

## 17 - Радиофизика. Электроника

Амонский Дмитрий Сергеевич, 4 курс  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Электродинамический анализ и синтез волноводного фильтра**  
Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [dmitryamonsky@yandex.ru](mailto:dmitryamonsky@yandex.ru) стр. 270

Ба Мамаду, 2 курс  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Разработка веб-сервера (загрузка и скачивание файлов) на основе ESP8266 с модулем SD-карты**  
Орлов Сергей Валентинович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [mamadu@sfedu.ru](mailto:mamadu@sfedu.ru) стр. 271

Бармин Никита Михайлович, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Технология SDR в современных системах связи**  
Иванова Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.  
e-mail: [nbarmin@sfedu.ru](mailto:nbarmin@sfedu.ru) стр. 273

Букин Сергей Павлович, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Электродинамический анализ и синтез узкополосного квазиэллиптического фильтра третьего порядка, выполненного с использованием SIW-технологии**  
Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [sbukin@sfedu.ru](mailto:sbukin@sfedu.ru) стр. 275

Виноградова Елизавета Владимировна, ассистент  
Владимир, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, институт информационных технологий и электроники  
**Исследование потенциальных дефектов КМОП ИМС с помощью измерительно-вычислительного комплекса на базе спектрометра DLS-82E**  
Крылов Владимир Павлович, д.т.н.  
e-mail: [tikhonravova.elizaveta@mail.ru](mailto:tikhonravova.elizaveta@mail.ru) стр. 276

Горбачев Никита Васильевич, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Разработка время-цифрового преобразователя на основе ПЛИС**  
Клещенков Анатолий Борисович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [ngorbachev@sfedu.ru](mailto:ngorbachev@sfedu.ru) стр. 278

Гриздуб Алексей Николаевич, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Квазиэллиптический полосно-пропускающий SIW-фильтр**  
Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [agrizodub@sfedu.ru](mailto:agrizodub@sfedu.ru) стр. 279

Друженков Артём Владимирович, 2 курс  
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, институт электронных и информационных систем  
**Исследование магнитоэлектрического датчика деформаций**  
Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н.  
e-mail: [druzhnikovav@gmail.com](mailto:druzhnikovav@gmail.com) стр. 281

Коноплев Артем Александрович, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Моделирование диаграммообразующих устройств оптического диапазона**  
Клещенков Анатолий Борисович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [akonoplev@sfedu.ru](mailto:akonoplev@sfedu.ru) стр. 282

Кривцов Владимир Георгиевич, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Разработка устройства для аудита беспроводных сетей Wi-Fi, работающего совместно с Android-смартфоном**

Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [ylkrivcov@sfedu.ru](mailto:ylkrivcov@sfedu.ru) стр. 283

Кутилов Иван Инновентьевич, магистрант 2 года обучения  
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, институт электронных и информационных систем

**Разработка автоматизированной оснастки для испытаний источников питания**

Петров Владимир Михайлович, д.ф.-м.н.  
e-mail: [sos11132@yandex.ru](mailto:sos11132@yandex.ru) стр. 283

Миназов Ильнур Ильшатovich, 2 курс  
Уфа, Уфимский университет науки и технологий, физико-технический институт

**Разработка прототипа шагающего марсохода на базе AVR**

e-mail: [ilnuruunit@gmail.com](mailto:ilnuruunit@gmail.com) стр. 284

Мошиченко Сергей Дмитриевич, 6 курс  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет

**Методы компенсации погрешности «walk error» времяпрелётного лидара с время-цифровыми преобразователями**

Клещенков Анатолий Борисович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [su\\_fullback@mail.ru](mailto:su_fullback@mail.ru) стр. 286

Огурцов Евгений Сергеевич, магистрант 2 года обучения  
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, институт электронных и информационных систем

**Разработка десятиканального источника тока для гальванического осаждения**

Петров Владимир Михайлович, д.ф.-м.н.  
e-mail: [oes7076@yandex.ru](mailto:oes7076@yandex.ru) стр. 287

Павленко Михаил Андреевич, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет

**Электродинамический анализ и синтез полосно-пропускающих фильтров на тонких диафрагмах со ступенчатым вырезом**

Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [mpavlenko@sfedu.ru](mailto:mpavlenko@sfedu.ru) стр. 288

Пандов Даниил Дмитриевич, 2 курс  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет

**Спектры поглощения СВЧ энергии композитами, содержащими сегнетоэлектрик**

Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [dan.pandov@mail.ru](mailto:dan.pandov@mail.ru) стр. 289

Попов Михаил Дмитриевич, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет

**Расчёт погрешностей схемы генератора тестовых сигналов для электрокардиографов и кардиомониторов**

Орлов Сергей Валентинович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [mikhail.d.popov@gmail.com](mailto:mikhail.d.popov@gmail.com) стр. 291

Саблин Михаил Сергеевич, магистрант 1 года обучения  
Владивосток, Дальневосточный федеральный университет, институт наукоемких технологий и передовых материалов

**Разработка антенного устройства для комплекса устройств на базе технологии LoRa**

Полянский Дмитрий Александрович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [michaelsablin5@gmail.com](mailto:michaelsablin5@gmail.com) стр. 292

Сабурова Валерия Сергеевна, магистрант 1 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Самоподавление паразитного режима более высокого порядка в фильтре, выполненном по SIW технологии**

Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [lera.saburova.18@mail.ru](mailto:lera.saburova.18@mail.ru) стр. 294

Садыков Раиль Расимович, магистрант 1 года обучения  
Уфа, Уфимский университет науки и технологий, физико-технический институт  
**Самобалансирующийся робот**

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [rail40981@gmail.com](mailto:rail40981@gmail.com) стр. 295

Уварова Виталина Андреевна, магистрант 1 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Полосовой фильтр с входным поглощающим резонатором квазиэллиптического типа**

Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [yiuvarova@sfedu.ru](mailto:yiuvarova@sfedu.ru) стр. 297

Филипченко Елизавета Станиславовна, магистрант 2 года обучения  
Великий Новгород, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, институт электронных и информационных систем  
**Исследование возможности применения токопроводящего клея для монтажа активных бескорпусных элементов**

e-mail: [povarova.elizaveta@mail.ru](mailto:povarova.elizaveta@mail.ru) стр. 298

Черкасов Петр Витальевич, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Выбор антенны для приема ионограмм на трассах наклонного ЛЧМ зондирования**

Вертоградов Геннадий Георгиевич, д.ф.-м.н.  
e-mail: [pcherkasov@sfedu.ru](mailto:pcherkasov@sfedu.ru) стр. 299

Шевченко Андрей Константинович, магистрант 2 года обучения  
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет  
**Резонаторный диплексор Ku-диапазона**

Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
e-mail: [ash@sfedu.ru](mailto:ash@sfedu.ru) стр. 301

## Электродинамический анализ и синтез волноводного фильтра

Амонский Дмитрий Сергеевич  
Южный федеральный университет  
Крутыев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
[dmitryamonsky@yahdex.ru](mailto:dmitryamonsky@yahdex.ru)

Требования, предъявляемые к современным СВЧ устройствам очень высокие – малые массо-габаритные размеры, малая цена производства, надёжность при сохранении таких параметров как малые потери, высокая добротность, полностью экранированная структура и высокая передаваемая мощность. Одним из известных способов борьбы с узким рабочим диапазоном частот является переход от волноводов простого сечения (круглых и прямоугольных) к волноводам со сложной формой поперечного сечения. Известно, что применение таких волноводов позволяет уменьшать поперечные размеры устройства примерно на 20% и увеличивать рабочий диапазон частот до двух и даже трёх раз по сравнению с простыми волноводами, однако продольный размер устройств остаётся при этом практически без изменений, поскольку определяется рабочей частотой и соответствующей длиной волны в волноводе. Применение объёмных резонаторов, как основных базовых элементов волноводных частотно-селективных устройств, приводит к тому, что продольный размер фильтров оказывается равным, а для многорезонаторных – в разы превышающим длину волны. Таким образом, существующие на сегодняшний момент массогабаритные характеристики волноводных частотно-селективных элементов и устройств существенно ограничивают их применение в бортовых, особенно авиационных и спутниковых инфокоммуникационных системах, а также в телекоммуникационных системах связи нового поколения 5G [1-5].

Настоящая работа посвящена электродинамическому анализу и синтезу волноводного фильтра сечением  $23 \times 10$  мм. В ходе исследований в высокопроизводительном пакете программного обеспечения для электромагнитного анализа CST Studio Suite были созданы модели фильтров с различными неоднородностями. Синтезированные фильтры, имеют в своей структуре ёмкостные диафрагмы и пару цилиндрических штырей. Отличия в фильтрах заключается в расположении резонансных штырей на одной плоскости или на разных, что дает возможность для получения слева и справа от полосы пропускания образования нулей передачи. В работе показан анализ зависимости АЧХ от геометрических размеров отдельных элементов конструкции фильтра.

На *рис.1(a,б)* показаны чертежи и расположение резонансных штырей с размерами  $a=22.83$  мм,  $b=10.16$  мм,  $c1=38.32$  мм,  $r=3.4$  мм,  $l1=3.97$  мм,  $w=1$  мм,  $h11=7.16$  мм,  $h21=5.89$  мм,  $c2=36.98$  мм,  $l2=6.1$  мм,  $h21=8.79$  мм,  $h22=5.86$  мм соответственно. Трёхмерные модели волноводных фильтров показаны на *рис.2(a,б)* соответственно. Амплитудно-частотные характеристики приведены на *рис.3(a,б)* соответственно.

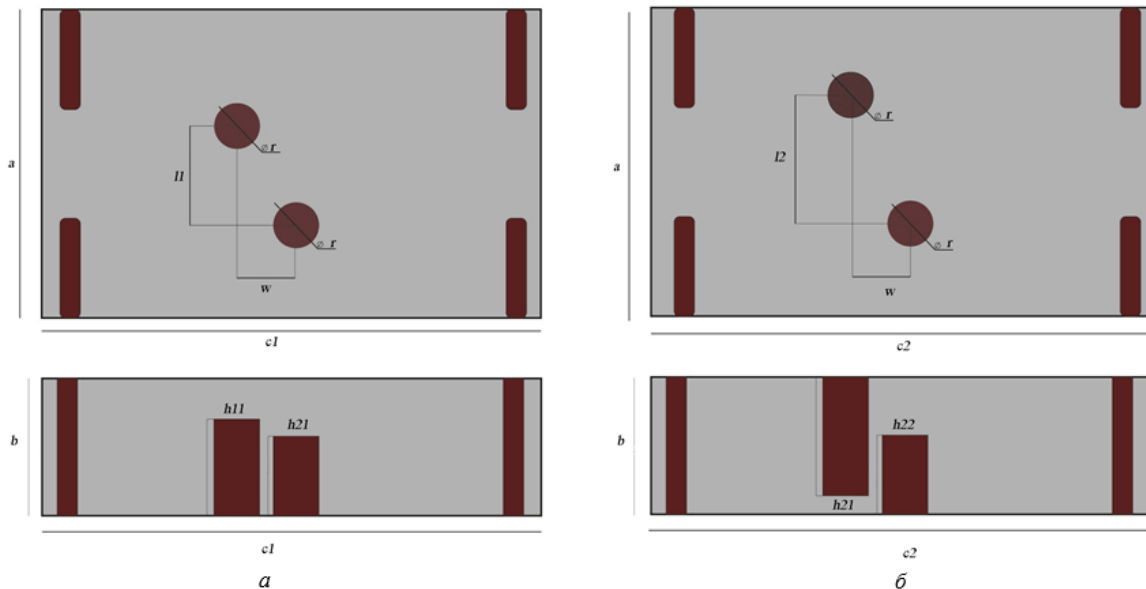


рис.1. Чертёж фильтра при расположении резонансных штырей на одной широкой стенке волновода (а) и на противоположных широких стенках волновода (б)

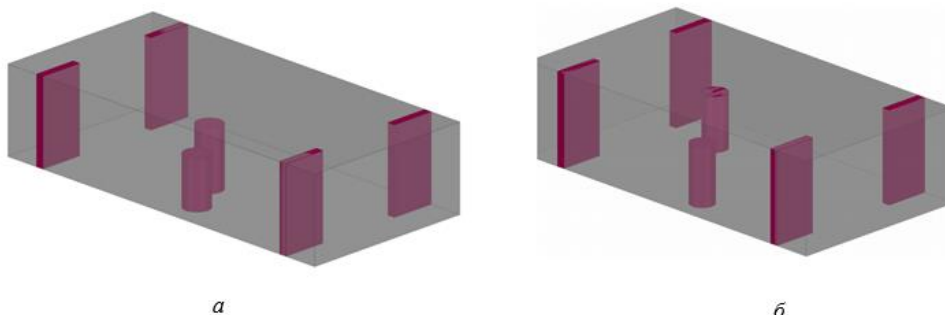


рис.2. 3D модель фильтра при расположении резонансных штырей на одной широкой стенке волновода (а) и на противоположных широких стенках волновода (б)

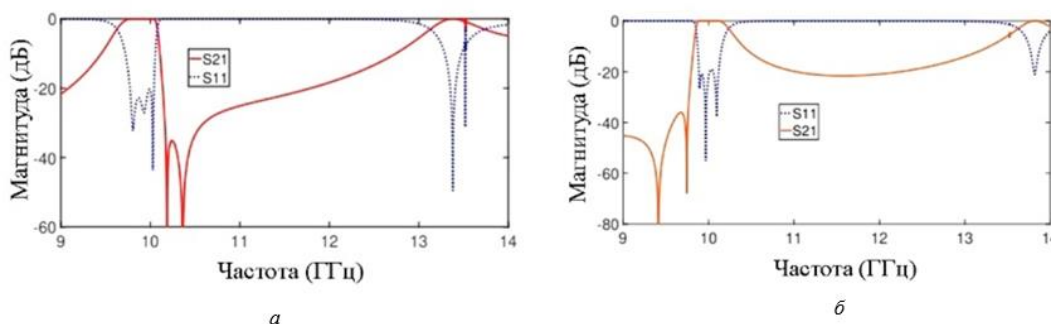


рис.3. Зависимость коэффициента передачи ( $|S_{21}|$ ) и отражения ( $|S_{11}|$ ) от частоты фильтра при расположении резонансных штырей на одной широкой стенке волновода (а) и на противоположных широких стенках волновода (б)

В ходе работы показана возможность создания фильтров с одним нулём передачи из простых резонансных элементов. Данная работа даёт возможность создания полосно-пропускающего фильтра с нулями передачи с двух сторон от полосы пропускания.

Список публикаций:

- [1] Muhammad Y. Sandhu [et al] // 2022 IEEE MTT-S International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modeling and Optimization (NEMO)
- [2] Krutiev S.V. [et al] // 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)
- [3] Krutiev S.V. [et al] // 2022 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS)
- [4] Zemlyakov V.V. [et al] // Radiophysics and Quantum Electronics. 2019. 61(12).915–923
- [5] Zemlyakov V.V. [et al] // International Journal of Circuit Theory and Applications. 2019. 47(1). 55–64.

## Разработка веб-сервера (загрузка и скачивание файлов) на основе ESP8266 с модулем SD-карты

**Ба Мамаду**

Южный федеральный университет

Орлов Сергей Валентинович, к.ф.-м.н.

[mamadu@sfedu.ru](mailto:mamadu@sfedu.ru)

В современном мире интернет-связанное устройство является чрезвычайно востребованным решением для создания различных проектов, от умного дома до промышленной автоматизации. В этом контексте ESP8266, мощный и компактный микроконтроллер с встроенным модулем Wi-Fi [1] [2], занимает особое место, предоставляя разработчикам доступ к беспроводным сетям по доступной цене. Однако, когда речь идет о разработке веб-приложений, особенно связанных с обработкой файлов, возникают особые вызовы.

В данной статье рассматривается процесс создания веб-сервера на основе ESP8266 с использованием модуля SD-карты [3]. Этот проект позволяет не только управлять устройством через Wi-Fi, но и осуществлять загрузку и скачивание файлов с помощью веб-интерфейса. Использование SD-карты расширяет возможности хранения данных и открывает новые перспективы для создания приложений, требующих обработки и хранения больших объемов информации.»

Разработка части пользовательского интерфейса

Для разработки части пользовательского интерфейса были использованы языки программирования: html, css и JavaScript на среде разработки Visual Studio code.

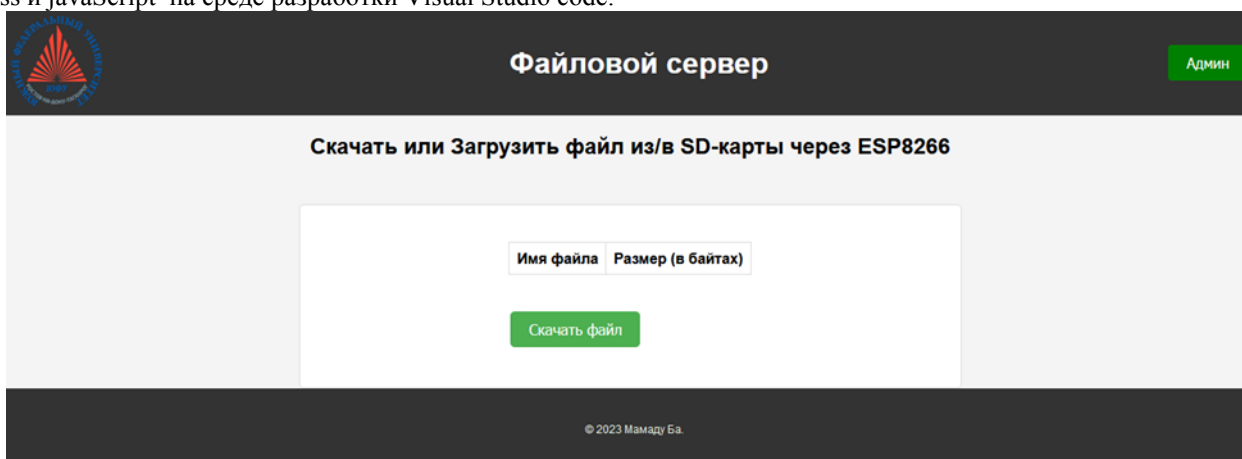


рис.1. часть пользовательского интерфейса

На части пользовательского интерфейса была реализована веб-страница, которая состоит из раздела заголовки, раздела содержания и раздел нижнего колонтитула. Раздела заголовки состоит из логотипа, названия веб-сайта и кнопки для входа в режим администратора веб-сервера. Раздела содержания состоит из следующих части: тема проекта, колонка имена файлов, колонка размера каждого файла, кнопка для скачивания файлов. При нажатии на кнопку “Админ” открывается окно для аутентификации администратора. После успешной аутентификации открывается страница для администратора, в которой реализована возможность выбора и загрузки файлов. Раздел нижнего колонтитула состоит из авторского права (Ба Мамаду),

#### Разработка серверной части

Для реализации серверной части были решены следующие задачи: создание беспроводной точки доступа на ESP8266 [4], размещение всех файлов и логотипа пользовательской части в файловую систему ESP8266 NodeMCU с помощью плагина LittleFS [5], создание веб-сервера с использованием библиотеки ESPAsyncWebServer [6], которая обеспечивает простой способ создания асинхронного веб-сервера, реализация системный алгоритм передачи информации о содержании SD-карты из серверной части на пользовательскую часть интерфейса с помощью библиотек ArduinoJson и WebSocket [7][8], разработка функционала скачивания файлов из SD-карты, разработка алгоритма загрузки файлов на SD-карту, реализация системы аутентификации для получения доступа к серверу и также обеспечение функционала, указывающий на активности разработанного устройства.

