

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2022 г

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Исследование особенностей применения высокочастотных соединителей»

тема

27.04.03 «Системный анализ и управление»

код и наименование направления

27.04.03.06 «Основы проектирования космических аппаратов»

код и наименование магистерской программы

| | | | | |
|----------------|---------------|---|-------|-------------------|
| Руководитель | _____ | Профессор МБК ПФиКТ. д-р техн. наук, доцент | _____ | В.Е. Чеботарев |
| | подпись, дата | должность, ученая степень | | инициалы, фамилия |
| Выпускник | _____ | | | Д.А. Аксентьева |
| | подпись, дата | | | инициалы, фамилия |
| Рецензент | _____ | Начальник группы АО «ИСС» | _____ | И.С. Голиков |
| | подпись, дата | должность, ученая степень | | инициалы, фамилия |
| Нормоконтролер | _____ | Профессор МБК ПФиКТ. д-р техн. наук, доцент | _____ | В.Е. Чеботарев |
| | подпись, дата | должность, ученая степень | | инициалы, фамилия |

Красноярск 2022

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2022 г

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Красноярск 2022

Студенту: Аксентьевой Дарии Алексеевне

фамилия, имя, отчество

Группа КИ 20-03-6М, направление (специальность) 27.04.03

номер

код

«Системный анализ и управление»

наименование

Тема выпускной квалификационной работы: «Исследование особенностей применения высокочастотных соединителей»

Утверждена приказом по университету № 4102-с от 15.03.2021

Руководитель ВКР: Виктор Евдокимович Чеботарев, профессор, доцент, доктор технических наук, МБК «Прикладная физика и космические технологии»

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР: Техническая, конструкторская и нормативная документация на высокочастотные кабельные сборки. Основные требования и исходные данные для написания программы выбора оптимальной кабельной сборки.

Перечень разделов ВКР.

1 Введение.

2 Общие сведения о высокочастотных соединителях.

3 Классификация и особенности применения высокочастотных кабельныхборок.

4 Реализация программы оптимального выбора кабельной сборки.

5 Заключение.

Перечень графического материала: 17 слайдов презентации.

Руководитель ВКР

подпись

В. Е. Чеботарев

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, инициалы и фамилия студента

Д.А. Аксентьева

« ____ » _____ 2022 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Исследование особенностей применения высокочастотных соединителей» содержит 74 страницы текстового документа, 28 использованных источников.

ВЫСОКОЧАТОТНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ, КАБЕЛЬНЫЕ СБОРКИ, СОЕДИНИТЕЛЬ, КАБЕЛЬ, СВЧ.

Объектом исследования являются высокочастотные соединители для наземного и космического применения.

Цель ВКР – исследование характеристик высокочастотных соединителей и особенностей их применения, разработка программы для поиска оптимального варианта кабельной сборки (кабель и два соединителя) по заданным параметрам (длина, размер ответной части, частота на которой будет использоваться кабель, тип кабеля).

Задачи ВКР:

- изучение общих и технических сведений о высокочастотных соединителях;
- анализ и структурирование основных классификаций соединителей;
- определение основных параметров и характеристик высокочастотных соединителей, а также требований, предъявляемых при выборе;
- определение основных параметров, требований и характеристик кабельных сборок;
- разработка программы для формирования оптимального выбора кабельной сборки;
- тестирование программы и предоставление результатов.

Практическая ценность данной работы заключается в том, что в результате разработки программы значительно был упрощен поиск оптимального варианта кабельной сборки (кабель и два соединителя) по заданным параметрам (длина кабельной сборки, размер ответной части, частота на которой будет использоваться кабель, тип кабеля). Проведено тестирование программы для разных исходных данных и продемонстрированы ее преимущества. Программа помогает значительно сократить трудоемкость при подборе оптимального варианта кабельной сборки и исключить возможность ошибки (при правильно введенных исходных данных).

