

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге
(УрТИСИСибГУТИ)

УТВЕРЖДАЮ
директор УрТИСИСибГУТИ
Минина Е.А.
« » 2025 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Б1.В.05 Антенны и распространение радиоволн

Направление подготовки / специальность: 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

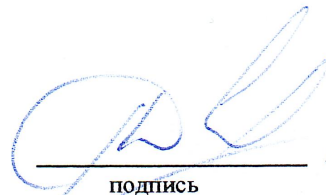
Направленность (профиль) /специализация: Программирование и администрирование систем связи

Форма обучения: очная

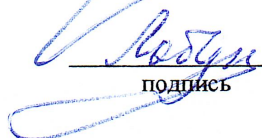
Год набора: 2026

Разработчик (-и) рабочей программы:

Старший преподаватель


_____ /Д.А. Овчинников /
подпись

Профессор


_____ / О.Д. Лобунец /
подпись

Оценочные средства обсуждены и утверждены на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи (ИТиМС)

Протокол от 27.11.2025 г. № 3

Заведующий кафедрой _____ /Н.В. Будылдина/
подпись

Екатеринбург, 2025

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)
Уральский технический институт связи и информатики (филиал) в г. Екатеринбурге
(УрТИСИСибГУТИ)

УТВЕРЖДАЮ
директор УрТИСИСибГУТИ
Минина Е.А.
« ____ » _____ 2025 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Б1.В.05 Антенны и распространение радиоволн

Направление подготовки / специальность: **11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Направленность (профиль) /специализация: **Программирование и администрирование систем связи**

Форма обучения: **очная**

Год набора: 2026

Разработчик (-и) рабочей программы:

Старший преподаватель _____ /Д.А. Овчинников /
подпись

Профессор _____ /О.Д. Лобунец /
подпись

Оценочные средства обсуждены и утверждены на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и мобильной связи (ИТиМС)

Протокол от 27.11.2025 г. № 3

Заведующий кафедрой _____ /Н.В. Будылдина/
подпись

Екатеринбург, 2025

1. Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Этап	Предшествующие этапы (с указанием дисциплин/практик)
ПК-1 – Способен к проведению профилактических работ на оборудовании связи	ПК-1.1 Знает теоретические основы электросвязи и инфокоммуникационных технологий, основы построения взаимоувязанных телекоммуникационных и компьютерных сетей		

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – Экзамен.

2. Показатели, критерии и шкалы оценивания компетенций

2.1. Показателем оценивания компетенций на этапе их формирования при изучении дисциплины является уровень их освоения.

Индикатор освоения компетенции	Показатель оценивания	Критерий оценивания
ПК-1.1 Знает теоретические основы электросвязи и инфокоммуникационных технологий, основы построения взаимоувязанных телекоммуникационных и компьютерных сетей	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> – свойства электромагнитных волн; – знает особенности распространения электромагнитных волн по частотным диапазонам; – знает характеристики и основные типы антенн; – знает основные типы линий передач; – знает о необходимости согласования антенн с линией передачи. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> – рассчитывать наиболее простые конструкции антенн; – выполнять узкополосное согласование антенны с линией передачи; – выбирать оптимальный частотный диапазон радиоволн в зависимости 	<ul style="list-style-type: none"> -объясняет, что такое дифракция, интерференция, отражение и преломление, умеет применять эти свойства к конкретным частотным диапазонам; - поясняет понятия коэффициента усиления, диаграммы направленности, сопротивления, частотного диапазона и других характеристик антенн; - знает как параметры диэлектрика влияют на параметры линии передач; - знает, что такое КСВ и его допустимое значение. <p>Отвечает на контрольные вопросы практических, лабораторных работ.</p> <ul style="list-style-type: none"> – способен рассчитать размер диполя под заданный частотный диапазон; – рассчитывает размеры согласующего устройства под заданные величины сопротивлений линии и нагрузки; – подбирает оптимальную частоту для заданной дальности связи. <p>Отвечает на контрольные вопросы практических, лабораторных работ.</p>

	<p>от требований дальности связи;</p> <ul style="list-style-type: none"> – выбирать оптимальные конструкции антенн и линий передач под заданные условия. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками измерения характеристик излучения антенн; – навыками измерений структуры поля в линии передачи и расчета КСВ; – навыком использования круговой номограммы полных нормированных сопротивлений и проводимостей; – навыками приема электромагнитных волн круговой и линейной поляризации 	<ul style="list-style-type: none"> - выполняет лабораторные работы, обрабатывает результаты измерений, дает аргументированные ответы и комментарии; – объясняет алгоритм работы с круговой номограммой полных нормированных сопротивлений и проводимостей; <p>Отвечает на контрольные вопросы практических, лабораторных работ.</p>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Шкала оценивания.

Экзамен

5-балльная шкала	Критерии оценки
«отлично»	На экзаменационные вопросы даны полные аргументированные ответы. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на высоком уровне, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала по пройденным темам дисциплины. Способен отвечать на широкий круг вопросов, может самостоятельно сделать верное умозаключение на смежные вопросы к предмету, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при выполнении заданий.
«хорошо»	На экзаменационные вопросы даны полные аргументированные ответы, но с замечаниями преподавателя. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на среднем уровне: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при ответе на поставленные вопросы. Допускает некоторые ошибки при решении задач, но исправляет их с подсказкой преподавателя.
«удовлетворительно»	На экзаменационные вопросы даны ответы со слабой аргументацией, преподаватель задал множество наводящих вопросов. Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на базовом уровне: в ходе выполнения практических заданий, решения задач допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, по некоторым дисциплинарным разделам, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями по изученным темам.
«неудовлетворительно»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на уровне ниже порогового, проявляется недостаточность знаний. Дисциплинарные компетенции не сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний по темам дисциплины, отсутствуют навыки решения задач.