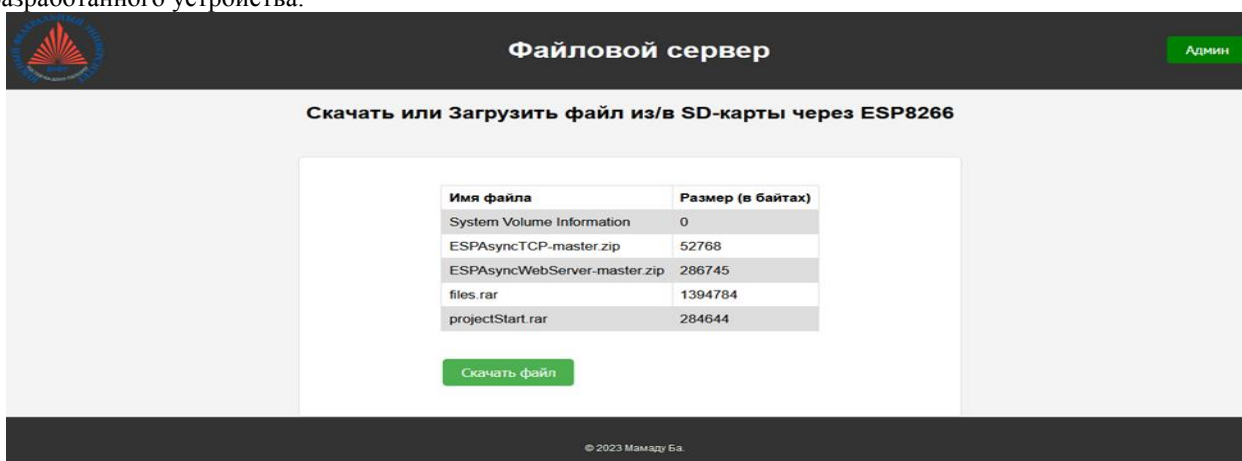


рис.2. часть пользовательского интерфейса при реализации серверной части

#### Заключение

Разработан веб-сервер на основе ESP8266 NodeMCU Mini с использованием модуля SD-карты. Создан пользовательский интерфейс на HTML, CSS и JavaScript, а серверная часть выполнена с применением библиотек Arduino IDE. Устройство позволяет загружать и скачивать файлы, имеет функции аутентификации и индикации работы устройства. Проект также успешно собран на макетной плате. можно подчеркнуть практическую значимость разработки, выделяя возможное применение в создании локальной библиотеки методических материалов. Такая библиотека способна оперировать без доступа в интернет, обеспечивая

надежное хранение и удобный доступ к необходимым ресурсам. Это особенно полезно в условиях, когда подключение к сети недоступно или требует дополнительных разрешений. Такое приложение может быть актуальным, например, для образовательных учреждений или предприятий с ограниченным интернет-доступом, где важна локальная и независимая работа с методическими материалами. Для использования устройства необходимо подключиться к нему через Wi-Fi и ввести соответствующий IP-адрес в браузере.

Список публикаций:

- [1] *Makerfab, Usage of the NodeMCU Mini*: <https://www.makerfabs.com/desfile/files/NodeMCU%20Mini%20v1.0%20user%27s%20manual.pdf>.
- [2] *ESP8266 Technical Reference*: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266\\_technical\\_reference\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266_technical_reference_en.pdf).
- [3] *SD-card documentation* : <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/sd/>.
- [4] *ESP8266WiFi library*: <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html>.
- [5] *Uploading files to file system*: <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/filesystem.html>.
- [6] *ESPAsyncWebServer*: <https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer>.
- [7] *ArduinoJson* : <https://github.com/bblanchon/ArduinoJson>.
- [8] *ArduinoWebSockets* : <https://github.com/Links2004/arduinoWebSockets>.

## Технология SDR в современных системах связи

*Бармин Никита Михайлович*

*Южный федеральный университет*

*Иванова Ирина Николаевна, к.ф.-м.н.*

*[niki.barmin@yandex.ru](mailto:niki.barmin@yandex.ru)*

Программно определяемая радиосистема (ПОР или SDR) – это приемопередатчик радиосигнала, который с помощью программного обеспечения может изменять радиочастотные параметры, такие как: диапазон частот, типы модуляции, выходные мощности, производить обработку сигнала в программе на ПЭВМ и т.д. В основе таких устройств лежит ПЛИС или система на кристалле System on Chip (SoC), служащие для предварительной обработки и преобразования оцифрованного радиосигнала в пакеты Ethernet, USB и т.д. Применение ПЛИС или SoC позволяет реализовывать высокопроизводительные и высокоскоростные устройства цифровой обработки сигналов за счет изменения в заложенных в устройства алгоритмов с возможностью дальнейшей модификации без изменения в аппаратной части платформы. Технология SDR позволяет заменить большое разнообразие существующих и разрабатываемых конструкций радиоприемников, трансиверов и любительский радиосистем, которые обычно строятся по супергетеродинной схеме, на устройство, в котором будет ограниченное число доступных аппаратных блоков, работающих и изменяемых под управлением разработанной программным обеспечением. Это приводит к упрощенной и достаточно дешевой конструкции, улучшению характеристик, возможности использовать различных типов модуляции и т.д.

В ходе выполнения работы был проведен поиск материалов о современном использовании технологии SDR. Стоит отметить, что программно – определяемые радиосистемы применяют в самых разных областях науки и техники. Это стало доступным благодаря достаточно обширному выбору уже готовых цифровых радиоприемников (в таблице ниже).

	RTL-SDR	Adalm Pluto	HackRF one	Lime SDR	USRP N300	USRP N321
Диапазон частот	88 МГц – 130 МГц	325 МГц – 3.8 ГГц	1 МГц – 6 ГГц	100 кГц – 3.8 ГГц	10 МГц – 6 ГГц	3 МГц – 6 ГГц
Полоса частот	3.2 МГц	20 МГц	20 МГц	61.44 МГц	100 МГц	200 МГц
Разрядность АЦП/ЦАП	8 бит	12 бит	8 бит	12 бит	16 бит / 14 бит	12 бит / 16 бит
Режим работы	Только прием	Полудуплекс Полнодуплекс	Полудуплекс	Полудуплекс	Полнодуплекс	Полнодуплекс
Радиочип	RTL2832U	AD9363	MAX5864	Altera Cyclone IV	ARM Cortex-A9	ARM Cortex-A9
Цена	10\$	150\$	300\$	250\$	11600\$	23100\$

Современными областями использования SDR – платформ являются: прием и передача сигналов различных стандартов беспроводной связи, такие как GSM, Wi-Fi, прием цифрового телевидения стандарта DVB, Отслеживание положения морских и воздушных судов, прослушивание радио, Спектральный анализ, Радары, пеленгация источников радиоизлучений. Рассмотрим варианты применения SDR приемо-передатчиков в различных системах связи. На *рис. 1* изображены возможности радиомодема, построенного по технологии SDR.

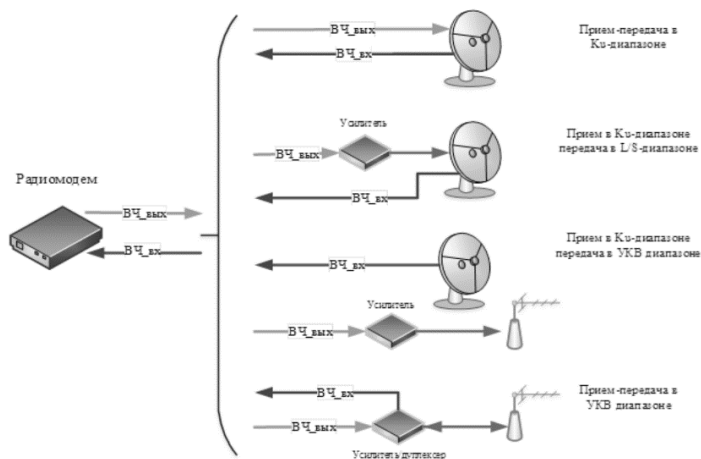


рис 1. Радиомодем и набор антенн для работы в различных частотных диапазонах

Радиомодем способен организовывать связь по модульному принципу, что означает осуществление приема и передачи информации в зависимости от подключаемого оборудования. Это является одним из основных преимуществ применения технологии SDR в системах связи. Например, составляющими этой системы могут быть: приемопередающая малогабаритная антенна Ку-диапазона, приемная антенна Ку-диапазона, модуль приемопередающий УКВ диапазона, с направленной антенной, модуль УКВ диапазона с направленной антенной, модуль приемопередающий L/S/C – диапазона с направленной антенной, модуль передающий L/S/C – диапазона с направленной антенной.

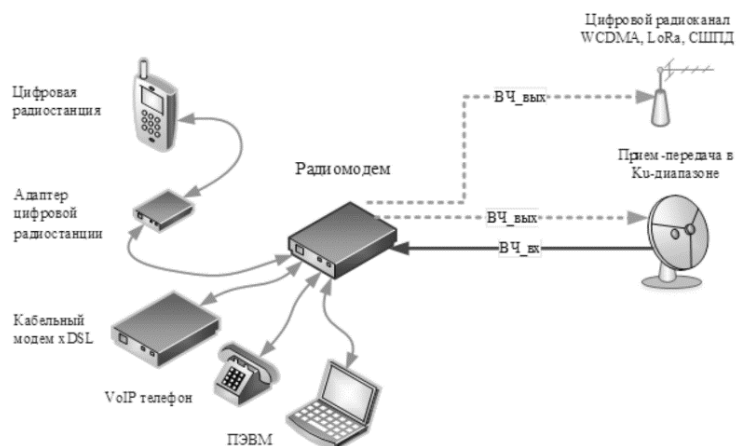


рис 2. Комплект оборудования для организации полевого узла связи

При организации полевого узла связи (рис. 2) SDR радиомодем может осуществлять роль многозадачного коммутатора: путем подсоединения соответствующего оборудования будет осуществляться вывод информации на ПЭВМ, цифровую радиостанцию, передачу голоса по VoIP телефону, вывод цифровых данных.

Таким образом, в современных системах связи применение технологии SDR позволяет усовершенствовать или заменить разнообразие существующих и разрабатываемых конструкций радиоприемников и трансиверов, как серийных, так и любительских, построенных по сложным супергетеродинным схемам на ограниченное число доступных аппаратных блоков, работающих под управлением разрабатываемого сообществом ПО. Это приводит к упрощению и удешевлению конструкций, существенному улучшению характеристик, поддержке любых видов модуляции, а также ускорению разработки ПО под определенные цели. Но технология SDR не ограничена только построением сложных систем связи. Она также позволяет с помощью не дорогих приемников внедриться в мир радиосвязи пользователям, не сталкивающимся с радиоаппаратурой прежде ввиду дружелюбных для начинающих пользователей программного обеспечения, не сложной конструктивной базы и подстраиваемой системы под различные задачи.

Список публикаций:

- [1] Фрэнк Бруно. // Программирование FPGA для начинающих. – М.: ДМК Пресс, 2022. 304 с.: ил.
- [2] Галкин В. А. // Основы программно-конфигурируемого радио. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 372 с., ил.
- [3] Скляр Б. // Цифровая связь. Теоретические основы и практические применение. – М.: «Вильямс», 2003. 1104 с.: ил



# Электродинамический анализ и синтез узкополосного квазиэллиптического фильтра третьего порядка, выполненного с использованием SIW-технологии

Букин Сергей Павлович

Крутыев Сергей Владимирович

Южный федеральный университет

Крутыев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.

[sbukin@sfedu.ru](mailto:sbukin@sfedu.ru)

В настоящее время к СВЧ-устройствам предъявляются высокие требования – малые массогабаритные размеры, низкая стоимость изготовления, малые потери на распространение, высокая добротность, высокая передаваемая мощность. Одними из самых востребованных устройств являются волноводные полосно-пропускающие фильтры, которые пользуются большим спросом в системах радиолокации, наземных и спутниковых радиосистемах, в системах сотовой мобильной связи и прочих. Современные технологии производства интегральных схем позволяют интегрировать в них волноводную структуру, которая создается двумя рядами металлических штырей, соединяющих две проводящие пластины, ограничивающие диэлектрическую подложку. Технология интеграции волновода в подложку называется SIW-технологией (Substrate Integrated Waveguide) [1]. Эта технология получила широкое распространение благодаря возможности уменьшения массогабаритных параметров изделия, а также относительно низкой стоимости и простоте изготовления, при сохранении высокого коэффициента добротности и низких вносимых потерь, присущих классическим прямоугольным волноводам [1-3]. Распространение электромагнитных волн внутри SIW-структур идентично распространению в прямоугольных волноводах, а основная мода аналогична моде  $TE_{10}$  прямоугольного волновода [4].

Данная работа посвящена электродинамическому анализу и синтезу узкополосного фильтра, выполненного с использованием SIW-технологии на основе смешанной перекрестной связи для получения квазиэллиптического отклика. Рассматриваемый SIW-фильтр образован тремя резонаторами, имеющими как последовательные, так и перекрестные связи между собой. Перекрестная связь часто используется в SIW-фильтрах для получения нулей пропускания и повышения селективности. В отличие от SIW-фильтра только с последовательной связью, SIW-фильтр с перекрестной связью способен достигать лучшей селективности. Однако в то же время структура перекрестной связи влияет на компоновку схемы, ухудшает гибкость конструкции SIW-фильтра и снижает изоляцию между портами. Для решения этих проблем целесообразно добавлять структуру перекрестной связи в SIW-фильтр с последовательными связями. Компьютерное моделирование проводилось в системе автоматизированного проектирования CST Microwave Studio.

На рис.1 (а,б) показаны чертеж синтезированного фильтра и его 3-D модель с размерами  $36 \times 15.5$  мм. Амплитудно-частотные характеристики приведены на рис.2.

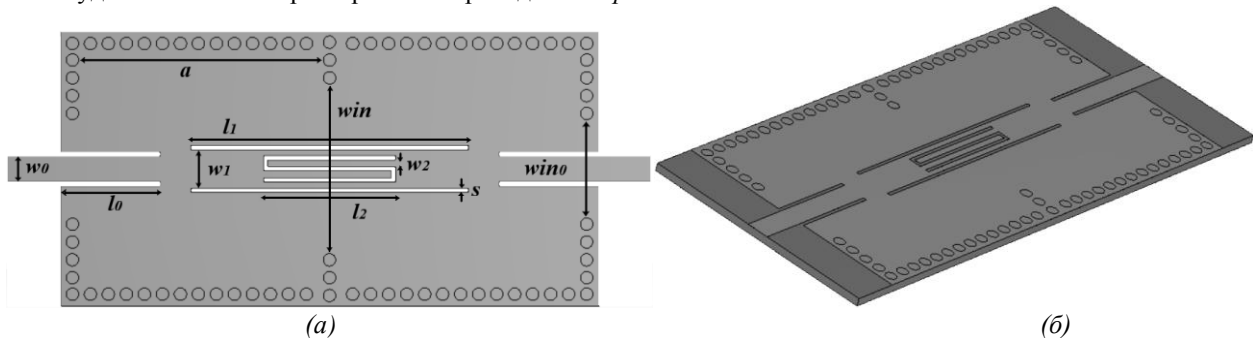


рис.1. Чертеж синтезированного фильтра (а) и его 3-D модель (б).

Размеры, показанные на рис.1, составляют  $a = 13,7$  мм,  $l_0 = 5,56$  мм,  $l_1 = 15,52$  мм,  $l_2 = 7,37$  мм,  $w_0 = 1,45$  мм,  $w_1 = 2,17$  мм,  $w_2 = 0,39$  мм,  $win = 9,11$  мм,  $win_0 = 3,80$  мм,  $s = 0,22$  мм. Толщина диэлектрика составляет  $0,508$  мм, а толщина металлизации –  $0,035$  мм.

По результатам работы получена амплитудно-частотную характеристику, показанная на рис.2. На графике хорошо видны нули передачи с обеих сторон полосы пропускания, образованные благодаря квазиэллиптическому отклику фильтра. Таким образом, получается наиболее прямоугольная характеристика пропускания, что способствует улучшению селективности фильтра.