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение..... | 6 |
| 1 Общие сведения о высокочастотных соединителях..... | 8 |
| 1.1 Краткий обзор основных производителей соединителей..... | 8 |
| 1.2 Классификация высокочастотных соединителей..... | 12 |
| 1.3 Основные элементы и детали конструкций соединителей..... | 21 |
| 1.4 Основные требования, предъявляемые к соединителям | 23 |
| 1.5 Обозначение высокочастотных соединителей | 23 |
| 2 Классификация и особенности применения высокочастотных кабельных сборок..... | 25 |
| 2.1 Основные параметры кабеля (как материала) | 30 |
| 2.1.1 Эквивалентная схема кабеля..... | 30 |
| 2.1.2 Искажение сигнала | 31 |
| 2.1.3 Импеданс или волновое сопротивление..... | 32 |
| 2.1.4 Коэффициент отражения..... | 32 |
| 2.1.5 Согласование | 33 |
| 2.1.6 Разомкнутый конец..... | 33 |
| 2.1.7 Короткое замыкание | 34 |
| 2.1.8 Ответвление..... | 34 |
| 2.1.9 Омическое отражение..... | 36 |
| 2.1.10 Омическое короткое замыкание..... | 37 |
| 2.1.11 Емкостной дефект или шунтирующая емкость | 37 |
| 2.1.12 Параметр изменения энергии | 37 |
| 2.1.13 Время распространения импульса и скорость сигнала..... | 38 |
| 2.1.14 Примеры основных типов рефлекторов жестких кабелей..... | 40 |
| 2.2 Основные параметры и предъявляемые требования к высокочастотным кабельным сборкам | 45 |
| 2.3 Внешняя изоляция кабеля и соединителей | 51 |
| 3 Реализация программы оптимального выбора кабельной сборки..... | 54 |
| 3.1 Тестирование и предоставление результатов | 64 |
| Заключение | 70 |
| Список сокращений | 71 |
| Список использованных источников | 72 |

ВВЕДЕНИЕ

Сейчас развитие радиолокационных средств космического базирования происходит очень стремительно. В системах диапазона сверхвысоких частот (далее СВЧ) применяются резисторы, бескорпусные переключающие диоды, конденсаторы и т.д. Но не менее важными элементами являются высокочастотные соединители: герметичные переходы; кабельные соединители, которые необходимы для вывода сигнала с микрополосковой платы на кабель.

Высокочастотный соединитель, который обеспечивает эффективный вывод и ввод сигналов, представляет собой ключевой элемент бортовой радиоэлектронной аппаратуры. Около 50% отказов связаны с соединителями. В основном это происходит из-за качества соединителей, но также много случаев, когда соединитель подобран неверно или с не лучшими параметрами.

Согласно ТУ в каждый соединитель можно запаять определенный тип кабеля и модификации кабельных сборок достаточно разнообразны.

Например, только классификация соединителей в зависимости от следующих параметров: назначения, конструктивного исполнения, габаритов, условий, в которых они будут эксплуатироваться, требований к электрическим параметрам и потерям, и так далее, делится на двадцать типов. Соответственно, для каждой классификации существуют соединители разных размеров, в которые запаиваются разные типы кабелей: жёсткие, п/жёсткие или гибкие.

Таким образом, можно сделать вывод: необходимо упорядочить большой объём информации о модификациях кабельныхборок для простоты фильтрации и отбора по необходимым параметрам лучшего варианта кабельной сборки [1].

В настоящей работе рассматриваются основные сведения о высокочастотных соединителях, классификация и требования к кабельным сборкам.

Целью работы является разработать программу для поиска оптимального варианта кабельной сборки (кабель и два соединителя) по заданным параметрам (размер ответной части, частота на которой будет использоваться кабель, тип кабеля).

Программу можно написать на многих языках программирования, например, на языке Python (высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамически строгой типизацией и автоматическим управлением памятью, ориентированный на повышение производительности разработчика, читаемости кода и его качества, а также на обеспечение переносимости написанных на нем программ [26]).

Следует подчеркнуть, что эта программа поможет сэкономить большое количество времени на подбор оптимального варианта кабельной сборки и на 100% исключить возможность ошибки (при правильно введенных исходных данных).

Основные задачи работы:

- изучение общих и технических сведений о высокочастотных соединителях;
- анализ и структурирование основных классификаций соединителей;
- определение основных параметров и характеристик высокочастотных соединителей, а также требований предъявляемых при выборе кабельных сборок;
- разработка программы для формирования оптимального выбора кабельной сборки;
- тестирование программы и предоставление результатов.

