

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Конструирование и производство радиоаппаратуры»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

М.С. Воробьев

«__»_____ 2019 года

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Н.И. Войтович

«__»_____ 2019 года

ТЕМА выпускной квалификационной работы "Методика разводки
радиочастотных кабелей диаграммообразующей схемы"

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

ЮУрГУ-11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ

Консультанты

А.В. Зотов

«__»_____ 2019 года

Научный руководитель:

А.Б. Хашимов

«__»_____ 2019 года

Автор работы

студент группы КЭ - 224

А.А. Головнин

«__»_____ 2019 года

Нормоконтроллер

Е.М. Юнгайтис

«__»_____ 2019 года

АННОТАЦИЯ

Головнин А.А. Методика разводки радиочастотных кабелей диаграммообразующей схемы.– Челябинск: ЮУрГУ, ВШЭКН; 2019, 67 с. 16 ил., библиогр. список – 24 наим., 5 прил., 2 листа чертежей ф.А1, 8 плакатов ф. А1.

В выпускной квалификационной работе разработан проект методики разводки радиочастотных кабелей диаграммообразующей схемы.

В ходе выполнения работы рассмотрены доступные кабели, соединители и кабельные сборки. Кроме того, изучены программы для автоматического моделирования и создания конструкторской документации. Важным критерием подбора систем является возможность работать с радиочастотными кабелями при помощи ввода их параметров.

Предложен проект методики разводки радиочастотного кабеля при помощи средств автоматизированного проектирования и с учетом параметров кабельныхборок.

					<i>11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>Методика разводки радиочастотных кабелей диаграммообразующей схемы</i>	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Головнин А.А.					4	67
Провер.		Хашимов А.Б.				<i>ЮУрГУ</i>		
Н. Контр.		Юнгайтис Е.М				<i>Кафедра КиПР</i>		
Утверд.		Войтович Н.И.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЗОР.....	11
1.1 Кабельные отсеки	11
1.2 Программные инструменты для разводки кабелей.....	11
1.3 Технологии защиты соединений кабеля и соединителя.....	14
2 АНАЛИЗ КОММЕРЧЕСКИ ДОСТУПНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СБОРОК .	16
2.1 Радиочастотные кабели диаметром от 2 до 5 мм	16
2.2 Соединители радиочастотные коаксиальные	18
2.3 Технологии заделки кабелей в соединители.....	19
2.4 Технологии маркировки кабельных сборок.....	21
3. РАЗВОДКА РАДИОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ И КОМПОНОВКА ФИДЕРНОГО ТРАКТА.....	24
3.1. Диаграммообразующая схема	24
3.2. Компоновка антенного отсека	24
3.3. Разводка радиочастотных кабелей.....	25
3.4. Рекомендации по компоновке кабельного отсека	25
3.5. Расчет потерь в фидерном тракте.....	26
4 ИССЛЕДОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ СБОРОК	30
4.1. Сравнение паспортных характеристик	30
4.1.1. Радиочастотных кабелей диаметром от 2 до 5 мм	35
4.1.2. Радиочастотных соединителей.....	37
4.2. Расчет характеристик кабельных сборок	38
4.2.1. Фазовая длина	38
4.2.2. Величина ослабления коэффициента передачи.....	39

4.2.3. Погонная емкость	40
4.2.4. Допустимая мощность	40
4.3. Анализ внешних воздействий на кабельную сборку	41
4.3.1. Воздействие тепла и холода	41
4.3.2. Воздействие вибрации	42
4.4. Измерение характеристик кабельных сборок до и после термоциклирования	42
4.4.1. Величина коэффициента стоячей волны.....	42
4.4.2. Величина ослабления коэффициента передачи.....	43
4.5. Статистическая обработка данных эксперимента.....	43
4.6. Документация на кабельную сборку	45
4.6.1. Протокол измерений	46
4.6.2. Этикетка.....	47
4.6.3. Схема отсчета длин кабельных сборок	48
4.6.4. Оборудование рекомендуемое для проведения заделки кабелей в соединители	48
4.6.5. Оборудование рекомендуемое для проведения измерений кабельных сборок.....	50
4.7. Рекомендации по выбору кабеля и соединителя	55
4.7.1. Допуска на изготавливаемые делители мощности, направленные ответвители и ВЧ кабели (S параметры устройств), исходя из допустимых искажений	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	59
ПРИЛОЖЕНИЕ А	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ В	64

ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	67

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

РК – радиочастотный коаксиальный

РД – радиочастотный двухпроводной

РИ – радиочастотный излучающий

ВЧ – высокочастотный

САПР – система автоматизированного проектирования

КСВ – коэффициент стоячей волны

КПД – коэффициент полезного действия

ТКФ – температурный коэффициент фазы

ЭВМ – электронная вычислительная машина

АФТ – антенно – фидерный тракт

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается широкое распространение различных видов систем связи, вещательных сетей, компьютерных сетей и прочих областей техники. Многие из них связаны с работой с радиочастотными сигналами. В связи с этим существует необходимость передачи такого сигнала не только по воздуху, но и по проводам. Для выполнения этой функции были сконструированы радиочастотные кабели. Именно такая разновидность кабелей предназначена для соединения различных радиоустройств и радиочастотных установок.

Радиочастотные кабели подразделяются на 3 категории:

1. Радиочастотный коаксиальный кабель;
2. Радиочастотный кабель с внутренним проводником;
3. Радиочастотный кабель симметричный или из двух коаксиальных пар.

При конструировании диаграммо образующих антенн используются коаксиальные кабели. Основными их параметрами являются длина кабеля и радиус изгиба. В связи с тем, что во время настройки антенны после производства инженеру приходится вручную прокладывать и контролировать процесс монтажа, существует необходимость проводить тесты и осуществлять сборку изделия в компьютерных моделях.

В связи с массовым распространением радиочастотных кабелей, необходимо учитывать ряд особенностей, связанных с их прокладкой, расчетом параметров, выбора длины и прочих моментах.

Главными параметрами таких кабелей является их длина и радиус изгиба. При проектировании устройств, в том числе и антенных комплексов, эти два параметра оказывают наибольшее влияние на конструкцию конечного комплекса. В связи с этим они требуют повышенного внимания при проектировании.

Современные системы моделирования позволяют учитывать параметры кабелей и осуществлять сборки с учетом заявленных параметров. Это позволяет сократить время на разработку устройств, и ускорить процесс введения изделия в

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

эксплуатацию. Таким образом, повышается эффективность производства, и уменьшаются траты на отдельные узлы и компоненты комплексов.

Тем не менее, несмотря на быстрорастущие возможности программ, остается необходимость в разработке методики разводки кабелей. Это связано с тем, что увеличение количества разрабатываемых устройств, приводит к повышенному количеству не стандартизированных кабельных систем. Такой подход усложняет последующий ремонт и модернизацию изделий. Кроме того, общая методика способна ускорить процесс освоения новых сотрудников, либо выпускников вузов на рабочих местах. Это позволит повышать качество работы сотрудников и увеличит их эффективность на производстве.

Помимо стандартизации процессов проектирования кабельных систем, в процессе проектирования необходимо применение современных средств автоматизированного проектирования (далее САПР). Использование САПР позволяет существенно сократить время, потраченное на проектирование устройства, формирование требуемой документации и выпуск изделия в серию. Помимо указанных преимуществ, современные средства САПР позволяют производить тестирование на механические и тепловые нагрузки.

Результатом работы должен быть проект методики разводки радиочастотных кабелей с указанием рекомендаций по выбору программного обеспечения, выделение основных этапов проектирования, а также рекомендации по подготовке и проведению процесса разработки.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1 Кабельные отсеки

Кабельный отсек – это блок, предназначенный для объединения кабелей в одну кабельную систему, либо объединение кабелей с целью подведения их к конечному устройству. Основной функцией, которую выполняют такие устройства, является хранение кабелей в упорядоченном состоянии. Это позволяет осуществлять быструю замену неработоспособных кабелей, переключение кабелей в конечном устройстве при необходимости, либо полный или частичный демонтаж кабельных конструкций.

Кабельные отсеки имеют различные конструкции. Наибольшее распространение получили модульные кабельные отсеки. Такой вид конструктивного исполнения позволяет осуществлять выбор конструкции отсека в зависимости от технического задания.

Подбор отсека осуществляется выбором конкретных деталей и их комбинаций. Различные стенки, рельсы, двери и прочие конструктивные части предоставляют разнообразие доступных вариантов конструктивных исполнений.

1.2 Программные инструменты для разводки кабелей

В настоящее время существуют технологии, позволяющие значительно ускорить процесс разводки кабелей в системе, что приводит к значительному ускорению инженерно – конструкторских работ. Такие инструменты осуществляют полную или частичную автоматическую разводку кабелей в системе. Массовому распространению таких систем способствует тот факт, что системе позволяют выполнять весь спектр инженерных задач в границах одного программного комплекса.

Рассмотрим наиболее известные системы, позволяющие осуществлять разводку кабелей. Важным моментом является тот факт, что программные инструменты должны иметь возможность выполнять разводку в объеме. [18, с. 1]

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Одной из наиболее функциональных программных комплексов является программа SolidWorks компании Dassault Systemes. Данный программный пакет позволяет осуществлять полный цикл инженерно – конструкторских работ, начиная с чертежей, заканчивая конечными изделиями в цифровом формате и проведением тестов на механические, тепловые и прочие воздействия. Главной отличительной чертой данной программы является простота работы с высокочастотными кабелями. Программа позволяет задавать длину и радиус изгиба кабельной сборки, что существенно сокращает время ан проектирование. Модуль, предназначенный для работы с кабелями, является многофункциональным и дает возможность осуществлять разводку труб и прочих элементов в изделии.

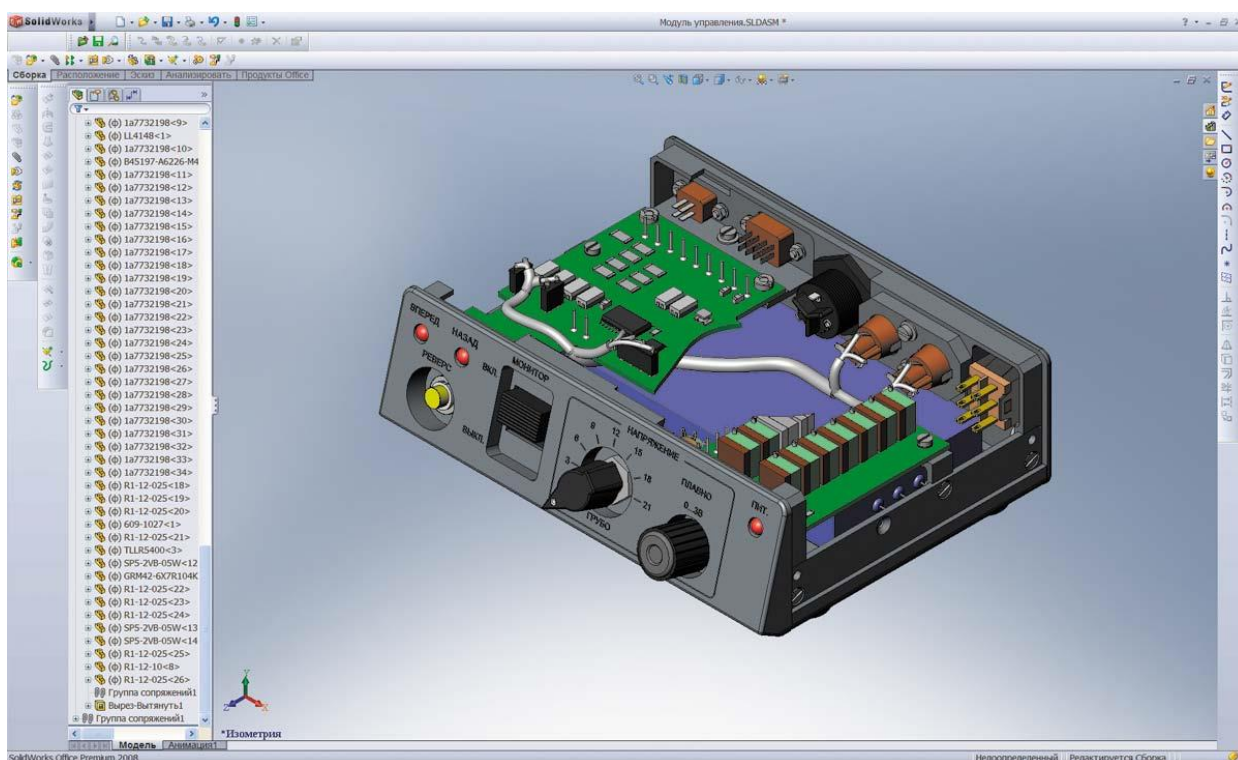


Рисунок 1 – Прокладка кабеля в блоке с использованием программы SolidWorks

Второй из наиболее популярных и востребованных программ является AutoCAD Inventor компании Autodesk. Интерфейс и функциональные возможности идентичны программе компании Dassault Systemes. Также имеет возможность производить трассировку кабеля в конечном устройстве. Есть возможность задавать изгиб и длину кабеля, что удобно при работе с

высокочастотными кабелями. Inventor также позволяет формировать полный комплект конструкторской документации в полностью автоматическом режиме, используя сборочный чертеж, схемы электрические и прочие документы.