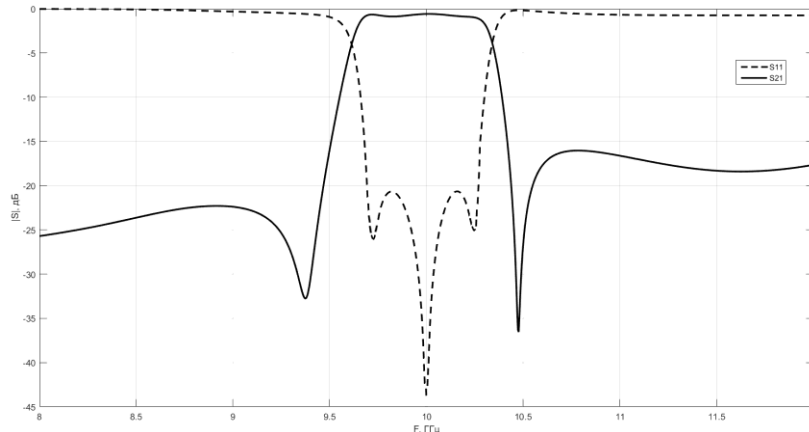


рис.2. Зависимость коэффициента передачи ( $|S_{21}|$ ) и отражения ( $|S_{11}|$ ) от частоты синтезированного фильтра.

В ходе работы продемонстрирован процесс синтеза узкополосного квазиэллиптического SIW-фильтра третьего порядка с центральной частотой 10 ГГц. Полученный фильтр может быть использован в качестве основного фильтрующего элемента для разработки высокоэффективных фильтров в микроволновых и беспроводных схемах и системах для повышения их частотной селективности.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, номер гранта № 22-79-00127 «Разработка гибких частотно-селективных устройств с применением SIW-технологии для спутников и беспилотных летательных аппаратов».

Список публикаций:

- [1] Gadzieva, A.A., Zargano, G.F., Zemlyakov, V.V., Krutiev, S.V., *SIW-technologies, history of creation, current state and prospects of development, Physical bases of instrumentation*, 2012. - Т. 1. - № 4. - с. 3-11.
- [2] S. V. Krutiev, V. P. Sdobnova, S. P. Bukin, A. N. Grizodub "Compact Filters on Dielectric Paper Substrate", 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE), DOI: 10.1109/APEIE59731.2023.10347630.
- [3] X. Chen, W. Hong, J. Chen and K. Wu, "Substrate Integrated Waveguide (SIW) Linear Phase Filter," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol.15, pp. 787-789, Nov. 2005.
- [4] F. Xu and K. Wu, "Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 53, no. 1, pp. 66-73, Jan. 2005.
- [5] A. Belenguer, H. Esteban, and V. Boria, "Novel empty substrate integrated waveguide for high-performance microwave integrated circuits," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 62, no. 4.
- [6] Viacheslav Zemlyakov, Sergey Krutiev, Mikhail Tyaglov, Valery Shevchenko A design of waveguide elliptic filter based on resonant diaphragms with a complex aperture // *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 2019, 47(1), pp. 55-64, DOI: <https://doi.org/10.1002/cta.2566>.

## Исследование потенциальных дефектов КМОП ИМС с помощью измерительно-вычислительного комплекса на базе спектрометра DLS-82E

**Виноградова Елизавета Владимировна**

*Размахов Никита Сергеевич, Рахимов Владислав Шамсудинович*

*Юдин Максим Андреевич*

**Владимирский государственный университет**

*Крылов Владимир Павлович, д.т.н.*

[tikhonravova.elizaveta@mail.ru](mailto:tikhonravova.elizaveta@mail.ru)

Электроника ответственного применения должна обладать высокой надёжностью и длительным сроком службы, поэтому крайне важно не допустить попадание в неё потенциально негодных электронных компонентов. Существующие методы входного контроля и отбраковки полупроводниковой электронной компонентной базы (ЭКБ) не обеспечивают в полной мере требуемую надёжность и срок службы, поэтому на сегодняшний день все чаще прибегают к использованию диагностических методов контроля качества полупроводниковых электронных компонентов. Поскольку на этапах производства полупроводниковых электронных элементов постепенно начинается процесс неконтролируемого введения примесей, существенно влияющих на выход годных устройств, необходимо использовать квалигенетические методы дополнительного контроля для выявления потенциальных дефектов [2].

Для анализа электрически активных дефектов в полупроводниках широко применяется метод емкостной релаксационной спектроскопии глубоких уровней (РСГУ), характеризующийся высокой чувствительностью к низким концентрациям дефектов, а также позволяющий различать сигналы от глубоких центров с различными значениями энергий активации и исследовать дефекты не только в объеме полупроводника, но и в подзатворном диэлектрике, а также на границе раздела Si/SiO<sub>2</sub>. Значение понятия «релаксация» характеризует относительно медленную фазу процесса восстановления начального состояния барьерной структуры, вызванную наличием глубоких объемных и поверхностных дефектов различной природы. В полупроводнике эти дефекты приводят к образованию одного или нескольких энергетически глубоких уровней (ГУ) в запрещенной зоне, находящихся дальше от границы запрещенной зоны, чем мелкие уровни основных примесей, определяющих тип проводимости. На сегодняшний день характер влияния ГУ до конца не изучен, но известно, что чем ближе глубокий уровень к середине запрещенной зоны, тем весомее его влияние на время восстановления рп-перехода [2].

Изучение параметров глубоких центров с помощью метода емкостной РСГУ может стать перспективным методом дополнительного контроля, который поможет сократить количество потенциально ненадежных компонентов в партии до этапа электротермотренировки, снизив затраты на отбраковочные испытания. С помощью РСГУ возможно идентифицировать дефект, определив такие параметры глубоких центров, как сечение захвата, энергия активации и распределение концентрации в объеме полупроводника [1].

В результате НИР № 5347/22 «Обоснование новых методов контроля потенциальных дефектов КМОП ИМС и компенсации процессов радиационной деградации детекторов ТЗЧ», выполненной в рамках научной программы Национального центра физики и математики, были проведены исследования электронных компонентов методами РСГУ. С использованием экспериментальной установки, включающей измерительно-вычислительный комплекс, основанный на климатической испытательной камере S-1.2B-3200 от Thermotron Industries, обеспечивающей автоматическое поддержание заданной температуры от -70 до +170°C в рабочем объеме 30 литров, и модернизированного спектрометра DLS-82E от SemiLab, были получены частотные зависимости преобразованного сигнала релаксации емкости при постоянной температуре (рис. 1). Внутри рабочего объема климатической камеры с помощью встроенной автоматики обеспечивается точность поддержания температуры на уровне ±1 К. В помещении лаборатории поддерживается комнатная температура. Для осуществления подключения к спектрометру глубоких уровней выводы микросхем соединялись в виде двухполюсников [4].

При идентификации параметров моделей частотных сканов были выявлены значения амплитуды пика сигнала релаксации, постоянной времени и коэффициента нелинейности, отличного от экспоненциального, затем были построены графики в координатах Аррениуса и согласно стандарту ASTM F978-02 определены значения энергии активации дефектов различных образцов.

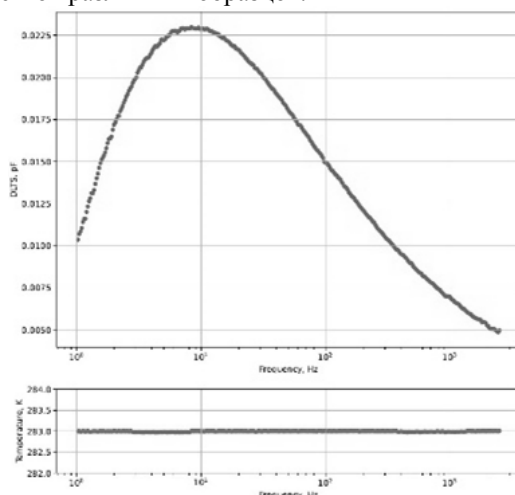


рис.1. Пример частотного скана ИС IN74VHC02D

Поскольку полученные значения энергии активации различных образцов отличаются, а их трехсигнальные интервалы не пересекаются, возможно предположить, что электронные компоненты содержат различные потенциальные дефекты, которые могут быть определены при помощи емкостной РСГУ.

Частотное сканирование при постоянной температуре образца способно обеспечить повышение точности определения параметров ГУ, в частности  $\Delta E$ , в 4–5 раз по сравнению со стандартом F978-02 [1]. Введение в модель частотного скана параметра  $\rho$  повышает точность определения постоянной релаксации  $\tau$ , что совместно с увеличением числа экспериментальных частотных сканов способно значительно повысить точность определения  $\Delta E$  – энергии активации глубоких уровней (ГУ) [3].

Список публикаций:

[1] ASTM F 978–02 Standard Test Method for Characterizing Semiconductor Deep Levels by Transient Capacitance Techniques // Current edition approved Jan 10, 2002. Originally published as F 978–86. Last previous edition F 978–90 // Annual Book of ASTM Standards. Vol. 10.05.

[2] Крылов В.П. Квалигенетика полупроводниковой ЭКБ: фантастика или необходимость? Некоторые аспекты обеспечения качества полупроводниковой ЭКБ // Электронные компоненты. 2015. № 10. С. 22–25.

[3] Крылов В. П., Богачев А. М., Пронин Т. Ю. Релаксационная спектроскопия глубоких уровней и неразрушающий контроль потенциальных дефектов полупроводниковой электронной компонентной базы // Радиопромышленность. 2019. Т. 29. № 2.

[4] Крылов В.П., Богачев А.М. Релаксация глубоких центров в транзисторах и интегральных микросхемах // Изв. вузов. Электроника. 2020. Т. 25. № 6. С. 568–572. DOI: 10.24151/1561-5405-2020-25-6-568-572.

## **Разработка время-цифрового преобразователя на основе ПЛИС**

**Горбачев Никита Васильевич**

**Клеценков Анатолий Борисович**

**Южный федеральный университет**

**Клеценков Анатолий Борисович, к.ф.-м.н.**

**[ngorbachev@sfedu.ru](mailto:ngorbachev@sfedu.ru)**

Актуальность измерений малых интервалов времени заключается в их важности для различных областей науки и технологии. Точное измерение времени событий, протекающих в масштабах пикосекунд, имеет фундаментальное значение для понимания физических процессов на уровне элементарных частиц, квантовых систем и взаимодействия материи. В области телекоммуникаций, точные измерения временных задержек сигналов помогают обеспечивать стабильную и эффективную передачу данных в высокоскоростных сетях. В медицинской диагностике измерение времени реакции и задержек используется для диагностики различных состояний и расстройств. Кроме того, аккуратные измерения малых интервалов времени в астрономии позволяют исследовать космические явления и процессы, такие как взрывы сверхновых и гравитационные волны. В коммерческих проектах измерения малых интервалов времени требуются в лазерных дальномерах (LIDAR), расходомерах (счетчиках воды, газа), измерителях теплового потока. Видно, что разработка измерительного устройства малых интервалов времени представляется актуальной задачей, так как оно позволит разрешить ряд научных и научно-производственных вопросов.

Время-цифровой преобразователь (ВЦП) — это устройство, используемое для измерения временного интервала и преобразования его в цифровой (двоичный) выходной сигнал. ВЦП может быть реализован в специализированных интегральных схемах (СИХ), программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) или микроконтроллерах (МК). ВЦП на базе СИХ показывают большую стабильность характеристик при изменении напряжения, температуры, они более устойчивы к изменениям окружающей среды. Однако СИХ дороги для небольших серий производства, требуют специализированной аппаратной обвязки, что увеличивает временные рамки разработки и снижает гибкость использования ВЦП в различных конфигурациях приборов [1]. МК привлекают простотой разработки и дешевизной, однако, даже используя встроенные в МК таймеры и системы прерываний, мы ограничены скоростью обработки на физическом уровне, и не можем обойти аппаратные ограничения процессорных решений. В свою очередь ПЛИС имеет преимущества по следующим критериям: короткий цикл разработки, реализация аппаратных блоков для выполнения специальных задач, возможность разработки архитектуры проекта без привязки к конкретной модели.

Принцип измерения параметров принятого сигнала заключается в следующем: входной сигнал поступает на вход регистра ПЛИС, оцифровывается компаратором на частоте тактового сигнала и поступает на обработку в виде двоичной последовательности. В данной последовательности содержится информация о параметрах принятого импульса. Выделение параметров – это задача алгоритма на основе программируемой логики. На данном этапе увеличение разрешающей способности возможно лишь за счет увеличения частоты срабатывания компаратора. При непосредственном использовании входов ПЛИС разрешающая способность полученного ВЦП остается невелика и ее предельное значение физически ограничено частотой срабатывания компараторов. Использование нескольких портов ввода позволяет увеличить разрядность формируемой последовательности, тем самым увеличивая разрешающую способность устройства. Порты ввода ПЛИС при этом соединяются через замедляющую систему (ЗС) [2]. Принцип действия ЗС приведен на рис.1. Видно, что импульс “растягивается” во времени в ЗС и становится возможным за фронт сигнала задействовать большее число портов ПЛИС, тем самым повысив разрядность формируемой двоичной последовательности и увеличить разрешающую способность ВЦП. Таким образом, повышение разрешающей способности ВЦП достигается следующими способами: увеличением количества отводов в ПЛИС от ЗС, увеличением коэффициента замедления ЗС, увеличением частоты защелкивания регистров.

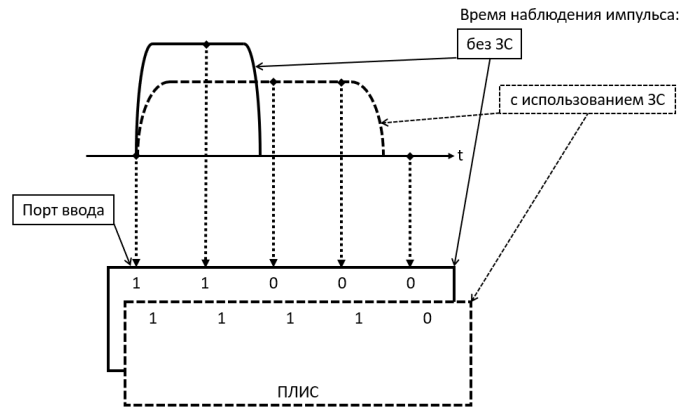


рис. 1. Принцип увеличения разрешающей способности ВЦП при использовании ЗС

В разработанном устройстве разрешающая способность составляет 411 пикосекунд (Рис.2). Текущая точность позволяет использовать полученное устройство в ультразвуковых датчиках расстояния, в устройствах расходомеров. Лазерный дальномер с таким ВЦП будет иметь погрешность определения расстояния 12 см. Планируется увеличение разрешающей способности до 55 пикосекунд, посредством увеличения разрядности зашелкивающего регистра ПЛИС и увеличения коэффициента замедления ЗС.

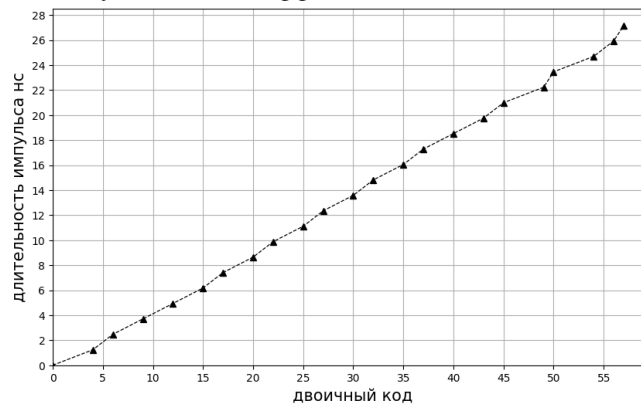


рис. 2. Длительность измеряемого импульса и полученный соответствующий ей код

Список публикаций:

- [1] Y. Kim, T.W. Kim, An 11 b 7 ps resolution two-step time-to-digital converter with 3-d vernier space, *IEEE Trans. Circuit. Syst. I: Regular Papers* 61 (2014) 2326–2336.  
 [2] Min Zhu, Xihan Qi, Tang Cui, Qiang Gao. Tapped delay line for compact time-to-digital converter on UltraScale FPGA and its coding method.

## Квазиэллиптический полосно-пропускающий SIW-фильтр

**Гризодуб Алексей Николаевич**  
 Южный федеральный университет  
 Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
[agrizodub@sfedu.ru](mailto:agrizodub@sfedu.ru)

Встроенные в подложку волноводы (SIW) в последнее время привлекают большое внимание. Благодаря интеграции классических волноводных компонентов в плоской форме, технология SIW обеспечивает: простоту изготовления, компактные размеры, малый вес, а также хорошие электромагнитные характеристики. [1-3]

В статье представлен квазиэллиптический полосовой фильтр четвертого порядка со встроенными микрополосковыми портами. Данная конструкция реализована с помощью двухрежимного SIW-резонатора микрополосковых резонаторах на входах и кольцевого разомкнутого резонатора. Топология фильтра представлена на (рис.1) [4]

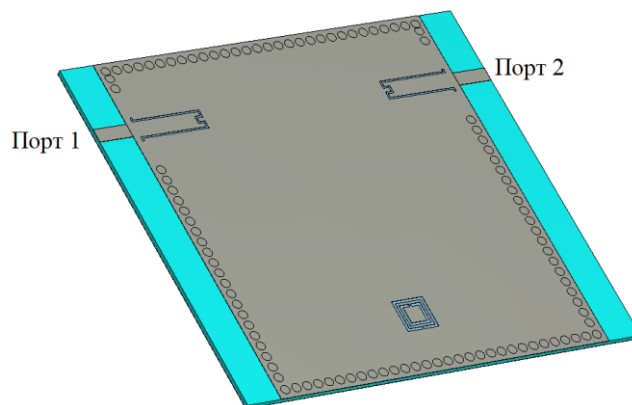


рис.1 Топология фильтра

Такая конструкция позволяет обеспечить высокую селективность фильтра за счёт организации нулей передачи в частотной характеристике фильтра. Амплитудно-частотная характеристика фильтра представлена на (рис.2)

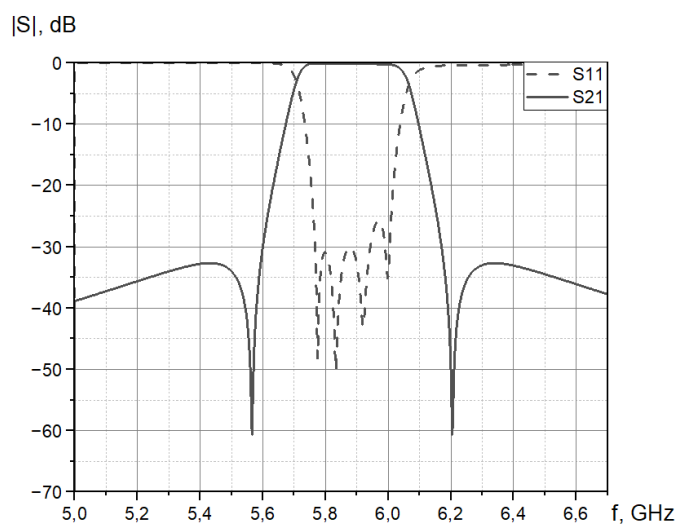


рис.2 Амплитудно-частотная характеристика фильтра

Устройство смоделировано на подложке с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2.2$  толщина подложки  $h = 0.508$  мм, толщина металлизации 35мкм.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, номер гранта № 22-79-00127 «Разработка гибких частотно-селективных устройств с применением SIW-технологии для спутников и беспилотных летательных аппаратов».