Методы и средства решения поставленных задач:

Для решения задач была изучена и проанализирована тематическая литература, специальная литература, а именно ГОСТы, ТУ, СТП и др. В ходе работы были проанализированы характеристики и их зависимость от длины кабеля, частоты материала изготовления и.т.д. В ходе работы была написана программа с большим объемом исходных данных.

Новизна и актуальность работы:

Актуальность работы заключается в том, что в настоящее время в бортовой аппаратуре применяется большое количество высокочастотных кабельных сборок, например, только в схему БРК (бортового ретрансляционного комплекса) входит около 500 высокочастотных соединителей, в схему КИС (контрольно-измерительная система) и АРН (аппаратура радионавигации) входит около 40 высокочастотных соединителей. Для обеспечения высоких характеристик межблочных линий передачи, необходимо:

- не допустить ошибки при компоновке модификации кабель и два соединителя;
- выбрать лучший по параметрам вариант из всех подходящих.

Новизна работы состоит в том, что в настоящий момент компоновка всех высокочастотных кабельных сборок (два соединителя и кабель) производится вручную, можно сказать, что опытным путем и данный процесс не автоматизирован. Наряду с отсутствием единой базы всех отечественных производителей соединителей и кабелей, наблюдается так и отсутствие классификации всей высокочастотной кабельной продукции по параметрам.

Настоящая работа решает важную прикладную задачу: она предлагает новую программу оптимального подбора кабельной сборки и имеет потенциал к внедрению данной программы в масштабах отрасли.

[изъято 1-3 главы, страницы 8-69, в соответствии с заявлением: Приложение Б к ВКР].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы изучены и проанализированы основные общие и технические сведения о высокочастотных соединителях, выявлены и структурированы основные классификации соединителей.

Проведено исследование параметров и характеристик высокочастотных кабельных сборок, а также структурированы требования, предъявляемые при выборе кабельных сборок.

Разработана оригинальная программа оптимального выбора кабельной сборки на языке программирования Python.

Программа упрощает поиск и обеспечивает поиск оптимального варианта кабельной сборки (кабель и два соединителя) по заданным параметрам (длина кабельной сборки, тип кабеля, размер ответной части, частота на которой будет использоваться кабель).

Проведено тестирование программы для разных исходных данных и продемонстрированы ее преимущества. Программа поможет сэкономить большое количество времени на подбор оптимального варианта кабельной сборки и исключить возможность ошибки (при правильно введенных исходных данных). Например, в БРК 400 видов соединителей и 200 кабельных сборок. Инженеру при выборе всех кабельных сборок понадобится время на расчеты, подбор необходимого типа кабеля и двух соединителей, программа выполняет все расчеты автоматически и предоставляет оптимальный выбор моментально. Также исключает ошибки в расчетах и анализе большого объема данных. Инженеру понадобится в среднем на расчеты и подбор одной кабельной сборки от 15 до 20 минут, программе от 2 до 3 секунд. Путем математических расчетов можно сделать вывод, что программа поможет сэкономить в среднем 8 рабочих дней при подборе всех кабельных сборок для БРК.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

| | | |
|------|---|--|
| ANSI | - | американский национальный институт стандартов |
| BNC | - | байонетное соединение; |
| PEEK | - | полиэфирэфиркетон |
| SMA | - | субминиатюрный соединитель типа А |
| SMC | - | субминиатюрный соединитель типа С |
| TNC | - | версия соединителя BNC с резьбовым соединением |
| АРН | - | аппаратура радионавигации |
| АЧХ | - | амплитудно-частотная характеристика; |
| БРК | - | бортовой ретрансляционный комплекс; |
| ВЧ | - | высокочастотный; |
| ГОСТ | - | государственный общесоюзный стандарт; |
| ЕСКД | - | единая система конструкторской документации |
| ИП | - | иностранное производство; |
| КА | - | космический аппарат; |
| КД | - | конструкторская документация; |
| КИС | - | контрольно-измерительная система |
| КСВ | - | коэффициент стоячей волны; |
| МЭК | - | международная электрическая комиссия |
| ОСТ | - | отраслевой стандарт |
| СВЧ | - | сверхвысокая частота; |
| СР | - | соединитель радиочастотный |
| СРГ | - | соединитель радиочастотный герметичный |
| СТП | - | стандарт предприятия; |
| ТЗ | - | техническое задание; |
| ТКЗ | - | температурный коэффициент затухания |
| ТКФ | - | температурный коэффициент фазы |
| ТУ | - | технические условия; |
| ФЧХ | - | фазо-частотная характеристика. |

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Аксентьева, Д. А. Высокочастотные соединители – серийное производство для наземного и космического применения / Д. А. Аксентьева // Студенческий: электрон. научн. журн. 2022 №18(188). URL: <https://sibac.info/journal/student/188/252725> (дата обращения: 09.06.2022).

