивости на 6,7% для нагрузки 2 Н/м и на 7,3% для 0,02 Н/м.*

*Previously, methods of discrete PWM for controlling a voltage inverter as part of an electric drive (ED) were studied, and a region of stability was obtained when changing the parameters of the control system and it was recommended to correct the parameters of the regulator for improving the quality of the output energy. These theses reflect the results of such work - the parametric synthesis of the regulator. The quality optimization parameter was the harmonic coefficient of the current ( $K_{hcl}$ ) of the ED stator. As a result, a three-dimensional region of dependence of  $K_{hcl}$  on the parameters of the regulator was obtained. This approach made it possible to increase the region of stability by 6.7% for a load of 2 N/m and by 7.3% for 0.02 N/m.*

В ходе предыдущей работы по использованию дискретной ШИМ [1] для управления трехфазным АИН в составе ЭП было предложено изменить параметры регулятора для улучшения качества выходной энергии. В соответствии с этим была поставлена задача – определить, какие параметры влияют на это качество. Для этого рассмотрим рисунок 1, на котором изображен регулятор без силовой части.

Данный регулятор имеет 3 контура управления: один по компоненте «d» и два (внутренний и внешний) по компоненте «q». Контур по «d» влияет на регулирование потокосцепления асинхронного двигателя. Контур по «q» влияет на регулирование скорости вращения вала и токов нагрузки. В данных контурах используются пропорционально-интегральные (ПИ) регуляторы.

Дальнейшая работа заключалась в параметрической оптимизации параметров данных регуляторов. Первую очередь изменяли их постоянную времени, так как данный параметр, как показало моделирование, в большей степени влияет на переходные и статические процессы.

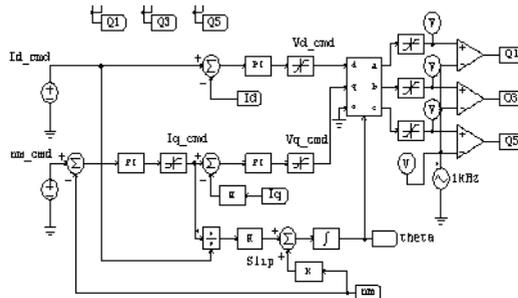


Рис. 1 – Модель регулятора

Критерием качества работы регулятора был выбран коэффициент гармоник тока нагрузки ( $K_{гтн}$ ). В процессе параметрического синтеза, реализованного на компьютере, была получена зависимость  $K_{гтн}$  от изменения постоянной времени ПИ-регуляторов для компоненты «q», представленная на рисунке 2.

Исходя из полученного графика можно сделать вывод, что на трехмерной поверхности существует область, где  $K_{гтн}$  имеет наименьший значение в диапазоне по координате «Т для внутреннего контура» от 0,2 до 0,002 и во всем диапазоне по координате «Т для внешнего контура» от 0,2 до 0,002.

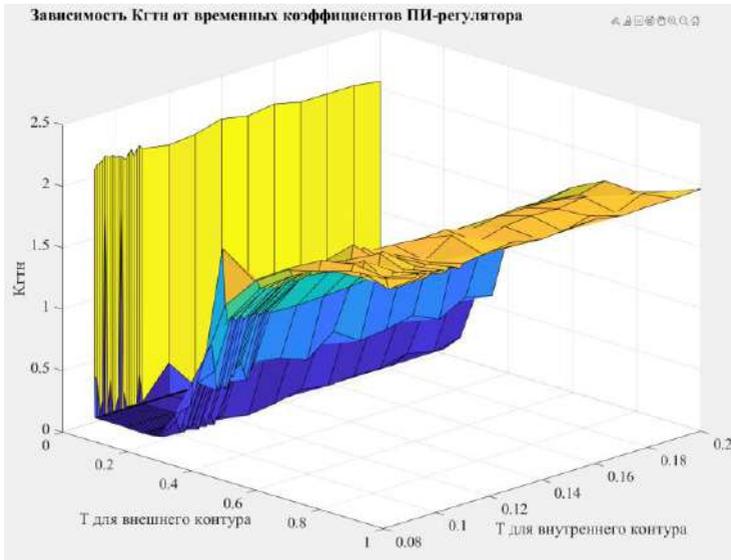


Рис. 2 – График зависимости Kgtm от постоянных времени ПИ-регуляторов

Также был проведен анализ влияния результатов параметрической оптимизации на область устойчивости ЭП. Ранее снятая область устойчивости моделировалась с параметрами ПИ-регуляторов: внутренний  $T = 0,001$  и внешний  $T = 0,05$ . Исходя из рисунка 2, для решения данной задачи были выбраны следующие оптимальные параметры: внутренний  $T = 0,007$  и внешний  $T = 0,105$ . Графики областей устойчивости с и без параметрической оптимизации при использовании дискретной ШИМ представлены на рисунке 3.

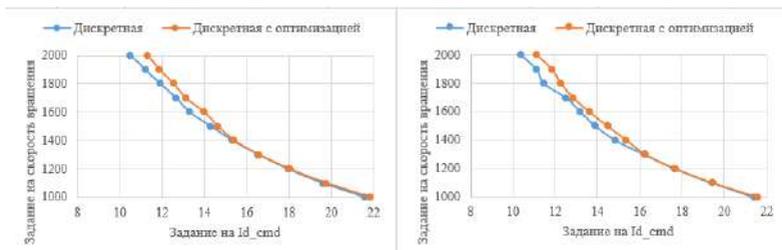


Рис. 3 – Графики зависимостей скорости вращения от тока (левый график для нагрузки в виде момента равного 0,02 Н/м, правый для момента 2 Н/м)

Выводы: Результаты сравнения показали, что система управления ДШИМ с параметрической оптимизацией, помимо улучшения качества выходной энергии, обеспечивает и большую область устойчивости при значениях  $Id\_cmd$  меньше 15-16.

При детальном сравнении наилучший эффект на 6,7% обеспечивается для нагрузки 2 Н/м и 7,3% - для нагрузки 0,02 Н/м по параметру  $Id\_cmd$ . При нагрузке 2 Н/м осталось негативное свойство двигателя на начальной стадии разгона вращаться в обратную сторону. Для решения данной проблемы необходимо дальнейшее совершенствование регулятора.

Литература:

1. Da Silva E.R. Pulsewidth modulation strategies: nonsinusoidal Carrier-based PWM and space vector modulation techniques / E.R.C. da Silva, E.C. dos Santos, JR., C.B. Jaco-bino // IEEE Industrial Electronics Magazine. – June 2011. – P. 37-45.

## **ОПТОВОЛОКОННЫЙ КАНАЛ СВЯЗИ МЕЖДУ ПЕРВИЧНЫМИ И ВТОРИЧНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ**

**С.Е. Репин**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, onirs@corp.nstu.ru**

**Научный руководитель: Харитонов С.А., д.т.н., профессор**

*Данная исследовательская работа посвящена изучению возможных способов организации связи между первичными и вторичными преобразователями в цифровых трансформаторах, и также реализации такой связи на основе пластиковой волоконно-оптической линии.*

*The research work is devoted to the exploration of method of organizing communication between primary and secondary converters of electronic transformers, and also the implementation of such communication based on a plastic fiber-optic line.*

Измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН) это неотъемлемые элементы в электроэнергетике на всех классах напряжений от 6кВ до 1150кВ. Они обеспечивают информацией о первичных токах и напряжениях все системы управления и учёта, такие как АСКУЭ, РЗА и другие[1].

В настоящее время в РФ происходит процесс перехода от традиционных электромагнитных трансформаторов к цифровым. Цифровые трансформаторы позволяют создавать более точные и линейные измерительные системы, которые проще в монтаже и безопаснее в эксплуатации и обслуживании[2-3]. Основной характерной чертой цифровых трансформаторов является преобразование измеряемой величины в цифровой код для последующей выдачи в протоколе МЭК 61850-9-2[2-3]. Они используют в качестве датчиков первичных величин преобразователи с неэлектромагнитным принципом[1] работы, и оцифровывают полученные данные.

Стандарт МЭК 61850 и документы ПАО «Россети» СТО 34.01-3.2-016/017-2022 определяют требования к цифровым трансформаторам тока (ЦТТ) и напряжения (ЦТН), а также комбинированным цифровым трансформаторам тока и напряжения (КЦТТН) в российской электроэнергетической системе. Далее для удобства будет рассматриваться только КЦТТН, как устройство более общего назначения, совмещающее функции ЦТТ и ЦТН.

Согласно СТО 34.01-3.2-016/017-2022 КЦТТН конструктивно представляет собой два преобразователя, между которыми установлена связь по цифровому проприетарному протоколу[2-3]. Схема КЦТТН представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – Структурная схема КЦТТН.

Первичный сенсор и первичный преобразователь, как правило находятся непосредственно на высоковольтной линии, а вторичный преобразователь – в некотором удалении, например в низковольтных отсеках шкафов управления в воздушных линиях электропередач или ячеек на подстанции..

Задача построения линии передачи данных между первичным и вторичным преобразователями может быть решена несколькими способами, с учетом следующих требований:

- гальваническая развязка с высоковольтной линией;
- низкое энергопотребление;
- высокая скорость передачи данных.

Электрический сигнальный кабель является самым простым решением и применяется в некоторых моделях ЦТТ и ЦТН, но он не обеспечивает надежной гальванической развязки вторичного преобразователя с ЛЭП и имеет низкую помехозащищенность.

Передача информации по радиоканалу редко находит применение в КЦТН из-за электромагнитных помех от ЛЭП и коммутационного оборудования подстанций. Для КЦТН потеря пакетов данных не допустима, а радиоканал уязвим также и для подавления злоумышленниками.

Еще одним способом может стать объединение первичного и вторичного преобразователей в одно устройство, передающее поток МЭК 61850 по интерфейсу GSM или Ethernet, однако такой способ требует относительно мощный источник первичного электропитания, и приводит к значительному удорожанию производства устройства.

Предлагаемый в данной работе способ организации линии связи: пластиковая волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС). Оптический кабель обеспечивает надежную гальваническую развязку, передатчики и приёмники потребляют малую мощность (до 0,15Вт) и обеспечивают скорость до 10Мбит/с[1].

В качестве оптических передатчиков и приёмников подходят промышленные оптические приёмопередатчики серии 1521/2521, совместимые со стандартом Versatile Link. Такие модули позволяют быстро и легко производить подключение и отключение оптического кабеля для монтажа и обслуживания приборов. К преимуществам Versatile Link и в частности 1521/2521 можно отнести:

- Компактность. Разъёмы стыкуются шип в паз и занимают мало места на печатной плате[4].
- Быстрота и надёжность крепления оптического кабеля. Разъём нельзя вставить неправильно, конструкция фиксаторов гарантирует прилегание оптических поверхностей[4].
- Высокая скорость передачи данных до 10Мбит/с.
- Диапазон рабочих температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .
- Низкое энергопотребление. Передатчик потребляет порядка 40мА, приёмник – 5мА.

Каждый первичный преобразователь КЦТТН имеет разъём, в который вставляется модуль оптического трансивера (рисунок 2): передатчик НУ-1521 и приёмник НУ-2521. Вторичный преобразователь имеет по 3 передатчика и 3 приёмника (рисунок 3), так как объединяет КЦТТН всех фаз трёхфазной сети.



Рис. 2 – Модули оптического трансивера. Слева с выходами параллельно высоковольтному проводу, справа – перпендикулярно проводу.



Рис. 3 – Фрагмент изображения печатной платы вторичного преобразователя КЦТТН с оптическими передатчиками и приёмниками для трех первичных преобразователей.

ВОЛС для связи первичных и вторичных преобразователей в составе цифровых трансформаторов является оптимальным решением по совокупности следующих достоинств:

- низкое энергопотребление;
- скорость передачи данных;
- гальваническая развязка.

Использование разъёмных оптических соединений также обеспечивает простоту монтажа комплектов трансформаторов.

Несмотря на то, что многие производители цифровых трансформаторов используют именно ВОЛС для связи первичного и вторичного преобразователей, единообразия решений для удобства монтажа пока не существует. Большинство производителей фиксируют интерфейсный кабель в неразборном корпусе прибора, делая громоздкий

«хвост» для подключения. Предложенный в статье способ использования оптических разъёмов и отдельного оптического кабеля, подключаемого уже на объекте энергетики, позволяет решить данную проблему доступным для производителей способом.

Литература:

1. Гречухин В.С., Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110-750кВ станций и подстанций энергосистем // Вестник ИГЭУ. – 2006. – № 4. – С. 1-9.
2. СТО 34.01-3.2-016-2022. Цифровые трансформаторы напряжения 6-750кВ. Общие технические условия. – Введ. 20.06.2022. – М.: Россети. – 70с.
3. СТО 34.01-3.2-016-2022. Цифровые трансформаторы тока 6-750кВ. Общие технические условия. – Введ. 20.06.2022. – М.: Россети. – 70с.
4. Versatile Link – универсальное соединение [Электронный ресурс] // Хабр: электрон. науч.-техн. журн. – URL: <https://habr.com/ru/companies/efo/articles/308902/> (дата обращения: 06.11.2014).

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ИНВЕРТОР

**А.Е. Трухачев<sup>1</sup>, Р.Л. Горбунов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>МАОУ «Вторая Новосибирская гимназия»,

<sup>2</sup>Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, [eltemelectronics@gmail.com](mailto:eltemelectronics@gmail.com)

Научный руководитель: Горбунов Р.Л., к.т.н., доцент

*В докладе изложена процедура создания электронного преобразователя напряжения. Представленное устройство преобразует напряжение аккумуляторной батареи 12 В в сетевое напряжение 220 В для питания бытовых электропотребителей в автономных условиях. Продемонстрирован опытный образец инвертора, стадии его проектирования и сборки, результаты итоговых испытаний.*

*The study presents the design procedure of the power electronics converter. The device under study converts the 12 V dc battery voltage to 220 V ac mains in autonomous mode. The prototype is demonstrated, including its stage-by-stage design and test results.*

Автомобильный инвертор представляет собой классический автономный преобразователь напряжения, предназначенный для питания

электроприборов, работающих от сети переменного тока [1]. В условиях недоступности такой сети инвертор преобразует постоянное напряжения автомобильного аккумулятора 12 В в переменное 220 В. В дальних поездках или выездах на природу инвертор дает возможность запитать портативный телевизор, холодильник, ноутбук, светильник и иные привычные электроприборы в их наиболее массовом исполнении – под сеть 220 В.

Цель работы – освоить процедуру создания электронных промышленных устройств данной категории сложности на профессиональном уровне. Процедура включает в себя следующие этапы: первичный расчет и проектирование, прототипирование, испытания прототипа, доработка устройства по результатам испытаний, создание опытного образца, испытания опытного образца. В докладе представлены результаты по каждому их этапов.

Основным параметром автомобильного инвертора является мощность подключаемых к нему приборов. Сегодня на рынке нижний ценовой сегмент (до 2000 руб.) составляют устройства мощностью до 300 Вт. Инвертор подключается в автомобильное гнездо прикуривателя, либо непосредственно к аккумулятору. Выходное напряжение 220 В для подключения электропотребителей выводится на встроенную в корпус евророзетку (Рисунок 1). Форма выходного напряжения – модифицированный синус (меандр). Дополнительно устройство оснащается USB-выходом с напряжением 5 В для заряда мобильных телефонов и питания иных портативных устройств с током до 1 А.



Рис. 1 – Аналог создаваемого устройства – инвертор Turbosky PI-300

В основу создаваемого устройства положена структурная схема на основе трансформаторного инвертора (Рисунок 2). Преобразователь DC/AC выполнен по нулевой схеме [2] на N-канальных MOSFET марки IRFZ58N. Инвертор нагружен на повышающий трансформатор (блок AC/AC) с двумя первичными обмотками 7,6-0-7,6 В. Напряжение 5 В формируется универсальным модулем стабилизации напряжения с питанием от 12 В. Управление силовыми транзисторами реализовано по

схеме симметричного мультивибратора, настроенного на частоту 50 Гц с возможностью подстройки частоты в диапазоне 43-87 Гц. Встроен контроль напряжения аккумулятора и температуры радиаторов силовых транзисторов с соответствующими индикаторами и защитами.