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания по дисциплине

3.1. В ходе реализации дисциплины используются следующие формы и методы текущего контроля

Тема и/или раздел	Формы/методы текущего контроля успеваемости
ПК-1.1 Знает теоретические основы электросвязи и инфокоммуникационных технологий , основы построения взаимосвязанных телекоммуникационных и компьютерных сетей	
Тема 1 Обобщенная структура радиоканала.	Экзамен
Тема 2 Общие свойства электромагнитного поля.	Экзамен
Тема 3 Фидерные системы.	Экзамен Практическая работа Лабораторная работа
Тема 4 Плоские волны.	Экзамен Лабораторная работа
Тема 5 Излучение электромагнитных волн.	Экзамен
Тема 6 Антенны.	Экзамен Практическая работа Лабораторная работа
Тема 7 Общие вопросы распространения радиоволн.	Экзамен Практическая работа
Тема 8 Атмосфера Земли и её влияние на распространение радиоволн.	Экзамен
Тема 9 Затухание радиоволн в канале распространения. Помехи.	Экзамен
Тема 10 Частотно – территориальное планирование.	Экзамен

3.2. Типовые материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

ПК-1.1 Знает теоретические основы электросвязи и инфокоммуникационных технологий, основы построения взаимоувязанных телекоммуникационных и компьютерных сетей

Тема для дискуссии: «Фидерные системы».

Типовые вопросы для устного/письменного опроса:

1. Что такое Фидерная система?
2. Какие типы линий передач существуют?
3. Достоинства и недостатки двухпроводной линии?
4. Достоинства и недостатки коаксиальной линии?
5. Достоинства и недостатки волноводной линии?
6. Достоинства и недостатки полосковых линий?

Типовое практическое задание: по теме «Расчет параметров коаксиального кабеля»

1 Цель работы:

1. Иметь навык расчета конструкции коаксиальной линии передачи.
2. Иметь навык исследования параметров в коаксиальной линии передачи.

2 Общие сведения

Коаксиальная линия передачи (часто используется термин «коаксиальный кабель») представляет собой два металлических проводника цилиндрической формы, расположенных один внутри другого так, что их оси совпадают. Пространство между ними заполнено изолирующим диэлектриком. Внешний проводник окружен непроводящей оболочкой, обеспечивающей защиту от воздействия окружающей среды. Основными достоинствами коаксиальной линии является следующее:

- отсутствие потерь на вихревые токи и джоулево тепло в окружающих металлических частях;
- минимальное мешающее влияние коаксиальной линии на соседние цепи и малая подверженность помехам извне;
- возможность передачи широкого спектра частот сигналов.

К недостаткам можно отнести малую защищенность от помех в области нижних частот (до 60 кГц).

Электромагнитное поле в коаксиальной линии заключено в пространстве между центральным и внешним проводниками. При передаче по коаксиальному кабелю высокочастотной энергии по проводникам текут переменные токи, которые благодаря скин-эффекту сосредоточены в тонком слое металла (единицы микрометров), причем толщина этого слоя уменьшается с ростом частоты сигнала. Ток, возбуждаемый источником сигнала, протекает по внутренней поверхности оплетки. Токи, создаваемые внешними источниками (помехи), протекают по наружной поверхности оплетки.

Параметрами, характеризующими геометрию коаксиального кабеля, являются:

- диаметр центрального проводника;
- внутренний диаметр оболочки (оплетки);

- наружный диаметр защитной термопластовой оболочки.

Коаксиальные кабели, предназначенные для работы в СВЧ диапазоне, называются еще радиочастотными кабелями.

По ГОСТ 11.326.0–71 радиочастотные кабели разделяются на три типа:

1. **РК** – радиочастотные коаксиальные кабели,
2. **РС** – радиочастотные кабели со спиральными проводниками, центральный проводник у них имеет вид проволочной металлической спирали,
3. **РД** – радиочастотные симметричные кабели, двухжильные или из двух коаксиальных пар.

Последние два вида применяются сравнительно редко.

Для кабелей РК установлены следующие номинальные значения волновых сопротивлений $Z_{\text{В}}$: 50, 75, 100, 150, 200 Ом. Наиболее часто применяются кабели с $Z_{\text{В}}$ равным 50 Ом и 75 Ом.

Конструкция коаксиального кабеля



Рисунок 1– устройство коаксиального кабеля

Коаксиальный кабель состоит из четырех основных элементов:

- центральный проводник;
- внутренний диэлектрик;
- экран;
- оболочка.

Центральный проводник

Центральный проводник кабеля предназначен для передачи сигнала из одной точки в другую. Его делают из материалов, хорошо проводящих электрический сигнал. Обычно используется медь, которая подходит для этих целей по своим электрическим, механическим и стоимостным параметрам. Другие материалы также могут применяться в каких-то специальных целях. К ним можно отнести алюминий, серебро и золото. Центральный проводник может быть как одножильный, так и многожильный.