2 Алмазов-Долженко, К. И. Техническая электродинамика и устройства СВЧ / К. И. Алмазов-Долженко, А. Н. Королев. Москва : Букинистика, 2006. – 79 с. – ISBN 5-89176-368-0.

3 ВР0.364.007 ТУ Соединители радиочастотные коаксиальные. Вилки, розетки и переходы. Технические условия. – дата введения 1987-04-11. – Каменск-Уральский : ФГУП «ПО «Октябрь»», 1987. – 45 с.

4 ВР0.364.018 ТУ Соединители радиочастотные коаксиальные. Вилки, розетки и переходы. Технические условия. – дата введения 1987-03-12. – Каменск-Уральский : ФГУП «ПО «Октябрь»», 1987. – 36 с.

5 ВР0.364.039 ТУ Соединители радиочастотные коаксиальные. Вилки, розетки и переходы. Технические условия. – дата введения 1987-26-03. – Каменск-Уральский : ФГУП «ПО «Октябрь»», 1987. – 45 с.

6 ВР0.364.047 ТУ Соединители радиочастотные коаксиальные. Вилки, розетки и переходы. Технические условия : дата введения 1987-03-11. – Каменск-Уральский : ФГУП «ПО «Октябрь»», 1987. – 32 с.

7 ВР0.364.049 ТУ Соединители радиочастотные коаксиальные. Вилки, розетки и переходы. Технические условия. – дата введения 1987-22-11. – Каменск-Уральский : ФГУП «ПО «Октябрь»», 1987. – 34 с.

8 Гвоздовер, С. Д. Теория электронных приборов сверхвысоких частот / С. Д. Гвоздовер. – Москва : Букинистика, 1956. – 528 с. – ISBN ВВН 0081/БН2-03022018/45.

9 ГОСТ 11326.35-79 Кабель радиочастотный марки РК50-2-21. Технические условия = Radio-frequency cable, type РК 50-2-21. Specifications : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30 августа 1979 г. №3304 : взамен ГОСТ 11326-71: дата введения 1981-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1979. – 4 с.

10 ГОСТ 13317-89. Элементы соединения СВЧ трактов радиоизмерительных приборов. Присоединительные размеры = Connectors of microwave channels of radiomeasuring apparatus. Connecting dimensions : государственный стандарт союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 16 августа 1989 г. №2576 : взамен ГОСТ 13317-80 : дата введения 1991-01-01 / разработан министерством промышленности средств связи. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 43 с.

11 ГОСТ 15527-2004 Сплавы медно-цинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки = Pressure treated copper zinc alloys (brasses). Grades : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в

действие межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 12 мая 2011 г. №6086 : взамен ГОСТ 15527-70: дата введения 2005-01-07 / разработан МТК 106 «Цветметпрокат». – Минск : Издательство стандартов, 2004. – 6 с.

12 ГОСТ 18238-72 Линии передачи сверхвысоких частот. Термины и определения = Transmission lines of superhigh frequency. Terms and definitions : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введено в действие постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 20 ноября 1972 г. №2092 : введен впервые : дата введения 1974-01-01 / разработан ФГУП НИИПИ «Кварц». – Москва : Госстандарт России, 1972. – 7с.

13 ГОСТ 18298-79 Стойкость аппаратуры, комплектующих элементов и материалов радиационная. Термины и определения = Radioresistance of equipment, complete units and materials. Terms and definitions : межгосударственный стандарт: издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 30 марта 1979 г. №1163 : взамен ГОСТ 18298-72: дата введения 1980-07-01. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 4 с.

14 ГОСТ 20265-83. Соединители радиочастотные коаксиальные. Присоединительные размеры = Coaxial radio-frequency connectors. Coupling dimensions : государственный стандарт союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие постановлением государственного комитета СССР по стандартам от 27 октября 1983 г. №5164 : взамен ГОСТ 20265-74 : дата введения 1985-01-01 / разработан государственным комитетом СССР по стандартам. – Москва : Издательство стандартов, 1985. – 14 с.