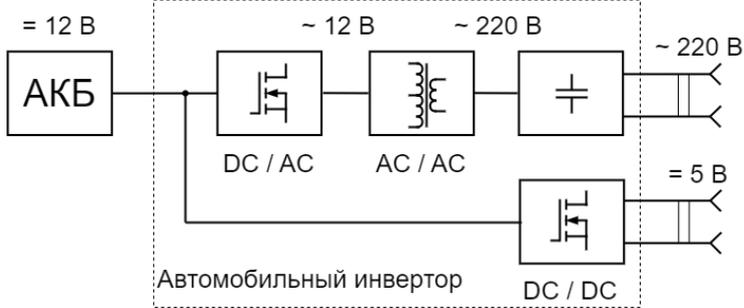


Рис. 2 – Структурная схема опытного образца

Печатная плата опытного образца устройства спроектирована в компьютерной среде EasyEDA (Рисунок 3) и изготовлена под заказ. Монтаж электронных компонентов, сборка и испытания (Рисунок 4,5) выполнены авторами самостоятельно. В докладе представлены осциллограммы токов и напряжений, а также график зависимости тока, потребляемого от аккумуляторной батареи, от величины нагрузки.

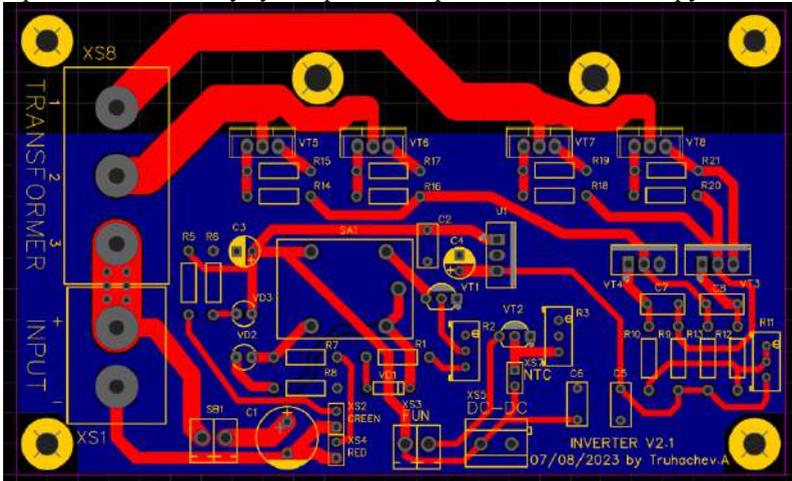


Рис. 3 – Проект печатной платы инвертора, спроектированной в специализированном САПР



Рис. 4 – Фотография опытного образца инвертора во время испытаний



Рис. 5 – Осциллограммы выходного напряжения опытного образца инвертора во время испытаний на резистивную нагрузку

Созданный инвертор по своим характеристикам соответствует заданию на проектирование. Освоенная инженерная процедура применима к широкому классу электронных изделий аналогичного

уровня сложности. Запланирована разработка эргономичного корпуса устройства.

Литература:

1. Смирнов Ю.А., Детистов В.А. Автомобильная электроника и электрооборудование. Системы: учебное пособие для СПО. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 308 с., ил.
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 496 с., ил.

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ В ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

**Н.А. Севостьянов**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, n.sevostyanov97@yandex.ru**

**Научный руководитель: Харитонов С.А., д.т.н., профессор**

*Рассматривается проблема низкого качества напряжения общей шины системы электроснабжения космического аппарата (СЭС КА) с распределённым трёхуровневым иерархическим управлением при динамических нагрузках, вызванная смягчения внешних характеристик параллельно соединённых по выходу силовых модулей (СМ). Смягчение приводит к высокому импедансу общей шины, не удовлетворяющему высоким требованиям к качеству напряжения бортовой аппаратуры КА. Для решения этой проблемы предлагается использовать регулятор с тремя степенями свободы (3-DOF), способного разнести по быстрдействию регулирование выходных напряжения СМ и смягчение их внешних характеристик, что позволит снизить увеличенный из-за смягчения импеданс общей шины и, как следствие, улучшить качество напряжения при динамических нагрузках.*

*The problem of low quality of the common bus voltage of the spacecraft electric power system (EPS) with distributed three-level hierarchical control under dynamic loads is considered. The problem is caused by droop control of parallel power modules (PMs). The droop control leads to high impedance of the common bus, which does not meet the high voltage quality requirements of spacecraft onboard equipment. In order to solve this problem, it is proposed to use a three-degree-of-freedom regulator (3-DOF), capable of differentiating in terms of speed the regulation of the output voltage of SMs and the droop control, which reduces the common bus impedance increased due to the droop control and, as a consequence, improves the quality of voltage under dynamic loads.*

Функциональная схема СЭС КА топологии  $S^3R$  с полностью регулируемой общей шиной электроснабжения и распределённым цифровым управлением представлена на рисунке 1. Параллельно соединённые по выходу СМ выполняют роль полупроводниковых преобразователей электроэнергии первичных источников – фотоэлектрических (ФБ) и аккумуляторных (АБ) батарей – в постоянное напряжение общей шины СЭС и напряжения общей шины в другие виды электроэнергии согласно требованиям бортовых систем (БС). СМ могут быть как сгруппированными в многоканальные энергопреобразующие комплексы, так и быть обособленными как в архитектурах пространственно-распределённых СЭС КА.

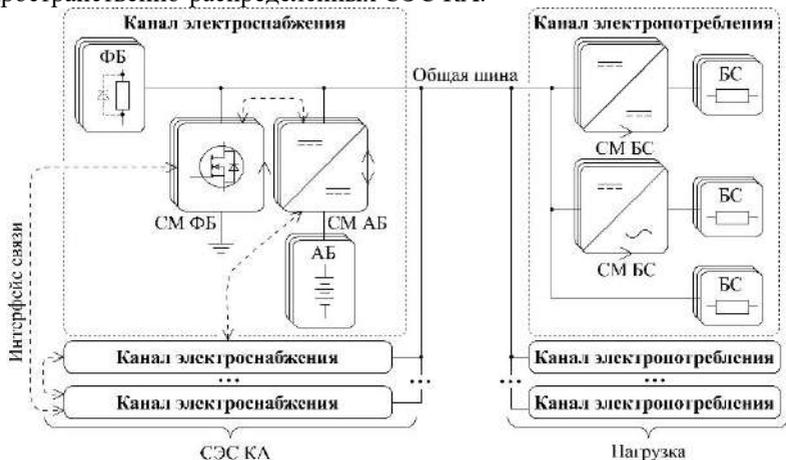


Рис. 1 – Функциональная схема СЭС КА топологии  $S^3R$  с распределённым управлением

На разных этапах циклограмм полёта КА реализуются следующие режимы работы:

- Режим 1 – СМ АБ в режиме разряда и стабилизации напряжения, СМ ФБ в режиме стабилизации выходной мощности (при недостатке мощности ФБ);
- Режим 2 – СМ АБ в режиме заряда, СМ ФБ в режиме стабилизации напряжения (при избытке мощности ФБ и низком уровне заряда АБ);
- Режим 3 – СМ АБ отключен, СМ ФБ в режиме стабилизации напряжения (при избытке мощности и полном уровне заряда АБ).

Рассматриваются состояния, в которых СМ стабилизируют напряжение общей шины, и не рассматриваются режимы заряда АБ и стабилизации выходной мощности СМ ФБ.

Традиционно иерархическое управление СЭС включает в себя три уровня [1]:

- *Нулевой уровень*: локальные контуры регулирования выходных тока и напряжения СМ;
- *Первый уровень*: локальные контуры смягчения внешних характеристик (контроль статизма, Droop Control), обеспечивающие равномерное токораспределение между СМ, функционирующих в режиме стабилизации напряжения;
- *Второй уровень*: контур стабилизации напряжения общей шины СЭС.

Известно, что в СЭС с иерархическим управлением смягчение внешних характеристик СМ на первом уровне управления приводит к увеличению пульсаций и отклонений напряжения общей шины при динамических нагрузках пропорционально степени смягчения [2], что несовместимо с требованиями высокого качества напряжения для бортовых систем КА. Такой эффект вызван тем, что смягчение реализуется напрямой контуром регулирования локального выходного напряжения СМ (далее – контур напряжения), увеличивая импеданс до величины коэффициента смягчения и выше в пределах полосы пропускания. Внешний контур стабилизации напряжения общей шины (второй уровень управления) при этом не способен его уменьшить во всём диапазоне частот, поскольку обладает быстроедействием ниже быстроедействия контура напряжения СМ. Этот факт приводит к идее разделить процессы по быстроедействию: регулирования выходного напряжения СМ должно осуществляться быстрее стабилизации напряжения общей шины, а стабилизация напряжения – быстрее смягчения внешней характеристики СМ.

Для решения задачи разделения процессов регулирования по быстроедействию предлагается использовать регулятор с тремя степенями свободы (three-degree-of-freedom – 3-DOF). Распределённая система управления, организованная по иерархическому принципу, содержит  $N$  независимых каналов управления – по одному на каждый СМ. Структурная схема канала управления СМ представлена на рисунке 2.

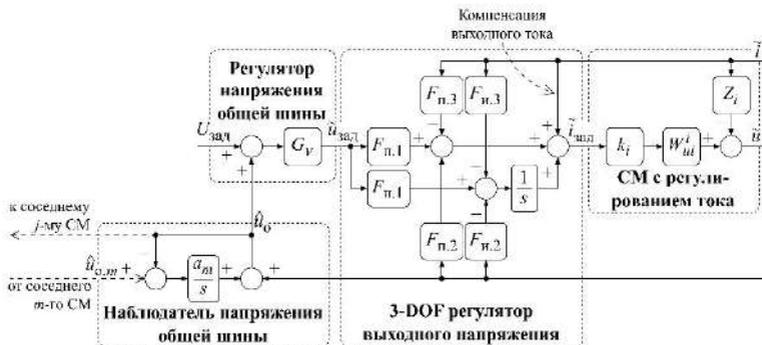


Рис. 2 – Структурная схема канала управления СМ с 3-DOF регулятором

Работоспособность и эффективность предлагаемого решения подтверждается экспериментами на лабораторном стенде СЭС 100 / 500 Вт, содержащем два параллельных по выходу СМ, имитирующего одновременную работу двух СМ АБ в режиме разряда и стабилизации напряжения. Благодаря разнесению по быстродействию регулирования напряжений СМ и смягчения их внешних характеристик с помощью 3-DOF регулятора получается достичь импеданса ниже общего коэффициента смягчения, равного 1 Ом, во всём диапазоне частот: максимальный импеданс составил -0,2 Ом, что для примера ниже 0,4 Ом – максимального допустимого значения импеданса в соответствии с европейским стандартом ECSS-E-ST-20C [3] для СЭС КА 100 В / 500 Вт.

Литература:

1. J. M. Guerrero Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids – A General Approach Toward Standardization [Text] / J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. de Vicuna, M. Castilla // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2011. – Vol. 58. – № 1. – P. 158-172.
2. F. Li A Low-Pass Filter Method to Suppress the Voltage Variations Caused by Introducing Droop Control in DC Microgrids [Text] / F. Li, Z. Lin, W. Cao, A. Chen, J. Wu // IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). – 2018. – P. 1151-1155.
3. Space engineering – electrical and electronic [Text] // ECSS-E-ST-20C Rev. 1. – 2019.

# ЭВОЛЮЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ И СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Е.Д. Рябцева

Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, red290403@gmail.com

Научный руководитель: Слепцов В.А., доцент

*В данной статье рассматривается современное состояние и перспективы развития силовой и интеллектуальной электроники. Приводятся рассуждения о будущих перспективах развития и влиянии на повседневную жизнь, обсуждается значение интеграции силовой и интеллектуальной электроники для будущих технологий, а также подчеркивается значимость данной области для мировой электронной промышленности.*

*This article discusses the current state and prospects for the development of power and intelligent electronics. The arguments about the future prospects of development and the impact on everyday life are given, the importance of integrating power and intelligent electronics for future technologies is discussed, and the importance of this area for the global electronics industry is emphasized.*

Интеллектуальная и силовая электроника представляют собой две ключевые области современной технологии, играющие важную роль в преобразовании нашего мира. Они обеспечивают основу для инновационных решений в различных отраслях, начиная от бытовой техники и заканчивая транспортными системами. На первый взгляд, эти две области могут показаться далекими и разными, однако их эволюция и взаимодействие имеют решающее значение для развития современных технологий.

Интеллектуальная электроника — это область, связанная с разработкой и применением интегрированных схем, способных к самообучению, принятию решений и взаимодействию с окружающей средой на основе обработки данных. Силовая электроника, с другой стороны, фокусируется на электронных устройствах и системах управления, способных обрабатывать и контролировать большие мощности, такие как электрические двигатели, источники питания, а также системы электропривода.

Интеллектуальная электроника имеет свои корни в различных областях, таких как нейронные сети, машинное обучение, искусственный интеллект и когнитивные науки. Начиная с разработки первых транзисторов и создания интегральных схем, интеллектуальная электроника претерпела значительное развитие благодаря усовершенствованию процессов производства, увеличению производительности и расширению областей применения, включая

автономные системы, робототехнику, медицинскую диагностику и многое другое.

Силовая электроника, с другой стороны, начала свое развитие с появлением тиристорных и выпрямительных устройств, и сегодня играет ключевую роль в преобразовании, управлении и преобразовании электроэнергии для различных применений, включая промышленные процессы, электрический транспорт и возобновляемые источники энергии.

Интеллектуальная и силовая электроника незаменимы для современного общества и промышленности. Их развитие и применение позволяют значительно улучшить эффективность и надежность различных систем, включая энергетические сети, медицинские устройства, транспортные средства, производственные линии и многие другие. Последние технологические достижения в области интеллектуальной и силовой электроники предоставляют новые возможности для создания умных и энергоэффективных систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям и потребностям общества.

Интеллектуальная электроника представляет собой область, где традиционные электронные системы интегрируются с интеллектуальными алгоритмами и возможностью обучения. Основные концепции включают в себя использование машинного обучения, нейронных сетей, обработки данных и распознавания образов для создания систем, способных адаптироваться к новым условиям и среде. Основные технологии включают в себя интегрированные схемы с большой вычислительной мощностью, способные анализировать данные в реальном времени и принимать решения на основе обнаруженных шаблонов и тенденций.

Интеллектуальная электроника находит широкое применение в области искусственного интеллекта, где системы машинного обучения и обработки данных могут повысить производительность алгоритмов и улучшить качество их работы. В области интернета вещей, интеллектуальная электроника способствует созданию умных устройств, способных собирать, обрабатывать и передавать информацию без участия человека. Автономные системы, такие как беспилотные автомобили и роботы, находят в интеллектуальной электронике базовый компонент, позволяющий им принимать решения в реальном времени на основе окружающей среды.

Применение интеллектуальной электроники привело к ряду инновационных проектов и продуктов. Примером может служить развитие умных домашних систем, способных адаптироваться к

предпочтениям жильцов и экономить энергию. В сфере здравоохранения, интеллектуальная электроника позволяет создавать медицинские устройства, способные предсказывать заболевания или мониторить состояние пациентов в режиме реального времени. Кроме того, автономные транспортные системы, использующие интеллектуальную электронику, представляют собой одно из ключевых направлений в автомобилестроении, где системы самообучения и распознавания образов играют важную роль в обеспечении безопасности и эффективности.