Внутренний диэлектрик

Внутренний диэлектрик, называемый также внутренней изоляцией кабеля, выполняет в коаксиальных кабелях важную роль. Прежде всего, это материал, который изолирует центральный проводник от экрана.

Обычно в кабелях общего назначения используется полиэтилен, а для производства негорючих кабелей фторсодержащие полимеры.

Вообще, материал диэлектрика играет огромную роль, влияя на электрические и эксплуатационные свойства кабеля. Дешевые кабели имеют диэлектрик из твердого полиэтилена. Более серьезный производитель использует вспененный полиэтилен, который обеспечивает более низкое затухание сигнала в кабеле на высоких частотах.

Экран

Экран выполняет две важных роли. Он работает как второй проводник, подключенный к общему заземляющему проводу оборудования. В то же время он экранирует центральный проводник от посторонних излучений. Существуют различные методы экранировки для кабелей, выполняющих различные задачи. Это экран из фольги, плетеный экран и комбинации из фольги и оплетки.

Оплетка – экран, который изготавливается из множества тонких проводников, сплетенных в виде сетки, охватывающей центральный проводник с внутренним диэлектриком. Оплетка обычно обладает меньшим сопротивлением, чем фольга и обладает лучшей устойчивостью к постороннему электромагнитному полю и электромагнитным наводкам. Наводки могут иметь различный характер и происхождение. Это могут быть низкочастотные наводки (например, от промышленной сети питания), так и высокочастотные (ВЧ шум от работы электронных приборов и при искрении электрических машин). Оплетка может сочетаться с другими видами экранов, например, с алюминиевой или медной фольгой для обеспечения необходимого процента экранировки.

Фольга – может обеспечить до 100% экранировки в сочетании с оплеткой. Учитывая, что оплетка может обеспечить эффективность экранировки до 90%, чтобы получить 100% необходимо две оплетки, что существенно увеличивает стоимость кабеля, его вес и ухудшает гибкость. Гораздо более легко добиться 100% эффективности экранировки можно сочетанием оплетки и фольги.

Оболочка

Необходимая защита внутренних компонентов кабеля обеспечивает внешняя оболочка. Оболочка защищает кабель от климатического, химического воздействия, и воздействия солнечного света. По типу оболочки кабели можно разделить на кабели стандартного и специального исполнения.

Погонное сопротивление, [Ом/м].

Так как любой металлический проводник имеет хотя и малое, но конечное сопротивление, то это сопротивление применительно к коаксиальной линии удобно выражать через погонное активное сопротивление обеих токопроводящих жил R_0 , измеряемое в Ом/м (ом на метр). Погонное сопротивление R_0 характеризует тепловые потери в металлических проводниках коаксиальной линии.

Погонная проводимость.

Диэлектрик между проводниками, если это не вакуум или воздух, не является идеальным, и его погонную проводимость обозначают G_0 и называют проводимостью изоляции. Погонная проводимость G_0 характеризует тепловые потери передаваемой по линии высокочастотной энергии в диэлектрической изоляции между проводниками коаксиальной линии. Подчеркнем, что проводимость G_0 не является обратной величиной R_0 и не зависит от нее.

3 Основные параметры коаксиального кабеля

3.3.1 Волновое сопротивление $Z_{\text{в}}$, [Ом]

Волновое сопротивление – это сопротивление, которое встречает бегущая по линии от генератора к нагрузке электромагнитная волна, причем включенная в конце линии нагрузка имеет чисто активное сопротивление, равное этому же волновому сопротивлению. Важно! Волновое сопротивление не характеризует потери в линии и не равно Омическому активному сопротивлению R . Волновое сопротивление коаксиального кабеля вычисляется по формулам (1) и (2):

$$Z_{\text{в}} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} * \ln \frac{2D}{\epsilon d} \quad (\text{Ом}) \quad (1)$$

или

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\text{Ом}). \quad (2)$$

50 Ом линии обычно используется в передатчиках, в приемниках чаще применяются коаксиальные линии с волновым сопротивлением 75 Ом.

3.3.2 Погонная емкость C , [Ф/м]

Важным параметром коаксиальной линии является ее так называемая погонная емкость C_0 , т.е. емкость цилиндрического конденсатора, приходящаяся на единицу его длины (3):

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} \quad (\text{Ф}), \quad (3)$$

где $\epsilon_0 = 8.85 * 10^{-12}$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума [Ф/м].

3.3.3 Погонная индуктивность L , [Гн/м]

Другим электрическим параметром коаксиальной линии является ее погонная индуктивность L_0 , которая представляет собой сумму индуктивностей наружного и центрального проводников, приходящихся на единицу длины линии (4):

$$L = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \quad (\text{Гн}), \quad (4)$$

где $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ – абсолютная магнитная проницаемость вакуума [Ф/м].

3.4.4 Коэффициент затухания α , [дБ/м]:

Коэффициент затухания нормируется обычно на стандартных частотах при температуре окружающей среды 20°C и указывается в технических условиях или спецификациях на кабели конкретных марок.

Малый коэффициент затухания обеспечивается прежде всего высокими электрическими свойствами материалов (медь и полиэтилен) и конструктивным исполнением кабеля – трубчатые проводники и вспененная или кордельная изоляция. В таких кабелях изоляция состоит на 85–90% из воздуха.