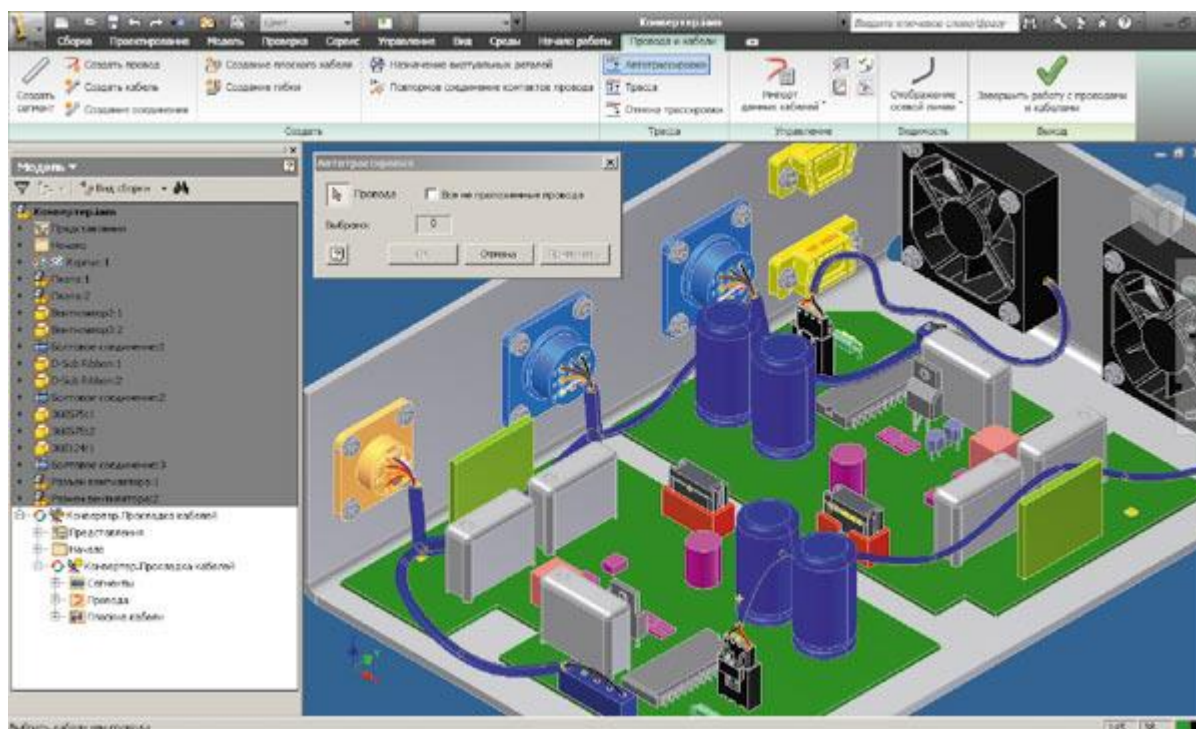


Рисунок 2 – Прокладка кабеля в блоке с использованием программы Autodesk Inventor

Третьей из наиболее распространенных на рынке CAD систем проектирования является программа T – FLEX компании TOP SYSTEMS. В ее арсенале, также как и в предыдущих программах, имеется модуль, предназначенный для прокладки кабелей в электронных устройствах.

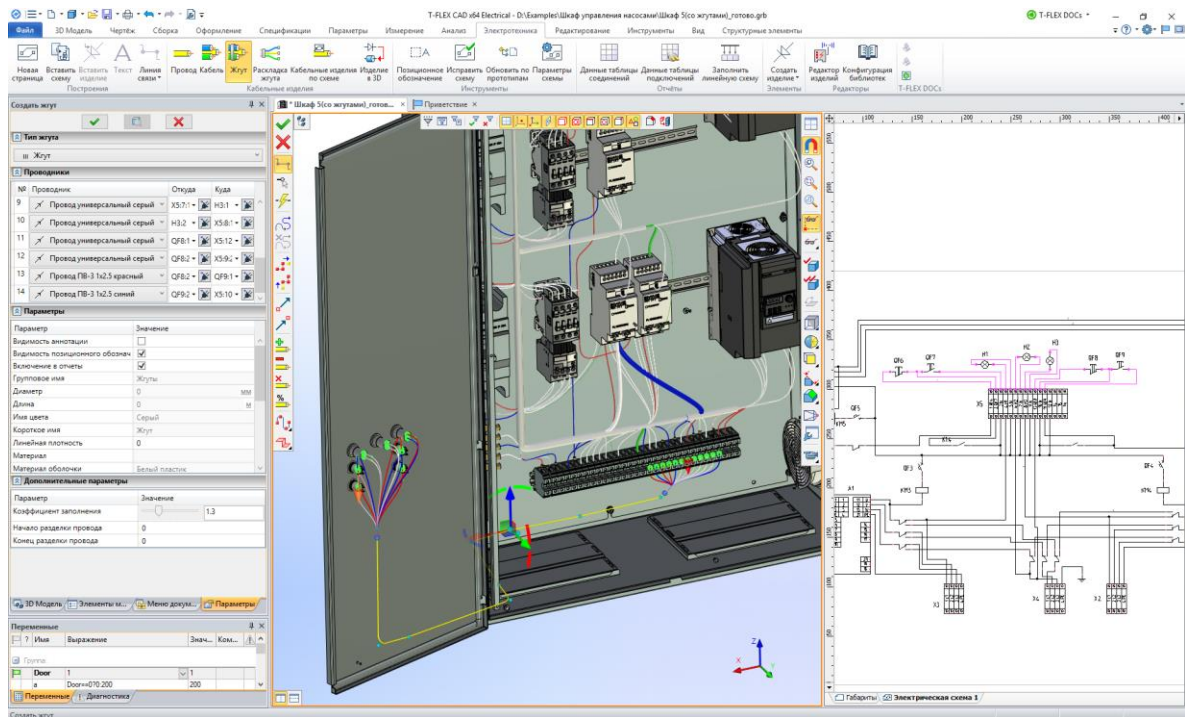


Рисунок 3 – Прокладка кабеля в блоке с использованием программы T – FLEX

Помимо рассмотренных программ, на рынке программных комплексов присутствуют и другие системы. К ним относятся такие программы, как Компас 4D, CATIA, CREO ELEMENTS. В основной массе каждая из них способна выполнять разводку кабелей. Отличие состоит в возможности учитывать необходимые параметры, выполнять полный набор конструкторских задач, начиная с получения технического задания и заканчивая выпуском готовой документации и уровне автоматизации проектирования. [18, с. 1]

1.3 Технологии защиты соединений кабеля и соединителя

В связи с необходимостью использования кабельных сборок в различных условиях работы, существует необходимость их защиты. Стоит учитывать, что защите должен подвергаться не только кабель или соединитель, а в целом сборка с учетом места сочленения кабеля и соединителя. Это позволяет увеличить износостойкость, а как следствие и срок службы изделия в сложных внешних условиях.

Для реализации возросших требований к параметрам радиочастотных кабелей и соединителей первостепенное значение имеет использование в них

диэлектриков с улучшенными механическими и электрическими свойствами и с повышенной радиационной стойкостью.

В настоящее время в распоряжении разработчиков кабелей и соединителей имеется значительное число изоляционных материалов.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

2 АНАЛИЗ КОММЕРЧЕСКИ ДОСТУПНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СБОРОК

2.1 Радиочастотные кабели диаметром от 2 до 5 мм

На сегодняшний день на рынке кабелей и кабельных сборок с кабелем диаметром от 2 до 5 мм присутствует множество производителей и вариантов. Это дает возможность осуществить подбор изделия, которое сможет обеспечить минимально необходимые параметры. Таким образом, появляется возможность производить устройства для различных целей и с различным функционалом. Стоимость кабеля зависит от материалов, из которых он сконструирован, от соединителя, который используется в кабельной сборке, и от параметров, которые этот кабель может обеспечить. [2, с. 3]

Таким образом, в процессе конструирования инженер формирует требования и проводит подбор необходимого кабеля. Рассмотрим доступные варианты кабелей, которые представлены на рынке. Также приведем параметры кабелей и сравним отечественные и их зарубежные аналоги.

Основными параметрами кабелей являются:

1. Волновое сопротивление;
2. Диапазон рабочих температур показывает значения температур, в которых кабель способен выдерживать заявленные параметры необходимое количество времени работы;
3. Коэффициент затухания показывает то, на сколько ослабится сигнал при прохождении каждого метра кабеля;
4. Внешний диаметр отражает геометрический размер кабеля.

Рассмотрим доступные коаксиальные кабели, диаметр которых находится в диапазоне от 2 до 5 мм. Данные кабели входят в категорию миниатюрных. Кроме того, первично рассмотрим кабели с обычной теплостойкостью. Кабелями с обычной теплостойкостью принято считать изделия с рабочим диапазоном максимальных температур от 70 до 100 градусов Цельсия. [2,с. 1]

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Таблица 1

Марка кабеля	Волн. сопр., Ом	Диапазон рабочих температур		Коэффициент затухания, не более, дБ/м, на частотах				Наружный диаметр
		min	Max	0.2 ГГц	1ГГц	3ГГц	10ГГц	
ПК 50-2-11	50±2	-60	+85	0,3	-	1,6	-	3,7±0,2
ПК 50-2-12	50±2	-60	+85	-	-	1,9	-	3,2±0,2
ПК 50-2-16	50±2	-60	+85	0,4	-	2	-	3,2±0,2
ПК 50-2-34	50±2	-60	+85	0,7	-	-	8	Не более 2,7
ПК 50-3-13	50±2	-40	+85	0,28	-	1,4	-	4,4±0,2

Помимо кабелей с обычной теплостойкостью, на рынке присутствуют изделия с повышенной теплостойкостью. Их максимальная рабочая температура находится в диапазоне от 125 до 250 градусов Цельсия. Параметры этих кабелей ничем не отличаются от кабелей с обычной теплостойкостью. В связи с этим, имеется возможность их наглядного сравнения с использованием одинаковых входных параметров. [17, с. 1]

Таблица 2

Марка кабеля	Волн. сопр., Ом	Диапазон рабочих температур		Коэффициент затухания, не более, дБ/м, на частотах				Наружный диаметр
		min	Max	0.2 ГГц	1ГГц	3ГГц	10ГГц	
ПК 50-1,5-21	50±2	-60	+200	-	-	1,5	-	2,4±0,2

Продолжение таблицы 2

ПК 50- 1,5-22	50±2	-60	+155	-	-	1,7	3,4	2±0,05
ПК 50- 1,5- 213	50±3	-60	+200	-	-	-	4	2,8±0,3
ПК 50- 2-21	50±2	-60	+250	0,3	-	1,5	-	3,2±0,25
ПК 50- 2-23	50±2	-60	+200	-	-	1,8	-	3,8±0,25

По имеющимся данным можно сделать вывод, что на рынке присутствуют множество производителей кабелей. Это дает возможность произвести подбор кабельной сборки, обеспечивающей необходимые параметры.

2.2 Соединители радиочастотные коаксиальные

В настоящее время множество производителей как зарубежных, так и отечественных занимаются изготовлением соединителей. В зависимости от целей и поставленных конструкторских задач есть возможность выбрать необходимые компоненты. Основными параметрами, рассматриваемыми при выборе соединителя, являются:

1. Волновое сопротивление соединителя;
2. Интерфейс;
3. КСВН;
4. Прямые потери;
5. Обратные потери;
6. Вносимые потери.

Используя заявленные параметры, рассмотрим доступные предложения на рынке соединителей. Рассмотрение начнем с отечественных производителей.

Таблица 3

Параметры	SMP-ВБМГП-Х-1- 327-1.С	SMP-РБНП-Х-1- 329	SMP-РБНП-Х-1- 328-1.С
Волновое сопротивление	50		
Интерфейс	SMP		
КСВН, не более	1,65	1,55	1,5
Прямые потери, не более	0,5		0,35

Для соблюдения корректности оценки при сравнении, выберем аналогичные зарубежные соединители для сравнения.

Таблица 4

Параметры	127-1711-601 Johnson-Emerson	Radiall R222.723.140	127-0901-801 Johnson-Emerson
Волновое сопротивление	50		
Интерфейс	SMP		
КСВН, не более	1,7	1,25	1,65
Вносимые потери, не более	$0,1\sqrt{F}$	$0,15\sqrt{F}$	$0,1\sqrt{F}$

Исходя из полученных данных на отечественные и зарубежные соединители, можно отметить соответствие параметров одних соединителей другим.

2.3 Технологии заделки кабелей в соединители

Под заделкой понимается монтаж кабелей в части соединителей. [1, с. 1]

Правильная заделка кабелей в части соединителей является основным условием надежности в эксплуатации соединителей при воздействии

механических, климатических факторов и в обеспечении соответствия электрическим параметрам.