Список публикаций:

- [1] Krutiev, S., Lonkina, D., Makhno, A., Sdobnova, V. Synthesis of Band-Pass Filters Made Using SIW Technology // 2022 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2022, 2022, pp. 118–122
- [2] Krutiev, S., Lonkina, D., Makhno, P., Sdobnova, V. Narrow-Band Waveguide Filter on Complex Resonant Diaphragms // 2022 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2022, 2022, pp. 108–111
- [3] Krutiev S., Sdobnova V., Bukin S., Grizodub A. Compact Filters on Dielectric Paper Substrate // 2023 IEEE XVI International Scientific and Technical Conference Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE), 2023, pp 96-99
- [4] Гаджиева, А.А., Заргано, Г.Ф., Земляков, В.В., Крутыев, С.В., SIW-технологии, история создания, современное состояние и перспективы развития // Физические основы приборостроения, 2012. – Т. 1. – № 4. – С. 4–13.

## Исследование магнитоэлектрического датчика деформаций

Друженков Артём Владимирович

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н.

[druzhnikovav@gmail.com](mailto:druzhnikovav@gmail.com)

В последние годы широкое применение в науке и технике находит магнитоэлектрический (МЭ) эффект [1]. Наблюдает прямой и обратный МЭ эффекты. Суть прямого МЭ эффекта состоит в изменении электрических свойств материала под воздействием внешнего магнитного поля, а при обратном МЭ эффекте происходит изменение магнитных свойств материала при воздействии внешнего электрического поля. Уже известно достаточно много практических применений МЭ эффекта, но особенно широкое применение этот эффект нашел при создании различных датчиков физических величин. В данной работе мы представляем результаты предварительного исследования МЭ датчика деформаций. В отличие от датчиков давления, которые используются для измерения механических вибраций в широком частотном диапазоне, датчики деформаций предназначены для измерения одиночных механических воздействий. Такие измерения часто требуются при геологических работах. Объектом исследования была выбрана симметричная МЭ структура, состоящая из поляризованной пьезоэлектрической пластинки ЦТС керамики и тонких слоев магнитострикционного аморфного сплава Метглас с поперечным размером 10x30мм, толщина пластинки ЦТС 0,5 мм, толщина одного слоя Метгласа 20 мкм. Соединение пластинки ЦТС с тремя слоями Метгласа с каждой стороны выполнялось проводящим клеем. Было проведено два типа экспериментов. В первом случае на калиброванном пневматическом стенде с помощью тензометрического датчика CLA снималась зависимость электрического напряжения, возникающего на отдельной поляризованной пластинке ЦТС, от приложенной механической нагрузки ( Рис.1 – синяя линия). Вертикальная ось – электрическое напряжение в В, горизонтальная ось – механическая нагрузка в кг. Во втором эксперименте вместо пластинки ЦТС измерялась симметричная слоистая МЭ структура ( Рис.1 – красная линия).

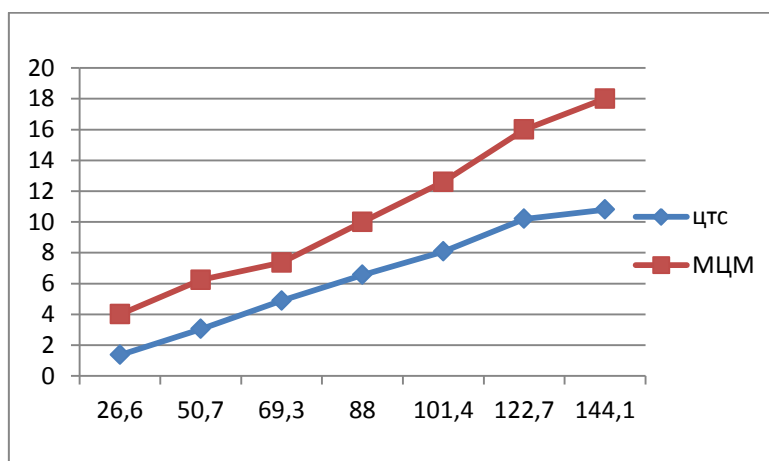


рис. 1. Зависимости электрического напряжения от приложенной механической нагрузки для двух типов экспериментов.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что дополнительное электрическое напряжение возникает в результате обратного МЭ эффекта, учет которого позволит определить изменение МЭ коэффициента при воздействии механической нагрузки с учетом магнитострикционной зависимости. Проведенная калибровка необходима для получения точных связей между измеряемым МЭ коэффициентом и внешней механической нагрузкой, что даст возможность спроектировать МЭ датчик деформаций.

Список публикаций:

[1] Bichurin M., Petrov V. // *Modeling of magnetoelectric effects in composites, Springer series in material science, Volume 201, 2014, 108p.*

[2] Bichurin, M.I.; Viehland, D. (Eds.) *Magnetoelectricity in Composites; Pan Stanford Publishing Pte. Ltd.: Singapore, 2012; 273p*

## Методы пространственно-временного управления световым лучом с помощью активных метаповерхностей

**Коноплев Артем Александрович**  
Южный федеральный университет  
Клеценков Анатолий Борисович  
[akonoplev@sfedu.ru](mailto:akonoplev@sfedu.ru)

Последние несколько лет во многих сферах человеческой деятельности появляется необходимость в инструментах оптического сканирования. Распространение машин с автопилотом, робототехника, системы дополненной/виртуальной реальности, средства отображения визуальной информации давно имеют запрос на недорогие, малогабаритные лидары. Лидар – аналог радара для волн оптического диапазона, устройства, сканирующие область лазерным лучом. Лидар превосходит устройства радиодиапазона разрешением изображения сканируемой местности благодаря меньшей длине волны, что принципиально важно для многих задач. Однако, до сих пор лидары не используются повсеместно из-за некоторых своих недостатков. Часть из них: стоимость, размеры, быстродействие возможно побороть использованием метаповерхностей.

Изначально, в лидарах использовались механические способы управления сканирующим лучом – зеркало вращается при помощи двигателя, благодаря чему при статичном облучателе луч сканирует необходимое пространство. Использование метаповерхности позволит повысить скорость сканирования, по сравнению с механическим управлением направления луча. Другим преимуществом отражателя на метаповерхности перед механическим отражателем является небольшой размер устройства, что важно для автомобильной промышленности. Эти факторы побуждают считать нас электронное сканирование более перспективным.<sup>[1][3]</sup>

Работа посвящена рассмотрению принципов, которые лежат в основе функционирования метаповерхностей. Далее перечислены некоторые из них.

Компромиссным решением между механическим управлением и использованием метаповерхности является использование MEMS(micro-electromechanical systems)-отражателей. Суть технологии заключается в том, что каждый элемент метаповерхности представляет из себя небольшое зеркало с механическим приводом. Таким образом при синхронном повороте всех зеркал под одинаковым углом мы получаем отраженный луч идентичный лучу, который получился бы при отражении от большого зеркала, повернутым под тем же углом.<sup>[1][2]</sup>

В работе Dual-Gated Active Metasurface at 1550 nm with Wide (>300°) Phase Tunability<sup>[4]</sup> предлагается управление излучения путем модуляции свободных носителей заряда, возбуждению фотоносителей, что позволяет изменять диэлектрическую проницаемости областей отражателя. Модуляция происходит благодаря подачи напряжения на необходимые элементы метаповерхности<sup>[1]</sup>

В основе похожего метода лежит изменение диэлектрической проницаемости с помощью фазового перехода вещества. Например, при изменении температуры VO<sub>2</sub>, он сильно меняет свою диэлектрическую проницаемость.<sup>[1]</sup>

Ещё одной технологией управления лучом является метод в котором за счет прямого управления фазовым распределением создается фронт оптической волны, что позволяет формировать максимум излучения в заданном направлении. Рассмотрена технология lidar-on-a-chip, которая предполагает создание устройства целиком на цельном кристалле кремния.<sup>[2]</sup>

Сопоставлены различные способы управления лучом, их достоинства и недостатки. Сравнены прототипы, задействующие вышеперечисленные методы.

Список публикаций:

[1] Shaltout, A. M., Shalaei, V. M., & Brongersma, M. L. *Spatiotemporal light control with active metasurfaces*. *Science*, 364(6441), eaat3100. doi:10.1126/science.aat3100 (2019)

[2] <https://spectrum.ieee.org/kyber-photonics-solid-state-lidar-on-a-chip-system>.

[3] M.R. Watts *Lidar on a Chip Enters the Fast Lane: Sensors for Self-Driving Cars and Robots will be Tiny, Reliable, and Affordable*. September 2023 *IEEE Spectrum* 60(9):38-43

[4] Ghazaleh Kafaie Shirmanesh, Ruzan Sokhoyan, Ragip A. Pala, and Harry A. Atwater *Dual-Gated Active Metasurface at 1550 nm with Wide (>300°) Phase Tunability Nano Lett.* 2018, 18, 5, 2957–2963

Publication Date: March 23, 2018



## **Разработка устройства для аудита беспроводных сетей Wi-Fi, работающего совместно с Android-смартфоном**

**Кривцов Владимир Георгиевич**

*Южный федеральный университет*

*Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.*

*[vlkrivcov@sfedu.ru](mailto:vlkrivcov@sfedu.ru)*

Работа описывает разработку компактного устройства, встраиваемого в чехол смартфона и подключаемого к нему по интерфейсу USB, позволяющего проводить аудит беспроводных сетей Wi-Fi. Устройство позволяет провести аудит, не прибегая к использованию ПК или ноутбука, а позволяет обойтись одним смартфоном с соответствующим чехлом и программным обеспечением. Конструкция устройства представлена на *рис. 1*.



*рис.1. – Печатная плата устройства и способ его монтажа в чехол смартфона*

Аудит позволяет обнаружить отклонения и уязвимости в сетях Wi-Fi, определить их класс, уровень угрозы и возможные методы их устранения. На данный момент повсеместная распространенность доступных точек доступа Wi-Fi создаёт множество уязвимостей в беспроводных сетях. Причиной этого в основном является некорректное конфигурирование точек доступа, наличие уязвимостей в их ПО и отсутствие обновлений ПО от производителя. В работе проанализированы различные варианты схемотехнического и конструктивного исполнения устройства, его антенн и интерфейса взаимодействия со смартфоном. Разработана печатная плата и ПО для смартфона. Получены первые результаты работы.

Список публикаций:

[1] Md. Waliullah, Diane Gan, “Wireless LAN Security Threats & Vulnerabilities: A Literature Review”, (IJACSA)International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 5, No. 1, 2014.

[2] P. Feng, “Wireless LAN Security Issues and Solutions”, IEEE Symposium on Robotics and Applications, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 921-924, 3-5 June, 2012.

[3] I Palamà, A Amici, G Bellicini, F Gringoli, F Pedretti, G Bianchi, “Attacks and vulnerabilities of Wi-Fi Enterprise networks: User security awareness assessment through credential stealing attack experiments”, Computer Communications 212, 129-140

## **Разработка автоматизированной оснастки для испытаний источников питания**

**Кутилов Иван Иннокентьевич**

*Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого*

*Петров Владимир Михайлович*

*[sos11132@yandex.ru](mailto:sos11132@yandex.ru)*

Источник питания — это электрическое устройство, которое подает электроэнергию на электрическую нагрузку. При производстве любых источников питания одним из самых важных этапов является проведение приёмо-сдаточных испытаний. На ручных стендах испытаниями занимаются 1-2 человека. Один изменяет входные сигналы устройства, а второй записывает измеренные выходные параметры. В результате такой работы увеличивается время проверки источников питания, а также, при проведении измерений, могут

допускаться ошибки, вызванные человеческим фактором. Для решения этих проблем при проведении приёмодаточных испытаний необходимо разработать автоматизированную оснастку для испытаний источников питания.

В связи с вышеописанным, тема представленной работы актуальна, т.к. решает следующие задачи: автоматизированная оснастка значительно сокращает время проверки электронных блоков; автоматизированный процесс проверки источников питания исключает ошибки из-за «человеческого фактора» и повышает качество контроля; при испытании большого количества источников питания накапливается большое количество автоматически созданных отчетов, что позволяет анализировать статистику неисправностей для последующего улучшения технологии производства или эксплуатации источников питания.

Целью данной работы является разработка автоматизированной оснастки для испытаний источников питания и оценка её надежности. В качестве примера рассмотрена оснастка для вторичного источника питания.

В литературной части работы был проведен анализ видов вторичных источников питания, описан их принцип работы.

В работе был рассмотрен вторичный источник питания, для которого требовалось разработать оснастку. На основе этого анализа были сформированы требования к разрабатываемой оснастке, были выбраны необходимые пакеты прикладных программ.

В конструкторской части работы была разработана топология печатной платы, используемой в оснастке, разработано программное обеспечение. Далее был проработан и смоделирован оптимальный конструктив, отвечающий требованиям задачи исследования.

Далее был проведен анализ надежности разработанной оснастки.

Результаты проделанной работы предполагается использовать при разработке комплекта конструкторской документации, по которому можно изготовить оснастку, а также для расчета электрической схемы устройства.

Список публикаций:

- [1] Гончаров А. Практика применения конверторных модулей класса DC/DC // Электронные компоненты. 1999 № 1–3.
- [2] Нагайцев А., Твердов И. Новые модули питания с широким (4:1) диапазоном входных напряжений // Электрическое питание. Выпуск 7 Научно-технический сборник докладов 1-й Всероссийской конференции по средствам электропитания.
- [3] Википедия. Импульсный трансформатор. [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Импульсный\\_трансформатор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Импульсный_трансформатор)

## Разработка прототипа шагающего марсохода на базе AVR

*Миназов Ильнур Ильшатович*

*Уфимский университет науки и технологий*

*[ilnuruunit@gmail.com](mailto:ilnuruunit@gmail.com)*

Основной целью данной работы была разработка прототипа шагающего марсохода на базе AVR. Учёные при непосредственном изучении поверхности Марса в подавляющем большинстве случаев используют колёсные устройства на основе подвески rocker-bogie (рис. 1.).

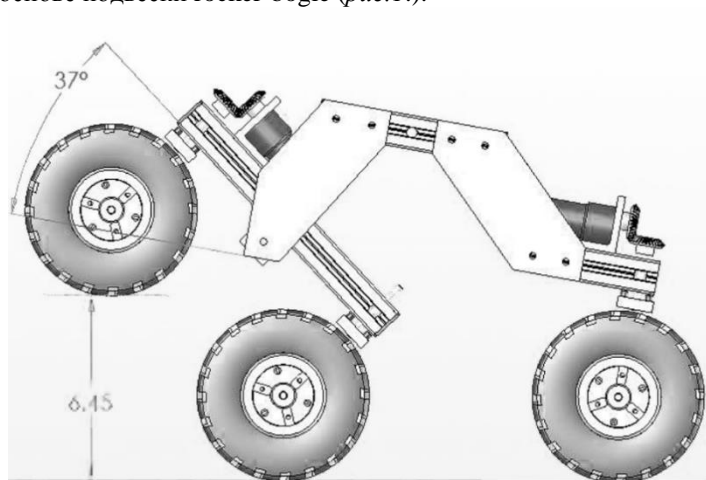


рис.1. Подвеска rocker-bogie.

Однако, несмотря даже на все преимущества такой подвески, трудности в эксплуатации аппарата всё равно возникают. В том числе из-за недостатков колёсного механизма, одним из которых является отсутствие возможности поворота средних колёс, что исключая движение вбок, сильно снижает мобильность аппарата. Также аппарат рискует оказаться в критической ситуации, как это было с ровером Opportunity сразу после посадки на дно кратера Игл. Проблема заключалась в том, что марсоход не мог выехать по направлению на угол наибольшего подъёма (до 17°). В результате чего выехать удалось только “косогором”.

Эту проблему решает подвеска шагохода. Благодаря тому, что контакт с поверхностью происходит не за счёт колёс, а за счёт острых клиньев, аппарат не подвергается буксировке.

Корпус для робота был спроектирован в программе FreeCAD. После чего был распечатан на 3D-принтере. В качестве электронной начинки для прототипа выступили модули Arduino. Программное обеспечение было написано на объектно-ориентированном языке программирования C++.

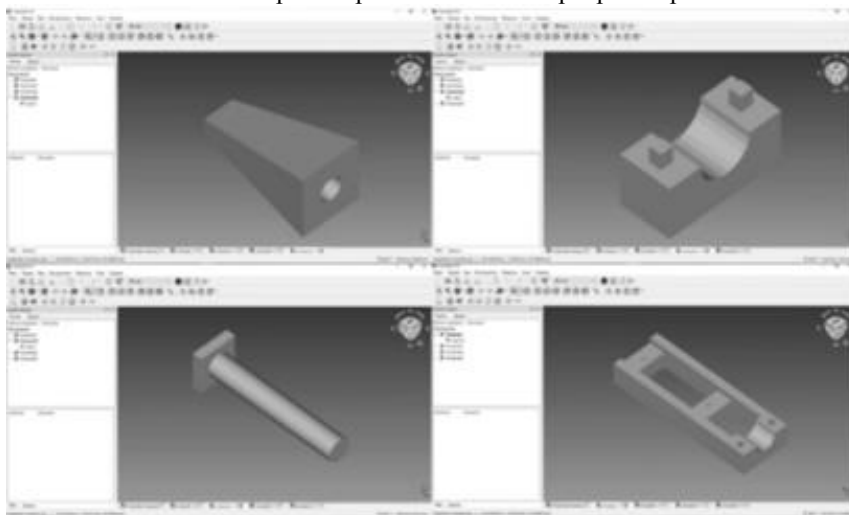


рис.2. Модели лап в программе FreeCAD.