Полный коэффициент затухания коаксиального кабеля описывается формулой (5) [раз/м]:

$$\alpha_{\text{коаксиальной линии}} = \alpha_{\text{мет.}} + \alpha_{\text{диэл.}} \quad (\text{раз}). \quad (5)$$

Как правило, потери в кабелях указываются в децибелах на 100 метров длины кабеля, чтобы перевести потери из раз в дБ следует воспользоваться формулой (6) [дБ/100м]:

$$\alpha_{\text{коаксиальной линии}} \left[\frac{\text{дБ}}{100\text{м}} \right] = 20 \log_{10} (100 * \alpha_{\text{коаксиальной линии}} (\text{раз})) \quad (6)$$

3.4.5 Потери в металле зависят от его сопротивления, которое увеличивается с ростом частоты [раз/м] (7):

$$\alpha_{\text{мет.}} = 2 \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \frac{R_{s_d} + R_{s_D}}{Z_B}, \quad (\text{раз/м}) \quad (7)$$

где R_s — поверхностное сопротивление металла, [Ом*м] (8), (9):

$$R_{s_d} = \frac{4}{\pi\sigma(d^2 - (d-\Delta)^2)}, \quad (\text{Ом}); \quad (8)$$

$$R_{s_D} = \frac{4}{\pi\sigma(D^2 - (D-\Delta)^2)}, \quad (\text{Ом}), \quad (9)$$

где σ – удельная проводимость проводника [(Ом*мм²)/м],
 Δ - глубина проникновения тока вглубь металла [мм] (10):

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{2\pi f \mu \mu_0 \sigma}} \text{ (мм)}, \quad (10)$$

где σ – удельная проводимость.

3.4.6 Потери в диэлектрике зависят от угла диэлектрических потерь изоляции проводников, которая увеличивается с ростом частоты [раз/м] (11):

$$\alpha_{\text{диэл.}} = \frac{1}{2} k * \operatorname{tg} \delta, \quad (\text{раз}), \quad (11)$$

где k – волновое число, вычисляется по формуле (12):

$$k = 2\pi f \sqrt{\varepsilon \varepsilon_0 \mu \mu_0} = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{п}}}, \quad (12)$$

где $\lambda_{\text{п}}$ – длина волны в линии с учетом диэлектрика, вычисляется по формуле (17).

В коаксиальном кабеле потери на излучение отсутствуют.

3.4.7 На практике коэффициент затухания рассчитывают, измеряя мощность сигнала на входе и выходе волновода по формуле (13):

$$a = 10 * \ln \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}}, \quad (\text{дБ/м}) \quad (13)$$

где:

a - затухание сигнала, [дБ/м]

$P_{\text{вх}}$ - мощность сигнала на входе в волновод, [Вт].

$P_{\text{вых}}$ - мощность сигнала после прохода по волноводу, [Вт].

5.4.8 Скорость распространения волны в линии v , [м/с].

В частотном диапазоне, для которого предназначены коаксиальные кабели, в кабеле распространяется поперечная электромагнитная волна. Скорость ее распространения определяется из соотношения (14):

$$v = 1/\sqrt{LC}. \quad (\text{м/с}) \quad (14)$$

3.4.9 Производитель кабелей указывает относительную скорость распространения волны в кабеле [%], которая демонстрирует, насколько последняя отличается от скорости распространения электромагнитной волны в свободном пространстве (15):

$$v_{\text{относ}} = \frac{100}{\sqrt{\varepsilon}} = \frac{v}{c} (\%), \quad (15)$$

где: c - скорость распространения электромагнитной волны в вакууме [м/с].

3.4.10 Коэффициент укорочения длины волны.

Величина, показывающая, во сколько раз длина волны в волноводе, заполненным диэлектриком с $\varepsilon > 1$, меньше длины волны в воздухе, называется коэффициентом укорочения длины волны (16):

$$k = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \quad (16)$$

3.4.11 Или можно сразу найти длину волны в линии (17):

$$\lambda_{\text{л}} = \lambda_0 * k = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon}} \quad (17)$$

3.4.12 В коаксиальной линии передачи волны электрического и магнитного типов являются высшими типами волн. Обычно они не используются для передачи, но могут возникать как паразитные. Для подавления волн высших типов достаточно, чтобы частота колебаний удовлетворяла неравенству (18):

$$F_{\text{max}} \leq \frac{1}{2\pi} * \frac{40}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0\mu\mu_0} * \left(\frac{d}{100} + \frac{D}{100}\right)}, \text{ [Гц]} \quad (18)$$

3.4.13 Максимальная переносимая мощность [Вт] (19):

$$P = \frac{U^2}{120} * \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu} \frac{1}{\ln\left(\frac{2D-d}{d}\right)}} \text{ (Вт)}. \quad (19)$$

3.4.14 где U находится по формуле [В] (20):

$$U = E_{\text{max}} * \frac{d}{2} \ln\left(\frac{D}{d}\right) \text{ (В)}. \quad (20)$$

Величину E_{max} следует подставлять в Вольтах.