На данный момент существует 15 типов заделки кабелей в контакт соединителей в зависимости от марок кабелей и конструкции заделки:

1. Тип 1 – заделка кабелей с полиэтиленовой изоляцией в контакт соединителя без вывода внешнего проводника на заземление;

2. Тип 2 – заделка кабелей с полиэтиленовой изоляцией в контакт соединителя с выводом внешнего проводника на заземление;

3. Тип 3 – заделка кабелей с полиэтиленовой изоляцией в контакт соединителя с применением наконечника по ОСТ 1.11405 – 74 без вывода внешнего проводника на заземление;

4. Тип 4 – заделка кабелей с полиэтиленовой изоляцией в контакт соединителя с применением наконечника по ОСТ 1.11405 – 74 с выводом внешнего проводника на заземление;

5. Тип 5 – заделка кабелей с изоляцией из фторопласта в контакт соединителя без вывода внешнего проводника на заземление;

6. Тип 6 – заделка кабелей с изоляцией из фторопласта в контакт соединителя с выводом внешнего проводника на заземление;

7. Тип 7 – заделка кабелей с изоляцией из фторопласта в контакт соединителя с применением наконечника по ОСТ 1.11405 – 74 без вывода внешнего проводника на заземление;

8. Тип 8 – заделка кабелей с изоляцией из фторопласта в контакт соединителя с применением наконечника по ОСТ 1.11405 – 74 с выводом внешнего проводника на заземление;

9. Тип 9 – заделка антивибрационного кабеля АВК – 2 в контакт соединителя с применением наконечника по ОСТ 1.11405 – 74 без вывода внешнего проводника на заземление;

10. Тип 10 – заделка антивибрационного кабеля АВК – 2 в контакт соединителя с применением наконечника по ОСТ 1.11405 – 74 с выводом внешнего проводника на заземление;

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

11. Тип 11 – заделка антивибрационного кабеля АВКТ – 4 в контакт соединителя с применением наконечника по ОСТ 1.11405 – 74 без вывода внешнего проводника на заземление;

12. Тип 12 – заделка антивибрационного кабеля АВКТ – 4 в контакт соединителя с применением наконечника по ОСТ 1.11405 – 74 с выводом внешнего проводника на заземление;

13. Тип 13 – заделка кабеля с полиэтиленовой изоляцией с переходным проводом при помощи переходника по ОСТ 1.14289 – 83;

14. Тип 14 – заделка кабеля с изоляцией из фторопласта в контакт соединителя к переходным проводам при помощи переходника по ОСТ 1.14289 – 83;

15. Тип 15 – заделка кабеля в контакт соединителя с переходным проводом при помощи переходника по ОСТ 1.14289 – 83 с выводом внешнего проводника на заземление.

2.4 Технологии маркировки кабельных сборок

Марки кабелей должны состоять из букв, означающих тип кабеля, и трех чисел (разделительных тире). Первое число означает значение номинального волнового сопротивления.

Второе число означает:

1. Для коаксиальных кабелей - значение номинального диаметра по изоляции, округленное до ближайшего меньшего целого числа для диаметров более 2 мм (за исключением диаметра 2,95 мм, который должен быть округлен до 3, и диаметра 3,7 мм, который округлять не следует);

2. Для кабелей со спиральными внутренними проводниками – значение номинального диаметра сердечника;

3. Для двухпроводных кабелей с проводниками в отдельных экранах - значение диаметра по изоляции, округленное так же, как и для коаксиальных кабелей;

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

4. Для двухпроводных кабелей с проводниками в общей изоляции или скрученных из отдельно изолированных проводников - значение наибольшего размера по заполнению или диаметра по скрутке. Третье двух- или трехзначное число означает: первая цифра - группу изоляции и категорию теплостойкости кабеля, а последующие цифры означают порядковый номер разработки. Кабелям соответствующей теплостойкости присвоено следующее цифровое обозначение:

- 1 – обычной теплостойкости со сплошной изоляцией;
- 2 – повышенной теплостойкости со сплошной изоляцией;
- 3 – обычной теплостойкости с полувоздушной изоляцией;
- 4 – повышенной теплостойкости с полувоздушной изоляцией;
- 5 – обычной теплостойкости с воздушной изоляцией;
- 6 – повышенной теплостойкости с воздушной изоляцией;
- 7 – высокой теплостойкости.

К марке кабелей повышенной однородности или повышенной стабильности параметров в конце через тире добавляют букву С. В марках кабелей, защитный покров которых относится к типам, предусмотренным ГОСТ 7006, в конце марки через тире должно быть указано буквенное обозначение типа брони. В технически обоснованных случаях допускается введение дополнительных буквенных обозначений, что должно быть оговорено в стандарте или технических условиях на кабель определенной марки. Условное обозначение при заказе должно состоять из марки кабеля, обозначения стандарта или технических условий на кабели определенных марок.

В рамках выпускной квалификационной работы рассмотрен метод маркировке. В качестве проекта предлагается маркировать кабели, длиной более метра в трех точка.

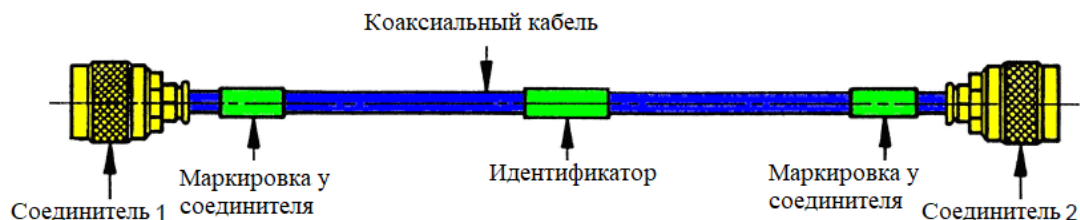


Рисунок 4 – Проект маркировки кабельных сборок

Маркировочные жгуты, расположенные вблизи соединителей должны содержать информацию о соединителе и краткие характеристики кабеля, включающие информацию о его волновом сопротивлении, радиусе сгиба, диаметре кабеля. Маркировочный жгут, расположенный в центре кабельной сборки должен содержать полную подробную информацию о кабельной сборке, включающую информацию о кабеле и использованных соединителях. Рекомендуется соединителям присваивать позиции «А» и «Б»

Такой метод маркировке позволит ускорить процесс сборки устройств при изготовлении.

3. РАЗВОДКА РАДИОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ И КОМПОНОВКА ФИДЕРНОГО ТРАКТА

3.1. Диаграммообразующая схема

Диаграммообразующая схема – устройство, разработанное человеком и используемое для формирования диаграммы направленности в пространстве.

Для демонстрации возможностей программного обеспечения воспользуемся разработанной диаграммообразующей схемой и произведем прокладку кабеля с использованием специального программного обеспечения.

Заданием выпускной квалификационной работы не предусматривает разработку полностью действующей диаграммообразующей схемы. В связи с этим, работоспособность полученной схемы не гарантируется. Схема используется для демонстрации работы с использованием разработанной методики и проверки ее возможностей.

Используемая диаграммообразующая схема представлена в приложении В.

3.2. Компоновка антенного отсека

Под компоновкой антенного отсека следует понимать размещение антенного комплекса и набора кабелей, необходимых для обеспечения корректной работы изделия, на плоскости корпуса антенной конструкции.

При размещении антенного комплекса рекомендуется соблюдать следующие рекомендации:

1. Размещение выполняется при строгом соблюдении конструктивных требований, полученных при разработке устройства;
2. Не допускается вносить изменения в конструкцию и менять расположения антенного комплекса или отдельных антенн, входящих в состав комплекса;
3. Конструкция обязана обеспечивать возможность ремонта или внесения изменений.

Ранее было отмечено, что в состав антенного отсека входят кабельные сборки, которые обеспечивают связь между антеннами и устройствами фидерного

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

тракта. К кабельным сборкам предъявляются не менее строгие требования, так как они обеспечивают передачу сигнала от генератора к антеннам и промежуточным устройствам, таким как: делители мощности, направленные ответвители, циркуляторы и т.д.

3.3. Разводка радиочастотных кабелей

Разводку кабеля в устройстве будем выполнять с использованием специализированного модуля компании Dessault Systems, поставляемого в составе программного комплекса SolidWorks. Данный модуль позволит учесть длину кабеля и минимальный радиус изгиба кабеля. Кроме того, разводка будет осуществлена в автоматическом режиме с возможностью последующей корректировки.

Осуществление разводки кабелей в антенном отсеке сопровождается последующим контролем за результатами и внесением дополнительных изменений в конструкцию. Благодаря дополнительным модулям, используемым при разводке ВЧ кабелей, ускоряется процесс контроля за соблюдением основных механических параметров кабелей: минимальный радиус изгиба, длина кабеля и т.д. Кроме того, приводится дополнительный набор команд, позволяющий на любом этапе конструирования произвести контроль за соблюдением требуемых характеристик. Пример разводки приведен в приложении Д.

3.4. Рекомендации по компоновке кабельного отсека

При производстве антенных комплексов, передающих и принимающих устройств, различного рода трактов возникает потребность в грамотной компоновке антенного отсека. Этот процесс предполагает формирование структуры, состоящей из кабельныхборок, которая обеспечит возможность сборки конечного устройства в короткие сроки. Кроме того, она должна давать возможность легкого доступа к узлам изделия для их замены в случае выхода из строя в процессе изготовления, настройки или эксплуатации на объекте. Данные требования являются основными при конструировании изделия. Тем не менее

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

можно выделить ряд второстепенных требований. Произведем формирование окончательного списка требований, предъявляемого к кабельному отсеку:

1. Кабельный отсек должен обеспечивать структурное размещение кабелей. Не допускается перекручивание кабелей, их изгибы и заломы;
2. В компоновке кабельного отсека должна обеспечиваться возможность быстрой сборки устройства с минимальной вероятностью ошибки;
3. При компоновке устройства должна учитываться возможность быстрой замены узлов при их выходе из строя. Следует отметить, что быстрая замена предполагает выполнение данной операции как в условиях сборочной линии, так и в условиях эксплуатации на удаленных станциях или полигонах;
4. Не допускается наличие, в кабельных отсеках, свободно висящих или сильно провисающих кабелей, посторонних стяжек или креплений, не предусмотренных заводом изготовителем, свободно открытых разъемов устройств, не использующихся в данной конструкции;
5. Кабельный отсек должен быть плотно изолирован от внешнего воздействия и отвечать заявленным параметрам по механическим и климатическим критериям прочности.

Соблюдение данных пунктов позволит сократить вероятность выхода из строя устройства. Кроме того, позволит существенно упростить процесс ввода в эксплуатацию нового изделия и процесс использования его на объекте.

3.5. Расчет потерь в фидерном тракте

Потери при передаче сигнала от передатчика к антенне или от антенны к входу радиоприемного устройства (РПУ) складываются из потерь непосредственно в антенно-фидерном тракте (АФТ) и потерь рассогласования АФТ с антенной или входом РПУ.

Для АФТ обычно известна марка кабеля или волновода, используемого для передачи поступающих в него сигналов, и, следовательно, известны погонные

										Лист
										26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ					

потери в тракте $\delta(f)$ [дБ/м], которые в общем случае зависят от частоты. Потери в АФТ легко определить, используя уравнение:

$$L_{\text{АФТ}}(f) = l_{\text{АФТ}} \delta(f), \quad (1)$$

где $L_{\text{АФТ}}(f)$ – потери в АФТ на частоте f , дБ; $l_{\text{АФТ}}$ – длина кабеля или волновода АФТ, м.

Потери рассогласования имеют место, если сопротивление нагрузки антенно-фидерного тракта (входное сопротивление приемника или сопротивление антенны) не согласовано с волновым сопротивлением тракта. Добиться точного согласования нагрузки с волновым сопротивлением кабеля во всем диапазоне рабочих частот практически невозможно. Рассогласование приводит к тому, что часть мощности, передаваемой по тракту, не поступает в нагрузку, отражаясь от нее. В качестве характеристики, определяющей степень согласования АФТ с нагрузкой, используется коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН). Обозначим его ρ . По определению

$$\rho = \frac{U_{\text{max}}}{U_{\text{min}}}, \quad (2)$$

где U_{max} – значение напряжения в максимуме стоячей волны; U_{min} – значение напряжения в минимуме стоячей волны.

Учитывая, что

$$\begin{aligned} U_{\text{max}} &= |U_{\text{max}}^+| (1 + |\Gamma|) \\ U_{\text{min}} &= |U_{\text{max}}^+| (1 - |\Gamma|), \end{aligned} \quad (3)$$

где $|U_{\text{max}}^+|$, $|U_{\text{max}}^-|$ – максимальные значения падающей и отраженной волн, соответственно; $|\Gamma| = \frac{|U_{\text{max}}^-|}{|U_{\text{max}}^+|}$ – модуль коэффициента отражения, можно установить связь между КСВН ρ и коэффициентом отражения $|\Gamma|$:

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$\rho = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (4)$$

При рассогласовании линии передачи (АФТ) с нагрузкой мощность P , поступающая в нагрузку:

$$P = P^+ - P^- = P^+ \left(1 - \frac{P^-}{P^+}\right), \quad (5)$$

где P^+ – мощность, подводимая к нагрузке; P^- – мощность, отраженная от нагрузки.