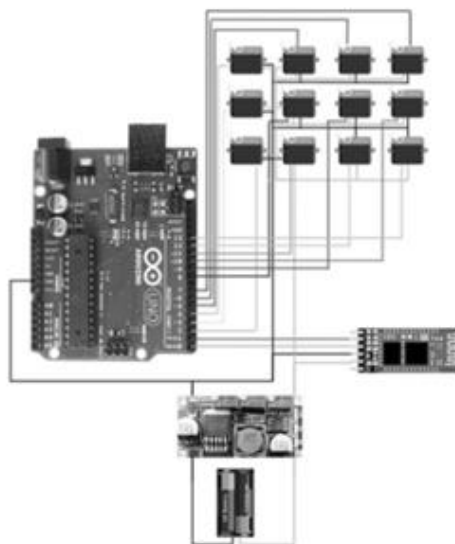


рис.3. Схема устройства.

Ключевым и важнейшим элементом прототипа является плата Arduino UNO. К ней через цифровые порты подключается 12 сервоприводов. По три на каждую “лапу”. Первые два обеспечивают двухосевое движение “плеч” а третий играет роль сгибаемого коленного сустава, позволяя совершать шаги. Также на “предплечья” были установлены амортизирующие пружины. Питание идёт от батареек, однако между ними и платой необходимым элементом является понижающий DC-DC преобразователь. Управление роботом осуществляется через Bluetooth связь. Для её обеспечения нужен Bluetooth-модуль. Он подключается на сигнальные RX-TX пины.

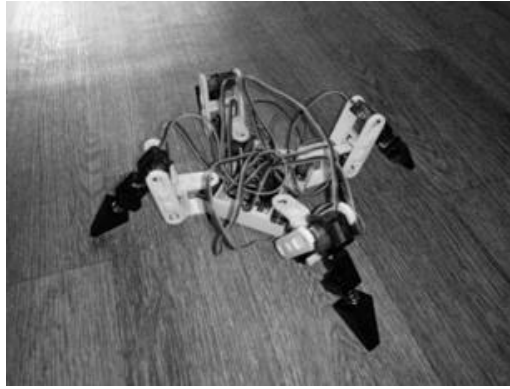


рис.3. Готовый прототип.

Данный прототип в силу своей конструкции способен справляться с различными препятствиями, с которыми не справился бы привычный ровер на rocker-bogie подвеске. В том числе имеет способность взбираться на относительно крутые склоны (более  $17^\circ$ ). Управление прототипом осуществляется за счёт Bluetooth связи.

Список публикаций:

- [1] Дэвид М., Харрис и Сара М. Харрис, *Цифровая схемотехника и архитектура компьютера* – Волтем: Morgan Kaufmann, 2013. – 1621 с.  
 [2] Бондаренко Д.Н., *Встраиваемые микроконтроллеры AVR-8*. Санкт-Петербург, 2014. – 193 с.  
 [3] Кёниг Эндрю, Му Барбара, *Эффективное программирование на C++*. Серия C++ In-Depth, т. 2.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2002. – 384 с.  
 [4] [DIY] Spider Robot / URL: <https://www.instructables.com/DIY-Spider-RobotQuad-robot-Quadruped>

**Методы компенсации погрешности «walk error» времяпролётного лидара с время-цифровыми преобразователями**  
**Мошеченко Сергей Дмитриевич**  
 Южный федеральный университет  
 Клещенок Анатолий Борисович, к.ф.-м.н.  
[su\\_fullback@mail.ru](mailto:su_fullback@mail.ru)

Времяпролётный лидар – лазерный дальномер, определяющий расстояние до отражающей поверхности по временному промежутку между моментом излучения импульса лазерным диодом и моментом попадания отражённого импульса на фотоприемник.

Точность определения расстояния времяпролётным лидаром зависит от множества погрешностей, носящих как случайный, так и систематический характер. Погрешности, носящие случайный характер, связаны с несовершенством аппаратных средств: ограниченной полосой усилителя фотодиода (УФ), недостатком точности время-цифровых преобразователей (ВЦП) и т.д. Погрешности, носящие систематический характер, изменяются в зависимости от определённого внешнего фактора: температура; задержки распространения сигнала; изменение формы отражённого импульса – т.н., «walk error» или пролетная ошибка [1].

Изменение интенсивности отражённого импульса приводит к изменению формы импульса на выходе УФ. Момент превышения напряжения сигнала с УФ над пороговым уровнем компаратора, формирующего цифровой сигнал управления ВЦП, смещается во временной области, что приводит к неоднозначности фиксации моментов фронта импульса отраженного сигнала (рис.1).

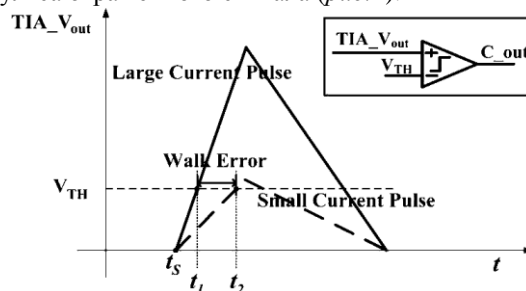


рис.1. Ошибка определения времени прихода отраженного импульса на выходе УФ при различной интенсивности отраженного сигнала с пороговым уровнем компаратора.

Погрешность измерений, возникающая по этой причине, называется «walk error». Величина «walk error» может составлять десятки наносекунд, что существенно искажает измеренные значения времени полёта, и, как следствие, значения расстояния до отражающей поверхности. Таким образом, метод измерения расстояния до отражающей поверхности с помощью определения времени полёта довольно чувствителен к изменению формы отражённого импульса.

Методы компенсации погрешности «walk error» времяпролётных лидаров с ВЦП делятся на две группы: аппаратные и программные. Аппаратные методы компенсации погрешности walk error подразумевают изменение формы импульса с использованием аппаратных средств, позволяющих уменьшить искажение формы импульса УФ. Применение многокаскадного компаратора [2] позволяет уменьшить погрешность «walk error» до 196 пс в полосе 256 МГц. Другой подход, основанный на применении пик-детектора [3], повышает точность определения момента прихода отражённого импульса и уменьшает значение «walk error» до 30 пс в динамическом диапазоне 1:5000.

Программные методы компенсации погрешности «walk error» заключаются в обработке искажённого времени полёта с использованием дополнительных сведений о форме импульса. В частности, при изменении амплитуды импульса на выходе УФ меняется его длительность, что может быть использовано для поиска компенсационной кривой – функции корректировки искажённого времени полёта, зависящей от длины импульса. Главным недостатком такого метода является необходимость предварительной калибровки: проведения серии измерений времени полёта и длины импульса для набора расстояний из рабочего диапазона дистанций до отражающей поверхности. Компенсационная кривая, полученная в [4], позволяет уменьшить «walk error» до 175 пс в динамическом диапазоне ~1:100000, а встроенные решения с применением компенсационной кривой [5] позволяют уменьшить «walk error» до 20 пс в динамическом диапазоне >1:40000.

Список публикаций:

[1] Hong-Soo Cho, Chung-Hwan Kim, Sang-Gug Lee // *A High-Sensitivity and Low-Walk Error LADAR Receiver for Military Application. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, том 61, №10, 2014.

[2] Jinhai Xiao, Maliang Liu, Zhangming Zhu // *Low walk error multi-stage cascade comparator for TOF LiDAR application. Microelectronics Journal*, том 116, 2021.

[3] Xiayu Wang, Rui Ma, Dong Li, Hao Zheng, Maliang Liu, Zhangming Zhu // *A Low Walk Error Analog Front-End Circuit With Intensity Compensation for Direct ToF LiDAR. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, том 67, №12, 2020.

[4] S. Kurtti, J. Nissinen, J. Kostamovaara // *A Wide Dynamic Range CMOS Laser Radar Receiver With a Time-Domain Walk Error Compensation Scheme. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, том 64, №3, 2017.

[5] Sami Kurtti, Jussi-Pekka Jansson, Juha Kostamovaara // *A CMOS Receiver-TDC Chip Set for Accurate Pulsed TOF Laser Ranging. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, том 69, №5, 2020.

## **Разработка десятиканального источника тока для гальванического осаждения**

**Огурцов Евгений Сергеевич**

*Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого*

*Петров Владимир Михайлович*

*[oes7076@yandex.ru](mailto:oes7076@yandex.ru)*

Одним из наиболее широко применяемых методов защиты металлических деталей в машино- и приборостроении являются гальванические и другие покрытия, осуществляемые благодаря применению электрохимических процессов. Ключевым компонентом, обеспечивающим работу такого процесса, является источник тока и от правильного выбора такого источника зависит должное качество обработки, безаварийность работы всей линии, а в некоторых случаях и возможность нанесения покрытия. Так же немаловажным фактором является возможность параллельного осаждения металлов сразу на несколько изделий при различных значениях силы тока от одного источника тока. Для решения этих проблем при проведении гальванического осаждения предлагается использовать многоканальный источник тока.

В связи с вышеописанным, выбранная мной тема актуальна, т.к. решает следующие задачи: десятиканальный источник тока позволяет регулировать величину силы тока в широком диапазоне для осаждения различных металлов с разной скоростью; появляется возможность питать несколько гальванических ванн одним источником, который можно произвести на любом отечественном предприятии, не закупая дорогое иностранное оборудование; источник тока имеет небольшие габариты, прост в освоении, обладает хорошей ремонтпригодностью и подключается к бытовой сети «220В», что позволяет использовать его без долгой подготовки сотрудников на любом предприятии.

Целью данной работы является разработка многоканального источника тока для гальванического осаждения и оценка его надежности. В качестве примера рассмотрен десятиканальный источник тока.

В литературной части работы был проведён обзор процесса гальванического осаждения, показатели качества гальванических покрытий и технологическое оборудование для нанесения электрохимических покрытий.

В работе был рассмотрен способ нанесения гальванических покрытий, для которого требовалось разработать десятиканальный источник тока. На основе этого анализа были сформированы требования к разрабатываемому источнику тока, были выбраны необходимые пакеты прикладных программ.

В конструкторской части работы была разработана топология печатной платы, используемой в источнике тока, подобрана оптимальная. Далее был проработан и смоделирован оптимальный конструктив, отвечающий требованиям технического задания.

Далее был проведен анализ надежности разработанного источника тока.

Результаты проделанной работы предполагается использовать при разработке комплекта конструкторской документации, по которому можно изготовить десятиканальный источник тока, а также для расчета устройства и выборе методов проверки его работоспособности.

Список публикаций:

[1] Nekouei R. K., Rashchi F., Amadeh A. A. *Using design of experiments in synthesis of ultra-fine copper particles by electrolysis // Powder technology.* – 2013. – Т. 237. – С. 165-171.

[2] Белозеров Н *История гальванопластики // журнал Тайны XX века.* - 2010. - №3.

[3] *Неравновесная электрохимия в гальванотехнике [Текст] = Nonequilibrium electrochemistry in galvanotechnik / Г. А. Садаков Москва: Машиностроение, 2015 - 79 с.: ил., табл.; 22 см. - Парал, тит. с. англ. - Библиогр.: с. 76-79. - ISBN 978-5-94275-774-8.*

## Электродинамический анализ и синтез полосно-пропускающих фильтров на тонких диафрагмах со ступенчатым вырезом

Павленко Михаил Андреевич

Южный федеральный университет

Крутиев Сергей Владимирович

[mpavlenko@sfedu.ru](mailto:mpavlenko@sfedu.ru)

Широко известно, что прямоугольное окно в тонкой металлической прямоугольной мембране имеет резонанс, при этом получение контура высокого качества ограничивается пробоем из-за малых геометрических размеров резонансного окна, поэтому для создания полосовых и заграждающих фильтров используется его более сложная геометрия. Основными преимуществами таких ступенчатых пазов являются их компактность и возможность регулирования резонансной частоты передачи и Q-фактора в широком диапазоне частот.

На *рис. 1(а)* показано изображение полосно-пропускающего фильтра третьего порядка на металлических прямоугольных диафрагмах с отверстием в виде вертикальной ступени. Расстояние между диафрагмами, учитывая конечную толщину металлических диафрагм и электромагнитную связь между резонансными структурами, составляло 10,38 мм. На *рис. 2* показана частотная характеристика синтезированного фильтра, с размерами для первых и третьих диафрагм, соответственно:  $s=11,09$  мм,  $w=5,69$  мм,  $t=1,31$  мм и  $h=25,61$  мм. Размеры для центральной диафрагмы составляли:  $s=8,31$  мм,  $w=5,69$  мм,  $t=1,31$  мм и  $h=18,62$  мм.

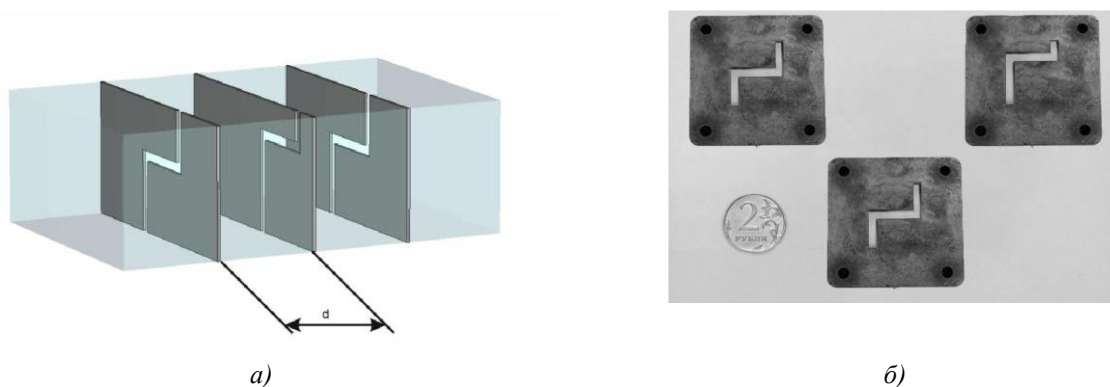


рис. 1. Модель синтезированного фильтра: а) 3D-модель фильтра; б) изготовленные диафрагмы.

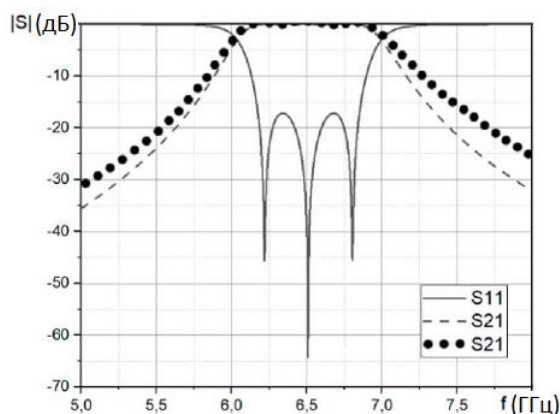


рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики фильтра: сравнение расчетной АЧХ и экспериментальной АЧХ фильтра.

На рис. 3 представлен внешний вид полосно-пропускающего фильтра третьего порядка, выполненного на металлических прямоугольных диафрагмах с горизонтальной ступенькой. Размеры полученного полосового фильтра для первого и третьего отверстий соответственно:  $s = 30,00$  мм,  $w = 6,33$  мм,  $t = 0,60$  мм,  $h = 6,64$  мм. Для центральной диафрагмы:  $s = 27,24$  мм,  $w = 5,92$  мм,  $t = 0,60$  мм,  $h = 6,64$  мм.

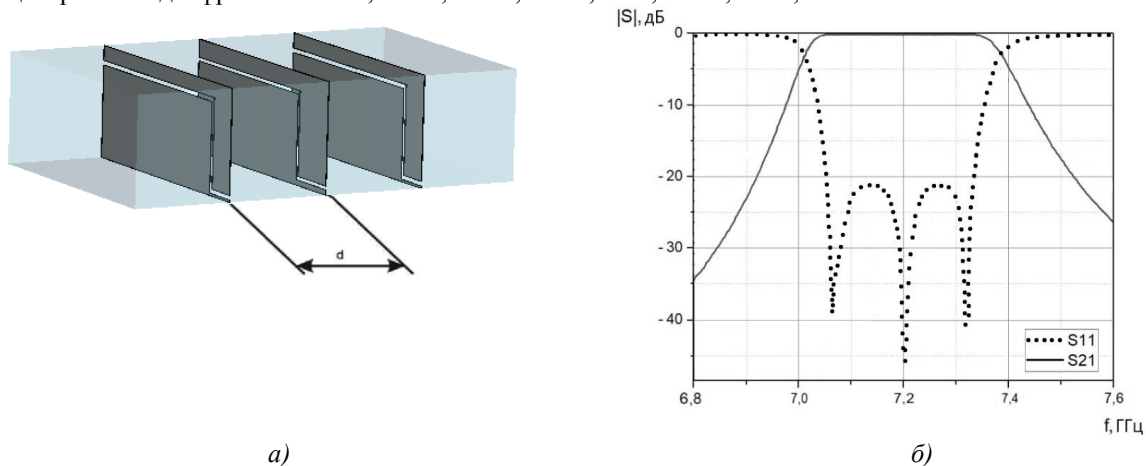


рис.3. Фильтр с горизонтальным ступенчатым вырезом: а) 3D-модель фильтра; б) амплитудно-частотная характеристика фильтра.