Силовая электроника — это область электроники, фокусирующаяся на управлении и преобразовании электрической энергии с применением полупроводниковых устройств. Основные принципы включают в себя преобразование переменного тока (AC) в постоянный ток (DC) и наоборот, регулирование напряжения и частоты, а также управление мощностью и энергией. Среди ключевых технологий силовой электроники следует выделить преобразователи постоянного и переменного тока, инверторы, контроллеры и управляющие системы.

Силовая электроника играет важную роль в промышленности, где применяется для управления электроприводами, питанием промышленных машин и процессов. В энергетике, силовая электроника используется для преобразования и распределения электроэнергии, а также для регулирования нагрузок. В области транспорта, силовая электроника применяется в электрических и гибридных автомобилях, электрических поездах, а также воздушных и морских судах.

Современные тенденции развития силовой электроники связаны с увеличением эффективности преобразования энергии, снижением размеров и веса устройств, а также повышением надежности и безопасности. Новейшие технологии включают в себя применение SiC (кремния карбида) и GaN (азотида галлия) полупроводников, улучшенные схемы модуляции, управления и защиты, а также интеграцию силовой электроники с системами хранения энергии и "умными" сетями.

Последние десятилетия были периодом значительных научных открытий и технологических прорывов в области электроники. Применение наноматериалов, развитие квантовых вычислений, создание умных материалов и датчиков с расширенными возможностями, а также прогресс в области беспроводных технологий, являются лишь некоторыми из примеров впечатляющих достижений. В области силовой электроники, использование SiC и GaN полупроводников, а также развитие умных сетей и энергоэффективных систем стали ключевыми направлениями развития.

Несмотря на огромные успехи, сегодняшние инженеры и исследователи сталкиваются с рядом вызовов и проблем. Это включает в себя поиск устойчивых источников питания, обеспечение безопасности и приватности в беспроводных коммуникациях, а также разработку технологий, способных эффективно обрабатывать большой объем данных в реальном времени. В области силовой электроники, проблемы связаны с ростом тепловыделения и улучшением конверсии энергии.

Подобные вызовы могут оказать влияние на будущее развитие технологий и общества. Например, развитие квантовых вычислений может кардинально изменить область вычислительной техники и криптографии. В области силовой электроники, эффективное решение проблем теплопроизводства и потерь энергии может привести к новым энергоэффективным технологиям, сокращению выбросов и улучшению устойчивости энергетических систем.

В ближайшие десятилетия электроника будет продолжать резко влиять на нашу повседневную жизнь. Прогресс в интеллектуальной электронике приведет к созданию умных устройств, способных играть более активную роль в нашей жизни, упрощая задачи, улучшая комфорт и повышая безопасность. Область силовой электроники, в свою очередь, будет способствовать развитию энергоэффективных систем, уменьшению выбросов и улучшению устойчивости электроэнергетики.

Интеграция интеллектуальной и силовой электроники является ключевым аспектом развития будущих технологий. Комбинированное применение этих областей позволит создавать умные, энергоэффективные и автономные системы, способные решать сложные задачи в реальном времени. Например, умные устройства смогут динамически управлять потреблением энергии, оптимизируя работу систем и повышая эффективность использования ресурсов.

Интеллектуальная и силовая электроника играют важную роль для мировой электронной промышленности. Инновации в этих областях определяют будущее не только технологий, но и общества в целом. Развитие электроники направлено на улучшение качества жизни людей, повышение производительности и устойчивости систем, а также снижение негативного воздействия на окружающую среду.

#### Литература:

1. Современная элементарная база силовой электроники // Инфопедия:[сайт]. – 2016. – URL: <https://infopedia.su/12x3f4a.html> [дата обращения – 20 октября 2023]

2. *Розанов Ю. К.* Силовая электроника : учебник для вузов // Издательский дом МЭИ. - 2009. – С. 218-222. [дата обращения – 3 ноября 2023]

3. *Тихвинский В. О.* Развитие сетей мобильной связи от 5G Advanced к 6G: проекты, технологии, архитектура // Москва: ТЕХНОСФЕРА. - 2023. - С. 181-184. [дата обращения – 29 октября 2023]

4. *Филипова И. А.* Правовое регулирование искусственного интеллекта: учебное пособие // Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет. - 2022. - С. 30-46. [дата обращения – 1 ноября 2023]

**Секция РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И**  
**ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

**РАЗРАБОТКА МАЛОШУМЯЩЕГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО  
УСИЛИТЕЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ  
ШУМОВ РЕЗИСТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

**В.А. Сокурэнко**

**Томский университет систем управления и радиоэлектроники,  
г. Томск, sokurenko.sl.08@mail.ru**

**Научный руководитель: Сахаров Ю.В., профессор, доцент, д.т.н**

*Низкочастотная шумовая спектроскопия является перспективным и инновационным методом неразрушающего контроля изделия электронной техники. Однако для проведения исследования необходимо специализированное измерительное оборудование. Поэтому был разработан малошумящий предварительный усилитель на отечественных компонентах для измерения низкочастотного шума резистивных компонентов с сопротивлением от  $50 \cdot 10^3$ - $500$  кОм в частотном диапазоне  $500 \cdot 10^4$ - $150$  кГц.*

*Low-frequency noise spectroscopy is a promising and innovative method for non-destructive testing of electronic products. However, specialized measuring equipment is required to conduct the study. Therefore, a low-noise preamplifier was developed to measure the low-frequency noise of resistive components with impedances from  $50 \cdot 10^3$ - $500$  kOhm in the frequency range  $5 \cdot 10^4$ - $150$  kHz.*

Современное развитие электронной промышленности, формирует спрос на более совершенные и надежные методы контроля и испытаний электронных компонентов. Неразрушающие методы контроля являются наиболее предпочтительными для анализа. Среди которых можно выделить три основные категории: функциональные электрические испытания; внешний осмотр структуры упаковки; оптические испытания для анализа структуры [1]. При этом активно проводятся работы по совершенствованию известных и разработке новых инновационных методов, так как существующие системы имеют свои недостатки и ограничения [2]. Одним из перспективных методов для анализа является низкочастотная шумовая спектроскопия.

Среди основных преимуществ метода является высокая чувствительность и универсальность [3]. Однако есть ряд проблем препятствующие его практическому использованию [4]. Решение проблем открывает новые возможности в области неразрушающего контроля, а также исследовании явления в области физики твердого тела. Целью данной работы является разработка измерительного

оборудования, которое позволит в бедующих работах провести комплексное исследование по низкочастотной спектроскопии.

Объектом исследования в наших работах являются резистивные компоненты. Поэтому разработку измерительного оборудования мы проводим относительно данного компонента. Причиной этого является распространенность данного компонента. На их основе разрабатывается большинство электронных схем и часто от их надежности зависит работа прибора. В особенности это важно для авиационной и космической отрасли. Для выполнения наших задач необходимо устройство способное измерять шум в диапазоне  $50 \cdot 10^{-3}$ -500 кОм.

Мы используем типовую схему для измерения флуктуации (рисунок 1) и применяем два типа шума. Тепловой шум генерируется резистором и используется для калибровки устройства без источника напряжения. При добавлении в схему источника питания генерируется низкочастотный шум, величина которого выше теплового. Далее переменная составляющая НЧ шума фильтруется ФВЧ-фильтром и потом усиливается. Основными источниками шума в схеме являются ФВЧ-фильтр, резисторы в цепи обратной связи и собственный шум усилителя. Поэтому при измерении шума, интересующих нас сопротивлений, необходимо минимизировать вклад шума от сторонних элементов.



Рис.1 – Схема измерения низкочастотных шумовых флуктуации

В работе применены технические способы разработки малошумящих схем, описанные в работе [5-6]. Учитывая широкий диапазон измеряемых сопротивлений в работе, использовалась комбинированная схема на основе биполярных и операционных усилителей (рисунок 2). Для фильтров применены танталовые конденсаторы и металлопленочные резисторы для устранения эффекта всплесков напряжения на выходе усилителя при воздействии механических вибрации и уменьшения величины низкочастотного шума.

Разработанный стенд и его шумовые характеристики представлен рисунках 2-3.

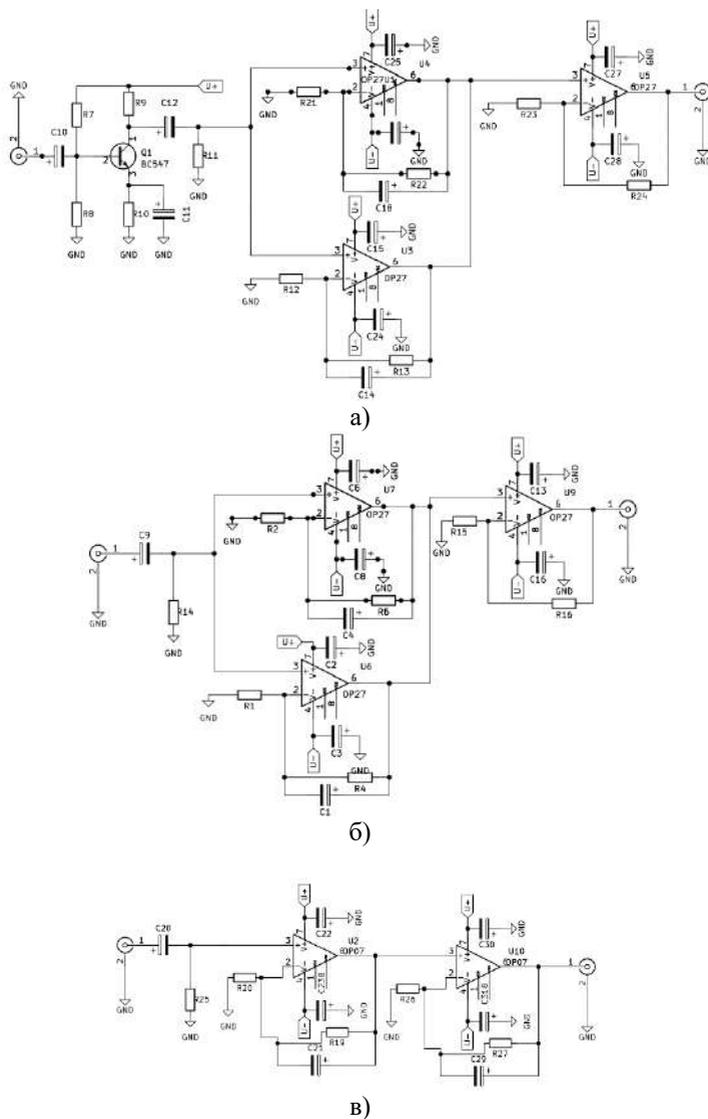


Рис.2 – Электрическая схема стенда: а) измерение 0,05-1 кОм; б) измерение 1-100 кОм; в) измерение 100-500 кОм

Для измерения сопротивления 0,05-1 кОм был разработан входной каскад на основе малошумящего биполярного усилителя КТ3102 (BC547). Последующие каскады состоят из малошумящих операционных усилителей КР140УД25 (OP-27). Разработанная система парового соединения усилителей КР140УД25 (OP27) применяется для резисторов с сопротивлением 1-100 кОм. Входной каскад для компонентов с сопротивлением более 10 кОм разработан на усилителе 140УД17 (OP-07). Каждая часть измерительного стенда расположена на одном основании. Коэффициент усиления каждого блока  $K_u=800$ .

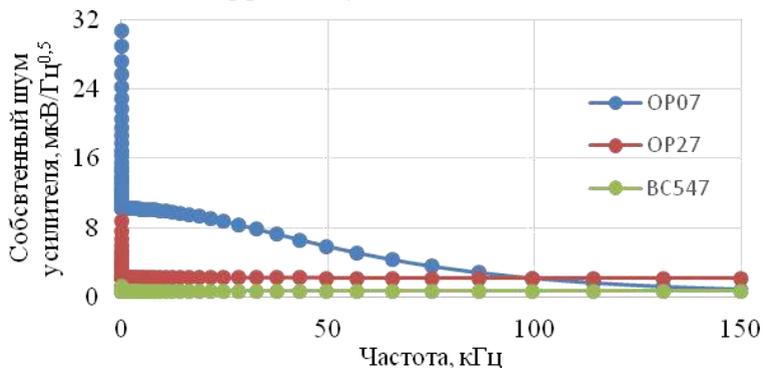


Рис.3 – Шумовые параметры стенда

Таким образом в данной работе разработан малошумящий усилитель для измерения низкочастотного шума резистивных компонентов, а также проведено моделирование шумовых параметров. Разработанная схема будет применяться для исследования по низкочастотной шумовой спектроскопии.

#### Литература:

1. Aryan P., Sampath S., Sohn H. An Overview of non-Destructive testing methods for integrated circuit packaging inspection // *Sensors*. – 2018. – Vol. 18, N 7. – P. 1–27.
2. Ланин, В. Л. Методы контроля и диагностики скрытых дефектов в изделиях электроники / В. Л. Ланин, С. С. Волкенштейн, А. А. Хмыль // *Компоненты и технологии*. – 2010. – № 2. – С. 137–142.
3. Beev N. Measurement of Excess Noise in Thin Film and Metal Foil Resistor Networks // International instrumentation and measurement technology conference, I<sup>2</sup>MTC 2021, Ottawa, Canada, 16-19 may. 2021: IEEE. – Ottawa, 2021. – P. 1–6.

4. *Маковийчук М.И* Фликкер-шумовые процессы в структурно-неупорядоченных кремниевых системах // ANNALI D'ITALIA. 2020. №10(1). С. 26–39.

5. *Walter D., Bulau A., Zimmermann A.* Review on Excess Noise Measurements of Resistors // Sensors. – 2023. Vol. 23, N 3. – P. 1–29.

6. *Ежков Ю. А.* Справочник по схемотехнике усилителей. 2-е изд. – М.: ИП «РадиоСофт», 2002. – 272 с. – (Книжная полка радиолюбителя; вып. 4).

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ, ИМИТИРУЮЩИХ СКРИП ЭНДОПРОТЕЗА**

**Т.Ю. Травникова**

**Новосибирский государственный технический университет**

**г. Новосибирск, [palmajg@list.ru](mailto:palmajg@list.ru)**

**Научный руководитель: Васюков В.Н., д.т.н., профессор**

*Цель работы — разработка программы моделирования звуковых сигналов, имитирующих скрипы эндопротезов. Предполагается использовать программу для облегчения диагностики состояния эндопротезов. Часто пациенты обращаются к врачам с жалобами на скрипы в эндопротезах, в то же время трудно зафиксировать эти звуки в достаточном количестве. Программа позволит пациентам подбирать параметры модели для имитации скрипов.*

*The purpose of the work is to develop a program for modeling sound signals that simulate the creaks of endoprotheses. It is supposed to use the program to facilitate the diagnosis of the state of endoprotheses. Patients often turn to doctors with complaints about creaks in endoprotheses, at the same time it is difficult to fix these sounds in sufficient quantity. The program will allow patients to select the parameters of the model to simulate squeaks.*

Скрип – резкий шум высокого тона, возникающий при трении [1]. Эндопротез – имплантируемый элемент для замены суставов, утративших свою функцию. Протезы полностью заменяют здоровые суставы, имея идентичную анатомическую форму [2]. Тазобедренный сустав работает по принципу шарнира и включает головку бедренной кости и суставную впадину (рис.1). За счет их соединения возможны многоосевые движения бедра [3].



Рис.1 – Эндопротез тазобедренного сустава

Эндопротезирование сустава – операция, при которой пораженный сустав удаляется и заменяется современным искусственным имплантатом [4]. Имплантация протезов обеспечивает пациентам жизнь без боли и ограничений, но пациенты с имплантатами часто сталкиваются с неудобством – скрипом в эндопротезе. Кроме того, появление скрипа может быть признаком скорого разрушения протеза.

Из-за трения элементов эндопротеза возникают экспоненциально нарастающие высокочастотные колебания [5]. Они воспринимаются как звук, напоминающий писк или скрип. В работе [5] среди всех установленных протезов количество сообщений о скрипах достигало 10%. Причины скрипов еще плохо изучены. Обсуждается роль повреждений, износа, а иногда скрип происходит без выявленных причин.