Так как

$$\frac{P^-}{P^+} = \frac{|U^-|^2}{|U^+|^2} = |\Gamma|^2, \quad (6)$$

то

$$P = P^+(1-|\Gamma|^2) \quad (7)$$

$$P = P^+ \frac{4\rho}{(\rho+1)^2} \quad (8)$$

Таким образом, множитель

$$q = \frac{4\rho}{(\rho+1)^2} \quad (9)$$

определяет долю мощности от полной мощности в линии передачи, которая поступает в нагрузку. Соответственно, потери мощности, выраженные в децибелах и вызванные рассогласованием, можно оценить как

$$Q = 10\lg(q) = 10\lg\left(\frac{4\rho}{(\rho+1)^2}\right) \quad (10)$$

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

В полосе рабочих частот антенны обычно известно максимальное значение КСВН, что позволяет использовать формулу для оценки максимальных потерь сигналов в этой полосе частот. Для частот за пределами рабочего диапазона потери на рассогласование в общем случае могут быть получены на основании измерений коэффициента отражения в АФТ. В этом случае, как следует

$$q = 1 - |\Gamma|^2 \quad (11)$$

или в децибелах $Q = 10 \lg(q)$.

При отсутствии данных о коэффициенте отражения для ситуации наихудшего случая может быть сделано допущение, которое в определенной степени подтверждается экспериментом, что для антенн с относительно невысоким коэффициентом усиления рассогласование на частотах выше верхней граничной частоты остается не хуже, чем в рабочем диапазоне частот. Для частот ниже нижней граничной частоты $f_{гр1}$ рабочего диапазона

$$Q = 20 \lg \left(\frac{f}{f_{гр1}} \right), \text{ дБ} \quad (12)$$

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

4 ИССЛЕДОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ СБОРОК

Кабельная сборка – это законченное изделие, состоящее как единое целое из кабеля(ей) и соединителя(ей), с дополнительной защитой либо без нее, имеющее установленные (нормативные) параметры. Общие требования и методы испытаний кабельныхборок описаны в стандарте МЭК 60966-1, 1999 г. (IEC. Inernational standard. Radio frequency and coaxial cable assemblies – Part 1: Generic specification – General requirements and test methods). Кроме того, в стандартах указывается и иное определение понятию «кабельная сборка»: сочетание кабеля и соединителя (ей) с дополнительной защитой и маркировкой либо без них, имеющее установленные технические характеристики.

Область использования: радиоэлектронная аппаратура, измерительные и испытательные приборы, магистральные кабельные сборки антенно-фидерных устройств с низкими потерями, кабельные перемычки (джамперы и пигтейлы) для соединений с оконечными устройствами и блоками.

Кабельные сборки можно разбить на некоторые категории:

1. Гибкая кабельная сборка — сборка, в которой кабель может подвергаться многократным изгибам;
2. Полугибкая кабельная сборка — сборка, не предназначенная для многократных изгибов кабеля при эксплуатации, но для которой допустимы изгибы или формование, облегчающие монтаж;
3. Полужесткая кабельная сборка — сборка, не предназначенная для изгибов или перегибов после изготовления. Любые изгибы или перегибы при монтаже или эксплуатации могут ухудшить ее рабочие характеристики.

4.1. Сравнение паспортных характеристик

В состав кабельныхборок входят две составные части: кабель и соединитель. Их соединение обеспечивают технологии заделки, рассмотренные ранее. Рассмотрим доступные радиочастотные кабели и соединители, сравним их параметры и выделим наиболее важные пункты.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Ранее были рассмотрены некоторые параметры кабельных сборок. Для полного рассмотрения и обеспечения достоверности изучения кабельных сборок, уточним параметры, характеризующие рассматриваемые изделия:

1. Номинальное волновое сопротивление и предельные отклонения от него. Для сборок специального назначения важна также однородность волнового сопротивления по длине сборки.

2. Диапазон рабочих частот. Кабельную радиочастотную сборку можно использовать на любых частотах, начиная с постоянного тока. Однако на высоких частотах, наряду с основной Т (ТЕМ)-волной, в коаксиальной линии могут возбуждаться нежелательные волны высших порядков. Поэтому диапазон рабочих частот сборки ограничивают верхней частотой применения. Верхняя частота применения кабельной сборки зависит от предельных частот кабеля и соединителей и ограничена меньшей предельной частотой одного из них..

3. Коэффициент затухания α на заданной частоте при 20 °С и его изменение при воздействии температуры. Коэффициент затухания сборки складывается из коэффициентов затухания кабеля и каждого соединителя. Эти данные приведены в спецификациях на кабель и соединители.

4. Коэффициент стоячей волны по напряжению — КСВн. КСВн кабельной сборки зависит от КСВн кабеля и соединителей.

5. Затухание экранирования. Эффективность экранирования кабельной сборки определяется конструкцией кабеля, но может быть ограничена и конструкцией соединителей.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31



Рисунок 5 – Измерительный комплекс для измерения затухания экранирования кабелей и кабельных сборок

6. Электрическая длина кабельной сборки в электрических градусах,°.

Радиочастотный сигнал, проходящий через сборку, можно представить в виде вращающегося вектора напряжения, угловая скорость которого равна 360 – кратной величине частоты

7. Скорость распространения сигнала в кабельной сборке V_p .

Скорость распространения V_p показывает, какую долю скорость распространения электромагнитной волны в кабельной сборке составляет от скорости ее распространения в вакууме.

При увеличении V_p достигается меньшая величина потерь в кабеле, так как величина ε приближается к 1 — к диэлектрической проницаемости воздуха. В лучших современных кабелях кордельной конструкции величина V_p достигает 88% . Зная скорость распространения V_p , можно вычислить величину эквивалентной диэлектрической проницаемости кабельной сборки ε и её электрическую длину Ψ .

Электрическая длина сборки Ψ , выраженная в электрических градусах, показывает, насколько изменилась фаза сигнала на выходе сборки относительно сигнала на входе. Изменение величины Ψ зависит от факторов, влияющих на кабельную сборку, прежде всего от температуры и механических воздействий. Для численной оценки таких изменений вводится понятие фазовой стабильности кабеля при конкретном дестабилизирующем воздействии.

Температурно-фазовая характеристика является наиболее информативным параметром при оценке фазовой стабильности кабеля и, соответственно, кабельной сборки из этого кабеля. В отечественных общих технических условиях

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ

на радиочастотные кабели отдельным пунктом введён параметр «температурный коэффициент фазы».

8. Температурный коэффициент фазы (ТКФ) — это относительное изменение электрической длины кабеля Ψ при изменении температуры на 1°C . ТКФ измеряют в температурных диапазонах, указанных в стандартах или технических условиях на кабели конкретных марок.

В зарубежной технической литературе ТКФ выражают в относительных безразмерных единицах ppm (part pro million) — в миллионных долях.

9. Диапазон рабочих температур. При эксплуатации кабельные сборки должны быть устойчивы к воздействию смены температур. Максимально допустимой температурой кабельной сборки считают максимально допустимую температуру ее наименее нагревостойкого элемента, устанавливающуюся вследствие нагрева окружающей средой и передаваемой по сборке мощностью. Диапазон рабочих температур сборки всегда указывают в ее спецификации.

10. Зависимость изменения фазы от изгиба кабеля. При испытаниях на изгиб большинство европейских компаний руководствуются рекомендациями стандартов IEC (МЭК). Стандарт рекомендует производить 2 изгиба на 180° по часовой и против часовой стрелки с выпрямлением в исходное положение после каждого изгиба. Другие компании руководствуются рекомендациями стандарта MIL-C-17. Например, компания Micro-Coax в соответствии с этим стандартом использует однократный изгиб кабеля на 360° (намотку) вокруг цилиндрической оправки.

Наряду с приведённой выше характеристикой изменения фазы от изгиба большинство производителей кабельных сборок гарантируют сохранение электрических параметров кабельных сборок, кроме изменения фазы, и после других видов деформации. Так, например, в спецификации для кабеля UFA210В компании Micro-Coax установлены следующие критерии [6]:

1. Минимальный статический радиус изгиба кабеля с внешним диаметром $5,33 \pm 0,13$ мм должен быть $> 9,65$ мм. При однократной намотке

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

кабеля на 360° вокруг оправки диаметром 12,7 мм волновое сопротивление кабеля не должно изменяться более чем на 0,5 Ом.

2. Минимальный динамический радиус изгиба кабеля равен 50,8 мм. Кабель должен выдерживать 250 000 перегибов с углом $\pm 90^\circ$ вокруг оправки диаметром 101,6 мм (так называемый «тик-так тест»). После этого значения КСВн и затухания не должны превышать величин, гарантированных для данной кабельной сборки.

3. Кабель должен выдерживать 25 000 естественных перегибов (прочность кабеля на изгиб, «змейка-тест») с соблюдением аналогичных требований к КСВн и затуханию.

11. Степень согласования кабельных сборок по фазе.

Этот параметр особенно важен для фазоидентичных кабельных сборок. Существуют абсолютное и относительное согласование по фазе кабельных сборок. Абсолютное согласование состоит в согласовании двух или более сборок до абсолютной электрической длины, включая допуск. Относительное согласование состоит в совпадении двух или более сборок по отношению друг к другу, а не по отношению к абсолютной электрической длине. Минимальный допуск на идентичность фазовых характеристик упомянутых кабельных сборок из кабеля UFA210B составляет $(\pm 0,5)^\circ/\Gamma\Gamma\text{ц}$.

Величины допуска на идентичность фазы других производителей кабельных сборок зависят от конструктивного решения используемых кабелей. Наилучший результат — $(\pm 0,4)^\circ/\Gamma\Gamma\text{ц}$.

В ряде специальных применений кабельных сборок, например, для модулей фазированных антенных решёток и измерительных систем, имеют значение и другие дополнительные параметры, характеризующие степень стабильности фазовых характеристик кабельных сборок.

12. Радиационная стойкость кабельных сборок.

Радиационная стойкость — это способность изделий и материалов сохранять исходный химический состав, структуру и свойства при воздействии ионизирующих излучений (ГОСТ 18298-79 «Стойкость аппаратуры,

										Лист
										34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ					

комплектующих элементов и материалов радиационная»). Она существенно зависит от вида радиации, величины и мощности поглощенной дозы, режима облучения (непрерывное или импульсное, кратковременное или длительное), размеров изделия и его удельной поверхности, условий эксплуатации (температура, давление, механические нагрузки, магнитное и электрическое поле) и других факторов. Количественной характеристикой радиационной стойкости служит допустимая величина поглощенной дозы излучения (Мрад, Грей), при котором материал становится непригодным для конкретных условий применения или до заданной степени меняет значение какого – либо характерного параметра. Для полимеров такими параметрами чаще всего являются пределы прочности и текучести. Для радиочастотных кабелей не менее важно изменение диэлектрических свойств изоляции при воздействии облучения.

4.1.1. Радиочастотных кабелей диаметром от 2 до 5 мм

Радиочастотные кабели являются одной из основных составных частей радиоэлектронных устройств, в том числе и антенных. Ранее были кратко рассмотрены некоторые производители и кабели, которые они выпускают. Для более детального сравнения произведем выбор одной отечественной модели и одной зарубежного производства.

В качестве отечественного производителя выберем кабель марки РК – 50 – 7 - 35.

Для обеспечения корректности сравнения паспортных характеристик подберем аналогичный кабель иностранного производства. Это позволит определить как положительные, так и отрицательные характеристики и сравнить изделия.

В качестве зарубежного производителя выберем кабель марки РК – 50. В соответствии с ГОСТ 11326. – 79 при маркировке кабеля используются 5 позиций:

1. Тип кабеля. Выделяют три основных типа кабелей: радиочастотный коаксиальный (РК), радиочастотный двухпроводной (РД) и радиочастотный излучающий (РИ).

									Лист
									35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ

2. Номинальное значение волнового сопротивления. Значение приводится в Ом.

3. Номинальный диаметр по изоляции. Измеряется в мм. Для РК, РИ, РД с проводниками в отдельных экранах, для РД с проводниками в общей изоляции или скрученных из отдельно изолированных проводников — наибольший размер по заполнению или наибольший диаметр по скрутке.

4. Категории теплостойкости и группа изоляции кабеля выделяют следующие группы:

- 1 — обычная теплостойкость со сплошной изоляцией;
- 2 — повышенная теплостойкость со сплошной изоляцией;
- 3 — обычная теплостойкость с полувоздушной изоляцией;
- 4 — повышенная теплостойкость с полувоздушной изоляцией;
- 5 — обычная теплостойкость с воздушной изоляцией;
- 6 — повышенная теплостойкость с воздушной изоляцией;
- 7 — высокая теплостойкость.