4 Применение коаксиального кабеля

Коаксиальные кабели, предназначенные для работы в СВЧ диапазоне до 7 ГГц, называются еще радиочастотными кабелями. Это гибкие коаксиальные линии. Они применяются не только в метровом, дециметровом и сантиметровом диапазоне волн, но и на длинных, средних и коротких волнах радиовещательного диапазона, а также во многих низкочастотных устройствах систем автоматики и телемеханики. Анализ показывает, что при $D/d = 3,6$ достигается минимум коэффициента затухания коаксиальной ЛП, что соответствует волновому сопротивлению $W_{\text{л}} = 77 \text{ Ом}$ в линии с воздушным заполнением. В то же время для передачи по коаксиальному фидеру большой мощности необходимо соблюдение условия $D/d = 1,65$, что соответствует волновому сопротивлению $W_{\text{л}} = 50 \text{ Ом}$ в линии с воздушным заполнением. Таким образом, для передачи по коаксиальной ЛП электромагнитных колебаний большой мощности необходимо соблюдение условия $D/d = 1,5...3$, если же за критерий выбора коаксиальной ЛП принять минимум потерь, то $D/d = 3...6$. Поэтому в настоящее время промышленность выпускает коаксиальные фидеры со стандартными значениями волновых сопротивлений: $W_{\text{л}} = 50 \text{ Ом}$, для применения в трактах передачи большой мощности (от передатчика к антенне); $W_{\text{л}} = 75 \text{ Ом}$, если основным параметром фидера является минимум потерь (от антенны к приемнику).

5 Порядок выполнения работы:

Произвести измерения коаксиального кабеля (размеры внутреннего и внешнего проводника).

Для расчета омического сопротивления необходимо произвести расчет площади проводников в поперечном сечении. Для этого можно воспользоваться формулой площади круга.

Исходные данные параметров коаксиала согласно варианту таблицы 1.

При необходимости воспользоваться справочными материалами таблиц 2 и 3.

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	Размер d, мм	Размер D, мм	Частота сигнала, МГц	Материал проводников	Материал диэлектрика	Длина кабеля, м
1	0.94	3.05	2000	медь	Вспененный полиэтилен	100
2	0.7	4.7	4000	серебро	Полиэтилен	100
3	1.4	7.3	5000	серебро	Полиэтилен	50
4	1.05	2.95	3500	медь	Полистирол	75
5	0.6	3.7	4100	медь	Тефлон	25
6	1.8	5	1200	медь	Вспененный полиэтилен	200
7	2.6	7.5	2000	серебро	Вспененный полиэтилен	60
8	3.5	10	4700	медь	Фторопласт	70
9	1.02	4.8	500	алюминий	Фторопласт	82
10	1.05	4.5	5500	серебро	Вспененный полиэтилен	140
11	0.5	1.53	7200	медь	Вспененный полиэтилен	30
12	1.63	10.16	900	алюминий	Полиэтилен	50
13	1.02	6.9	1000	алюминий	Вспененный полиэтилен	50
14	0.9	2.95	3100	медь	Вспененный полиэтилен	70
15	0.48	1.52	4200	медь	Вспененный полиэтилен	50
16	0.30	0.86	3400	медь	Полиэтилен	30
17	2.25	7.25	2800	алюминий	Полиэтилен	90
18	0.72	4.7	6500	серебро	Вспененный полиэтилен	110
19	1.2	7.3	1700	алюминий	Полиэтилен	40
20	0.65	3.7	2400	серебро	Вспененный полиэтилен	60

Таблица 2 - Основные электрические параметры диэлектриков

Наименование диэлектрика	Относительная диэлектрическая проницаемость, ϵ	Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$	Пробивное напряжение $E_{пр}$, кВ/см
Вспененный полиэтилен	1.95	$3,7 \cdot 10^{-4}$	3.3
Полиэтилен	2.35	$4,5 \cdot 10^{-4}$	4
Тефлон	2.2	$4 \cdot 10^{-4}$	3
Полистирол	2.55	$3,5 \cdot 10^{-4}$	2
Фторопласт	2.1	$2,5 \cdot 10^{-4}$	4
Воздух	0	0	2

Таблица 3 - Основные электрические параметры металлов

Наименование металла	Удельное электрическое	Относительная магнитная проницаемость, μ

	сопротивление $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	
Серебро	0.016	≈ 1
Медь	0.017	≈ 1
Алюминий	0.028	≈ 1
Железо	0.1	≈ 1
Сталь	0.082	≈ 1

6 Контрольные вопросы:

- 6.1. Какие линии передачи являются регулярными?
- 6.2. Перечислите основные требования, предъявляемые к линиям передачи.
- 6.3. Назовите основные параметры регулярных линий передачи.
- 6.4. Как маркируются коаксиальные кабели?
- 6.5. От чего зависит выходная мощность сигнала на выходе линии передачи?
- 6.6. Влияние материала проводов на параметры коаксиальной линии передачи.
- 6.7. Влияние материала диэлектрика на параметры коаксиальной линии передачи.
- 6.8. От каких параметров зависит предельная и допустимая мощности, передаваемые по коаксиальному кабелю.
- 6.9. От каких параметров коаксиального кабеля зависит его коэффициент затухания?