Предполагается, что нарушение слоя смазки в соединениях может способствовать возникновению скрипа, но сообщается о скрипе и при наличии смазки [7].

По результатам исследований установлено, что в большинстве случаев скрип вызван трением частей эндопротезов [5]. При достижении определенных критических параметров движение становится неустойчивым, наблюдаются нарастающие колебания, приводящие систему к установившимся колебаниям предельного цикла с определенной амплитудой. Только после изменения параметров и выхода из критического режима колебания затухают. Вибрации демонстрируют тональные частотные составляющие от 1 до 4 кГц, а график сигнала показывает четкий экспоненциальный рост, пока не будет достигнуто устойчивое состояние (рис.2) [5].

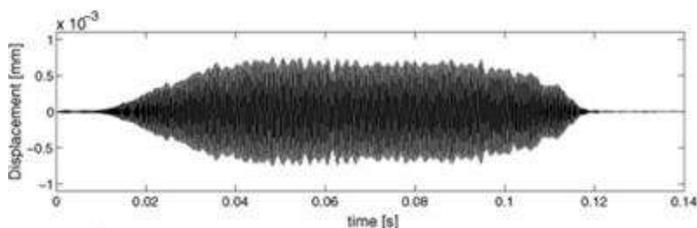


Рис.2 – Типичный результат измерения вибрации

Мониторинг методом акустической эмиссии (АЭ) применяется в ортопедии для исследования материалов при нагрузках, износе и трении. Этот метод неинвазивен и безопасен [7]. Исследования скрипа выявили проблемы усталости материала и накопленные повреждения, но многие вопросы до сих пор остаются неизученными.

Актуальной является задача частичной или полной автоматизации диагностики состояния эндопротезов, для чего необходим большой объем данных. Количество пациентов, доступных для исследований, недостаточно для обучения алгоритмов диагностики. Поэтому возникает необходимость иметь программное обеспечение, которое благодаря дружественному, понятному интерфейсу позволило бы моделировать звукозаписи в необходимом количестве при условии, что синтезированные звуки будут похожи на скрипы, которые слышат пациенты.

В разработанной программе реализована генерация скрипа – полигармонического сигнала на основе четырех гармонических сигналов с различными частотами и огибающими. Скрипы обычно имеют характерные частоты от 1 до 4 кГц. [5], иногда до 9 кГц [8].

Для моделирования скрипов были выбраны трапецидальная, треугольная, биэкспоненциальная и двойная гауссовская огибающие.

Трапецидальная огибающая представлена кусочно-заданной функцией [9]:

$$A(t) = \begin{cases} K_1 t, & t_1 \leq t < t_2; \\ 1, & t_2 \leq t < t_3; \\ T - K_2 t, & t_3 \leq t < t_4, \end{cases}$$

где  $K_1$ ,  $K_2$  – параметры наклона боковых сторон трапеции,  $T$  – общая длительность сигнала,  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  и  $t_4$  – определенные моменты времени.

Биэкспоненциальная огибающая задается формулой:

$$A(t) = e^{-\frac{t}{K_1}} \cdot e^{-\frac{(T-t)}{K_2}},$$

где  $K_1, K_2$  – коэффициенты нарастания и затухания,  $T$  – общая длительность сигнала.

Двойная гауссовская огибающая определяется выражением:

$$A(t) = e^{-\frac{\left(t - \frac{K_1}{2}\right)^2}{2\left(\frac{K_1}{2}\right)^2}} \cdot e^{-\frac{\left(t - \left(T - \frac{K_2}{2}\right)\right)^2}{2\left(\frac{K_2}{2}\right)^2}},$$

где  $K_1, K_2$  – параметры ширины первого и второго пика.

Интерфейс разработанной программы генератора скрипов показан на рис.3. На панели расположены кнопки запуска и остановки моделирования, длительность сигнала в секундах задается в окне «Время».

Справа на панели расположены четыре столбца для выбора характеристик гармонических составляющих. Во вкладке «Форма» можно выбирать разные типы огибающих – trap (трапецидальная), triang (треугольная), exp (биэкспоненциальная) и gauss (двойная гауссовская). Имеется окно для вывода графика сигнала, а также кнопки для сохранения его параметров в разных форматах.

Каждая гармоническая составляющая сигнала настраивается пациентом, что приводит к изменениям звучания и формы сигнала.



Рис.3 – Графический интерфейс программы

Примеры синтезированных сигналов представлены на рисунке 4. Такие сигналы визуально больше всего напоминают скрип на рисунке 2.

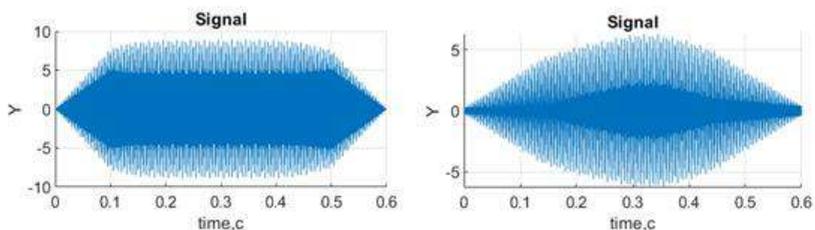


Рис.4 – Примеры сигналов

Планируется расширение набора огибающих для более точного моделирования и наполнения базы данных скрипов для автоматизации диагностики состояния протезов.

Усовершенствование программы будет способствовать неинвазивной диагностике и контролю состояния эндопротезов, а также повышению их качества.

#### Литература:

1. *Ушаков Д.Н.*, Большой толковый словарь русского языка: современная редакция. Москва: Дом Славянской кн., 2008. - 959 с.

2. Эндопротезы // Юсуповская больница URL: <https://yusupovs.com/clinics/tsentr-travmatologii-i-ortopedii/endoprotezirovanie-sustavov/endoprotezy/> (дата обращения: 11.11.2023).

3. Эндопротезирование тазобедренного сустава: как проходит операция и реабилитация // ORTOMED-CLINIC URL: <https://ortomed-clinic.ru/articles/tazobedrennyy-sustav/endoprotezirovanie-tazobedrennogo-sustava/> (дата обращения: 09.11.2023).

4. Эндопротезирование тазобедренного сустава // Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова СПбГУ URL: <https://www.gosmed.ru/lechebnaya-deyatelnost/metody-lecheniya/travmatologiya/endoprotezirovanie-tazobedrennogo-sustava/> (дата обращения: 11.11.2023).

5. *Cornelius Weiss, Przemyslaw Gdaniec, Norbert P. Hoffmann, Arne Hothan, Gerd Huber, Michael M. Morlock.* Squeak in hip endoprosthesis systems: An experimental study and a numerical technique to analyze design variants // *Medical Engineering & Physics.* - 2010. - №32. - С. 604-609.

6. *Stefano Lucchini, Massimiliano Baleani, Federico Giardina, Andrea Martelli, Francesco Castagnini, Barbara Bordini and Francesco Traina.* A

case-driven hypothesis for multi-stage crack growth mechanism in fourth-generation ceramic head fracture // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. - 2022. - №17:293

7. *Liudmila Khokhlova, Dimitrios-Sokratis Komaris, Salvatore Tedesco and Brendan O'Flynn*. Assessment of hip and knee joints and implants using acoustic emission monitoring: A scoping review // Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE. - 2020. - №12

8. *Oscar O'Dwyer Lancaster-Jones, Rebecca Reddiough*. The occurrence of squeaking under wear testing standards for ceramic on ceramic total hip replacements // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials. - 2023.

9. *Трофимов А.В., Козарь А.В.* Нестационарное отражение сверхкоротких электромагнитных импульсов от слоистых структур. РЭНСИТ. - 2016. - №2. - с. 107-130.

## **ВЛИЯНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАЗИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО 14-РАЗРЯДНОГО ЦАП**

**Д.Б. Колосков**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, dimakoloskov2009@gmail.com**

**Научный руководитель: Драгунов В.П., д.т.н., доцент**

*В работе представлены результаты исследования топологии 180-нм КМОП 14-разрядного сегментированного ЦАП с частотой 1 ГГц. Кратко описаны паразитные ёмкости, оказывающие наибольшее влияние на динамические характеристики ЦАП. С помощью SPICE моделирования схемы получены временные диаграммы переключения ЦАП. Время установления выходного сигнала ЦАП без учёта паразитных элементов составляет 0,8 нс, с учётом – 2,5 нс. Соответствующая частота ЦАП составляет 400 МГц. Такой результат говорит о критичном влиянии паразитных ёмкостей на динамику исследуемой микросхемы.*

*The paper presents the results of the 180 nm CMOS 14-bit 1 GHz segmented DAC topology study. There is a brief description of the parasitic capacitances that have the greatest impact on the DAC dynamic characteristics. Using SPICE circuit simulation, the authors obtained the DAC switching timing diagrams. The DAC output signal settling time without considering parasitic elements is 0.8 ns, and with parasitic elements considering it is 2.5 ns., The corresponding DAC frequency is 400 MHz. This result indicates the critical influence of parasitic capacitances on the studied microcircuit dynamics.*

Современная электроника нуждается в сверхвысокочастотных ЦАП и АЦП большой разрядности, при этом производство таких ЦАП и АЦП сопряжено со значительными трудностями.

На статические и динамические характеристики ЦАП влияют топологические паразитные элементы: сопротивления и ёмкости. Дополнительные сопротивления оказывают влияние на статические характеристики: монотонность преобразования, интегральную нелинейность, дифференциальную нелинейность и температурную нестабильность; дополнительные ёмкости – на динамические характеристики: частоту преобразования, времена задержки и установления выходного сигнала, а также скорости его нарастания и спада.

В ранее опубликованных работах были рассмотрены вопросы влияния паразитных сопротивлений на статические характеристики ЦАП, в этой работе рассматривается влияние паразитных ёмкостей на динамические характеристики.

Основное влияние на динамические характеристики ЦАП оказывают паразитные ёмкости МОП-транзистора. Выделяют следующие виды этих ёмкостей: затвор-подложка, сток-подложка (исток-подложка), сток-исток, сток-затвор (исток-затвор). В МОП-транзисторе стандартной конструкции наибольшие значения имеют ёмкости затвор-подложка и затвор-сток (исток). Более того, с увеличением ширины затвора транзистора эти ёмкости возрастают сильнее, чем остальные.

Дополнительные ёмкости в каждом МОП-транзисторе вносят наибольший вклад в производительность ЦАП на тех участках схемы, где число этих транзисторов наиболее велико – в случае высокоразрядных ЦАП смешанной архитектуры это входные регистры – или транзисторы имеют высокую ширину затвора.

В целях проведения практической оценки влияния паразитных ёмкостей на динамические характеристики высокоразрядных сверхвысокочастотных ЦАП была разработана топология 14-разрядного сегментированного ЦАП с частотой 1 ГГц. Технология проектирования – 180 нм КМОП для смешанных сигналов. Фрагмент топологии ЦАП показан на Рис. 1.

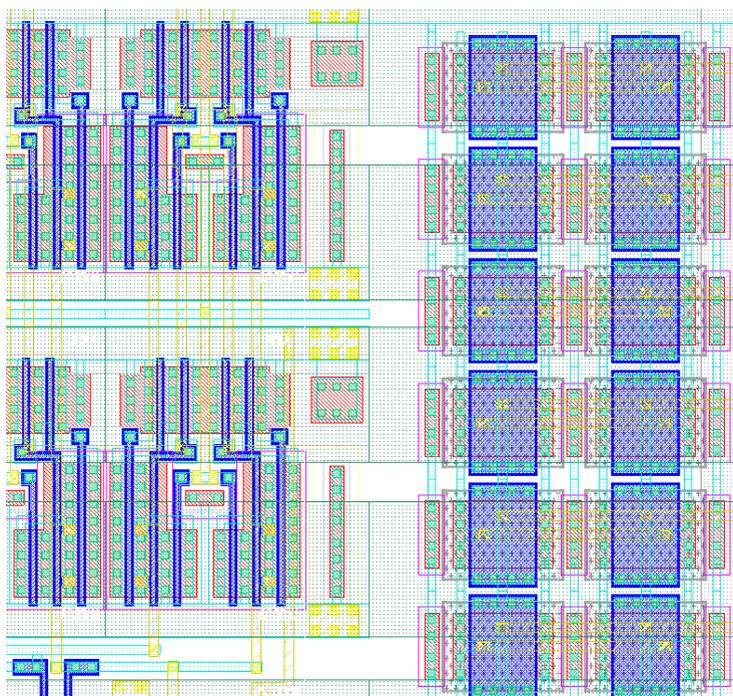


Рис.1 – фрагмент топологии 14-ти разрядного ЦАП

Теоретический расчёт величин паразитных сопротивлений и ёмкостей с приемлемой точностью довольно сложен, требует подробных сведений о технологическом процессе изготовления кристаллов. Поэтому часто предпочтительнее использовать расчёт посредством программного обеспечения (САПР) на основе SPICE-моделей 2-го уровня и выше. Программа извлекает данные для расчёта паразитных параметров напрямую из используемой модели, так что имеется возможность получить результаты с высокой точностью как для типового случая, так и для худшего («worst-case»).

При помощи программных средств САПР OrCad был проведён расчёт цикла работы 14-ти разрядного ЦАП (вместе с источником опорного напряжения и вспомогательным 8-ми разрядным ЦАП) в двух случаях: без учёта топологических паразитных элементов и с их учётом (после проведённой экстракции их топологии). Под циклом работы подразумевается переключение ЦАП с кода 00000000000000 на код 10000000000000. Для расчёта использовались типовые SPICE-модели 3-го уровня, точность которых предварительно проверялась на BAX

МОП-транзисторов. Результаты расчётов двух случаев показаны на Рис. 2 в виде временной диаграммы напряжений.

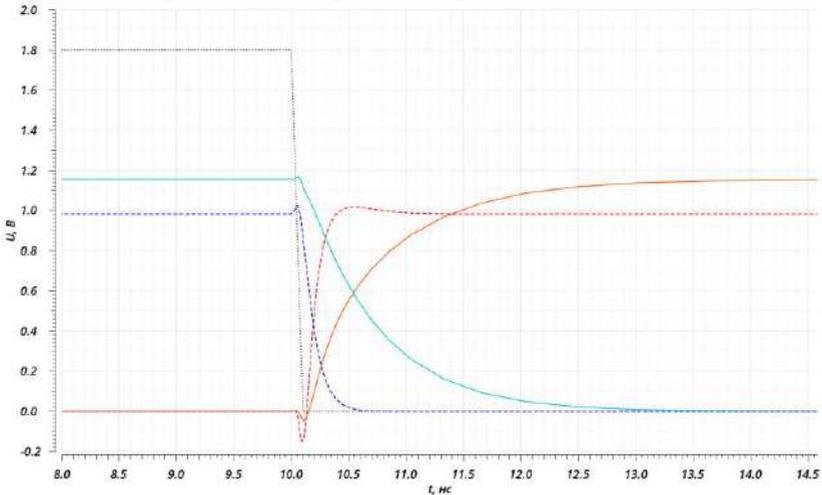


Рис. 2 – временная диаграмма работы 14-разрядного ЦАП: серой пунктирной линией обозначен управляющий сигнал, синей и красной штриховыми линиями обозначены выходные сигналы (прямой и инверсный) ЦАП без учёта паразитных элементов, голубой и оранжевой сплошными – выходные сигналы ЦАП с учётом паразитных элементов

Из диаграммы видно, что кривые, построенные с учётом топологических паразитных элементов (для краткости будем называть их «реальными»), существенно отличаются от построенных без их учёта («идеальных») по времени установления сигнала: время установления у «идеальных» кривых составляет приблизительно 0,8 нс, у «реальных» – 2,5 нс. Таким образом, частота работы ЦАП с учётом паразитных топологических элементов снижается более чем в три раза до значения 400 МГц.