## Спектры поглощения СВЧ энергии композитами, содержащими сегнетоэлектрик

*Пандов Даниил Дмитриевич*

*Южный федеральный университет*

*Сидоренко Евгений Никифорович, к.ф.-м.н.*

*[dan.pandov@mail.ru](mailto:dan.pandov@mail.ru)*

Разработка новых высокоэффективных радиопоглощающих материалов в настоящее время весьма актуальна. Радиопоглощающие материалы широко применяются для изготовления деталей приборов и конструкций, которые могут защищать биологические объекты от электромагнитного излучения, улучшать противолокационную маскировку различных объектов, уменьшать помехи, защищать компьютерные системы обработки информации от несанкционированного доступа, конструировать безэховые камеры. При разработке радиопоглощающих материалов используются такие материалы, которые обладают высокой удельной электропроводностью и большими диэлектрическими и магнитными потерями. Применяют разнообразные материалы: проводники, полупроводники, сегнетоэлектрики, ферриты, композиты. Среди них особое место занимают композиты с сегнетоэлектриками в качестве внедренной компоненты [1,2].

В настоящей работе при комнатной температуре исследованы радиопоглощающие свойства ряда новых мультиферроидных объемных композитов. Они содержат перовскитоподобный манганит лантанастронция  $\text{La}_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$  (LSMO) и сегнетоэлектрик - титанат бария  $\text{BaTiO}_3$  различной концентрации с 5% -ной добавкой оксида германия  $\text{GeO}_2$ . Исследования спектров поглощения СВЧ энергии выполнены в диапазоне частот 3,2 –

12 ГГц. Волноводный тракт, подключаемый к генератору с индикатором, состоял из 2-х направленных ответвителей, симметричной микрополосковой линии и 50-омной нагрузки. Широкополосная микрополосковая линия использовалась в качестве измерительной ячейки. На ее поверхности в области центрального проводника линии располагался измеряемый образец [3]. Образцы без электродов, изготовленные в форме таблетки, имели диаметр 11 мм и высоту 1,7 мм.

Полученные спектры поглощения энергии для композитов с различной концентрацией LSMO и BaTiO<sub>3</sub> представлены на рисунках 1 и 2.

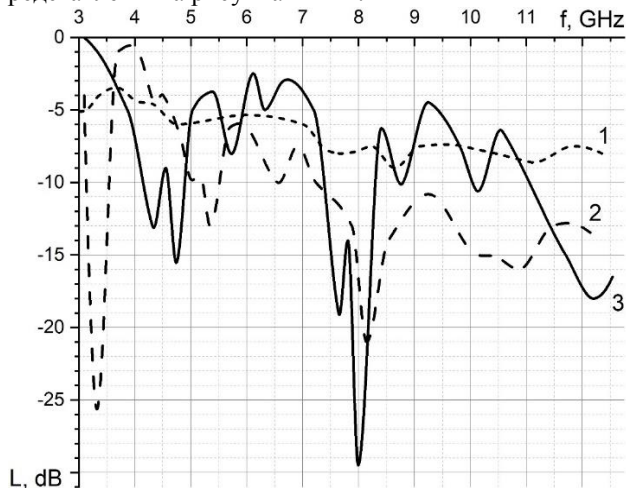


рис.1. Спектры поглощения СВЧ энергии композитами: BaTiO<sub>3</sub> - 95%, GeO<sub>2</sub> - 5% – (1), BaTiO<sub>3</sub> - 80%, LSMO - 15%, GeO<sub>2</sub> - 5% – (2) и BaTiO<sub>3</sub> - 75%, LSMO - 20%, GeO<sub>2</sub> - 5% – (3).

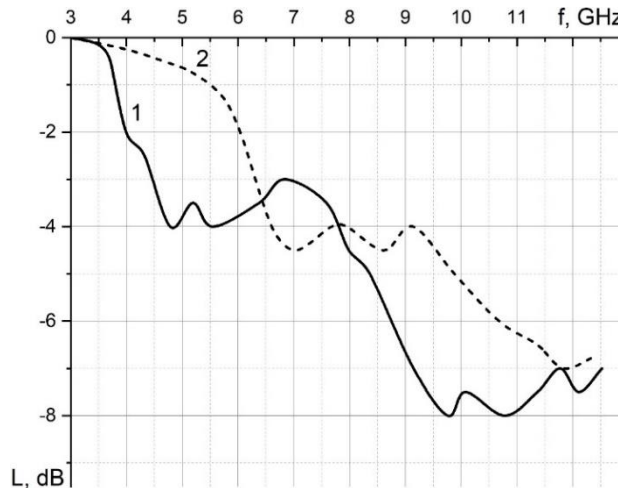


рис.2. Спектры поглощения СВЧ энергии композитами: BaTiO<sub>3</sub> - 70%, LSMO - 25%, GeO<sub>2</sub> - 5% – (1) и BaTiO<sub>3</sub> - 60%, LSMO - 35%, GeO<sub>2</sub> - 5% – (2).

Из эксперимента следует, что для образцов композитов с концентрацией манганита 0, 25 и 35% характерно небольшое поглощение энергии ( $L \leq -8$  дБ). Композит с концентрацией BaTiO<sub>3</sub> равной 95% близок к керамике чистого титаната бария. Известно, что поглощение энергии электромагнитного поля неполяризованной керамикой BaTiO<sub>3</sub> не находящейся под механическим напряжением невелико. В кристаллах BaTiO<sub>3</sub> с разнообразной доменной структурой, за исключением кристаллов BaTiO<sub>3</sub> со сложной доменной структурой, в которой преобладают группы мелких *a*- и *c*-доменных клиновидных двойников, ориентированных по нескольким системам двойникования в пределах каждой из групп, также наблюдается равномерное поглощение энергии во всем диапазоне частот на уровне – (3-10) дБ [3].

Спектры поглощения композитов с концентрацией LSMO равной 15 и 20% сильно изрезаны, имеют многочисленные узкополосные максимумы поглощения, в том числе и очень большие, где поглощение энергии достигает – (25-30) дБ. Известно, что в композитных сегнетоэлектриках в зависимости от типа и концентрации второй компоненты изменяется спонтанная поляризация, коэрцитивное поле, доменная структура, диэлектрическая восприимчивость, смещается точка Кюри [2]. По-видимому, в образцах с концентрацией LSMO 15 и 20% возникают механические напряжения, вызывающие образование групп мелких доменных клиновидных двойников с различными пьезорезонансными частотами. При совпадении этих частот с частотой электромагнитного поля двойники осциллируют, поглощая энергию.

В спектрах поглощения композитов с большей концентрацией LSMO равной 25 и 30% вклад резонансных процессов практически не наблюдается, очевидно, из-за демпфирования доменных двойников более сильным механическим напряжением или из-за ослабления сегнетоэлектрических свойств в этих композитах.

Таким образом, экспериментально показано, что среди мультиферроидных композитов ряда, содержащих титанат бария, имеются композиты со спектрами резонансного типа с большими узкополосными максимумами поглощения энергии, достигающими – (25-30) дБ.

Список публикаций:

- [1] Sidorenko E.N., Privalov E.E., Demchenko A.A., Kabirov Yu. V., Chebanova E.V., Nathin I.I.// Conference Proceedings -2019 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW), Divnomorskoe. P.464 – 467.
- [2] Nguyen Hoaí Thu'ng, Сидоркин А.С., Миловидова С.Д.// Физика твердого тела, 2018, том 60, вып. 3. С. 553-559.
- [3] Sidorenko E. N., Rudskaya A. G., Babenko A. A., Natkhina I. I., Galatova A. O., and Rudsky D. I. // Ferroelectrics 2023, Vol. 606/P. 50-60.



## Расчёт погрешностей схемы генератора тестовых сигналов для электрокардиографов и кардиомониторов

Попов Михаил Дмитриевич  
Южный федеральный университет  
Орлов Сергей Валентинович, к.ф.-м.н.  
[mikhail.d.popov@gmail.com](mailto:mikhail.d.popov@gmail.com)

В связи с развитием современных методов наблюдения и анализа электрокардиограмм (ЭКГ) человека встал вопрос о необходимости автоматического, без участия врача, определения уровня работы сердечно-сосудистой системы пациента. Наблюдения заключаются в измерении потенциалов электрического напряжения, возникающего при сокращении сердца и распространяющихся по тканям человека концентрическими эквипотенциальными окружностями. Для этого используют специальные средства регистрации биоэлектрической активности – электрокардиографы и кардиомониторы, которые записывают подвергаемые впоследствии анализу изменения уровня сигнала в различных частях тела. Некоторым из этих приборов необходимо проводить программную обработку измеренных значений в режиме реального времени для сигнализации о необходимости оказания экстренной медицинской помощи. Для проверки подобных устройств на работоспособность и адекватную интерпретацию получаемых ими данных необходимо воспроизведение биоэлектрических сигналов сложной формы, возникающих при нормальной или с нарушениями работе сердца [1].

В этой статье представлен один из этапов разработки генератора тестовых сигналов для электрокардиографов и кардиомониторов, предназначенного для синтеза как стандартных ЭКГ сигналов поверки [2], так и сигналов из баз данных МГТ ВИН с холтеровскими записями электрокардиограмм [3]. Сама ЭКГ человека представляет собой сигнал сложной формы с несколькими пиками с диапазоном по напряжению от  $\pm 0,1$  мВ до  $\pm 10$  мВ и частотой до 4 Гц (40 – 240 уд./мин). Методом её формирования был выбран прямой синтез с помощью ЦАП. Амплитудные и частотные характеристики синтезируемой ЭКГ основаны на требованиях, предъявляемых к самим приборам измерения [4]. Поскольку для таких сигналов требуется высокая точность, то предварительно был проведён расчёт погрешностей для схемы синтеза сигнала, представленной на (рис.1).

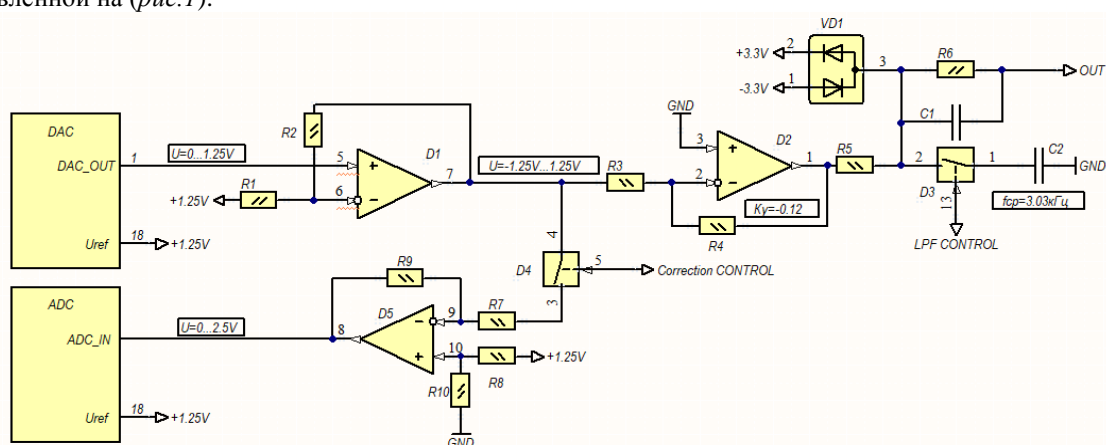


рис 1. Исследуемая часть схемы генератора

Канал формирует выходное напряжения в диапазоне  $\pm 15$  мВ с частотой дискретизации до 20 кГц и частотой сигнала до 500 Гц при включённой восстанавливающей фильтрации. Схема содержит 16-ти разрядный ЦАП, 2 операционных усилителя (ОУ), включённых в масштабирующий каскад и каскад усиления, фильтр нижних частот на RC цепочке и выходные согласующие элементы. Основной тип погрешности, важный для данной схемы является смещение напряжения, получаемое на выходе. Это связано прежде всего с высокими требованиями по точности, которые составляют в абсолютном значении  $\pm 5$  мкВ отклонения при уровне напряжения менее 5 мВ и относительные  $\pm 1\%$  для напряжения по модулю более 5 мВ. Расчёт суммарной погрешности на одном канале производился в несколько этапов. Все отклонения параметров микросхем и отклонения от идеальных значений номиналов элементов брались из соответствующих технических спецификаций на них, учитывая использование в лабораторных условиях.

Первый этап состоит в нахождении напряжения на выходе ЦАП с учётом всех вносимых им искажений. Основные составляющие искажений это отклонение опорного напряжения, дифференциальная ошибка ЦАП, смещение напряжения ЦАП. На втором этапе идёт расчёт погрешности масштабирующего усилителя. Для него важны разброс номиналов резисторов и смещение напряжения на ОУ. По расчётам после второго этапа накапливается наибольшая часть погрешности, поэтому для предварительного определения смещения на выходе

первого каскада введена цепь с восстанавливающим ОУ и АЦП. После определения смещения происходит перерасчёт предыдущих значений. На третьем этапе необходимо учесть добавление погрешности от каскада усиления и восстанавливающих фильтров.

С учётом коррекции на выходе рассчитаны следующие отклонения от предполагаемого напряжения:  $\pm 2.1$  мкВ или 0.41% относительно 0.5 мВ. Полученные теоретические результаты сравнивались с измерениями, сделанными на макете. Они показали, что формируемый сигнал соответствует заданным требованиям. Из этого был получен вывод о верности рассчитанных значений и необходимости введения дополнительных цепей коррекции.

Список публикаций:

[1] Mounaim Aqil, Atman Jbar., ECG Generator for Educational Biomedical Engineering Laboratory // *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, Vol. 18, No. 02 - 2022.

[2] Межгосударственный стандарт. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик регистрирующим и анализирующим одноканальным и многоканальным электрокардиографам. ГОСТ IEC 60601-2-51-2011

[3] G.B. Moody. R.G. Mark. The impact of the MIT-BIH arrhythmia database // *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.* 20 (3) 45–50 - 2001.

[4] Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Электрокардиографы, электрокардиоскопы и электрокардиоанализаторы. Методика поверки. Р 50.2.009—2011. – 2013.

## **Разработка антенного устройства для комплекса устройств на базе технологии LoRa**

**Саблин Михаил Сергеевич**

*Дальневосточный федеральный университет*

*Полянский Дмитрий Александрович, к.ф.-м.н.*

[michaelsablin5@gmail.com](mailto:michaelsablin5@gmail.com)

LoRa – это технология передачи данных со скоростью 0,3-50 кб/с с низким энергопотреблением для дальних дистанций (от 1 до 15 км). Она использует широкий диапазон частот и различные уровни модуляции для обеспечения высокой эффективности связи на больших расстояниях. LoRa использует безлицензионные радиочастотные диапазоны ниже 1 ГГц:

- EU433 (433,05-434,79 МГц) и EU863-870 (863-870 / 873 МГц) в Европе;
- US902-928 (902—928 МГц) в Северной Америке.

В России частотный диапазон для работы по протоколу LoRaWAN (но не только по этому протоколу, так как в этом же диапазоне Решением ГКРЧ допускается работа устройств LPWAN и по другим протоколам) состоит из двух разрешенных поддиапазонов: 864 - 865 МГц и 868,7 - 869,2 МГц. В общем же в Российской Федерации для LoRa выделен диапазон 868 МГц. Поддиапазон 868,7 - 869,2 МГц будет более предпочтителен, поэтому и будет выбран.

Лавинные маячки, работа над которыми ведется нами, будут использовать модуляцию LoRa (Long Range), и предназначены для поиска заваленных под лавинами людей, а также, при использовании связки маячок+дрон, для поиска потерявшихся людей в горно-лесистой местности. Они включают в себя LoRa-модуль, микроконтроллер, антенну, источник питания (обычно батарею) и, возможно, другие датчики (например, акселерометр для обнаружения движения или вибрации). Маячки периодически отправляют сигналы, предоставляя спасателям информацию о местоположении пострадавших, что помогает быстро и точно организовать операции по спасению. Для разрабатываемой нами системы предусмотрены два типа устройств – индивидуальные универсальные двухрежимные маячки и базовая станция повышенной мощности для более эффективной связи с маячками в случае необходимости.

Для эффективной работы маячков в условиях лавин необходима хорошая антенно-фидерная система. Это включает в себя не столько саму антенну на маячке, сколько антенну базовой станции на стороне спасателей, обеспечивающую максимально дальнюю передачу сигнала и эффективность приёма сигналов от локальных маячков. Поскольку лавины могут создавать сложные условия для передачи сигналов (например, металлические или снежные преграды), важно иметь антенны, спроектированные для преодоления этих проблем.

Направленная антенна предназначена для усиления сигнала в определенном направлении и уменьшения его в других направлениях. Её основной задачей является фокусировка энергии в конкретном секторе пространства, что обеспечивает более высокую директивность по сравнению с всенаправленными антеннами.

Основная цель использования направленных антенн заключается в увеличении дальности связи и повышении производительности системы связи за счет эффективного управления направленностью излучаемого или принимаемого сигнала. Это особенно важно в ситуациях, когда требуется обеспечить связь на большие расстояния, улучшить качество сигнала или снизить воздействие помех.

Направленные антенны находят широкое применение в различных областях, таких как беспроводные сети, радиосвязь, радиолокация, спутниковые системы и другие технологические сферы, где эффективное управление направлением сигнала является критическим фактором. Эти антенны могут иметь разнообразные формы и конструкции, включая параболические антенны, секторные антенны, Яги-антенны и др.

Для поддиапазона 868,7–869,2 МГц нами была выбрана антенна Яги-Уда, так как она обеспечивает более высокую направленность, точность и компактность, а также отлично подходит для работы с точно известным и постоянным диапазоном частот.

В данной работе будет использована антенна с параметрами: частота  $f$ : 869 МГц, длина волны  $\lambda$ : 345 мм, диаметр элемента  $d$ : 4 мм, диаметр стрелы  $D$ : 15 мм, общее число элементов: 5, длина стрелы: 239 мм, усиление: 10 dBi (прибл.), длина рефлектора  $R$ : 172 мм, длина вибратора  $F$ : 163 мм, бум с круглым поперечным сечением.

Теперь необходимо определить дальность связи, которую будет обеспечивать данная антенна, по формуле (1):

$$D = 3.57 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

где  $h_1$  – высота первой антенны (маячка),  $h_2$  – высота второй антенны (БС).

Примем высоту антенны маячка  $h_1 = 0$  м, а высоту антенны БС, высота второй антенны (БС), которая расположена на дроне должна соответствовать расстоянию от центра до максимального сечения конуса основного лепестка, примем ее  $h_2 = 50$  м. На рисунке 1 приведена диаграмма направленности влияющая на высоту второй антенны.