5. Порядковый номер разработки. Включает в себя дополнительные буквы в марке:

С — повышенной однородности волнового сопротивления, с нормируемыми фазотемпературными и фазомеханическими характеристиками;

Н — внешний проводник в виде продольно уложенных проволок;

Т — в тропическом исполнении;

Г — герметично выполненный внешний проводник.

Приведем пример обозначения кабеля и расшифруем его аббревиатуру. Кабель РК 75 – 1,5 – 24 ТУ 16.К76 – 183 – 2002: кабель радиочастотный коаксиальный с номинальным волновым сопротивлением 75 Ом, со сплошной изоляцией повышенной теплостойкости, номинальным диаметром по изоляции 1,5 мм и номером разработки 4. Выпускается с характеристиками, нормированными в ТУ 16.К76-183-2002.

Рассмотрим кабели компании «ОКБ КП».

										Лист
										36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ					

Компания предлагает кабели диаметром от 1 мм и более 11,5 мм. Волновое сопротивление выпускаемых кабелей составляет 50 Ом, либо 75 Ом. В таблице приведены параметры кабелей диаметром от 2 до 5 мм. [2, с. 3]

Таблица 5

Марка кабеля	Волн. сопр., Ом	Диапазон рабочих температур		Коэффициент затухания, не более, дБ/м, на частотах				Наружный диаметр
		min	Max	0.2 ГГц	1ГГц	3ГГц	10ГГц	
PK 50-2-11	50±2	-60	+85	0,3	-	1,6	-	3,7±0,2
PK 50-2-12	50±2	-60	+85	-	-	1,9	-	3,2±0,2
PK 50-2-16	50±2	-60	+85	0,4	-	2	-	3,2±0,2
PK 50-2-34	50±2	-60	+85	0,7	-	-	8	Не более 2,7
PK 50-3-13	50±2	-40	+85	0,28	-	1,4	-	4,4±0,2

В качестве аналога зарубежного производства рассмотрим кабели фирмы Radial. Компания занимается выпуском коаксиальных кабелей сопротивлением 50, 75, 93, 125 Ом. Радиус внешней оплетки начинается от 0,5 мм и превышает 25 мм.

Таким образом, можно заключить, что иностранные производитель осуществляет выпуск кабелей и кабельных сборок более широкого диапазона. Это существенно сказывается на применимости в различных устройствах. Тем не менее кабели сопротивлением 50 Ом, 75 Ом являются распространенными и применяются во множестве радиотехнических средств.

4.1.2. Радиочастотных соединителей

Соединители предназначены для эксплуатации в электрических цепях радиочастотных трактов. Для рассмотрения используем соединители,

изготавливаемые во всеклиматическом исполнении по ГОСТ В 20.39.404 – 81 для отечественных изделий и зарубежные аналоги. Для соединителей определены такие параметры, как:

1. Рабочее напряжение в нормальных условиях;
2. Сопротивление контактов;
3. Диапазон рабочих температур.

Помимо вышеперечисленных параметров существуют и прочие данные, описанные в техническом паспорте на изделие.

Сравнение параметров будем производить на основе сравнения отечественного изделия и его зарубежного аналога. Это позволит произвести детальное сравнение двух изделий и выявить преимущества и недостатки соответствующих изделий. Рассмотрение начнем с отечественных изделий.

4.2. Расчет характеристик кабельных сборок

Рассмотрим характеристики, используемые при описании кабельных сборок, и методы их получения.

4.2.1. Фазовая длина

При расчете характеристик кабельных сборок следует учитывать фазовую длину. Данный параметр отражает изменение фазы при прохождении сигнала от входа кабеля до его выхода. Таким образом, фазовую длину можно вычислить по формуле :

$$l_{\varphi} = \frac{l}{\lambda} \cdot 360^{\circ}, \quad (13)$$

где

l_{φ} – фазовая длина;

l – физическая длина кабеля;

λ – длина волны в кабеле.

При расчете фазовой длины кабеля следует учитывать коэффициент укорочения кабеля. Он показывает во сколько раз скорость распространения

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

сигналов в линии меньше скорости света в вакууме. Вычислить его можно по формуле, приведенной далее:

$$g = \frac{C}{f \cdot \sqrt{\xi_r}}, \quad (14)$$

где

C – погонная емкость линии передачи;

f – частота сигнала в линии передачи;

ξ_r – значение диэлектрической проницаемости.

4.2.2. Величина ослабления коэффициента передачи

Коэффициент передачи (также коэффициент преобразования) — отношение мощности, напряжения или тока на выходе той или иной системы, предназначенной для передачи электрических сигналов, соответственно, к мощности, напряжению или току на входе системы. [20, с. 1]

Для расчета величины коэффициента передачи кабельной сборки, представим ее в виде четырехполюсника. Таким образом, задача сводится к нахождению коэффициента передачи четырехполюсника. Данная задача является решенной и имеет точную формулу нахождения коэффициента передачи:

1. Коэффициент передачи по току

$$K(j\omega) = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = K(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}, \quad (15)$$

где

j – мнимая единица;

ω – циклическая частота;

$I_{\text{вых}}$ – амплитуда тока сигнала на выходе;

$I_{\text{вх}}$ – амплитуда тока сигнала на входе;

φ – фаза сигнала.

2. Коэффициент передачи по напряжению

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

$$K(j\omega) = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = K(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}, \quad (16)$$

где

j – мнимая единица;

ω – циклическая частота;

$U_{\text{вых}}$ – амплитуда напряжения сигнала на выходе;

$U_{\text{вх}}$ – амплитуда напряжения сигнала на входе;

φ – фаза сигнала.

4.2.3. Погонная емкость

ГОСТ 11326.0-78 "Кабели радиочастотные"

п. 4.3.7 Электрическая емкость кабеля и емкостная асимметрия должны быть измерены на частотах 800 Гц или более. Измерение должны быть произведены с помощью моста переменного тока или другого прибора, который может быть применен для измерения емкости на указанных частотах с погрешностью не более +1%.

4.2.4. Допустимая мощность

Под допустимой мощностью кабельной сборки понимается мощность, которую можно передавать по кабелю и соединителю без искажения или потери сигнала. В данном понятии выделяют два подпункта: пиковая и средняя мощность.

Пиковая мощность передающей линии ограничивается напряжением пробоя между внутренним и наружным проводником. Напряжение пробоя не зависит от частоты и определяется видом диэлектрика или давлением и типом газа для кабеля с воздушным диэлектриком. Пиковая мощность, указанная в параметрах кабелей, дана для следующих условий: КСВН=1, отсутствие модуляции, и для кабелей с воздушным диэлектриком - нормальном давлении (уровень моря) абсолютно сухого воздуха.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Средняя мощность передаваемая по кабелю ограничивается максимально допустимой температурой нагрева внутреннего проводника. Эта температура ограничивается типом диэлектрика. Средняя мощность дана для следующих стандартных условий: КСВН=1, нормальное давление и температура окружающего воздуха 40°C.

Из вышесказанного следует, что при расчете мощности, передаваемой по кабельной сборке, следует учитывать:

1. Температуру окружающей среды;
2. Уровень солнечной радиации;
3. Высоту над уровнем моря (давление);
4. Тип сигнала;
5. КСВН конечной нагрузки.

4.3. Анализ внешних воздействий на кабельную сборку

Одним из видов тестирования моделей кабельных сборок с использованием современных САПР является тестирование на воздействие тепла и холода, а также на воздействие вибрации. Такие виды тестирования позволяют произвести необходимые минимальные изменения в конструкцию еще на этапе проектирования изделия. Это дает возможность существенно сократить время при тестировании уже готовых изделий, а как следствие увеличить скорость перехода изделия из прототипа в стадию массового производства.

4.3.1. Воздействие тепла и холода

Первым вариантом тестирования кабельной сборки является изучение влияния различных климатических факторов на продукцию. Так как кабели и соединители проектируются с учетом использования их в различных климатических поясах с различными факторами внешнего воздействия, то необходимо учесть это еще на стадии разработки изделия. Таким образом, тестирование виртуальной модели позволяет производить необходимые замеры еще в виртуальном варианте.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

4.3.2. Воздействие вибрации

Воздействие вибрации на готовую кабельную сборку является вторым важным этапом тестов, производимых с моделями и прототипами кабельных сборок. В связи с различной направленностью использования кабелей и соединителей, при изготовлении в паспорте указываются максимально допустимые параметры сборки. При превышении допустимых нагрузок производитель в праве снимать изделие с гарантии.

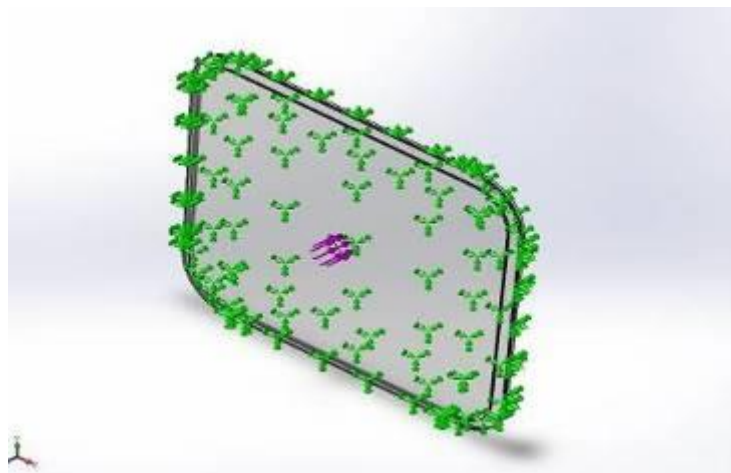


Рисунок 6 – Задание сетки для моделирования нагрузки

4.4. Измерение характеристик кабельных сборок до и после термоциклирования

Рассмотрим параметры кабельных сборок. Для более точной оценки характеристик произведем термоциклирование. Процесс предполагает испытание на циклическое воздействие смены температур (от предельно пониженной до предельно повышенной).

4.4.1. Величина коэффициента стоячей волны

Коэффициент стоячей волны – отношение наибольшего значения амплитуды напряжённости электрического или магнитного поля стоячей волны в линии передачи к наименьшему.

КСВ определяется качеством согласования нагрузки с линией передачи (фидером). КСВ в линии передачи не зависит от внутреннего сопротивления

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

источника электромагнитной волны (генератора) и (в случае линейной нагрузки) от мощности генератора. Значение КСВ в однородной линии передачи без потерь постоянно по всей длине линии передачи и не зависит от её длины. КСВ влияет на:

1. КПД системы «линия передачи — нагрузка»;
2. максимальное значение передаваемой по линии мощности;
3. режим работы генератора.

4.4.2. Величина ослабления коэффициента передачи

Коэффициент передачи – отношение мощности, напряжения или тока на выходе той или иной системы, предназначенной для передачи электрических сигналов, соответственно, к мощности, напряжению или току на входе системы. Таким образом, данный параметр является отражением изменения коэффициента передачи кабельной сборки до и после термоциклирования.

4.5. Статистическая обработка данных эксперимента

В качестве эксперимента, проведен измерение необходимых параметров кабельной сборки и рассчитаем значение температурного коэффициента фазы и температурный коэффициент затухания.

Под температурным коэффициентом фазы (ТКФ) $1/10^6 \cdot$ град понимают относительное изменение коэффициента фазы (электрической длины кабеля) при изменении температуры на $1 \text{ }^\circ\text{C}$. ТКФ должен быть измерен в температурных диапазонах, указанных в стандартах или технических условиях на кабели определенных марок и вычислен по формуле

$$TK\Phi = \frac{\Delta\varphi \cdot c}{360^\circ \cdot \xi \cdot l \cdot f \cdot \Delta T}, \quad (17)$$

где $\Delta\varphi$ - абсолютное изменение электрической длины кабеля, электрические градусы;

c - скорость света в свободном пространстве, равная 299780000 м/с ;

f - частота измерений, МГц;

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

ξ - коэффициент укорочения длины волны в кабеле;

l - физическая длина кабеля, м;

ΔT - диапазон температур, в котором проводят измерение, °С.

Для определения ТКФ рекомендуется метод измерения изменения фазы коэффициента передачи исследуемого кабеля по двухканальной схеме с эталонным кабелем в опорном канале, равным по электрической длине исследуемому. Погрешность измерения фазы коэффициента передачи не должна превышать 10 %.

Под температурным коэффициентом затухания (ТКЗ) понимают относительное изменение коэффициента затухания при изменении температуры кабеля на 1 °С. Температурный диапазон (или поддиапазоны), частота, на которой производят оценку (измерение), нормируемая или справочная величина ТКЗ должны быть указаны в стандартах или технических условиях на кабели определенных марок. Для измерения рекомендуется использовать двухканальные схемы с опорными измерительными каналами.