Кроме того, у «реальной» возрастающей кривой напряжение верхнего уровня для кода 10000000000000 составляет приблизительно 1,15 В вместо ожидаемого 1 В (ток полной шкалы ЦАП составляет 20 мА, сопротивление нагрузки 100 Ом – следовательно, выходное напряжение полной шкалы равно 2 В, половины шкалы – 1 В). Эта ошибка показывает влияние паразитных сопротивлений на статические характеристики и подтверждает результаты, опубликованные в предыдущих работах.

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что влияние паразитных топологических элементов на динамические характеристики 14-разрядного 1 ГГц сегментированного ЦАП является критичным, и без дополнительных мер получить требуемые характеристики не представляется возможным. В следующих работах будет предложен комплекс решений данной проблемы применительно к исследуемой микросхеме.

Литература:

1. Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. Цифровые устройства и микропроцессоры. СПб, БХВ-Петербург, 2010.
2. Van den Bosch Static and Dynamic Performance Limitations for High Speed D/A Converters / A.V. den Bosch, M. Steyaert, W. Sansen. – Kluwer Academic Publisher, 2004. – 236 p.

## **МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПИК-ФАКТОРА OFDM-СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ DVB-T2**

**А.А. Щелкотунов, А.С. Половников**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, shelkotunovaleksey8@gmail.com**

*Осуществлен поиск существующих методов снижения пик-фактора (PAPR). Для обеспечения теоретического моделирования существующих методов снижения PAPR, разработана модель передатчика цифрового телевидения. Произведен анализ на совместимость с предполагаемой сферой использования в системе DVB-T2. Произведена оценка полученных результатов.*

*The search for existing methods of reducing PAPR has been carried out. To provide theoretical modeling of existing PAPR reduction methods, a model of a digital television broadcasting transmitter has been developed. An analysis was made for compatibility with the intended scope of use in the DVB-T2 system. The evaluation of the obtained results was carried out.*

В настоящее время мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (англ. Orthogonal frequency-division multiplexing - OFDM) является одной из наиболее широко используемых в современных широкополосных системах связи цифровых видов модуляции [5]. Одним из главных недостатков систем, основывающихся на OFDM, является высокий пик-фактор сигналов. Ограничение пик-фактора представляет собой компромисс. С одной

стороны, уменьшение пик-фактора позволяет улучшить эффективность усилителя. Кроме того, уменьшение пик-фактора часто позволяет упростить реализацию предкоррекции для компенсации нелинейных искажений усилителя. С другой стороны, ограничение пик-фактора осуществляется за счет ухудшения качества сигнала или уменьшения пропускной способности канала передачи данных.

На сегодняшний день, в передатчиках стандарта DVB-T2 используются дорогостоящие фильтры критической маски. Они необходимы для предотвращения попадания внеполосных искажений в соседние каналы. В данной работе рассматривается вопрос о возможности избавиться от фильтра критической маски или заменить его на более бюджетный вариант путем снижения пик-фактора.

На данный момент в литературе известны следующие методы снижения пик-фактора [1]:

- Ограничение и фильтрация;
- Окно пиков;
- Частичная последовательность передачи;
- Резервирование поднесущих [3];
- Расширение созвездия [3];
- Кодирование.

Задачей данной работы является исследование существующих методов снижения пик-фактора OFDM сигнала, а также разработка математической модели для оценки эффективности предполагаемых методов снижения пик-фактора.

Для оценки эффективности методов снижения пик-фактора была реализована модель в программе MATLAB (представлена на рис. 1).

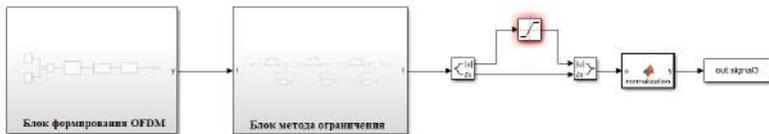


Рис. 1 – Разработанная модель для исследования эффективности методов ограничения пик-фактора.

Данная модель состоит из нескольких основных блоков: формирование OFDM сигнала, используемый метод ограничения пик-фактора и вывод результатов моделирования в рабочую область для дальнейшего анализа.

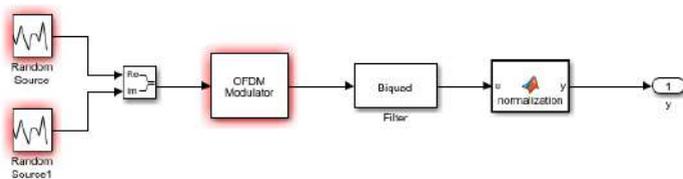


Рис. 2 – Блок формирования OFDM сигнала.

На рис. 2, представлен блок формирования OFDM сигнала. Создается случайная последовательность реальной и мнимой части сигнала, затем с помощью моделирования реализуется OFDM Modulator и полосовой FILTER.

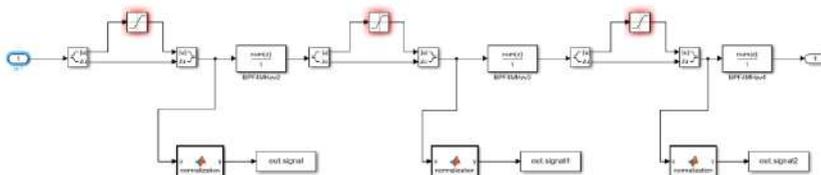


Рис. 3 – Блок ограничения пик-фактора.

На рис. 3, представлен блок ограничителя пик-фактора. В данном случае представлен метод ограничения и фильтрации сигнала. Суть метода заключается в отсекании пиков сигнала, превышающих заданное пороговое значение и последующей фильтрации формы сигнала для удаления внеполосных искажений [1].

Благодаря данной модели получены следующие теоретические результаты. На рис. 4, представлено семейство характеристик при различных комбинациях применения метода ограничения и фильтрации.

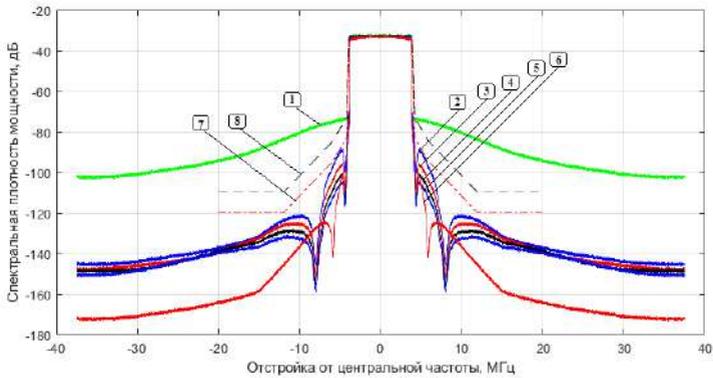


Рис. 4 – Семейство характеристик. 1) Ограничение без последующей фильтрации, 2) 6-ти полюсный фильтр без каскадов ограничения, 3) 6-ти полюсный фильтр и 1 каскад ограничения с последующей фильтрацией, 4) 6-ти полюсный фильтр и 2 каскада ограничения с последующей фильтрацией, 5) 6-ти полюсный фильтр и 3 каскада ограничения с последующей фильтрацией, 6) 8-ми полюсный фильтр без каскадов ограничения, 7) Критическая маска стандарта DVB-T2, 8) Маска стандарта DVB-T2.

Далее, на рис. 5 приведена зависимость уровня ошибок модуляции от значения пик-фактора сигнала.

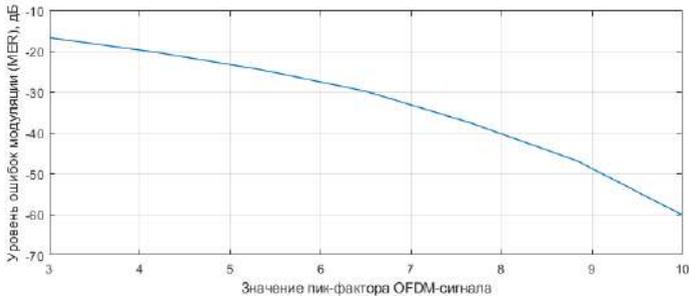


Рис.5 – Зависимость MER от пик-фактора сигнала.

Из данного графика видно, что при пик-факторе 7.5 дБ уровень MER составляет -35дБ. Данный показатель MER, является пороговым значением согласно стандарту DVB-T2[6].

Из полученных результатов можно сделать вывод, что представленный метод “Ограничения и фильтрации” позволяет упростить требования к выходному фильтру.

Использование данного метода позволяет отказаться от 8-ми полюсного фильтра и использовать 6-ти полюсный фильтр на выходе, что позволяет существенно снизить итоговую стоимость фильтров для передатчика.

Недостатком данного подхода являются значительные ресурсы, которые требуются для вычислительной реализации данного метода. Перспективно рассмотреть другие методы снижения пик-фактора что и будет представлять собой цель дальнейшего исследования.

#### Литература:

1. *Wood J.* Behavioral Modeling and Linearization of RF Power Amplifiers. Artech house, 2014. – 255 p.
2. ETSI EN 302 755 V1.4.1. Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). – ETSI, July 2015. – 121 p.
3. ETSI TS 102 831 V1.2.1. Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). – ETSI, August 2012. – 143 p.
4. *Kazmierczuk M. K.* RF Power Amplifier. Wright State University, 2015. – 38 p.
5. *Левченко А. С.* Разработка методов повышения эффективности передающих и приёмных средств цифровых радиосистем передачи данных. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2017. – 72 - 98 с.
6. ГОСТ Р 55696-2013. Телевидение вещательное цифровое. Передающее оборудование для цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T/T2. Технические требования. Основные параметры. Методы измерений.

**Секция БИОМЕДИЦИНСКАЯ**  
**И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

**ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ  
БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ**

**П.В. Аловацкий, И.В. Вершения,  
А.Ю. Чеховских, В.П. Разинкин**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, petr14.07@mail.ru, vershenya99@mail.ru,  
lexachex18@gmail.com, razinkin\_vp@mail.ru**

**Научный руководитель: Белавская С.В., к.т.н., доцент**

*Разработан мощный транзисторный высокочастотный генератор на частоту 27,12 МГц, предназначенный для деструкции перерожденных биологических тканей. Для обеспечения работы генератора с несогласованной нагрузкой и выполнения требований по электромагнитной совместимости предложено использовать выходной неотражающий фильтр. Для разработанного генератора проведена оценка уровня высших гармоник в различных режимах.*

*A powerful transistor-based high-frequency generator operating at 27,12 MHz has been developed for the destruction of degenerated biological tissues. To ensure the generator's operation with mismatched loads and to meet electromagnetic compatibility requirements, the use of an output non-reflective filter is proposed. An evaluation of the level of higher harmonics in various modes has been conducted for the developed generator.*

**Введение**

Развитие минимально инвазивных методов лечения в современной медицине приводит к повышению интереса к эффективным способам разрушения патологически изменённых тканей. В частности, использование высокочастотного электромагнитного излучения занимает важное место в этой области, предоставляя новые возможности для хирургического вмешательства без необходимости традиционного разреза.

Разработка электромагнитной хирургической системы, работающей на частоте 27,12 МГц, представляет собой инновационный подход в радиочастотной абляции (РЧА), который обеспечивает эффективное разрушение глубоко расположенных опухолевых тканей, включая костные и хрящевые структуры. Такой метод открывает новые горизонты в лечении заболеваний, связанных с опорно-двигательным аппаратом, и может оказать значительное влияние на качество жизни пациентов.

Целью данной работы является исследование механизмов и эффективности применения высокочастотной электромагнитной хирургической системы на частоте 27,12 МГц для целенаправленного разрушения биологических тканей.

### 1. Постановка задачи

В данной работе решается задача разработки схемы генератора 27,12 МГц на уровень мощности до 100 Вт, способного работать на несогласованную нагрузку в виде биологической ткани, а также обеспечения эффективной фильтрации высших гармоник в режиме рассогласования.

### 2. Устройство генератора

Ключевой характеристикой разработанного генератора является его способность обеспечивать стабильное и надёжное функционирование транзисторных усилителей мощности. Эта стабильность поддерживается даже при значительных изменениях нагрузки, варьирующейся от холостого хода до состояния короткого замыкания. Для достижения этой стабильности предложено использовать мостовую структуру с двумя усилительными каналами.

В конструкции разработанного усилителя мощностью 100 Вт применяются делители и сумматоры высокочастотных (ВЧ) сигналов, как показано на рис. 1.



Рис. 1 – Схема ВЧ генератора на частоту 27,12 МГц.

Каждый из них выполнен на основе двух идентичных отрезков коаксиальной линии передачи с волновым сопротивлением 75 Ом. Физическая длина этих отрезков рассчитывается с использованием длины волны, соответствующей рабочей частоте, и относительной диэлектрической проницаемости диэлектрика, согласно формуле:

$$L = \frac{0,196 \cdot \lambda}{\sqrt{\epsilon_p}}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина отрезков коаксиальной линии передачи,  $\lambda$  – длина волны, соответствующая рабочей частоте  $f$ ,  $\epsilon_p$  – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика отрезков линий передачи.

Для обеспечения изоляции или развязки между выходами делителя и входами сумматора используется балластная нагрузка в виде планарного плёночного резистора на бериллиево-керамической подложке. Паразитная ёмкость этого резистора компенсируется путём установки конденсаторов, ёмкость которых определяется следующим соотношением:

$$C = \frac{\sqrt{2}}{2\pi f R_0}, \quad (2)$$

где  $R_0$  – входное сопротивление делителя (сумматора) ВЧ сигналов.

Приведенные формулы (1) и (2) были выведены на основе метода чётного и нечётного возбуждения и обеспечивают согласование импеданса, как на входе, так и на выходе делителя (сумматора) ВЧ сигнала.

На выходе генератора, работающего на несогласованную нагрузку, для подавления высших гармоник предложено использовать неотражающий фильтр в виде диплексера, реализованного на основе эллиптического фильтра нижних частот (ФНЧ) и эллиптического фильтра верхних частот (ФВЧ). Схема данного неотражающего фильтра, содержащего дополнительную балластную нагрузку для высших гармоник, приведена на рис. 2.

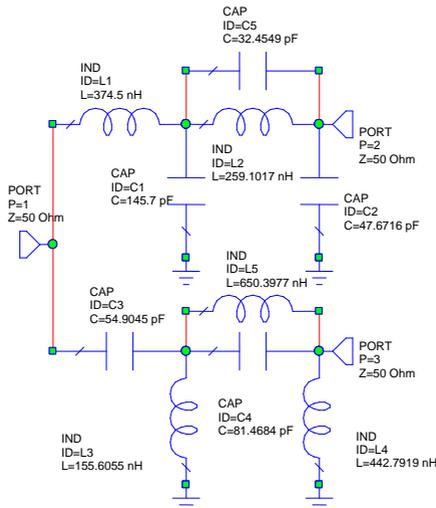


Рис. 2 – Схема неотражающего фильтра.

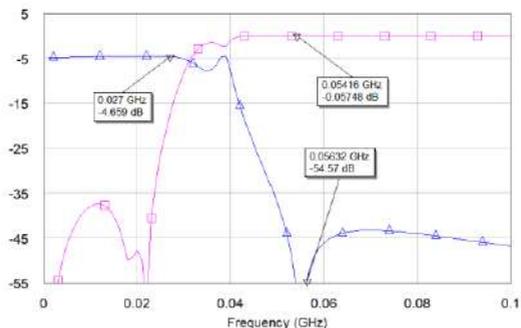


Рис. 3 – АЧХ неотражающего фильтра при работе генератора в рассогласованном режиме ( $K_{CB} = 10$ ).

Как видно из рассмотрения рис. 3, за счет использования в неотражающем фильтре эллиптических ФНЧ и ФВЧ вторая и третья гармоники в режиме рассогласования не превышают соответственно  $-50$  дБ и  $-40$  дБ на выходе основного низкочастотного канала. При этом в полосе частот ФНЧ и ФВЧ амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) имеет достаточно хорошую равномерность при значении коэффициента стоячей волны ( $K_{CB}$ ) на выходе основного низкочастотного канала, равного 10. В этом случае АЧХ лишь незначительно изменяется в полосе стыковки ФНЧ и ФВЧ.