15 Григорьев, А. Д. Электродинамика и техника СВЧ : учебник для вузов / А. Д. Григорьев. – Москва : Высшая школа, 1990. – 355 с. – ISBN 5-06-000685-9.

16 Джуринский, К. Б. Кабельные сборки СВЧ-диапазона. Назначение, классификация, особенности применения / К. Б. Джуринский, А. А. Прокимов, Р. Г. Кузнецов // Компоненты и технологии – 2015. – №5. – С. 18-22.

17 Замотринский, В. А. Устройство СВЧ и Антенны : учебное пособие / В. А. Замотринский, Л. И. Шангина; Томский государственный университет, Институт управления и радиоэлектроники. – Томск : ТУСУР, 2012. – 222 с. – ISBN 978-5-4497-1634-7.

18 Кабельный завод Спецкабель : официальный сайт. – 2010. – URL: <https://spetskabel.blogspot.com> (дата обращения 09.06.2022).

19 Карлинер, М. М. Электродинамика СВЧ : курс лекций / М. М. Карлинер; Новосибирский государственный университет. – Новосибирск : НГУ, 2006. – 258 с. – ISBN 5-94356-325-3.

20 Марков, Г. Т. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / Г. Т. Марков, Б. М. Петров, Г. П. Грудинская. – Москва : Советское радио, 1979, – 367 с.

21 Никольский, В. В. Электродинамика и распространение радиоволн : учебное пособие / В. В. Никольский, Т. И. Никольская. – Москва : Наука, 1989. – ISBN 5-02-014033-3.

22 Паронок, Д. Е. Анализ базовых языков программирования / Д. Е. Паронок, К. Н. Ефименко // Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях (Ситони-2019) : материалы VI Международной научно-технической конференции / Донецкий национальный технический университет. – Донецк, 2019. – С. 104–110.

23 Петров, Б. М. Электродинамика и распространение радиоволн : учебник / Б. М. Петров. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2007. – 558 с. – ISBN 5-93517-073-6.

24 Федеральное государственное унитарное предприятие: производственное объединение «Октябрь» : официальный сайт. – 2014. – URL: <https://neuwa.ru> (дата обращения 09.06.2022).

25 Федоров, Н. Д. Электронные приборы СВЧ и квантовые приборы: учебник для вузов / Н. Д. Федоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Атомиздат, 1979. – 240 с. – ISBN ГВН 373/БН2-27102018/48.


26 Язык программирования Python : электронный ресурс. -2004. – URL: <https://web-creator.ru> (дата обращения 09.06.2022).

27 ANSI B1.1-1982 Unified Inch Screw Threads (UN and UNR Thread Form) : An American National Standard : American Society of Mechanical Engineers : Revision of ANSI B1.1-1982 : date of introduction 1982-01-01. – New York : United Engineering Center, 1989. – 99 p.

28 IEC 60966-1:2019 Radio frequency and coaxial cable assemblies : International standard: International electrotechnical commission : Revision of IEC 60966-1:2008 : date of introduction 2019-02-08. – Switzerland, 2019. – 107 p.

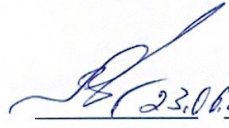



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт космических и информационных технологий
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
«23» июня 2022 г

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Исследование особенностей применения высокочастотных соединителей»
тема
27.04.03 «Системный анализ и управление»
код и наименование направления
27.04.03.06 «Основы проектирования космических аппаратов»
код и наименование магистерской программы

| | | | |
|----------------|--|--|---|
| Руководитель |  подпись, дата | Профессор МБК ПФиКТ. д-р техн. наук, доцент должность, ученая степень | <u>В.Е. Чеботарев</u> инициалы, фамилия |
| Выпускник |  подпись, дата | | <u>Д.А. Аксентьева</u> инициалы, фамилия |
| Рецензент |  подпись, дата | Начальник группы АО «ИСС» должность, ученая степень | <u>И.С. Голиков</u> инициалы, фамилия |
| Нормоконтролер |  подпись, дата | Профессор МБК ПФиКТ. д-р техн. наук, доцент должность, ученая степень | <u>В.Е. Чеботарев</u> инициалы, фамилия |

Красноярск 2022