Два образца кабеля одинаковой длины включают в канал схемы. При этом измеряемый образец кабеля помещают в термостат, подвергая его воздействию температуры в заданном диапазоне, измеряют изменение коэффициента затухания по отношению к опорному образцу. Значение ТКЗ вычисляют по формуле

$$TKZ = \frac{\Delta\alpha}{\alpha \cdot \Delta T} \cdot 10^3, \quad (18)$$

где α - коэффициент затухания кабеля при нормальных условиях на заданной частоте, дБ/м;

$\Delta\alpha$ - изменение коэффициента затухания при воздействии температуры, дБ/м;

ΔT - температурный интервал, °С.

Расчеты проведен с использованием программного пакета Matlab. Листинг программы приведен в приложении А. Полученные результаты оформим в виде таблицы. Расчет произведем для кабеля РК – 50 – 7 – 35. Длина кабеля 92,5 метра.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Коэффициент укорочения равен 1,1 дБ/м. Перепад температур составляет 42 градуса.

Исходные данные измерений приведены в таблице 6

Таблица 6

Частота, МГц	S_{21} , Дб, при $t = -19^{\circ} \text{C}$	S_{21} , Дб, при $t = +21^{\circ} \text{C}$	ΔS_{21} , Дб
100	-0,0466	-0,053	-0,0064
1000	-0,2349	-0,233	0,0019

Таблица 7

Частота, МГц	ТКФ, $1/(10^6 \cdot ^{\circ}\text{C})$
100	15,8495
1000	16,9302

4.6. Документация на кабельную сборку

Изделия, выпускаемые с завода, имеют документацию, которая несет в себе информацию о параметрах сборки, допустимых нагрузках, параметров входных и выходных сигналов, сопротивлений, а также величинах ослабления сигнала. Все данные прописываются в паспорте на изделие. В некоторых случаях допускается поставка кабелей с сертификатом соответствия ГОСТ и указанием на наличие характеристик, заявленных продавцом. Пример паспорта, поставляемого в комплекте с кабельной сборкой приведен на рисунке 6, рисунке 7.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

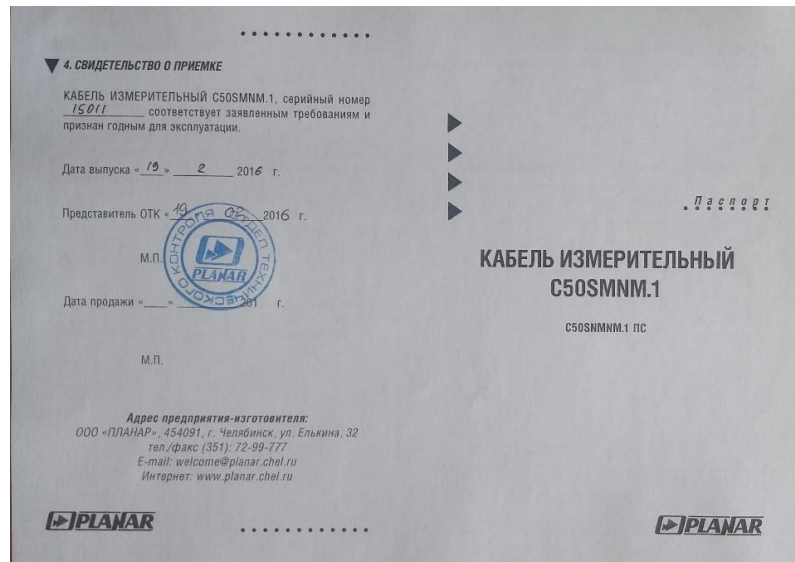


Рисунок 7 – Пример паспорта на кабель

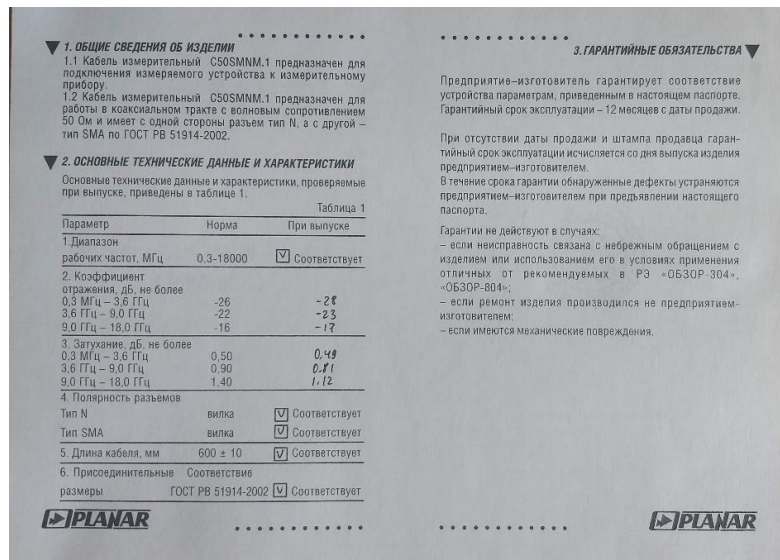


Рисунок 8 – Пример паспорт на кабель

4.6.1. Протокол измерений

Протокол измерений – документ, содержащий результаты проделанной работы по измерениям объема и/или контролю качества. Он должен отражать максимально допустимое и необходимое количество измеренных параметров, которое обеспечит возможность дать качественную оценку используемому кабелю, соединителю и кабельной сборке.

Допустимый вариант рассматриваемых в протоколе измерений параметров приведен далее:

1. Волновое сопротивление;
2. Погонное ослабление на разных частотах;
3. Погонная ёмкость;
4. Погонная индуктивность;
5. Коэффициент укорочения;
6. Диаметр центральной жилы;
7. Внутренний диаметр экрана;
8. Внешний диаметр оболочки;
9. Коэффициент стоячей волны;
10. Максимальная передаваемая мощность;
11. Максимальное допустимое напряжение;
12. Минимальный радиус изгиба кабеля.

4.6.2. Этикетка

Маркировка кабельных сборок осуществляется с целью предоставления параметров об изделии и его составных частей. Это дает возможность осуществлять поиск аналогичных изделий, либо соответствующих по параметрам.

Маркировка кабельной сборки состоит из 6 частей:

1. Обозначение типа кабельной сборки;
2. Значение волнового сопротивления;
3. Тип используемого кабеля;
4. Геометрическая длина использованного кабеля;
5. Тип соединителя А по ГОСТ РВ 51914 – 2002 и ГОСТ 20265 – 83;
6. Тип соединителя Б по ГОСТ РВ 51914 – 2002 и ГОСТ 20265 – 83.

Параметры, указанные в наименовании кабельной сборки, формируются в процессе разработки кабельной сборки и ее изготовления.

										Лист
										47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ					

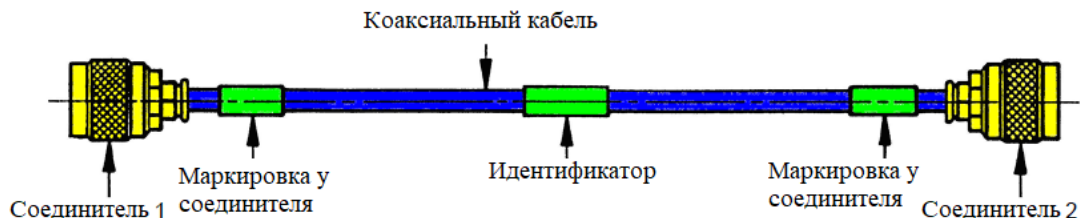


Рисунок 9 – Схема нанесения этикеток на коаксиальный кабель

4.6.3. Схема отсчета длин кабельных сборок

Геометрическая длина кабельной сборки определяется как расстояние между плоскостями сочленения прямых соединителей и между осями угловых соединителей. Пример измерения длин различных кабелей приведен на рисунке .

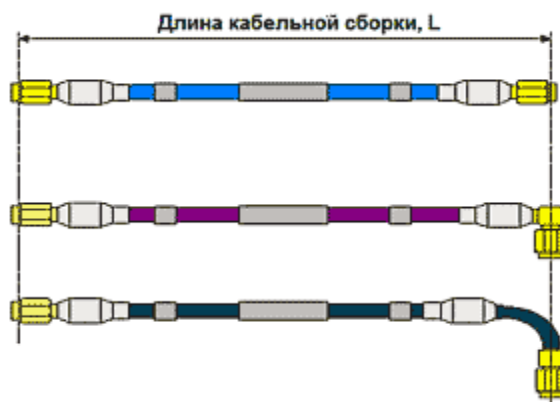


Рисунок 10 – Геометрическая длина различных кабельных сборок

4.6.4. Оборудование рекомендуемое для проведения заделки кабелей в соединители

В зависимости от типа крепления корпуса разъема кабеля к кабелю возможен различный выбор специального оборудования. Рассмотрим типы корпусов: [1, с.1]

1. Прижимные. Область контакта с кабелем оснащена металлической втулкой с резьбой. Она вкручивается в корпус, оказывая давление на прижимную втулку. Преимущество такого разъема – относительная простота установки, отсутствие необходимости в специальных инструментах (только гаечный ключ,

канцелярский нож и ножницы). Недостатком такого выбора является средняя надежность соединения.

2. Обжимные. В отличие от предыдущего вида, часть разъема, отвечающая за фиксацию оплетки, не имеет резьбы. Крепление фидера обеспечивается за счет обжимной втулки (втулок). Обжим производится с применением специального инструмента – кримпера. Обжимные разъемы отличаются хорошей механической прочностью и неплохим электрическим контактом.

Для выполнения данного вида работ рекомендуется использовать специальные обжимные устройства, приведенные на рисунке.

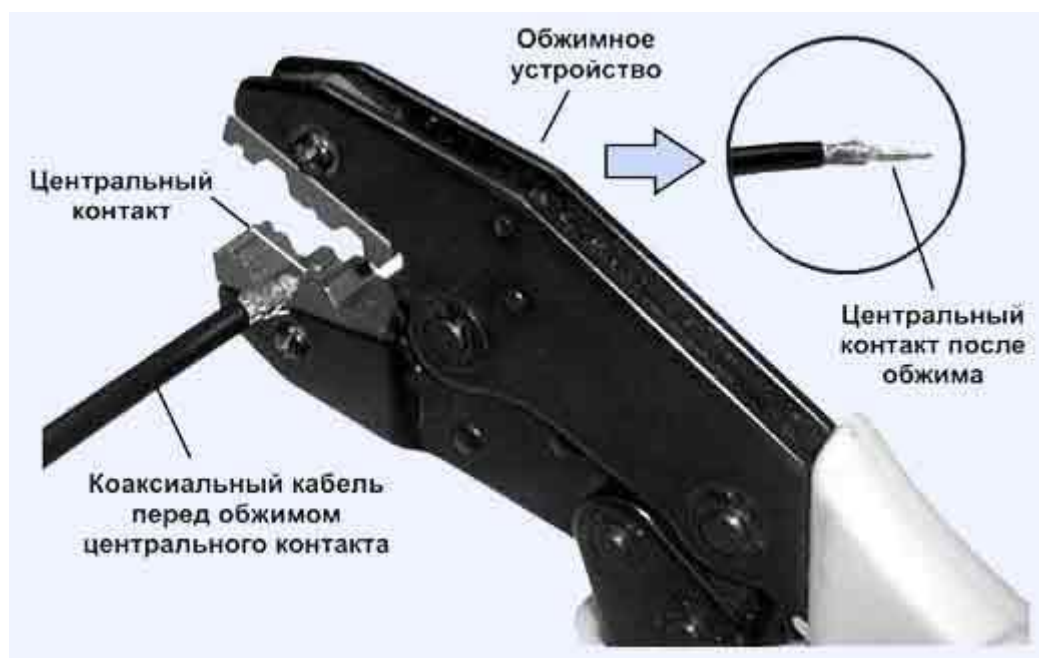


Рисунок 111 – Устройство для заделки кабеля в соединитель

Помимо крепления корпуса соединителя, также необходима установка центральной жилы. Как и в случае с корпусом, выделяются несколько типов крепления центрального контакта:

1. Под пайку (контакт припаивается оловом к центральной жиле кабеля);
2. Обжимной (контакт надевается на центральный проводник и обжимается).

Для проведения этого вида работ рекомендуется использование специализированных паяльных станций, приведенных на рисунке.



Рисунок 12 – Устройство для соединения кабеля и соединителя

В качестве обжимного оборудования допускается использование инструмента, приведенного ранее.

4.6.5. Оборудование рекомендуемое для проведения измерений кабельных сборок

Современное производство требует современных методов контроля продукции и своевременного внесения конструктивных изменений. Это позволяет производить высококачественную и конкурентно способную продукцию в короткие промежутки времени.

На данный момент на рынке присутствует множество устройств, позволяющих производить контроль параметров кабельных сборок. Произведем рассмотрение наиболее популярных устройств.

Одним из наиболее популярных средств проверки параметров кабельных сборок является устройство «Обзор» производства компании Planar. На данный момент компанией выпускается несколько модификаций данного устройства. Большинство измерителей комплексных коэффициентов передачи или векторных анализаторов цепей предназначены для измерения S — параметров радиотехнических устройств. Измеряемые параметры включают комплексный

коэффициент отражения S11 и комплексный коэффициент передачи S21. Для индикации измеряемых S — параметров используются следующие форматы: логарифм амплитуды, фаза, ГВЗ, КСВ, реальная и мнимая части, расширенная фаза, линейная амплитуда, мощность, полярная диаграмма и диаграмма Вольперта — Смита.