#### Выводы и заключение

1. Разработанный генератор обладает способностью обеспечивать стабильное и надежное функционирование транзисторных усилителей мощности даже при значительных изменениях нагрузки, включая переход от холостого хода до короткого замыкания. Это свойство является критическим для эффективной и безопасной работы в хирургических процедурах, где нагрузка может сильно варьироваться.

2. На выходе генератора, работающего на несогласованную нагрузку, применяется неотражающий фильтр в виде диплексера, который позволяет эффективно подавлять высшие гармоники, что критически важно для обеспечения электромагнитной совместимости различной медицинской аппаратуры.

3. Амплитудно-частотная характеристика неотражающего фильтра продемонстрировала отличное подавление второй и третьей гармоник при работе генератора в режиме рассогласования, что обеспечивает высокое качество сигнала.

4. Разработанный высокочастотный электромагнитный хирургический генератор представляет собой инновационное решение для радиочастотной абляции, обеспечивая эффективное разрушение патологически измененных тканей, включая костные и хрящевые

структуры. Это открывает новые перспективы в лечении заболеваний опорно-двигательного аппарата и может значительно улучшить качество жизни пациентов.

Литература:

1. О.В. Алексеев Многоканальные частотно-разделительные устройства и их применение / В. Алексеев, Г. А. Грошев, Г. Г. Чавка // Радио и Связь, 1981. – 136 с.

2. Белавская С.В., Лисицына Л.И., Кузьмин А.Н., Винская Е.К., Навроцкий Л.Г., Разинкин В.П., Блохин А.А. Высокочастотная электромагнитная система для деструкции биологических тканей // Системы анализа и обработки данных. – 2023. – №1 (89). – С. 55 – 81.

3. Абляция костной ткани, выполненная путем воздействия электромагнитным излучением высокочастотного диапазона / Л.И. Лисицына, С.В. Белавская, А.Н. Кузьмин, Е.К. Винская // Современные проблемы телекоммуникаций: материалы Российской научно-технической конференции, Новосибирск, 20 – 21 апр. 2022 г. – Новосибирск, 2022. – С. 648 – 652.

4. Высокочастотная электромагнитная система для деструкции биологических тканей / С.В. Белавская, Л.И. Лисицына, А.Н. Кузьмин, Е.К. Винская, Л.Г. Навроцкий, В.П. Разинкин, А.А. Блохин // Системы анализа и обработки данных. – 2023. – № 1 (89). – С. 55 – 80. – DOI: 10.17212/2782-2001-2023-1-55-80.

## **СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫНУЖДЕННОГО СВЕЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА IN VIVO ПРИ СТИМУЛЯЦИИ ОПТИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

**Е.В. Балабанова, А.Д. Кобылинская, С.В. Белавская  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, balabanovaelizaveta3@gmail.com  
Научный руководитель: Лисицына Л.И., д.т.н., профессор**

*Проведено спектрометрическое исследование вынужденного свечения in vivo (кожного покрова ладони) при стимуляции возбуждающим излучением в красной области спектра. Для этого использованы фильтры КС-10 (полоса пропускания 580 – 630 нм), КС-14 (600 – 730 нм), КС-18 (680 – 800 нм). Показано, что воздействующее излучение указанного диапазона обеспечивает в основном отражение от кожного покрова, за исключением использования*

фильтра КС-10, где обнаружено переизлучение в большую длину волны. Высказано предположение, что это возможно за счет флуоресценции коллагена после прохода через слой дермы толщиной 50-100 мкм.

*A spectrometric study of the forced glow in vivo (the skin of the palm) was carried out when stimulated by exciting radiation in the red region of the spectrum. For this purpose, filters KS-10 (bandwidth 580 – 630 nm), KS-14 (600-730 nm), KS-18 (680 – 800 nm) were used. It is shown that the impacting radiation of the specified range provides mainly reflection from the skin, with the exception of the use of the KS-10 filter, where a high-wavelength re-emission is detected. It is suggested that this is possible due to the fluorescence of collagen after passing through the dermis layer with a thickness of 50 – 100 microns.*

В современной медицине для диагностики различных заболеваний, оценки эффективности лечения, изучения влияния окружающей среды на состояние человека широко используется спектроскопия излучения кожного покрова, в частности - вынужденного свечения. В лаборатории Медицинской электроники при НГТУ НЭТИ изучению спектроскопии вынужденной электролюминесценции при стимуляции ультрафиолетовым излучением посвящено несколько работ [1 – 4].

В данной работе проведены спектрометрические исследования вынужденного свечения биологической ткани (БТ) под действием стимулирующего излучения в видимой области спектра в частности-красной области (фильтры КС-10, КС-14 и КС-18) [5]. Спектры пропускания используемых фильтров представлены на рис. 1

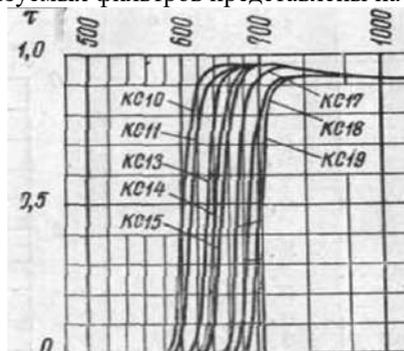


Рис.1 – Спектры пропускания используемых фильтров

Для проведения исследований разработана установка, блок схема которой представлена на рис. 2.



Рис. 2 – Блок схема установки для стимуляции и регистрации спектров вынужденного свечения

Для получения спектров использован Спектр анализатор 1.07.

В качестве объекта исследования *in vivo* использована поверхность ладони (женщина, 21 год) в области биологически активной зоны [7 – 8]. Результаты исследования представлены на рис. 3 – 5.

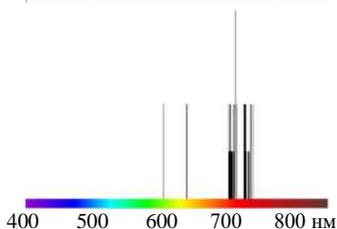


Рис. 3 – Спектры вынужденного свечения при использовании фильтра КС-10

Фильтр КС-10 дает полосу пропускания 580 – 630 нм. На рис.3 имеют место пики 580 – 630 нм, которые могут являются отражением воздействующего излучения. Кроме того, наблюдаются пики в диапазоне 680 – 720 нм, что является переизлучением в более длинную область спектра. Хромофором, поглощающим излучение в заданном диапазоне и флуоресцирующим в диапазоне 680 – 720 нм, может являться коллаген, после прохода через слой дермы толщиной 50 – 100 мкм [6].

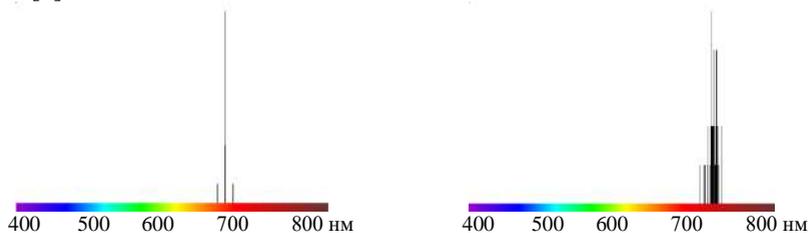


Рис. 4 – 5 – Спектры вынужденного свечения при использовании фильтра КС-14 и КС-18

На рис. 4 – 5 представлен спектр вынужденного свечения кожного покрова после стимуляции излучением, проходящим через фильтр КС-14 (600 – 730 нм) и КС-18 (680 – 800 нм) Именно в этом диапазоне находятся пики, которые могут свидетельствовать об отражении воздействующего излучения от поверхности кожного покрова.

Анализируя приведенные спектры вынужденного свечения можно сделать определенные выводы.

— Видимый свет в полосе пропускания 580 – 800 нм обеспечивает в основном отражение воздействующего излучения от поверхности кожного покрова.

— При использовании фильтра КС-10 (полоса пропускания 580 – 630 нм) обнаружено переизлучение в большую длину волны (680 – 720 нм). Высказано предположение, что переизлучение произошло хромофором – коллагеном, прошедшим через слой дермы толщиной 50 – 100 мкм.

КС-10 пропускает излучение с меньшей длиной волны, то есть с большей энергией, что могло послужить для переизлучения. Все остальные фильтры, имеющие большую длину волны, то есть меньшую энергию, не обеспечили переизлучение.

#### Литература:

1. Pilot spectrometric investigations of chromophores in biologically active zones areas / S. V. Belavskaya, L. I. Lisitsyna, A. D. Shevtsova, S. E. Goncharov. // 24 International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM-2023). – Novosibirsk: IEEE, 2023. – P. 1510–1513.

2. Исследование спектров вынужденного свечения биологических объектов. С. В. Белавская, Л. И. Лисицына, А. Д. Шевцова, Л. Г. Навроцкий, А. А. Блохин, В. П. Разинкин. Современные проблемы телекоммуникаций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Новосибирск: Изд-во СибГУТИ. 2023. – С. 419 – 424.

3. Comparison of Skin Surface Stimulated Luminescence Spectra in Areas of Biologically Active and Neutral Zones Subject to External Ultraviolet Radiation / L. I. Lisitsyna, S. V. Belavskaya, L. G. Navrotsky, A. A. Blokhin, S. E. Goncharov. // International multi-conference on engineering, computer and information sciences (SIBIRCON-2022): conf. proc., -Yekaterinburg, Nov: IEEE, 2022. – P. 1520 – 1523.

4. Влияние мощности внешнего воздействующего излучения на спектр вынужденного свечения кожного покрова / С. Е. Гончаров, А. А. Блохин, Л. Г. Навроцкий, С. В. Белавская; науч. рук. Л. И. Лисицына. // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр. 16 Всерос. науч. конф.

молодых ученых. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2022. – Ч. 6. – С. 124–130.

5. Каталог цветного стекла. – М: Машиностроение. 1967.

6. Sinichkin Yu.P., Utz S.R., Mavlutov A.H., Philipenko H.A. In vivo fluorescence spectroscopy of the human skin: experiments and models // J. Biomed. Opt. 1998. Vol.3. – P. 201 – 211.

7. Е.Б. Новикова. Значение биологически активных зон кожи в электрообмене организма с внешней средой (на примере операционного повреждения). Электронный журнал. Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – №4.

8. S.P. Mironov, O.V. Oganessian, V.G. Zilov, E.B. Novikova, S.V. Ivannikov, I.S. Paltseva, V.V. Trotsenko, A.S. Samkov, V.P. Abeltsev, V.I. Shevtsov, «The role of biologically active zones in human and environmental exchange of energy-and-information [Rol' biologicheskii aktivnih zon v energoinformacionnom obmene mezhdru chelovekom I vneshnei sredoi]», (in Russia). M.; Izdatelstvo «Genij Ortopedii». No.4, 2022.

## **АНАЛИЗ БТС ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА**

**И.В. Зайцев**

**Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, ivan\_zajcev\_01@mail.ru**

**Научный руководитель: Лисицына Л.И., д.т.н., профессор**

*Данная работа освещает актуальные методы мониторинга состояния пациента, уделяя особое внимание оценке общего состояния и его значению в медицине. Цель исследования – выбор наиболее точной и эффективной биомедицинской технологической системы для мониторинга пациентов путем анализа существующих систем, включая многофункциональные мониторы, беспроводные портативные устройства, и системы дистанционного мониторинга и телемедицины. Исследование классифицирует эти системы по точности измерений и эффективности в мониторинге состояния пациентов. Выводы работы указывают на высокую точность измерений и эффективность многофункциональных мониторов и беспроводных портативных устройств, в то время как системы дистанционного мониторинга и телемедицины имеют разнообразные характеристики точности, но часто демонстрируют высокую эффективность.*

*This work highlights the current methods of monitoring the patient's condition, paying special attention to the assessment of the general condition and its*

*significance in medicine. The aim of the study is to select the most accurate and effective biomedical technological system for monitoring patients by analyzing existing systems, including multifunctional monitors, wireless portable devices, and remote monitoring and telemedicine systems. The study classifies these systems according to measurement accuracy and effectiveness in monitoring the condition of patients. The conclusions of the work indicate high measurement accuracy and efficiency of multifunctional monitors and wireless portable devices, while remote monitoring and telemedicine systems have a variety of accuracy characteristics, but often demonstrate high efficiency.*

В данной работе рассмотрены и проанализированы современные способы мониторинга состояния пациента. Градация общего состояния пациента в медицине является важным инструментом для оценки степени тяжести его заболевания или травмы. Общее состояние обычно оценивается с учётом различных факторов, включая сознание, работу жизненно важных систем организма и другие клинические признаки. Одной из наиболее распространённых систем градации общего состояния пациентов является система Glasgow Coma Scale (Шкала комы Глазго), разработанная в 1974 году и опубликованная в статье "Assessment of Coma and Impaired Consciousness: A Practical Scale." (Оценка комы и нарушения сознания: практическая шкала) в журнале "The Lancet" [1]. Эта система оценивает сознание пациента и его реакции на стимулы, а также предоставляет числовую оценку, позволяя классифицировать состояния пациентов на трех уровнях: лёгкое, средней тяжести и крайне тяжёлое состояние.

Исходя из этого целью данной работы является выбор более точного БТС (биомедицинской технологической системы) для мониторинга состояния пациента, путём проведения анализа существующих БТС и их классификации по точности и эффективности.

История БТС для мониторинга состояния пациентов включает множество инноваций и важных достижений в медицине. Начиная с середины 20 века, медицинская техника интегрировала различные приборы и методы для оценки витальных показателей, таких как пульс, давление и частота дыхания. Первые мониторы были примитивными по сравнению с современными БТС [2].

В 1970 – 1980-х годах, с развитием компьютерных технологий, началось создание более точных систем мониторинга, позволяющих анализировать данные в реальном времени и сохранять их для последующего анализа. Эти системы значительно улучшили мониторинг состояния пациентов в интенсивной терапии [3].

В 21 веке произошли значительные изменения в развитии БТС. Миниатюризация сенсоров и использование беспроводных технологий позволили разработать портативные мониторы, которые могут

непрерывно отслеживать важные параметры пациента в реальном времени. Это позволяет большей гибкости в уходе за пациентами и улучшает реакцию на изменения в их состоянии [4].

### 1. Многофункциональные мониторы

Одной из ключевых категорий БТС являются многофункциональные мониторы, способные непрерывно измерять различные витальные параметры, такие как пульс, давление, частота дыхания, насыщение кислородом и электрокардиограмма (ЭКГ). Эти устройства интегрированы в системы мониторинга в интенсивной терапии и операционных залах для надёжного отслеживания состояния пациентов [6].

### 2. Беспроводные портативные мониторы

С развитием беспроводных технологий, появились портативные мониторы, которые пациенты могут носить даже вне медицинских учреждений. Эти устройства могут мониторить сердечный ритм, активность, уровень кислорода в крови и другие параметры, передавая данные на смартфоны или облачные платформы для дистанционного мониторинга [7].

### 3. Системы дистанционного мониторинга и телемедицины

БТС также играют ключевую роль в телемедицине и системах дистанционного мониторинга. Это позволяет пациентам получать качественный медицинский уход даже на удалении, а также обеспечивает врачей информацией для принятия более точных решений [8].

**Таблица 1 — Классификация по эффективности и точности «Многофункциональные мониторы»**

<b>Многофункциональные мониторы</b>			
<i>Модель</i>	<i>Погрешность</i>	<i>Эффективность</i>	<i>Сенсоры и Метод</i>
Philips IntelliVue MX800	±1 – 2%	Высокая	Электронные сенсоры и алгоритмы анализа данных.
GE CARESCAPE B650	±1 – 3%	Высокая	Электронные сенсоры и алгоритмы анализа данных.
Mindray BeneVision N12	±2 – 4%	Средняя	Электронные сенсоры и алгоритмы анализа данных.
Dräger Infinity Gamma	±2 – 3%	Средняя	Электронные сенсоры и алгоритмы анализа данных.
Nihon Kohden BSM-6701K	±1 – 2%	Высокая	Электронные сенсоры и алгоритмы анализа данных.