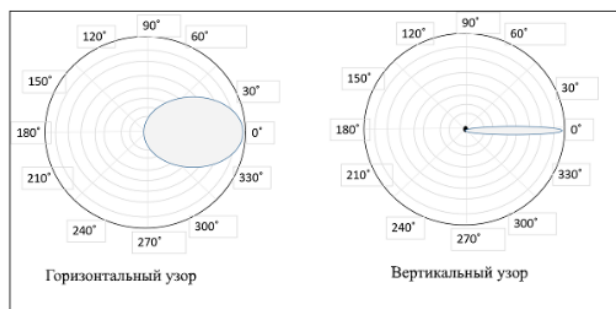


рис. 1. Диаграмма направленности антенны Яги-Уда

$$D = 3.57 \cdot (\sqrt{0} + \sqrt{50}) = 25 \text{ км}$$

Также необходимо определить, сможет ли связь с коэффициентом усиления 10 dBi нормально работать через 20–30 м снега. Для этого воспользуемся графиком зависимости потерь сигнала от частоты в сухом снегу (лавина), представленном на рисунке 2. Тут следует отметить, что такая толщина снега является редким, почти исключительным явлением при сходах лавин, и взята в качестве расчетной для получения максимально уверенной связи на толщинах, обычных для основной массы лавин.

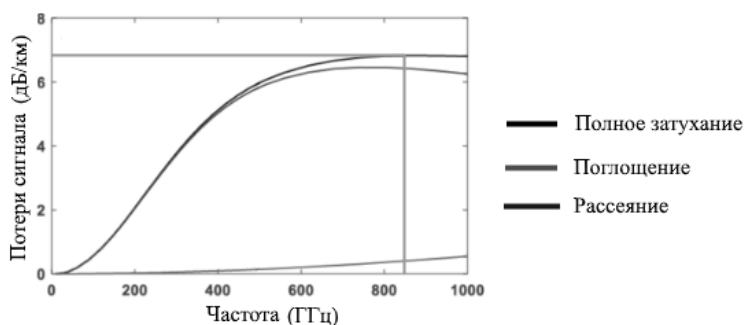


рис. 2. Зависимость потерь сигнала от частоты в сухом снегу

По рисунку 2 определим, что на частоте 869 МГц потери сигнала составят 6,8 дБ/км. Переводя в метры получим 0,2 дБ. В итоге с учетом ослабления коэффициент усиления будет составлять 9,8 dBi, что соответствует нормальной работе связи.

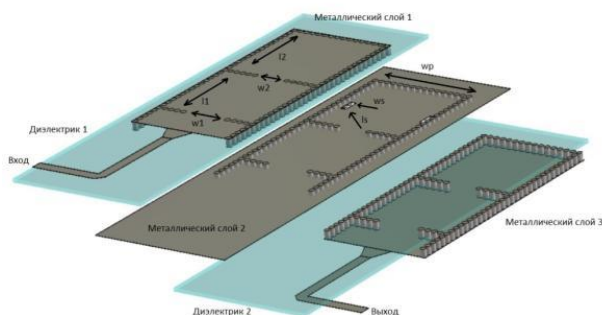
Маячки отправляют периодические сигналы с информацией о своем местоположении. Спасательная группа, оборудованная приемником LoRa, может обнаруживать и распознавать эти сигналы, определять расстояние до маячка и, используя несколько маячков в режиме поиска, вычислять местоположение находящихся под снегом устройств. Это позволяет спасателям быстро определить зоны поиска и обеспечить более эффективные операции спасения. Важно отметить, что точность и эффективность системы зависят от множества факторов, таких как топология местности, погодные условия и диапазон работы выбранной частоты LoRa. Также разработка предусматривает пассивный режим работы маячка, который отправляет ответный сигнал при получении поискового сигнала, отправляемого с маячка, находящегося в активном поисковом режиме.

## Самоподавление паразитного режима более высокого порядка в фильтре, выполненном по SIW технологии

**Сабурова Валерия Сергеевна**  
 Южный федеральный университет  
 Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
[lera.saburova.18@mail.ru](mailto:lera.saburova.18@mail.ru)

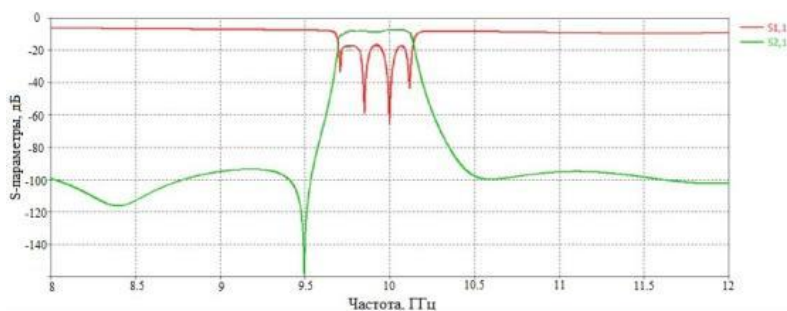
В статье предлагается новый способ борьбы с паразитными частотами в фильтрах, выполненных по SIW технологиям [1-2]. Используется двухслойная структура, где связи мод более высокого порядка усиливаются, за исключением центральной, которая минимизируется. Этот подход позволяет эффективно устранять паразитные сигналы, с помощью эффекта самоподавления, обеспечивая лучшую производительность и простоту в реализации.

Полосовой фильтр, выполненный по SIW технологии, - это волноводная структура, состоящая из двух рядов металлических штырей, соединяющих две металлические пластины, ограничивающие диэлектрическую подложку. Два резонатора и двойная диафрагма используются для минимизации только центральной связи с режимом более высокого порядка. В результате получается двухслойная структура фильтра, представленного на *рис. 1*. [3-4]



*рис. 1* Топология фильтра

Устройство сделано с использованием подложки с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2,2$  и толщиной  $h = 0,508$  мм, а также металлизации толщиной 35 мкм. Размеры фильтра следующие:  $w1 = 6,53$  мм,  $w2 = 4,98$  мм,  $l_s = 2,4$  мм,  $w_s = 0,9$  мм. Длина  $l1$ ,  $l2$  и ширина резонаторов равны 13,58 мм, 14,51 мм, 15,3 мм соответственно. Результаты амплитудно-частотной характеристики фильтра представлены на *рис. 2*.



*рис.2* Амплитудно-частотная характеристика

В данной статье представлен метод подавления паразитной полосы, генерируемой модами более высокого порядка встроенного в подложку SIW-фильтра. Результаты предлагаемого метода, в котором минимизируется только центральная связь с паразитным резонансом, показывают его эффективность.

Список публикаций:

[1] Xiao, Ping, Chen and K. Wu, "Substrate integrated waveguide (SIW) Filter: Design techniques and structure innovations," *IEEE Microw.*, vol. 15, no. 6, pp. 121-133, Sep. 2014.

[2] C. Tomassoni, L. Silvestri, M. Bozzi, and L. Perregrini, "Substrateintegrated waveguide filters based on mushroom-shaped resonators," *International Journal of Microw. Wireless Techn.*, vol. 8, no. 4-5, pp. 741-749, 2016.

[3] Krutiev, S., Lonkina, D., Makhno, A., Sdobnova, V. Synthesis of Band-Pass Filters Made Using SIW Technology // 2022 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2022, 2022, pp. 118-122

[4] Krutiev, S., Lonkina, D., Makhno, P., Sdobnova, V. Narrow-Band Waveguide Filter on Complex Resonant Diaphragms // 2022 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE 2022, 2022, pp. 108-111

## Самобалансирующий робот

Садыков Раиль Расимович

Уфимский университет науки и технологий

Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.

[rail40981@gmail.com](mailto:rail40981@gmail.com)

Работа посвящена созданию самобалансирующегося робота на основе платы Arduino [1, 2], принцип балансировки которого основан на обратном маятнике (рис.1). Принцип действия разрабатываемой модели аналогичен таковому в самобалансирующихся скутерах от Segway.

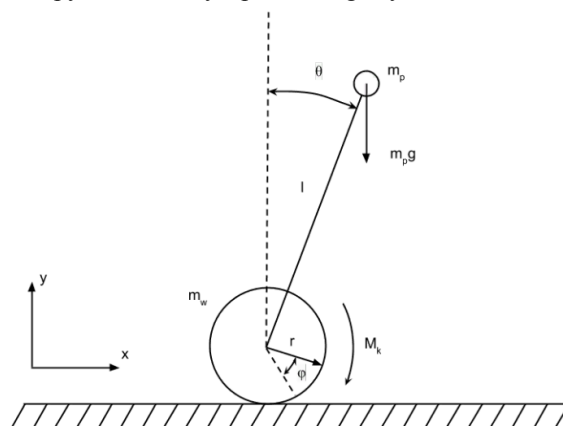


рис.1. Система обратного маятника.

Маятник – это масса  $m_p$ , прикрепленная на конце невесомого стержня длины  $l$ . На другой конец стержня прикреплен двигатель, развивающий максимальный момент  $M_k$  и передающий его на колесо массой  $m_w$  и радиусом  $r$ . Соответственно, основная задача управления – это стабилизировать маятник в вертикальном положении.

Дополнительно для усложнения проекта мы поставили еще одну задачу: робот должен будет уметь проходить лабиринт. Для реализации были использованы следующие компоненты:

1. Плата Arduino Uno.
2. Модуль драйвера мотора L298N (L298N Motor Driver Module).
3. GY-521 модуль (акселерометр и гироскоп) на базе микросхемы MPU-6050.
4. Ультразвуковой дальномер HC-SR04.

Структурная схема самобалансирующегося робота на основе платы Arduino представлена на рисунке 2.

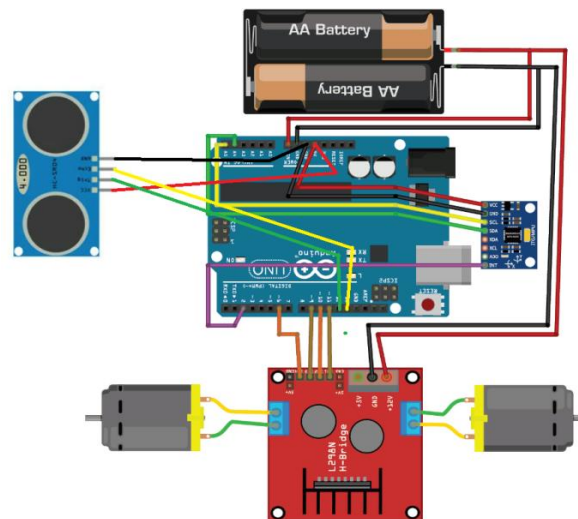


рис.2. Структурная схема самобалансирующегося робота.

Шасси робота пока еще не реализованы, но планируется их изготовление на основе 3D печати. Макет шасси выполнен и отмоделирован в специализированной программе.

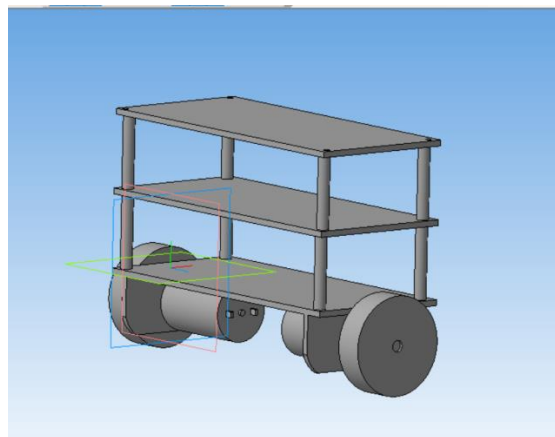


рис.3. Примерный макет шасси робота, спроектированный в системе Компас 3D.

Планируется, что все напечатанные компоненты и электроника будут собраны в единое шасси. Также будет написан программный код управления роботом, который позволит нашему роботу находить выход из лабиринта.

Список публикаций:

- [1] Петин В.А. Проекты с использованием контроллера *Arduino*. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ – Петербург, 2015. – 464 с.:ил – (Электроника).
- [2] Мочалов А.Н., Вафин Д.А., Валиев Д.А., Шарипов Т.И. Новые способы построения современных роботов. // *Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании: спутник Международной научной конференции «Уфимская осенняя математическая школа-2023»: тезисы докладов XIV Международной школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной посвящённой 75 - летию юбилею профессоров Я.Т. Султанаева и М.Х. Харрасова – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2023 – с. 79.*

# Полосовой фильтр с входным поглощающим резонатором квазиэллиптического типа

Уварова Виталина Андреевна  
Южный федеральный университет  
Крутыев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.  
[viuvarova@sfedu.ru](mailto:viuvarova@sfedu.ru)

В данной статье предлагается фильтр квазиэллиптического типа 2-го порядка с двумя нулями пропускания, близких к полосе пропускания, на основе модели диплексера и извлеченных полюсных резонаторов. Эквивалентная схема этой конструкции включает в себя два канала, каждый из которых разделен на две подсети, состоящие из полосно-пропускающих резонаторов и полосно-заграждающих резонаторов. Полосно-заграждающий канал состоит из двух выделенных полюсных полосно-заграждающих резонаторов, отражающих мощность в полосе частот. Полосно-пропускающий канал имеет два каскадных полосно-пропускающих резонатора, включая одномодовый резонатор и резонатор с двойным поведением, отвечающий за введение нулей отражения [2–5].

Был проведен электродинамический анализ и синтез квазиэллиптического типа 2-го порядка с двумя нулями пропускания. На Рис. 1. представлен чертеж волноводного устройства с общим размером 42x34,8мм. Вся конструкция имеет ту же ширину, что и WR-28, которая составляет 7,12 мм [1]. Амплитудно-частотная характеристика изучаемого фильтра представлена на рис.2.

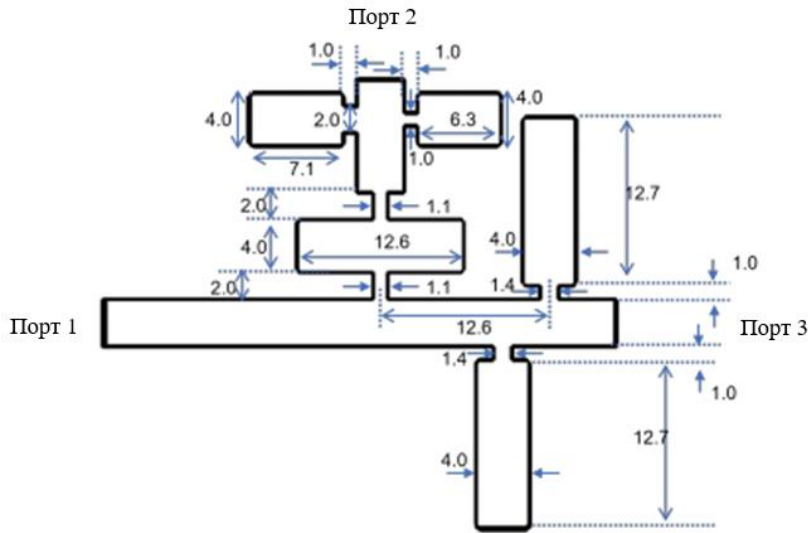


рис.1 – Чертеж волноводного устройства

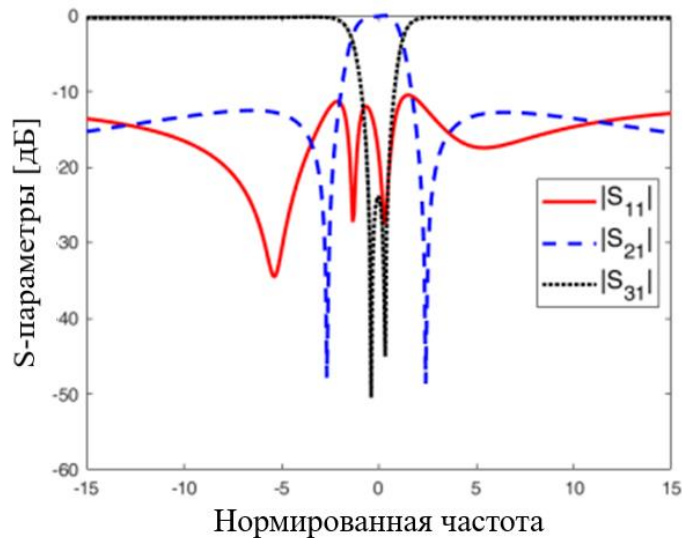


рис.2 – АЧХ фильтра

Таким образом, был спроектирован, смоделирован металлический полосовой фильтр с входным поглощающим резонатором квазиэллиптического типа 2-го порядка на основе волновода WR-28.

Список публикаций:

- [1] X. Chen, K. Wu, and Zh. Li, "Dual-Band and Triple-Band Substrate Integrated Waveguide Filters With Chebyshev and QuasiElliptic Responses" *IEEE Trans. Microw. Theory*, VOL. 55, NO. 12, PP. 2569-2578, 2007.
- [2] Sergey V. Krutiev; Daria V. Lonkina; Svetlana S. Efremova; Andrey S. Ipatiev *Electrodynamic Analysis and Synthesis of Bandpass Filters on a Rectangular Waveguide with Complex Thin Resonant Diaphragms in the Form of a Double-Shaped C-aperture // 2021 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)*, 28 June 2021 - 02 July 2021, DOI: 10.1109/RSEMW52378.2021.9494046
- [3] S. V. Krutiev; D. V. Lonkina; P. V. Makhno; A. B. Kleshchenkov; V. V. Makhno *Design and Fabrication of Compact Waveguide Filter with Complementary Split-ring Resonators (CSRR) // 2022 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, 25-29 April 2022, DOI: 10.1109/PIERS55526.2022.9792588
- [4] Zemlyakov, V.V., Zargano, G.F., Krutiev, S.V., Tyaglov, M.Y. *Electrodynamic Analysis and Synthesis of an Elliptic Filter Based on Complex Resonant Irises in a Rectangular Waveguide // Radiophysics and Quantum Electronics*, 2019, 61(12), pp. 915–923, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11141-019-09947-0>
- [5] Viacheslav Zemlyakov, Sergey Krutiev, Mikhail Tyaglov, Valery Shevchenko *A design of waveguide elliptic filter based on resonant diaphragms with a complex aperture // International Journal of Circuit Theory and Applications*, 2019, 47(1), pp. 55–64, DOI: <https://doi.org/10.1002/cta.2566>.