Технические характеристики Обзора 103 приведены в таблице 6.

Таблица 8

Параметр	Значение параметра
Рабочий диапазон частот	0,3-1500 МГц
Относительная погрешность измерений КСВН	$\pm(2,4 \cdot \text{КСВН}) \%$
Абсолютная погрешность измерений фазы коэффициента отражения	$\pm(4 / \text{КСВН} + 3)^\circ$
Абсолютная погрешность измерений модуля коэффициента передачи	$\pm(0,01 \cdot S21 + 0,3) \text{ дБ}$
Выходная мощность	+2 до +4 дБмВт
Количество точек измерения	от 1 до 10001

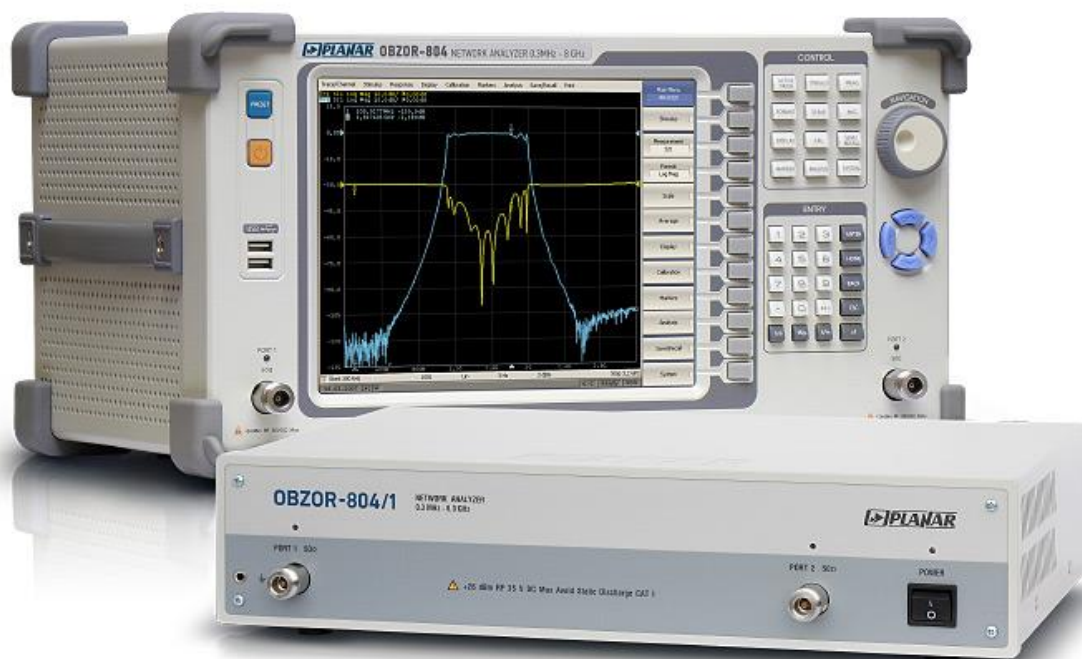


Рисунок 13 – Устройство для тестирования кабельной сборки

Таким образом, данное устройство позволяет производить контроль за основными параметрами кабельных сборок, что оказывает положительное влияние на сроки производства и ввода в эксплуатацию готовых изделий.

Кроме компании Planar выпуском анализаторов кабелей и сборок кабельных занимаются и другие компании. Одной из наиболее популярных является компания Rohde&Schwarz. Компания выпускает устройства, позволяющие анализировать требуемые параметры кабельных сборок, что существенно влияет на время проектирования и ввода их в эксплуатацию. Анализаторы этой компании представляют собой однопортовые или мультипортовые системы, обладающие всеми необходимыми базовыми измерительными функциями для монтажа и обслуживания антенных систем в полевых условиях. Их уникальные возможности обеспечивают проведение быстрых и эффективных измерений параметров кабелей и антенн.

Технические характеристики Rohde&Schwarz HMS – X приведены в таблице 7

Таблица 9

Параметр	Значение параметра
Рабочий диапазон частот	100 кГц...1,6 ГГц
Погрешность измерения уровня	<1,5 дБ, тип. 0,5 дБ
Входные паразитные составляющие	тип. -70 дБн, -55 дБн (2...3 ГГц (с опцией HMS-3G))
Выходная мощность	20 дБмВт, 30 дБмВт на ≤ 3 минуты
Количество точек измерения	от 1 до 10001



Рисунок 14 – Устройство для тестирования кабельной сборки

Из приведенных характеристик можно отметить, что иностранное устройство является более продвинутым в техническом плане, относительно отечественного. Тем не менее следует отметить, что компания Planar предлагает более конкурентную цену оборудования, что является конкурентным преимуществом.

Рассмотренные компании и их продукция не является единственной на рынке. Тем не менее приведенные примеры являются наиболее удобными в использовании как в условиях производства, так и при эксплуатации на объекте. Это позволяет осуществлять контроль параметров кабельных сборок как в составе устройства, так и в виде отдельно взятой единицы.



Рисунок 15 – Устройство для тестирования кабельных сборок в условиях эксплуатации



Рисунок 16 – Устройство для тестирования кабельных сборок и кабелей при производстве

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ

Лист

54

4.7. Рекомендации по выбору кабеля и соединителя

Следует обратить внимание разработчиков, использующих кабельные сборки различных зарубежных компаний, на отличия в методиках испытанийборок на воздействие дестабилизирующих факторов в зависимости от указанного в технических условиях на сборку нормативного документа.

При выборе кабеля и соединителя для систем радиосвязи, радиовещания, телевидения необходимо руководствоваться и учитывать следующие основные и дополнительные факторы:

1. Волновое сопротивление тракта;
2. Коэффициент затухания кабеля на рабочей частоте передатчика;
3. Допустимая средняя мощность в кабеле на частоте передатчика;
4. Присоединительный канал соединителей на выходе передатчика и входе антенны;
5. КСВн тракта: передатчик – фидер – антенна в рабочей полосе частот;
6. Длина фидера и его масса;
7. Возможность возникновения интермодуляционных помех в местах контактов и заделок кабеля в соединителе;
8. Условия эксплуатации: минимальные и максимальные температуры, солнечное излучение, влажность, дождь, гроза, молнии, иней, снег, обледенение, ветровые нагрузки и пр.;
9. Условия монтажа: допустимые растягивающие усилия, минимальные радиусы изгиба, температура воздуха при монтаже, устройства и способ крепления фидера на мачте, к трубе и т.п.;
10. Стоимость кабеля, соединителей и монтажа.

Приведенные критерии являются наиболее важными и основополагающими при создании кабельной сборки и ее включении в конечное устройство. Данные пункты позволяют исключить большинство проблем на этапе проектирования, а как следствие, ускорить процесс проектирования и ввода в эксплуатацию устройства.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

4.7.1. Допуска на изготавливаемые делители мощности, направленные ответвители и ВЧ кабели (S параметры устройств), исходя из допустимых искажений

При производстве делителей, ответвителей и прочих компонентов, используемых в производстве диаграммо образующих устройств конструкторским бюро закладываются параметры и характеристики, которые должны им обеспечиваться. В результате этого формируются требования к производству. В процессе производства на линии возможно возникновение ошибок. Это связано с тем, что оборудование, применяемое на предприятии, имеет свой класс точности. В связи с этим, конструкторским бюро закладываются допуска на изготовление компонентов

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе разработки проекта методики по разводке диаграммо образующей схемы выполнено изучение программ SolidWorks и Autodesk Inventor. При помощи этих программ подготовлена финальная документация, которая используется инженерами при разработке и вводе в эксплуатацию новых изделий.

Результатом работы является:

1. Определено понятие кабеля, соединителя и кабельной сборки;
2. Изучено влияние термоциклирования на характеристики и параметры кабельных сборок;
3. Изучены современные устройства и программные средства проектирования антенных устройств, устройств передачи и приема информации;
4. Рассмотрены способы формирования конструкторской документации с использованием современных программных средств;
5. Рассмотрены современные методы тестирования изделий на этапе проектирования изделий в виде цифровых моделей;
6. Изучены современные методы сборки кабелей и соединителей в кабельные сборки;
7. Изучены современные методы измерения параметров кабельных сборок в период тестирования, настройки и ввода изделия в эксплуатацию;
8. Разработана методика разводки ВЧ кабелей в изделии.

В процессе выполнения работы выделены следующие требования, предъявляемые к САПР при проектировании:

1. Возможность осуществления контроля за радиусом изгиба и физической длины кабеля;
2. Возможность изменение длины кабеля в процессе разработки изделия. Данная операция является необходимой в связи с формированием групп кабелей одинаковой длины. Это позволяет сократить количество кабельных сборок различной длины в конечном устройстве. Как следствие, сокращается время на изготовление устройства;

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

3. Изменения, проведенные в цифровой модели должны автоматически добавляться в конструкторскую документацию;

4. С целью улучшения качества контроля за процессом моделирования, САПР должен иметь возможность редактирования отдельных элементов в составе сборки. Это позволяет отслеживать параметры кабелей как в составе готового изделия, так и как отдельную сборочную единицу;

5. Возможность осуществлять тестирование элементов и всей сборке в среде разработки цифровой модели изделия.

Кроме того, в процессе выполнения работы выделены основные требования, предъявляемые к модулю, используемому для разводки кабелей в устройстве. Перечислим эти требования:

1. Модуль должен иметь возможность учитывать минимальный радиус изгиба кабеля;

2. Модуль должен иметь возможность учитывать длину кабеля;

3. Модуль должен иметь встроенные библиотеки элементов (соединители, кабели, элементы крепежа). Кроме того, должна быть функция работы с библиотеками: редактирование уже имеющихся и создание новых.

В ходе выполнения работы улучшены навыки работы со средствами автоматизированного проектирования. Данный навык является минимально необходимым в условиях современной инженерной деятельности. Кроме того, были отработаны навыки работы с программами расчета вспомогательных значений и характеристик, которые были использованы для изучения влияния различных параметров, таких как низкие температуры, высокие температуры, различного вида нагрузки, на кабельные сборки.

Выполненная работа является актуальным решением, которое существенным образом способно ускорить процесс ввода изделий в эксплуатацию. Это достигается путем сокращения временных затрат на проектирование и тестирование на этапе разработки, а также увеличение продуктивности труда на этапе ввода в эксплуатацию конечного изделия.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ОСТ 1.03678 – 83. Издания. Заделка радиочастотных коаксиальных кабелей в контакт низкочастотных электрических соединителей. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 21 с.
2. ГОСТ 11326.0-78. Издания. Кабель радиочастотный марки РК 50 – 4 – 21. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 5 с.
3. ГОСТ 13726-97. Издания. Ленты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 11 с.
4. ГОСТ 6309-93. Издания. Нитки швейные хлопчатобумажные и синтетические. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 9 с.
5. ГОСТ 5915-70. Издания. Гайки шестигранные класса точности В. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 6 с.
6. ГОСТ 11371-78. Издания. Шайбы. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 4 с.
7. ГОСТ 6465-76. Издания. Эмали ПФ - 115. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 8 с.
8. Григорьев, А.Д. Электродинамика и техника СВЧ : Учебное пособие для вузов / А.Д. Григорьев. – М.: Высшая школа, 1990. – 335с
9. Перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. Приборы полупроводниковые: Перечень ЭКБ 03/ Н.Н. Гливинская, К.В. Авраменко, Н.А. Перевалова, А.М. Гоголев, В.М. Исаев и др. – изд. Министерство промышленности и торговли РФ, 2018. – 149 с
10. Перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники. Соединители электрические, изделия электростановочные и присоединительные: Перечень ЭКБ 14 / А.А.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Шмакова, К.В. Авраменко, Н.А. Перевалова, А.М. Гоголев, В.М. Исаев и др. – изд. Министерство промышленности и торговли РФ, 2017. – 75 с.

11. СТО ЮУрГУ 21–2008 Стандарт организации. Система управления качеством образовательных процессов. Курсовая и выпускная квалификационная работа. Требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, А.Е. Шевелев, Е.В. Шевелева. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 55 с.

12. Стандарт организации. Выпускная квалификационная научно-исследовательская работа студента. Структура и правила оформления : СТО ЮУрГУ 19-2008 : введ. в действие 01.09.08 : взамен СТП ЮУрГУ 19-2003 Текст сост.: Т. И. Парубочая, Н. В. Сырейщикова, С. Д. Ваулин, В. Р. Гофман. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 67 с.

13. ГОСТ 7.1–2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». –М.: Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.

14. Выпускная квалификационная работа магистра по направлению подготовки «Приборостроение»: методические указания /сост. А.П. Лапин, Е.В. Юрасова. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2016. – 26 с.