**Таблица 2 — Классификация по эффективности и точности  
«Многофункциональные мониторы»**

<b>Многофункциональные мониторы</b>			
<i>Модель</i>	<i>Погрешность</i>	<i>Эффективность</i>	<i>Сенсоры и Метод</i>
Withings BPM Core	±2 – 3%	Высокая	Электрокардиография и анализ пульса.
Masimo MightySat	±2 – 3%	Высокая	Спектральная оксиметрия и пульсометрия.
Garmin Forerunner 945	±3 – 5%	Средняя	Оптический датчик и анализ движения.
Fitbit Charge 4	±3 – 4%	Средняя	Оптический датчик и анализ движения.
iHealth Track	±3 – 4%	Средняя	Электрокардиография и оптический датчик.

**Таблица 3 — Классификация по эффективности и точности  
«Системы дистанционного мониторинга и телемедицины»**

<b>Многофункциональные мониторы</b>			
<i>Модель</i>	<i>Погрешность</i>	<i>Эффективность</i>	<i>Сенсоры и Метод</i>
TeleHealthCo Monitor	±3 – 5%	Средняя	Электронные сенсоры и передача данных через сеть.
eCarePro Remote Health	±2 – 4%	Высокая	Мониторинг с использованием искусственного интеллекта.
MedConnect Telemedicine	±1 – 3%	Высокая	Электронные сенсоры и анализ данных на сервере.
HealthLink Plus	±4 – 6%	Средняя	Системы дистанционного мониторинга и телемедицины.
RemoteCare Solutions	±3 – 5%	Средняя	Мониторинг с использованием искусственного интеллекта.

Исходя из этих данных, многофункциональные мониторы и беспроводные портативные мониторы, как правило, обеспечивают хорошую точность измерений и высокую эффективность. В то время как системы дистанционного мониторинга и телемедицины имеют более разнообразную характеристику точности, но нередко обладают высокой эффективностью благодаря интеграции искусственного интеллекта.

Литература:

1. *Teasdale G, Jennett B.* «Assessment of Coma and Impaired Consciousness: A Practical Scale. The Lancet». 1974; 304(7872). – P. 81 – 84.

2. Smith, S. R., & Cramp, P. (2006). «A short history of intensive care (including a 50-yr time line). Critical care», 10(3), 157.
3. Miller, R. D., Cohen, N. H., & Eriksson, L. I. (2014). «Miller's Anesthesia. Elsevier Health Sciences».
4. Chan, A. M., Selvaraj, N., & Ferdosi, N. (2009). «Wireless telemedicine systems: a review. IEEE Reviews in Biomedical Engineering», 2, - P.143 – 156.
5. Obermeyer, Z., & Emanuel, E. J. (2016). «Predicting the future – big data, machine learning, and clinical medicine. New England Journal of Medicine», 375(13), – P. 1216 – 1219.
6. Lee-Lewandrowski, E., Corboy, D., Lewandrowski, K., Sinclair, J., McDermot, S., & Benzer, T. I. (2003). «Implementation of a point-of-care satellite laboratory in the emergency department of an academic medical center. Impact on test turnaround time and patient emergency department length of stay. Archives of Pathology & Laboratory Medicine», 127(4), – C. 456 – 460.
7. Evenson, K. R., Goto, M. M., & Furberg, R. D. (2015). «Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 12(1), – P.1 – 22.
8. Dorsey, E. R., Topol, E. J., & State of Telehealth Workgroup. (2016). State of telehealth. New England Journal of Medicine, 375(2), – P.154 – 161.

## **РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЦЕНИВАНИЯ СЛУХА ЧЕЛОВЕКА И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ**

**В.В. Каравасев, А.В. Павлов**

**Новосибирский государственный технический университет,**

**г. Новосибирск, ya.valentin2001@yandex.ru**

**Научный руководитель: Павлов А.В., к.б.н., доцент**

*В статье приведён принцип проведения тональной аудиометрии и построения аудиограмм. Описываются основные показатели, по которым современные аудиометры ставят диагноз. Объясняется возможность внедрения в аудиометры дополнительных параметров слуховых способностей, таких как пороги слышимости, относительный и абсолютный слух. Показан действующий прибор, измеряющий перечисленные параметры. Рассмотрены его преимущества перед другими приборами, выявляющими нарушения слуха.*

*The article discusses the principle of conducting tone audiometry and constructing audiograms. The main indicators by which modern audiometers make a*

*diagnosis are described. The possibility of introducing additional parameters of hearing abilities into audiometers, such as hearing thresholds, relative and absolute hearing, is explained. A working device that measures the listed parameters is shown. Its advantages over other devices that detect hearing impairment are considered.*

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) на сегодняшний день в мире более 466 миллионов человек страдают нарушением слуха вплоть до глухоты. Из них 34 миллиона – дети. По распространённости тугоухость занимает третье место в мире, уступая болезням сердца, а также артритам [1].

Однако число людей, приведённое в статистике, – это лишь явные случаи. Чаще всего приобретённые нарушения органов слуха развиваются незаметно, в то время как своевременное обнаружение, казалось бы, незначительных нарушений позволило бы начать лечение на ранней стадии заболевания, пока не станет слишком поздно. В современной медицине обнаружить проблемы органов слуха помогают специальные приборы – аудиометры.

Основная задача таких приборов – проведение тональной аудиометрии, в результате которой строятся и анализируются четыре аудиограммы. Аудиограмма – это зависимость частоты звука от его интенсивности, при которой данная частота была услышана человеком. В норме интенсивность каждой частоты не должна превышать значения в 25 дБ. Отоларингологу необходимо проверить отдельно оба уха пациента как для воздушной проводимости, так и для костной.

Воздушная проводимость – естественный способ восприятия звука, связанный с функцией и строением уха, т.е. через барабанную перепонку и систему косточек. Общепринято считать, что человек слышит в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц (на самом деле у каждого человека этот диапазон индивидуален), однако выше этого диапазона человек всё ещё может ощущать звук механически посредством вибраций. В этом ему помогают кости черепа, организующие костную проводимость. При этом передача звука осуществляется напрямую во внутреннее ухо, минуя барабанную перепонку и систему косточек.

По полученным аудиограммам, прежде всего, рассчитывают два параметра. Первый – это разность интенсивностей обеих проводимостей для определённой частоты – костно-воздушный разрыв (КВР). В норме КВР не превышает 15 дБ. Исходя из значения КВР, можно выявить тип тугоухости – кондуктивный, сенсоневральный или смешанный. При кондуктивной форме костная проводимость в норме, а по воздушной проводимости существуют нарушения. Сенсоневральная тугоухость характеризует нарушения обеих проводимостей при нормальном КВР для всех частот (визуально график воздушной проводимости

аналогичен графику костной). Если при нарушении обеих проводимостей есть хотя бы одна частота с превышенным КВР, то тип тугоухости считается смешанным. Второй параметр – это средняя интенсивность для частот от 500 Гц до 4000 Гц – уровень нарушения слуха. По нему определяют степень тугоухости в соответствии с Таблицей 1 [2].

**Таблица 1 – Соответствие нарушения слуха и степени тугоухости**

Степень тугоухости	Уровень нарушения слуха, дБ
Норма	0 – 25
I степень	26 – 40
II степень	41 – 55
III степень	56 – 70
IV степень	71 – 90
V степень (глухота)	91 и выше

Тональная аудиометрия – практичный инструмент, позволяющий обнаружить проблемы каждого уха, посчитать степень нарушения слуха и определить тип тугоухости. Аудиометры дешевле прочих специальных приборов, их легче поверять и обслуживать. Как метод, аудиометрия значительно проще тимпанометрии, акустической рефлексометрии и импедансометрии [3].

Между тем, в медицинских учреждениях трудно встретить даже аудиометры. На сегодняшний день врачи-отоларингологи практикуют шепотную аудиометрию. Врач, находящийся от пациента в другом конце кабинета, шепотом произносит слова (обычно, двужачные цифры) – пациент эти слова повторяет. Подобный способ не позволяет комплексно оценить способности слуха пациента. Его применение даёт примерное представление о слухе, сводясь к определению расстояния, с которого был услышан шепот; но сокращает время обследования одного человека, что важно, например, на медосмотрах [4]. Специальные приборы, осуществляющие проверку слуха, также рекомендованы на предприятиях с высоким уровнем шума (заводы, котельные и пр.) и должны использоваться работниками для предупреждения заложенности ушей после рабочего дня.

Существует ряд способностей слуха человека, с которым не работают современные аудиометры. Исследование этих способностей также может применяться с медицинской точки зрения, а также нести информацию о дополнительных возможностях слуха. Насколько нам известно, на рынке медицинской техники нет приборов, оценивающих, помимо тональной аудиометрии, ещё и пороги слышимости, относительный слух и абсолютный слух. Нормальный относительный слух здесь понимается, как возможность человека правильно

определить звук, отличающийся от других по конкретному параметру – частоте, интенсивности или продолжительности звучания. Наличие же абсолютного слуха говорит о возможности человека безошибочно определить проигрываемую ноту из некоторой октавы.

Реализованный прибор представлен на рисунке 1. Его режимы работы, исследующие вышеперечисленные параметры, грамотно согласуются друг с другом и вместе дают более полную картину нарушения слуха. Если две патологии одинаково влияют, например, на пороги слышимости, то остальные режимы уточнят, с какой конкретно патологией мы имеем дело.



Рис. 1 – Устройство для оценивания слуха человека

Ещё раз подчеркнём преимущества данного прибора. Во-первых, исследование слуха с его помощью является более доступным и дешёвым, нежели при использовании других неинвазивных инструментов. Во-вторых, применение прибора в диагностике слуха обладает большей информативностью, в отличие от шепотной аудиометрии или камертонов. В-третьих, прибор объединяет ряд исследований в одно полноценное, в результате чего каждый отдельный режим работы может уточнить и скорректировать диагноз. В-четвертых, оценка нескольких способностей слуха, а не только проведение тональной аудиометрии, может стать важным дополнением для современных аудиометров.

Разработка способа оценивания слуха в дальнейшем должна сводиться к нахождению возможных зависимостей между результатами полного исследования и конкретной патологией, за счет чего прибор сам сможет поставить гипотетический диагноз. На данный момент прибор

способен оценить лишь тип и степень тугоухости, анализируя аудиограммы и сравнивая полученные результаты с фиксированными диапазонами.

В дополнение к реализованным режимам можно добавить такие способности слуха, как результат речевой аудиометрии, реакция на звук, а также пространственное восприятие звука. Увеличение функционала прибора соответствующими режимами позволит ещё более подробно оценивать слух пациента, не усложняя при этом конструкцию аудиометра.

Таким образом, приборы для исследования способностей слуха – неотъемлемая часть диагностирования и обнаружения проблем со слухом не только при явных нарушениях, но и на ранних стадиях возникновения патологий. Реализация комплексной оценки наибольшего количества возможных способностей слуха в одном приборе позволила бы усовершенствовать нынешние аудиометры, наделив их дополнительным полезным функционалом.

#### Литература:

1. Нарушение слуха в цифрах (статистика) [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://sluh.online/statistika> (Дата обращения: 08.11.2023).
2. Коваленко С.Л. Как расшифровать аудиограмму – подробное руководство от врача [Электронный ресурс]. – URL: <http://eu-max.ru/blog/audiogram/> (Дата обращения: 08.11.2023).
3. Изумрудова Л.С. Методы проверки и исследования слуха [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.smclinic.ru/press-centr/articles/metody-proverki-i-issledovaniya-slukha/> (Дата обращения: 08.11.2023).
4. Лазарева, Л.А. Алгоритм обследования больного с нарушением слуховой функции: методические рекомендации для оториноларингологов, аудиологов, сурдологов, педиатров, врачей общей практики / Л.А. Лазарева, М.Ю. Соколов, Н.П. Саатчян; Кубанский государственный медицинский университет. – Краснодар: КубМГУ, 2014. – 23 с.

## ДИНАМИКА ЗАЖИВЛЕНИЯ РАЗРЕЗОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТКАНИ, ВЫПОЛНЕННЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

С.В. Белавская<sup>1</sup>, А.В. Ромащенко<sup>2</sup>, Д.Н. Кулешов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет,

<sup>2</sup>ФГБНУ ФИЦ «Институт цитологии и генетики» СО РАН

г. Новосибирск, [dnkuleshov@gmail.com](mailto:dnkuleshov@gmail.com)

Научный руководитель: Лисицына Л.И., д.т.н., профессор

*Представлены результаты исследования динамики заживления разрезов биологической ткани с использованием высокочастотного электромагнитного излучения на частоте 27.12 МГц. Исследования проведены с использованием мышей линии C57BL в условиях лабораторного вивария, свободного от патогенов. Показано, что при соблюдении условий эксперимента ширина разреза со временем увеличивается до окружности на пятый день, после чего начинает сокращаться с наибольшим временем зарастания – 17 дней (при длине разреза 14 мм). Практически показано, что с увеличением длины разреза кожного покрова, выполненного высокочастотным электромагнитным излучением, время его заживления возрастает. Исследование проведено на пяти мышах для обеспечения статистической достоверности результатов.*

*The results of a study of the dynamics of healing of biological tissue incisions using high-frequency electromagnetic radiation at a frequency of 27.12 MHz are presented. The studies were carried out using C57BL mice in a pathogen-free laboratory vivarium. It is shown that, subject to the experimental conditions, the width of the cut increases over time to a circle on the fifth day, after which it begins to decrease with the longest overgrowth time – 17 days (with a cut length of 14 mm). It has been practically shown that with increasing length of the skin incision made with high-frequency electromagnetic radiation, its healing time increases. The study was conducted on five mice to ensure statistical significance of the results.*

Авторами данной работы предложен и исследован метод рассечения биологической ткани, выполненный высокочастотным электромагнитным излучением на частоте 27.12 МГц [1 – 2]. В данных работах показано, что разрез кожного покрова электромагнитным излучением частотой 27.12 МГц мощностью 50Вт и ниже:

- практически не затрагивает окружающие ткани,
- время разреза кожного покрова электромагнитным излучением ниже времени разреза обычным хирургическим методом,
- кровотечение из краёв разреза отсутствует,
- края разреза коагулированы.

В данной работе проанализирована динамика заживления разрезов кожного покрова лабораторных мышей.

Эксперимент проводился на 5 самцах мышей инбредной линии C57Bl/6 (возраст 6 – 8 недель, общее количество - 30). Подопытных мышей содержали в однополых группах по 5 животных в индивидуально вентилируемых (ИВК) клетках системы OptiMice (Animal Care Systems) в контролируемых условиях при 22 – 26 °С, относительной влажности 30 – 60 % и в искусственном световом режиме 14С:10Т при выключении освещения в 16:00 и включением в 02:00. В качестве подстила использовали березовую обеспыленную мелкую стружку (1 – 2 мм). Автоклавированный комбикормом "Дельта Фидс" (производство "БиоПро", РФ) и водопроводную воду, фильтруемую системой ELIX 35 фирмы Millipore, животные получали в режиме *ad libitum*. Содержание и манипуляции с животными проводились в соответствии с международными правилами работы с животными (European Communities Council Directive (86/609 EEC) и регламентировались стандартными операционными процедурами, разработанными в соответствии с требованиями ГОСТ 33044-2014 (Принципы надлежащей лабораторной практики) и принципами и нормами биоэтики (номер заключения биоэтической комиссии №138 от 30.11.2022). При проведении испытаний использовались здоровые животные с подтвержденным статусом здоровья.