7 Содержание отчета:

- 7.1 Название лабораторной работы.
- 7.2 Цель работы.
- 7.3 Список используемых приборов.
- 7.4 Рисунок с размерами исследуемого коаксиального кабеля.
- 7.5. Результаты расчета конструкции коаксиального кабеля:
 - 1) Волновое сопротивление $Z_{\text{в}}$, формулы (1) и (2);
 - 2) Затухание в коаксиальном кабеле, формула (6);
 - 3) Абсолютную и относительную скорости распространения волны формулы (14) и (15);
 - 4) Коэффициент укорочения волны в линии, формула (16);
 - 5) Длина волны в линии, формула (17);
 - 6) Максимальная частота, формула (18);
 - 7) Максимальная переносимая мощность, формула (19).
- 7.6 Вывод по результатам выполненной работы
- 7.9 Ответы на контрольные вопросы.

Типовое задание по лабораторной работе по теме «Исследование структуры поля в линии передачи»

- 1 Цель работы.
 - 1.1 Наблюдение режима стоячей, бегущей и смешанных волн в линиях передачи.
 - 1.2 Закрепление навыков работы с лабораторным оборудованием.
 - 1.1 Освоение методики проведения измерений линий передач.
- 2 Оборудование.
 - 2.1 Измерительная коаксиальная линия Р1-3 (ИКЛ-111).
 - 2.2 СВЧ Генератор от 2.5 ГГц до 10 ГГц.
 - 2.3 Комплект нагрузок для коаксиальной линии:
 - сопротивление реактивное ЭРСК-111;

- нагрузка ЭАК-111;
- короткозамыкатель;
- переходники волноводно-коаксиальные;
- СВЧ кабели.
- Регистратор напряжения и тока.

3 Задания для допуска к работе.

- 3.1 Внимательно изучить методические указания к данной лабораторной работе.
- 3.2 Нарисовать теоретическую картину напряженности электрического поля в линиях передачи при согласованной и несогласованной нагрузках.
- 3.3 Повторить основные расчетные соотношения и свойства коаксиальных линий.

4 Описание оборудования.

4.1 Описание измерительной линии.

Измерительная линия Р1-3 предназначена для измерения параметров стоячих волн в коаксиальных трактах, общий вид прибора представлен на рисунке 1.

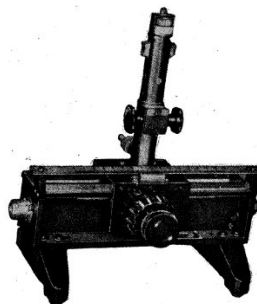


Рисунок 1 – Общий вид прибора Р1-3

Диапазон частот прибора 2,5—10,35 ГГц (12—2,9 см).

Номинальное значение волнового сопротивления 50 Ом.

Собственный КСВН измерительной линии в рабочем диапазоне частот не должен быть более 1,08.

Непостоянство связи зонда с полем линии не превышает 2%.

Относительная шунтирующая проводимость зонда не превышает 0,05.

Пределы перемещения зонда вдоль линии не менее 130 мм.

Погрешность индикации положения зонда вдоль линии по линейке и нониусу не превышает $\pm 0,05$ мм.

4.2 Принцип действия линии

Измерение коэффициента стоячей волны производится путем определения характера распределения электрического поля вдоль линии.

Основной частью прибора является отрезок коаксиальной линии, внутренним проводником которой служит металлический стержень, а внешний проводник образован двумя металлическими пластинами, параллельными друг другу и внутреннему проводнику.

Схема измерительной линии показана на рисунке 2.

Для присоединения к линии испытуемых коаксиальных систем линия снабжена двумя гнездами коаксиальных соединителей. В линию вводится небольшой зонд — антенна, связанный с настраиваемым коаксиальным резонатором.

При пропускании через линию мощности электромагнитных колебаний будет создаваться электромагнитное поле, наводящее в зонде электродвижущую силу, пропорциональную напряженности поля в месте расположения зонда. Эта электродвижущая сила возбуждает резонатор, создавая в нем электромагнитные колебания. Для уменьшения искажающего действия зонда на электромагнитное поле в линии объемный контур должен настраиваться в резонанс с частотой электромагнитных колебаний. С объемным резонатором связан кристаллический детектор.

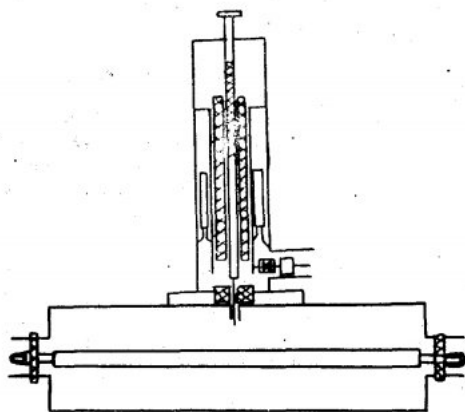


Рисунок 2 – схема измерительной линии

Величина выпрямленного тока в цепи детектора является мерой интенсивности колебаний в резонаторе, а следовательно, величины электродвижущей силы в зонде и величины напряженности поля в месте расположения зонда.

Зонд с настраиваемым резонатором и кристаллическим детектором образуют измерительную головку. Измерительная головка может перемещаться вдоль линии по специальным направляющим; при этом электродвижущая сила в зонде и выпрямленный ток в цепи детектора будут изменяться в соответствии с распределением поля в линии.

Выпрямленное напряжение с детектора подается через кабель на индикаторный прибор (микроамперметр или микровольтметр).