## **Исследование возможности применения токопроводящего клея для монтажа активных бескорпусных элементов**

**Филипченко Елизавета Станиславовна**

*Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого*

*Семенов Геннадий Алексеевич, к.т.н.*

[povarova.elizaveta@mail.ru](mailto:povarova.elizaveta@mail.ru)

Данное исследование направлено на улучшение качества технологического процесса микросборок путем замены пайки бескорпусных элементов, технологией приклеивания токопроводящим клеем для защиты бескорпусных элементов от воздействия флюса. В связи с этим, данное исследование может быть перспективно и актуально для дальнейшего производства, которое может быть налажено на предприятии.

Токопроводный клей используется для соединения чипа с печатной платой, кристалла с подложкой. Электрическое соединение, при этом, осуществляется проволочными выводами. Нужный объем клея, в соответствии с размером площади, наносится методом трафаретной печати, штамповки, прямого нанесения клея на компонент или дозировки за счет тонкой полый иглы. После нанесения на компонент.

При склеивании большинство клеев допускают варьирование температуры и времени в широких пределах, причем при повышении температуры время отверждения клея быстро уменьшается. Режим холодного отверждения осуществляется при комнатной температуре, но требует длительной выдержки (до 48 ч). Поэтому склеивание, как правило, выполняют с подогревом от 60 до 200 °С, в зависимости от марки клея.

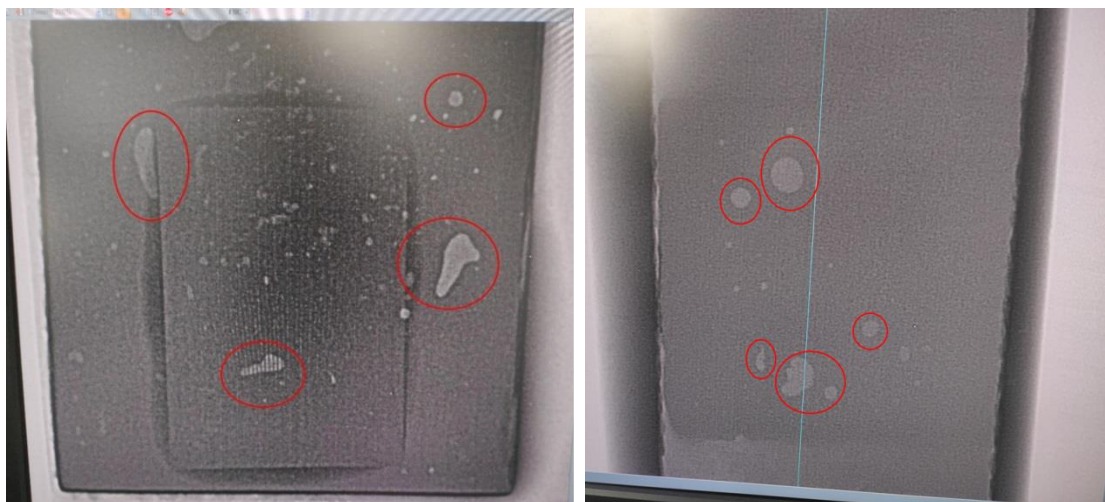


рис.1 Рентген пайки кристалла (слева) и приклеивания кристалла (справа)



Особенности и преимущества предложенного способа:

- Токопроводящий клей обладает повышенной электрической проводимостью, которая обеспечивается мелкими металлическими частицами, содержащимися в составе клея;
- Надежно соединяет склеиваемые поверхности;
- Хранятся и перевозятся при комнатной температуре.

Были проведены опыты с приклеиванием и пайкой кристаллов, которые представлены на изображениях. На обоих изображениях обведены области, содержащие на пустоты и полости в пайке и в клеевом слое.

Из выше представленного можем сделать выводы, что приклеивание кристалла более предпочтительно, так как при этом обеспечивается лучшая адгезия, обеспечивается лучшее электрическое и механическое соединение, а также обеспечивается более качественный отвод тепла.

## Выбор антенны для приема ионограмм на трассах наклонного ЛЧМ зондирования

**Черкасов Петр Витальевич**

*Южный федеральный университет*

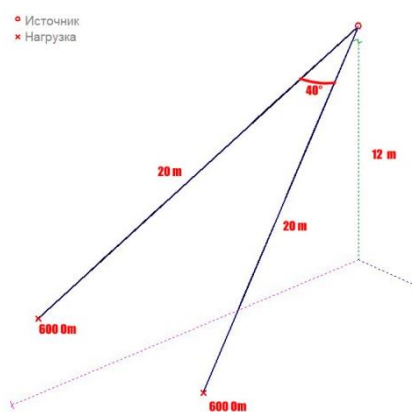
*Вертоградов Геннадий Георгиевич, д.ф.-м.н.*

*[pcherkasov@sfedu.ru](mailto:pcherkasov@sfedu.ru)*

Наклонное ЛЧМ зондирование (НЗ) остается актуальным методом исследования ионосферы, которое помогает в повышении надежности и эффективности радиозлектронных систем различного назначения в реальном времени, так как ионосферная плазма обладает постоянной изменчивостью характеристик. Для получения точных данных о состоянии ионосферы необходимо использовать специальные антенны, которые обеспечивают достаточную чувствительность для приема слабых сигналов, отраженных от ионосферы во всем диапазоне зондирования ионосферы (2–30 МГц) [1-2].

В этой статье представлен анализ 2-х популярных антенн, используемых для НЗ в условиях ограниченного пространства. Это 9-метровая штыревая и V-образная антенны, обладающие простой конструкцией, низкой стоимостью, широким диапазоном рабочих частот.

Антенны были промоделированы в программе MMANA-GAL. Длина проводников 20 метров, угол раскрытия 40°, нагрузка на концах проводников по 600 Ом. Вид антенны представлен на *рис.1*. АЧХ, полученные из программы для V-образной и штыревой антенн приведены на *рис.2а* и *рис.3а* соответственно.



*рис.1. V-образная антенна*

На два вида антенн были приняты ионограммы на трассе Кипр-Ростов-на-Дону(1470км). Исследования проводились в период с октября 2023 года по декабрь 2023 года включительно. Передатчик на Кипре работал в диапазоне частот 8÷30 МГц, скорость перестройки частоты составляла 100 кГц/с. Приём сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) осуществлялся в Ростове-на-Дону с помощью ионозонда [3]. Регистрация квазимгновенных АЧХ выполнялась на протяжении часа для каждой антенны. Сначала 30 минут (6 ионограмм) регистрировалась АЧХ на одну антенну. Затем приемник переключался на вторую антенну. И также регистрировалось 6 ионограмм. Далее процедура повторялась еще один раз. Впоследствии для каждой антенны вычислялась средняя за час АЧХ путем усреднения 12 квазимгновенных АЧХ. Примеры полученных АЧХ для каждой из антенн показаны на *рис.2б* и *рис.3б*. Отметим, чтобы достичь максимального диапазона частот

измерения АЧХ и в максимальном частотном интервале сравнить эффективность применения антенн для задач ЛЧМ зондирования, измерения выполнялись в полуденные часы суток.

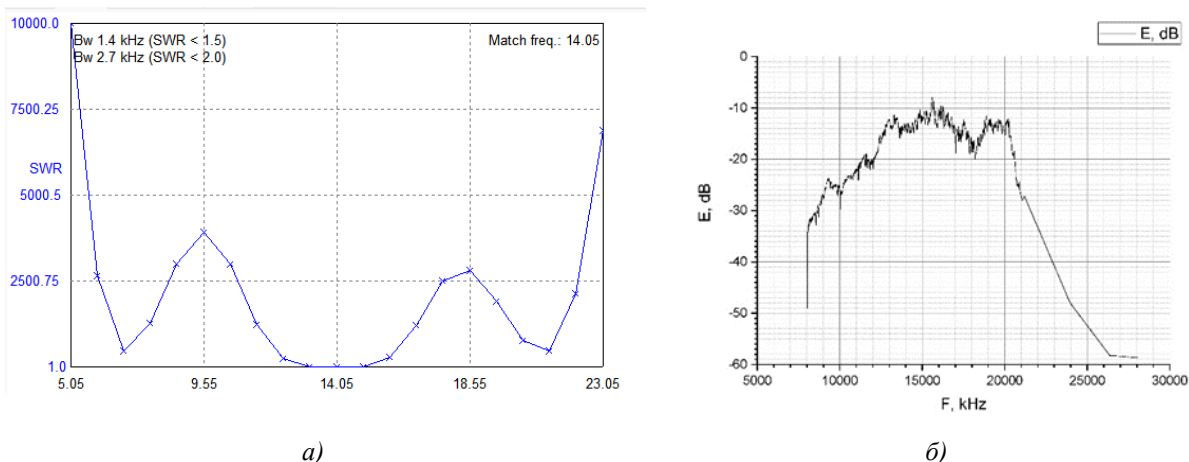


рис.2. График зависимости КСВ (а) от частоты (в МГц), и АЧХ (б) для V-образной антенны

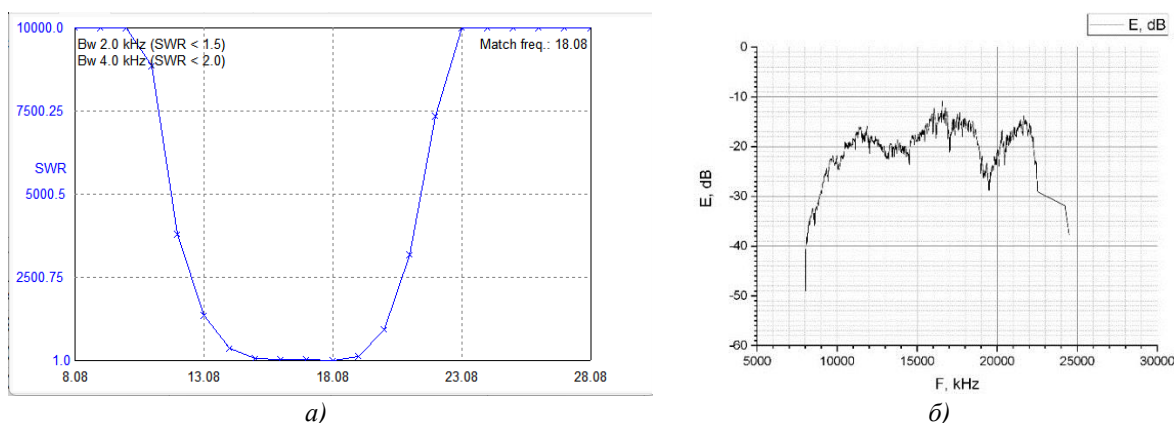


рис.3. График зависимости КСВ (а) от частоты (в МГц), и АЧХ (б) для 9-метровой штыревой антенны

Также, были сняты измерения КСВ двух типов антенн с помощью векторного анализатора сетей NanoVNA v2. Полученные характеристики представлены на рис. 4.

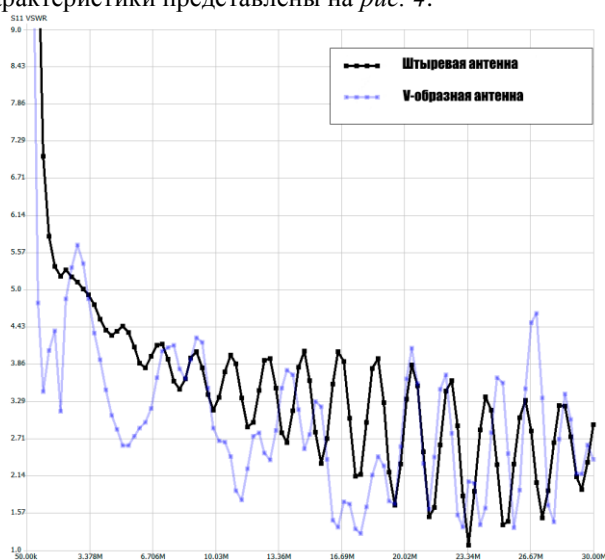


рис.4. КСВ измеренное NanoVNA v2.

В данной работе проведено сравнение двух видов антенн - штыревой и V-образной - для приема ионограмм на трассах наклонного ЛЧМ зондирования. Было установлено, что оба вида антенн подходит для приема ионограмм. Но штыревая антенна обладает преимуществами, т. к. работает во всем диапазоне частот НЗ, имеет более простую, не занимающую много места конструкцию, и не требует сложной настройки.

Список публикаций:

- [1] Uryadov V. P., Vertogradov G. G., Vertogradova E. G. Radar observations of F-scattering in the mid-latitude ionosphere using an ionosonde radio direction finder // *Izv. Universities. Radiophysics.* – 2013. – vol. 56. – №. 1. – pp. 1-12.
- [2] Vertogradov G.G., Uryadov V. P., Sklyarevsky M. S., Valov, V. A. Oblique sounding of the ionosphere using an ionosonde radio direction finder with linear frequency modulation of the signal // *Izv. Universities. Radiophysics.* – 2016. – vol. 59. – No. 11. – pp. 991-1003.
- [3] Patent No. 2529355 Russian Federation, IPC G01S 3/95. METHOD FOR DETERMINING THE SPATIAL DISTRIBUTION OF IONOSPHERIC INHOMOGENEITIES: No. 2013100642/07: application 09.01.2013: publ. 27.09.2014 / Vertogradov G.G., Uryadov V.P., Vertogradova E.G. – 14 p.

## Резонаторный диплексор Ку-диапазона

Шевченко Андрей Константинович

Южный федеральный университет

Крутиев Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.

[ash@sfnu.ru](mailto:ash@sfnu.ru)

В многодиапазонных системах связи, например сотовой связи, диплексор является важным компонентом, а с появлением новых коммерческих систем беспроводной и мобильной связи спрос на диплексоры растет. Используются диплексоры различных типов, такие как волноводные, коаксиальные и планарные. Волноводные обеспечивают хорошие показатели по добротности, но не всегда подходят для применения в системах требующих малые массо-габаритные параметры из-за громоздких резонаторов. Использование планарных сред позволяет получить компактные устройства, но с ограниченной мощностью и большими потерями в области пропускания, когда коаксиальные резонаторы позволяют создавать устройства, у которых малые потери и возможность создания высокодобротных контуров. [1-4].

В данной работе приводится электродинамический анализ и синтез резонаторного диплексора Ку-диапазона. На *рис.1а* показан внешний вид трехмерного диплексора. Размеры готового устройства составляют 148x42x43 мм. На *Рис.2* показана амплитудно-частотная характеристика диплексора.

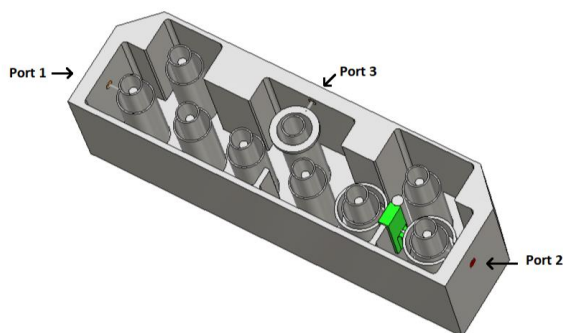


рис. 1 Модель резонаторного диплексора.

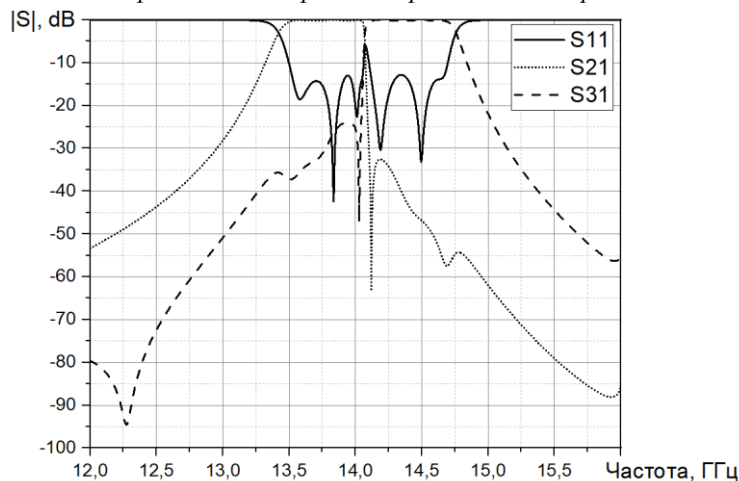


рис. 2 Амплитудно-частотная характеристика диплексора Ку-диапазона.

Список публикаций:

- [1] Sergey V. Krutiev; Daria V. Lonkina; Svetlana S. Efremova; Andrey S. Ipatiev *Electrodynamic Analysis and Synthesis of Bandpass Filters on a Rectangular Waveguide with Complex Thin Resonant Diaphragms in the Form of a Double-Shaped C-aperture* // 2021 *Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)*, 28 June 2021 - 02 July 2021, DOI: 10.1109/RSEMW52378.2021.9494046
- [2] S. V. Krutiev; D. V. Lonkina; P. V. Makhno; A. B. Kleshchenkov; V. V. Makhno *Design and Fabrication of Compact Waveguide Filter with Complementary Split-ring Resonators (CSRR)* // 2022 *Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, 25-29 April 2022, DOI: 10.1109/PIERS55526.2022.9792588
- [3] Zemlyakov, V.V., Zargano, G.F., Krutiev, S.V., Tyaglov, M.Y. *Electrodynamic Analysis and Synthesis of an Elliptic Filter Based on Complex Resonant Irises in a Rectangular Waveguide* // *Radiophysics and Quantum Electronics*, 2019, 61(12), pp. 915–923, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11141-019-09947-0>
- [4] Viacheslav Zemlyakov, Sergey Krutiev, Mikhail Tyaglov, Valery Shevchenko *A design of waveguide elliptic filter based on resonant diaphragms with a complex aperture* // *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 2019, 47(1), pp. 55–64, DOI: <https://doi.org/10.1002/cta.2566>.