На рисунке 1 приведены примеры фотографий разрезов кожного покрова разной длины в день разреза. На рисунке 2 приведены фотографии разрезов на одной и той же мышце с течением времени (через 3, 5 и 11 дней) после их выполнения. По данным фотографиям проведены замеры разрезов и на рисунке 3 приведена зависимость длины разреза по дням замера. Следует отметить, что замер длины разреза *in vivo* осложняется тем, что разрез со временем растягивается в ширину до окружности (рис. 2 б), однако полученные зависимости верно отражают процесс зарастания разреза.

Исследования проведены на пяти экземплярах мышей с целью оценки статистической достоверности полученных данных. Одним из ключевых аспектов, подтверждающих верность результатов, является использование достаточного количества наблюдений. В данном случае использование пяти мышей обеспечивает достаточную выборку для проведения статистического анализа, позволяет уменьшить степень случайности и увеличить степень уверенности в полученных результатах. Таким образом, мы можем сделать вывод о статистической достоверности полученных данных [3].



а б

Рис. 1 – Фотографии мышей с разной длиной разреза кожного покрова: а – 14 мм, б – 10 мм



а б в

Рис. 2 – Динамика заживления разреза длиной 10 мм по дням, а – 3 дня, б – 5 дней, в – 11 дней

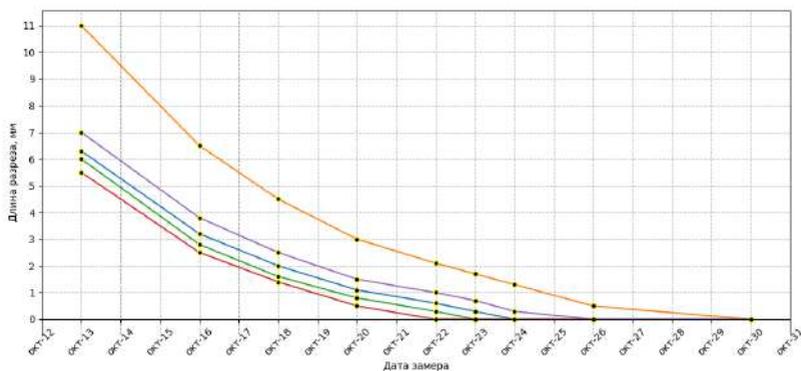


Рис. 3 – Динамика длины разреза по дням замера

Анализируя полученные фотографии и зависимости, можно сделать следующие выводы.

1. При соблюдении условий эксперимента ширина разреза со временем увеличивается до окружности на пятый день, после чего начинает сокращаться с наибольшим временем зарастания – 17 дней (при длине разреза 14 мм).

2. Практически показано, что с увеличением длины разреза кожного покрова, выполненного высокочастотным электромагнитным излучением, время его заживления возрастает.

#### Литература:

1. Белавская С. В., Лисицына Л. И., Кузьмин А. Н., Винская Е. К., Навроцкий Л. Г., Разинкин В. П., Блохин А. А. Высокочастотная электромагнитная система для деструкции биологических тканей. «Системы анализа и обработки данных» №1 (89). – Новосибирск: НГТУ, 2023. – С. 55 – 80.
2. Белавская С. В., Лисицына Л. И., Разинкин В. П., Винская Е. К., Хрусталёв В. А., Кузьмин А. Н., Марков А. В. Электромагнитная система для деструкции биологических тканей на частоте 27.12 МГц. «Системы анализа и обработки данных» №3 (91). – Новосибирск: НГТУ, 2023. – С. 105 – 120.
3. Статистические методы анализа: [учеб. пособие] / И. С. Шорохова, Н. В. Кисляк, О. С. Мариев; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 300 с.

## **«МИНИ-КАРДИОГРАФ»: АНАЛИЗ И МОНИТОРИНГ БИОСИГНАЛОВ ЧЕЛОВЕКА**

**Я.М. Скоробогатов**

**Новосибирский государственный технический университет  
г. Новосибирск, aroslavskorobogotov59539@gmail.com**

*В работе проведено исследование, посвященное анализу и мониторингу биосигналов человека с использованием мини-кардиографа. Изучены методы измерения, анализа и интерпретации данных ЭКГ. С учетом требований к миниатюрности и удобству использования спроектирован, собран и изучен мини-кардиограф с помощью модулей Arduino и написано программное обеспечение на базе языка программирования Python для аппарата. Исследованы особенности работы мини-кардиографа и его способность проводить мониторинг различных биосигналов. Проведено тестирование созданного мини-кардиографа на реальных людях и сравнение полученных результатов с традиционными методами измерения ЭКГ.*

*The article presents a study devoted to the analysis and monitoring of human biosignals using a mini-cardiograph. The operation of the ECG apparatus and the method of taking its readings were studied. A mini-cardiograph was assembled and studied using Arduino modules and software based on the Python programming language was written. The features of the mini-cardiograph and its ability to monitor various biosignals are investigated.*

Электрокардиография (ЭКГ) является важным инструментом в медицинской диагностике и мониторинге сердечной деятельности. В

последние годы увеличился интерес к созданию доступных и распространенных устройств для измерения ЭКГ среди широкой аудитории, включающей в себя не только медицинский персонал, но и обычных людей. В этом контексте данная работа направлена на разработку мини-кардиографа на основе платформы Arduino с использованием программного обеспечения на языке Python для анализа данных ЭКГ.

Целью проекта является создание недорогого, компактного и простого в использовании устройства, которое может измерять и анализировать данные сердца. Важно предоставить возможность широкому кругу людей обнаруживать и мониторить отклонения в сердечной деятельности, что может быть полезным как в повседневной жизни, так и в медицинских целях.

Для реализации данной цели планируется использование платформы Arduino в качестве основы для мини-кардиографа. Arduino предоставляет широкие возможности для создания простых и компактных устройств, что делает его идеальным выбором для моих целей. Также будет разработано программное обеспечение на языке Python, которое будет обеспечивать анализ данных ЭКГ и предоставлять пользователю понятные для визуализации и интерпретации электрокардиограммы.

#### Литература:

1. Жданова И. В., Зуева Т.В., Жданова Т. В. Электрофизиологические основы электрокардиографии [Электронный ресурс] // УГМУ. Екатеринбург, 2019.
2. Кабардина С. И. Измерение физических величин. Элективный курс: Учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.
3. Коньшев Д. В. Обучающее онлайн-пособие по обработке сигналов [Электронный ресурс] // URL: <https://neurobotics.ru/tools/edf/#/tutorial>
4. Дж. Блум. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства, 2015.
5. Златопольский Д. М. Основы программирования на языке Python, 2022.

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ ОСАНКИ

С.С. Харин, А.В. Гладков

Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, sergey.harin0304@mail.ru

Научный руководитель: Гладков А.В., д.м.н., профессор

*В данной статье представлен новый метод оценки позы человека с помощью электронного устройства для активного поддержания правильной ортопедической осанки, основанного на принципе обратной биологической связи. Устройство состоит из: датчика, смонтированного на сетчатой маечке и реагирующего на сведение надплечий и усилителя, принимающего сигнал с датчика и генерирующего звуковой сигнал для пользователя при отклонении от нормы. В статье описаны материалы и методы, используемые при создании устройства.*

*This paper presents a new method of human posture assessment using an electronic device for active maintenance of correct orthopedic posture based on the principle of biofeedback. The device consists of: a sensor mounted on a mesh shirt and reacting to the convergence of the upper arms and an amplifier that receives the signal from the sensor and generates a sound signal for the user in case of deviation from the norm. The article describes the materials and methods used to create the device.*

Осанка – наиболее привычное положение тела человека в пространстве. Каждый человек имеет собственную осанку, но далеко не у всех она является правильной [1].

Наиболее типичное проявление патологической осанки выражается в наклоне головы вперед, опусканием и сведением надплечий, выстоянием углов лопаток и выпячиванием передней брюшной стенки [1 – 2].

Длительное сохранение паталогической осанки приводит к возникновению проблем не только со стороны позвоночника, но со стороны других органов и систем. Формирование правильной ортопедической осанки тесно связано с процессом воспитания ребенка. По мере его развития продолжительность контроля со стороны родителей снижается, а самоконтроль в раннем возрасте недостаточно эффективен [2].

**Целью работы** является разработка аппаратного комплекса, обеспечивающего активное поддержание правильной ортопедической осанки со стороны самого пациента, основанного на принципе обратной биологической связи.

Конструкция датчика состоит из гибкой подложки, на которую крепятся тензодатчики. По краям подложки крепятся два магнита, один из которых плотно закреплён на платформе, а второй имеет возможность перемещаться. За счёт ее растяжения происходит изменение поперечного сечения подложки, улавливаемое полупроводниковыми элементами, что приводит к изменению их электрического сопротивления. После возвращения подложки в исходное состояние сопротивление полупроводников нормализуется.

В качестве датчика использованы полупроводниковые тензочувствительные элементы, подключенных в виде полумостовой схемы (Рисунок 1).

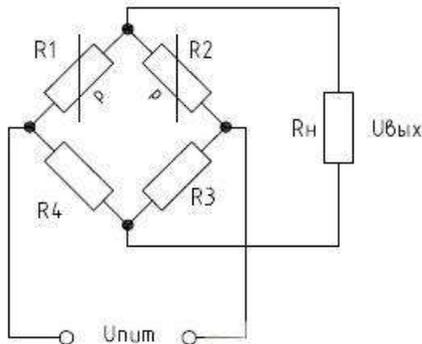


Рис. 1 – Мостовая схема подключения нескольких тензодатчиков:  
полумост

Резисторы  $R_1$  и  $R_2$  представляют собой полупроводниковые тензодатчики, работающие на растяжение и сжатие соответственно. С помощью одного из оставшихся резисторов  $R_3$  или  $R_4$  производится балансировка моста для настройки напряжения диагонали на ноль при первоначальном положении датчика. С диагонали, точки которой подключаются к нагрузке ( $R_n$ ), снимается сигнал, подаваемый, например, на измерительный прибор.

При изменении сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  происходит снижение потенциала точки на диагонали и изменение напряжения диагонали моста [3]. Опытным путём было выявлено, что в состоянии покоя тензодатчики имеют сопротивление 160 Ом. Для оставшихся резисторов были выбраны номиналы 200 Ом.

Для калибровки датчика параллельно резистору  $R_1$  включен переменный резистор, с помощью которого происходит смещение разности потенциалов к нулю.

Магниты на датчике крепятся к маечке с сетчатой структурой, повторяющей изгибы спины. При сведении надплечий и сгибании

позвоночника расстояние между лопатками увеличивается, ткань маечки натягивается, датчик воспринимает эти изменения и генерирует электрический сигнал, составляющий десятки-сотни милливольт, который впоследствии поступает на операционный усилитель с коэффициентом усиления 100-500 единиц или  $\sim 50$  дБ. В качестве усилителя применяется микросхема LM358. Усиленный сигнал подаётся на активный зуммер. Схема усиления представлена на рис. 2. Номиналы резисторов составили:  $R_1 = R_5 = 100$  кОм,  $R_3 = R_4 = R_6 = R_7 = 1$  кОм,  $R_2 = 20$  кОм.

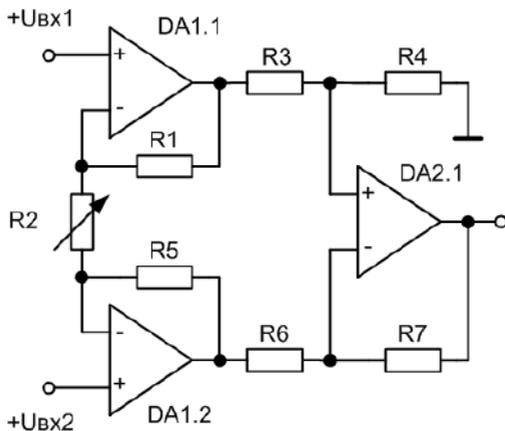


Рис. 2 – Схема инструментального усилителя на трёх ОУ

Схема питается от двух литиевых батареек типа CR2032, включенные последовательно для получения рабочего напряжения 6,0 В.

Датчик крепится на маечку с сетчатой структурой, повторяющей изгибы спины, в межлопаточной области на уровне Th3-Th5 позвонков.

Ниже представлены результаты проведенных экспериментов.

**Таблица 1 – Зависимость чувствительности устройства от угла между надплечьями в аксиальной плоскости**

Коэффициент чувствительности $k$	Сопротивление резистора $R_2$ , Ом	Угол между надплечьями
25.7	8100	170
28.7	7200	+177.5
29.6	7000	+178.5
32.25	6400	-189

**Таблица 2 – Зависимость чувствительности устройства от угла между надплечьями в аксиальной плоскости**

Коэффициент чувствительности $k$	Сопротивление резистора $R_2$ , Ом	Угол между надплечьями
111.5	1810	+156
201	1000	+178
245.8	817	185
543	369	189

Анализ полученных данных позволяет утверждать, что данное устройство позволяет с высокой точностью управлять его работой и демонстрирует возможности стабильной работы при различии таких факторов, как исходная осанка пациента и его антропометрические параметры.

Разработанное устройство является полностью аналоговым. Его простота может быть отнесена к его преимуществу при реализации и использовании проекта. Одним из преимуществ текущей версии устройства является наличие потенциометра для настройки чувствительности прибора. В дальнейшем планируется существенная переработка текущей версии, которая будет дополнена мобильным приложением для беспроводной передачи сигнала и управления работой устройства.

**Литература:**

1. Вавилова Е.Н. Развивайте у дошкольников ловкость, силу, выносливость: Пособие для воспитателя детского сада / Е.Н.Вавилова. – М.: Просвещение, 1981. – 96 с.
2. Ендолов В.В., Бирченко Н.С., Особенности моторной составляющей межполушарной асимметрии мозга у детей со сколиозом // *Фундаментальные исследования*. – 2005. – № 4. – С. 13-15
3. Перри, К.К. Основы тензометрирования: пер. с англ. [Текст] / К.К. Перри, Г.Р. Лисснер. – М.: Изд-во иностр. лит., 1957. – 324 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ – ЭЛЕКТРОНИКА И БИМЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНИКА

#### Секция ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ И СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Ачкасова М.С., Сараханова Р.Ю.	Новосибирск	3
Абрамец Т.И.	Новосибирск	6
Фонакова Т.В.	Томск	13
Швейгерт Е.А.	Новосибирск	16
Абрамов В.В.	Новосибирск	21
Ивлев Д.М.	Новосибирск	23
Репин С.Е.	Новосибирск	26
Трухачев А.Е., Горбунов Р.Л.	Новосибирск	30
Севостьянов Н.А.	Новосибирск	34
Рябцева Е.Д.	Новосибирск	38

#### Секция РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Сокуренок В.А.	Томск	43
Травникова Т.Ю.	Новосибирск	47
Колосков Д.Б.	Новосибирск	52
Щелкотунов А.А., Половников А.С.	Новосибирск	56

#### Секция БИМЕДИЦИНСКАЯ И ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Аловацкий П.В., Вершена И.В., Чеховских А.Ю., Разинкин В.П.	Новосибирск	61
Балабанова Е.В., Кобылинская А.Д., Белавская С.В.	Новосибирск	65
Зайцев И.В.	Новосибирск	69
Караваев В.В., Павлов А.В.	Новосибирск	73
Белавская С.В., Ромащенко А.В., Кулешов Д.Н.	Новосибирск	78
Скоробогатов Я.М.	Новосибирск	81
Харин С.С., Гладков А.В.	Новосибирск	83

**НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ**

**XVII Всероссийская научная конференция молодых ученых  
г. Новосибирск, 04-08 декабря 2023 г.**

**Сборник научных трудов в 11 частях**

**Часть 6**

*Под редакцией Соколовой Д.О.*

Подписано в печать 29.01.2024. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Уч.-изд. л. 5,11. Печ. л. 5,50. Тираж 100 экз. Заказ № Р-02880

Отпечатано в типографии

Новосибирского государственного технического университета  
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20