4.3 Конструкция линии

Собственно измерительная линия представляет собой отрезок коаксиальной линии, состоящей из двух параллельных металлических пластин и цилиндрического стержня, расположенного между ними. Пластины имеют длину 200 мм, ширину 60 мм, расстояние между пластинами 11 мм. Диаметр стержня 6 мм.

Плоская коаксиальная линия переходит на концах в небольшие отрезки обычной коаксиальной линии, имеющей размеры $10/4,34$ мм и волновое сопротивление 50 Ом. В этих отрезках помещаются опорные фторопластовые втулки, служащие для крепления центрального проводника линии. С обеих сторон линия оканчивается гнездами соединителей.

Измерительная головка линии Р1-3 представляет собой двойную коаксиальную линию, образованную тремя концентрическими трубками.

4.4 Описание комплектующих изделий

4.4.1 Нагрузка ЭАК-111

Нагрузка ЭАК-111 предназначена для создания режима бегущей волны в коаксиальных передающих линиях с размером коаксиала $10/4,34$ мм. Нагрузка может быть использована в

качестве эквивалента антенн при наладке и испытаниях высокочастотных трактов различных радиоустройств.

Основные технические характеристики

Коэффициент стоячей волны нагрузки не превышает 1,18 в диапазоне длин волн 2,9—12 см.

Допустимая средняя мощность, рассеиваемая нагрузкой, не более 1 ватта.

Длина нагрузки 130 мм.

Масса нагрузки не более 0,2 кг.

4.4.2 Сопротивление реактивное ЭРСК-111

Реактивное сопротивление ЭРСК-111 используется как короткозамкнутая линия с переменной фазой для коаксиальных трактов сечением 10/4,34 мм.

Условия работы — лабораторные.

Основные технические характеристики

Коэффициент стоячей волны ЭРСК-111 не менее 30 в диапазоне длин волн 2,9—12 см.

Ход подвижного поршня составляет 70 мм.

Положение поршня вдоль линии определяется по шкале и нониусу с ценой деления 0,02 мм.

4.5 Работа с прибором

4.5.1 Предварительная настройка линии

Предварительная настройка линии производится в следующем порядке:

- б) присоединить к измерительной головке микроамперметр или микровольтметр
- в) присоединить к линии оконечную согласованную нагрузку ЭАК-111;
- г) присоединить к линии генератор с развязывающим выходом;
- д) установить зонд в положение оптимального погружения, обусловленного чувствительностью детектора;
- е) включить генератор и настроить измерительную головку на частоту колебаний генератора. Для этого, установив с помощью выступов диэлектрический плунжер контура зонда в верхнее положение, плавно вращают ручки, перемещающие поршень контура детектора до отклонения стрелки (или светового указателя) индикаторного прибора¹.

Если при перемещении поршня на величину полного хода (от упора до упора) стрелка индикаторного прибора не отклоняется, то немного смещают вниз диэлектрический плунжер (на 1—2 мм для волны 3 см и 10—12 мм для волны 12 см) и снова, вращая ручки, пытаются получить отклонение стрелки индикатора прибора. Операцию повторяют до тех пор, пока не будет получено заметное отклонение стрелки индикаторного прибора. При появлении показаний на индикаторном приборе продолжают настройку головки, т. е. плавно перемещают оба подстроенных элемента до получения максимального отклонения, одновременно следя за тем, чтобы стрелка индикаторного прибора не отклонялась за шкалу, и уменьшая, в случае необходимости, мощность генератора или глубину погружения зонда.

5.5.2 Признаки нормальной работы прибора

- а) Измерительная головка плавно, без рывков, настраивается на частоту колебаний, распространяющихся в линии;
- б) показания индикаторного прибора измерительной линии плавно изменяются при перемещении каретки вдоль линии;
- в) последовательно максимумы напряжения вдоль линии отличаются друг от друга не более чем на 4% при замкнутой накоротко измерительной линии.

4.6 Определение условного конца линии

Определение условного конца измерительной линии производится всякий раз перед измерением полного сопротивления.

Для определения условного конца линии необходимо выполнять следующие действия:

- а) произвести предварительную настройку линии, как указано в п. 5.5;
 - б) замкнуть накоротко выходной соединитель посредством короткозамыкателя, придаваемого к линии;
 - в) определить положение узла напряжения, ближайшего к выходному концу линии.
- Установить линейку прибора Р1-3 в положение, удобное для отсчета расстояний от этого узла. Найденное положение узла принимается за условный конец линии.

4.7 Измерение длины волны в линии

- а) Произвести предварительную настройку линии (в соответствии с указаниями п. 5.5);
 - б) замкнуть накоротко выходной конец измерительной линии с помощью короткозамыкателя;
 - в) измерить расстояние между двумя крайними на линии узлами напряжения.
- Примечание. Точное положение узла напряжения определяется как среднее из 2 положений измерительной головки по обе стороны от узла, для которых показания прибора заметно отличаются от нуля и одинаковы.
- г) Вычислить длину волны в линии, разделив удвоенное расстояние между узлами напряжения на число пучностей напряжения между ними.