15. Кабель коаксиальный радиочастотный РК – 50 – 7 – 11
https://www.elcn.ru/catalogue/rk_50-7-11/

16. Coax cable 50 Ohm <https://www.pasternack.com/50-ohm-coax-rf-cables-category.aspx>

17. Кабельные сборки СВЧ – Диапазона
<http://spetskabel.ru/about/experts/articles/2015/152/>

18. Рынок САД систем http://cad-cam-cae.narod.ru/market_of_cad.html

19. Виды ВЧ – разъемов <https://gsm-repiteri.ru/vidyi-vch-razyomov>

20. Частотные характеристики четырехполюсников
http://ets.ifmo.ru/osipov/os1/1_4.htm

21. Патент «Высокочастотный коаксиальный кабель»
<http://new.fips.ru/registers-doc-view.html>

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

22. Патент «Высокочастотный огнестойкий коаксиальный кабель»
<http://new.fips.ru/registers-doc-view.html>

23. Патент «Коаксиальный кабель» <http://new.fips.ru/registers-doc-view/.html>

24. Карева, Н.Т. Термическая обработка сталей и сплавов: учебное пособие / Н.Т. Карева, И.В. Лапина, С.И. Ильин. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006.–98с.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Приложение А

```
function tkph
```

```
deltaphi = [8.8 94];
```

```
koefukor = 1.22;
```

```
% deltakoefukor = [0.0307 ];
```

```
c = 3*10^8;
```

```
dlinakabel = 92.5;
```

```
deltaT = 41;
```

```
freq = [100 1000];
```

```
for i=1:1:2
```

```
    tkph = deltaphi(i)*c / (360*koefukor*dlinakabel*freq(i)*deltaT)
```

```
end
```

```
return
```

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

Приложение Б
(справочное)
Схема принципиальная

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

Приложение В
(справочное)
Перечень элементов

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Приложение Г
(справочное)
Сборочный чертеж

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

Приложение Д
(справочное)
Спецификация

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Приложение Е

(справочное)

Проект методики разводки радиотехнических кабелей диаграммообразующей
схемы

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Проект методики разводки радиочастотных кабелей

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

Настоящий проект методики разводки радиочастотных кабелей распространяется на изделия, разработанных с целью использования для передачи или приема радиосигналов и устанавливает методы разводки кабелей в радиочастотных устройствах.

1. Операции разводки радиочастотного кабеля

1.1. При проведении разводки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта методики	Примечания
Выбор программного обеспечения	7.1	Приобретение и использование средств САПР
Определение параметров изготавливаемого устройства	7.2	Параметры указаны в ТЗ
Выбор компонентов для изготавливаемого устройства	7.3	Выбор производит конструктор при разработке устройства
Создание моделей компонентов	7.4	Используются специальные модули средств САПР
Выбор кабельных сборок	7.5	Производит конструктор на этапе проецирования

Продолжение таблицы 1

Создание модели изделия	7.6	Выполняет конструктором
Оптимизация модели изделия	7.7	Оптимизация трассировки кабелей
Тестирование сборки на влияние внешних факторов	7.8	Выполнение тестирования в специализированных модулях
Формирования конструкторской документации	7.9	Доработка и формирование конструкторской документации

2. Средства разводки радиочастотного кабеля

2.1. При проведении и разводки применяются средства, указанные в таблице 2;

2.2. Применяемы при разводки устройства и программные продукты должны быть утвержденного типа, исправны, проверены и иметь свидетельство о проверке и подлинности лицензии;

2.3. При проведении разводки допускается использование иных аппаратных и программных средств, которые по своим характеристикам аналогичны указанным в таблице 2.

Таблица 2

Наименования и характеристики используемых кабелей.

Продолжение таблицы 2

Наименования и характеристики используемых ВЧ узлов и компонентов.
ЭВМ с необходимой вычислительной мощностью.
Лицензионный пакет программ для работы с конструкторской документацией.
Лицензионный пакет программ для создания модели и выполнения разводки кабелей с последующим формированием документации.
Устройство печати

3. Требования к квалификации инженера – конструктора

3.1. К проведению разводки радиочастотных кабелей могут быть допущены лица, имеющие высшее или среднетехническое образование, практический опыт в области радиотехники и знания в области работы с используемым программным обеспечением.

4. Требования безопасности

4.1. При проведении работ должны быть соблюдены все требования безопасности в соответствии с санитарными нормами.

5. Условия работы

5.1. Условия труда инженера – конструктора должны соответствовать санитарным нормам.

6. Подготовка к работе

6.1. Инженер – конструктор должен изучить руководство по работе с программным обеспечением;

6.2. Аппаратное устройство, используемое в процессе разводки радиочастотного кабеля должно быть выдержано во включенном состоянии в течении времени, необходимого для завершения работы и сохранения полученных результатов.

7. Проведение работ

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

7.1 Выбор программного обеспечения для автоматизации разводки кабелей в конечном устройстве.

Данный процесс включает:

1) Определение необходимых функциональных возможностей. Производится после анализа направленности производства и оценки основных направления деятельности;

2) Определение программы и умение рабочего персонала обращаться с ней. Рекомендуется произвести тестирования работающих и устраивающихся сотрудников на знание продуктов предполагаемых для приобретения;

3) Поддержка программного обеспечения. Включает в себя контроль за возникающими ошибками со стороны программного обеспечения;

4) Поддержка различных форматов файлов и их хранение. Требуется для использования результатов работы в процессе производства и возможности использовать результаты на устройствах без специального программного обеспечения.

В процессе выбора программного обеспечения рекомендуется учитывать возможности доступных вычислительных систем. Также рекомендуется иметь данные о знаниях и умениях целевых пользователей на производстве осуществлять деятельность в выбранном программном продукте. Кроме того, рекомендуется рассматривать программы с длительным сроком поддержки и возможностью последующего обновления.

7.2 Определение параметров изготавливаемого устройства.

Данная процедура включает:

1) Определение параметров входных сигналов. Производится на основе технического задания и с учетом выполняемых изделием функций;

2) Определение параметров выходных сигналов. Производится на основании технического задания;

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

3) Определение климатического исполнения корпуса и герметизации. Выбор корпуса изделия производится с учетом внешних условий, которые будут воздействовать на устройство на протяжении всего времени службы изделия. Требованиям к корпусу должно быть сохранение изделия и защита от внешних факторов, которые могут привести к поломкам и возникновениям неисправностей в изделии.

Определение параметров устройства производится на основе технического задания, поставляемого заказчиком. Работа принимается в исполнение на основе заключенного договора между заказчиком и исполнителем и осуществляется в сроки, установленные договором.

7.3 Выбор компонентов для изготавливаемого устройства.

Данный процесс включает в себя:

1) Выбор компонентов по их параметрам. Компоненты должны обеспечивать параметры, которые прописаны в техническом задании;

2) Выбор компонентов по их стоимости и совместимости с уже имеющимися компонентами. Рекомендуется производить тесты на совместимость устройств от различных производителей и осуществлять Выбор компонентов на основе рыночной конкуренции. Приоритет при выборе рекомендуется отдавать устройствам, которые зарекомендовали себя на рынке за все время производства и эксплуатации;

3) Рассмотрение аналогов от различных производителей с целью выбора наиболее подходящих компонентов.

Выбор компонентов производит конструктор на основании их пригодности для изделия и на основании их готовности обеспечивать параметры, прописанные в техническом задании. Рекомендуется производить выбор компонентов, опираясь на доступную отечественную элементную базу. Допускается использовать зарубежные аналоги в случаях, не нарушающих действующее законодательство Российской Федерации, либо не нарушающих условий технического задания и договора между заказчиком и исполнителем.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

7.4 Построение моделей выбранных компонентов в среде разработки.

Процесс включает в себя:

- 1) Получение технических параметров компонентов. Технические параметры компонентов поставляются совместно с устройствами в виде спецификации, инструкции или прочих специальных документов;
- 2) Создание эскизов компонентов с указанием основных размеров. На основе технических размеров производится построение первичных эскизов для уточнения геометрических размеров моделей;
- 3) Получение электронной модели используемых компонентов. На основе разработанных эскизов производится построение моделей в реальном размере.

Процесс построения моделей компонентов производится с целью создания электронного представления устройства, разрабатываемого на основании технического задания.

7.5 Выбор кабельных сборок для конечного устройства.

Процесс включает в себя:

- 1) Рассмотрение доступных вариантов кабельных сборок. Выполняется с целью формирования доступного предложения на рынке и выбора наиболее подходящего варианта;
- 2) На основе представленных требований в техническом задании выбор кабельной сборки. Производится с целью определения основных параметров кабелей и соединителей, используемых в конечном устройстве.

Целью является выбор кабельной сборки для изготавливаемого изделия.

7.6 Создание сборки.

Выбор элементов осуществляет конструкторское бюро. Результатом их работы является сформированный список элементов с указанием их габаритных характеристик.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Процесс включает в себя:

- 1) Создание библиотеки элементов и устройств. Производится на основе ранее созданных электронных моделей устройств, входящих в состав конечного изделия;
- 2) Создание библиотеки кабелей и соединителей. Производится на основе подобранных кабельных сборок с указанием из основных характеристик;
- 3) Сборка изделия в среде проектирования.

В результате данного процесса инженер – конструктор должен иметь полную электронную модель изделия для последующей разводки кабелей и тестирования.

7.7 Разводка кабелей по изделию.

Процесс включает в себя:

- 1) Ручную, полуавтоматическую либо автоматическую разводку кабеля в устройстве. Разводка осуществляется встроенными модулями, поставляемыми совместно с программами моделирования и формирования конструкторской документации. Рекомендуется иметь возможность выполнять различные виды кабельных прокладок в устройстве;
- 2) Контроль за качеством произведенной разводки кабеля. Во время прокладки кабелей инженер – конструктор обязан осуществлять контроль за процессом трассировки и, при необходимости, вносить изменения в конструкцию изделия;
- 3) Внесение правок в разводку в процессе создания конструкторской документации. Внесение правок и изменений в изделие необходимо производить во время трассировки и по ее окончании. Такой подход позволяет выполнить проектирование устройства в корпусе с малыми массо – габаритными характеристиками.

Разводка должна быть выполнена с использованием выбранных материалов и компонентов. Положение кабелей должно обеспечивать

										Лист
										75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ					

быстрый ремонт либо модернизацию изделия при необходимости. Конечный вариант положения кабелей не должен существенно усложнять конструкцию, либо изменять существенно увеличивать габаритные размеры конечного изделия.

7.8 Оптимизация модели изделия.

Внесение изменений в модель для оптимизации количества сборочных единиц.

Процесс включает в себя:

1) Формирование групп кабельных сборок. Процесс включает в себя группировку кабелей в группы по общему критерию. Критерий следует выбирать исходя из задачи сокращения количества различных кабельных сборок.

2) Уменьшение количества групп с целью оптимизации процесса изготовления кабельных сборок. Производится сборка модели устройства с ограниченным количеством кабельных групп;

3) Внесение изменений в модель изделия. Добавляются необходимые зажимы для крепления кабелей с избытком длины;

4) Формирование спецификации на изделие. Производится автоматически на основе используемой библиотеки. Выполнению операции предшествует формирование полной цифровой модели устройства;

Результатом процесса является сформированная модель разрабатываемого устройства с использованием минимального необходимого количества элементов. Подразумевается использование оптимального количества групп кабельных сборок, сгруппированных по длине используемого кабеля.

7.9 Выполнение моделирования нагрузки на готовую сборку.

Производится моделирование нагрузок, связанных с воздействием окружающей среды на изделие.

Процесс включает в себя:

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

- 1) Определение параметров внешнего воздействия. Производится на основе технического задания и варианта климатического исполнения;
- 2) Перенос модели в среду тестирования. Происходит переход из среды разработки в среду тестирования;
- 3) Моделирование нагрузок. Происходит задание нагрузок и процесс моделирования воздействия на модель изделия;
- 4) Оформление результатов. Все полученные результаты оформляются для дальнейшего изучения и корректировки комплекта конструкторской документации.

В результате проведенного исследования конструктор имеет результаты моделирования. В них отражаются все нагрузки, которые воздействовали на модель. На основании полученных данных происходит изменение конструкторской документации.

7.10 Внесение изменений и дополнений в сборку конечного устройства.

На основании проведенных испытаний модели в среде разработки производится корректирование комплекта конструкторской документации.

Процесс включает в себя:

- 1) Проведение изменений в конструкции сборки с целью соблюдения тепловых, вибростойкости и прочих видов тестирования;
- 2) Повторение тестов для подтверждения корректности выполненных доработок.

На основе результатов моделирования рекомендуется производить правки в модель до выпуска прототипа. Такой подход обеспечивает сокращение времени на доводку конечного изделия и перехода к тестированию на прототипах. Изменения, внесенные в цифровую модель устройства, необходимо отмечать в конструкторской документации.

8 Оформление результатов

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

8.1 При проведении разводки оформляется необходимая конструкторская документация

8.2 В случае внесения изменений в уже существующую документацию, оформляется лист для регистрации внесенных изменений.

					11.04.03.2019.171.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78