4.8 Измерение коэффициента стоячей волны напряжения (КСВН)

- а) к выходу линии присоединить нагрузку, КСВН которой желают измерить;
- б) заметить показания микроамперметра или микровольтметра в минимуме и максимуме напряжения a_{\min} и a_{\max} ,
- в) пользуясь калибровочной характеристикой детектора, перевести показания индикатора в значения, пропорциональные напряжениям в линии U_{\min} и U_{\max} ;
- г) вычислить коэффициент стоячей волны $K_{ст}$ по формуле:

$$K_{ст} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$$

6 Контрольные вопросы:

- 6.1. Волна какого типа является основной в коаксиальной линии передачи?
- 6.2. Какой режим распространения волны предпочтителен в линиях передачи, почему?
- 6.3. Назовите негативные явления в режиме стоячих волн.
- 6.4. Назовите максимальную величину КСВН, при которой допустимо использовать питающий фидер.
- 6.5. Каким образом можно уменьшить КСВН в линии передачи.
- 6.6. Что такое КБВ? Какое значение должен иметь КБВ в идеальных линиях передачи.
- 6.7. С какой целью нужно настраивать детекторную головку.
- 6.8. Нужно ли перенастраивать детекторную головку при изменении частоты на генераторе, почему?

7 Содержание отчета:

- 7.1 Название лабораторной работы.
- 7.2 Цель работы.

Список используемых приборов.

Расчетный диапазон частот, в котором можно проводить корректные измерения в исследуемой измерительной коаксиальной линии.

Выбранную частоту для проведения измерений, длину волны на выбранной частоте.

- 7.6 Построение картины распространения бегущей волны в линии передачи.

7.7 Построение картины распространения стоячей в линии передачи.

7.8 Построение картины распространения смешанной волны в линии передачи.

7.9 Измеренное значение КСВН и КБВ в режиме стоячей, бегущей и смешанных волн.

7.10 Измеренное значение полного сопротивления линии передачи.

Измеренное значение длины волны в линии.

7.11 Вывод по результатам выполненной работы

7.12 Ответы на контрольные вопросы.

Типовые вопросы и задания к экзамену:

1.Обобщенная структура радиоканала. Основные параметры составляющих радиоканала: фидерных устройств, антенн и среды распространения, и их влияние на качественные характеристики систем радиосвязи.

2.Векторы электромагнитного поля, физические законы, лежащие в основе системы уравнений электродинамики.

3. Гармонические поля, их математическое моделирование, материальные уравнения и теоремы электродинамики для гармонических полей.

4.Линии передачи и их электрические характеристики. Основные типы линий передачи, использующиеся в фидерных системах. Работа линий передачи в режимах передачи мощности и трансформации сопротивлений.

5. Согласования в фидерных трактах.

6.Матричное описание цепей и устройств. Примеры выполнения фидеров для систем радиосвязи различных частотных диапазонов и назначения.

7.Плоская волна, как предельный случай сферической волны на локальном участке фронта.

8.Решение волнового уравнения для плоских волн.

9.Свойства поля плоской волны в идеальных и реальных средах.

10. Падение плоской волны на плоскую границу раздела сред.

11.Особенности решения уравнений электродинамики для задач излучения.

12.Моделирование реальных источников поля с помощью элементарных излучателей.

13.Характеристики поля элементарных излучателей и их физические аналоги: элементарные электрический и магнитный излучатели, элементарный участок фронта волны (элемент Гюйгенса), турникетный излучатель.

14. Возбуждение колебаний в линиях передачи с использованием элементарных излучателей.

15.Функции антенн в составе радиоканала.

16.Первичные и вторичные характеристики антенн. Работа антенны в режиме приема.

17.Вибраторные антенны: распределение тока, диаграмма направленности и входное сопротивление вибратора, связанные вибраторы, конструктивное выполнение вибраторов. 18. повышения направленности антенн.

19.Линейные и апертурные антенны с непрерывным распределением токов.

20.Антенные решетки, особенности управления диаграммой направленности антенных решеток по сравнению с антеннами с непрерывным распределением токов.

21.Классификация радиоволн по частотным диапазонам и механизмам распространения. Основные потери в среде распространения.

22.Расстояние прямой видимости, область существенная при распространении радиоволн.

23.Связь с приподнятыми антеннами, влияние сферичности Земли и параметров подстилающей поверхности.

24.Электрофизические характеристики атмосферы, их зависимость от высоты.

25. Основные отличия электрофизических характеристик тропосферы, стратосферы и ионосферы, влияние их на распространение радиоволн.

26.Использование в системах связи плавных изменений параметров атмосферы и наличия в ней локальных неоднородностей.

27. Факторы, определяющие затухание радиоволн: поглощение в атмосфере и земной поверхности, влияние тропосферной рефракции и рассеяния на неоднородностях.

28. Зависимость затухания от частоты и поляризации поля.

29. Помехи в канале распространения. Природные и промышленные помехи. Пространственное и частотное распределение помех.

30. Учет характеристик радиоканала при частотно-территориальном планировании и обеспечении электромагнитной совместимости систем радиосвязи.

Банк контрольных вопросов, заданий и иных материалов, используемых в процессе процедур текущего контроля и промежуточной аттестации находится в учебно-методическом комплексе дисциплины и/или представлен в электронной информационно-образовательной среде по URI: <http://www.aup.uisi.ru/>.

3.3. Методические материалы проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся

Перечень методических материалов для подготовки к текущему контролю и промежуточной аттестации:

1. Методические указания к выполнению практических работ по дисциплине «Антенны и распространение радиоволн». –URL: <http://aup.uisi.ru/5079727/>
2. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Антенны и распространение радиоволн». –URL: <http://aup.uisi.ru/5079727/>