

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Ордена Трудового Красного Знамени
Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение
высшего профессионального образования
Московский технический университет связи и информатики

Кафедра направляющих телекоммуникационных сред

Задания и методические указания к выполнению
контрольной работы
по курсу

**НАПРАВЛЯЮЩИЕ СРЕДЫ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ**

Для студентов направления 11.03.02 3 курса

Москва 2022

План МУ 2021/2022 уч. г.

Задания и методические указания к выполнению
контрольной работы
по курсу

НАПРАВЛЯЮЩИЕ СРЕДЫ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Составители:

В.А. Колесников канд. техн. наук, доцент.

О.В. Колесников канд. техн. наук, доцент.

Утверждено на заседании кафедры, протокол № 2022-06

Рецензент С.И. Иванов, канд. техн. наук, доцент.

Общие указания

Задачей курса НСЭ является изучение конструкций и методов расчета параметров передачи и влияния направляющих систем, защиты направляющих систем от взаимных и внешних влияний, а также основных принципов проектирования, строительства и технической эксплуатации всего комплекса линейных сооружений связи. Основной формой учебной работы являются самостоятельные занятия. Аудиторные занятия во время пребывания студентов на сессии должны закреплять знания, полученные при самостоятельной работе.

По изучаемому курсу предусмотрены лекции, лабораторный практикум и упражнения по решению задач. Все студенты выполняют контрольную работу и курсовой проект. Защита курсового проекта, как и сдача зачета по лабораторному практикуму, должна предшествовать сдаче экзамена по курсу.

Собеседование по контрольной работе происходит в процессе сдачи зачета по теоретической части курса.

Требования к оформлению контрольной работы

С целью унификации оформления контрольных работ в университете студентам рекомендуется руководствоваться следующими положениями.

1. Условия задач и исходные данные своего варианта для каждой задачи переписываются полностью и помещаются перед решением задачи.

2. Расчетные формулы приводятся в том виде, как они даны в методических указаниях или основном учебнике. Ссылка на номер формулы при этом обязательна. Если требуется рассчитать заданный параметр в диапазоне частот, то он подробно рассчитывается на одной частоте с обязательной подстановкой численных значений входящих в формулу параметров. На других частотах приводятся в форме таблиц только окончательные значения расчетного параметра.

3. Результаты расчетов обязательно сравниваются с нормами, если рассчитываемый параметр нормируется и указывается размерность каждого рассчитываемого параметра.

4. Все страницы, чертежи, рисунки и таблицы должны соответствовать требованиям предъявляемым к оформлению ВКР бакалавра, которые опубликованы на сайте МТУСИ (сайт МТУСИ, студенту, оформление ВКР) .

5. В конце работы приводится список использованных источников с указанием издательства и года издания. Методические указания также входят в этот список. Контрольная работа подписывается студентом с указанием даты.

6. Выполненная контрольная работа представляется в ЦОКР заочного факультета не менее чем за 40 дней до начала сессии.

Задача 1

Рассчитать первичные и вторичные параметры передачи симметричной кабельной цепи звездной скрутки, расположенной в четырех четверочном кабеле. Построить графики частотной зависимости параметров передачи в заданном диапазоне. Номер варианта задания определяется двумя последними цифрами номера студенческого билета. Например, если номер студенческого билета № 78175, то вариант задания 75.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 1-4. Расчет параметров передачи выполняют на частотах, указанных в табл. 4, в зависимости от заданного значения верхней частоты диапазона. Величины ϵ и $\text{tg}\delta$ указаны в табл. 3. Если расчетная частота отличается от частоты в табл. 3, то применяют линейную интерполяцию для определения $\text{tg}\delta$.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип изоляции	кб	кб	кб	кс	кс	кс	кс	сп	сп	сп
Толщина ленты, мм	0,12	0,12	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	1,1	1,15
Диаметр корделя, мм	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	-	-	-
Верхняя част., кГц	252	108	252	108	252	108	252	108	108	252

Условные обозначения: кб – кордельно-бумажная изоляция; кс – кордельно-стирофлексная изоляция; сп – сплошная полиэтиленовая изоляция.

Таблица 2. Исходные данные для расчета

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Материал жилы	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м
Диаметр жилы, мм	1,2	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,2
Материал оболочки	с	а	с	а	с	а	с	с	а	с

Условные обозначения: м – медная жила; а – алюминиевая оболочка; с – свинцовая оболочка.

Таблица 3. Значения тангенса угла диэлектрических потерь

Тип изоляции	ϵ	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^4$ при f , кГц			
		12	60	108	252
Кордельно-бумажная	1,3	60	80	120	180
Кордельно-стирофлексная	1,2	4,5	10	15	20
Сплошная полиэтиленовая	2,0	6,0	12	24	38

Таблица 4. Исходные данные частот для расчета

Заданный диапазон, кГц	f_1	f_2	f_3	f_4
12-108	12	30	60	108
12-252	12	40	120	252

Методические указания к решению задачи 1

Основные формулы

—

Активное сопротивление симметричной кабельной цепи переменному току:

$$R = 2R_0\chi[1 + F(kr) + \frac{pG(kr)(d/a)^2}{1 - H(kr)(d/a)^2}] + R_M, \quad \text{Ом/км}, \quad (1.1)$$

где

- R_0 – сопротивление одного километра проводника цепи постоянному току, Ом/км;
- R_M - сопротивление, обусловленное потерями на вихревые токи в соседних металлических элементах, Ом/км;
- χ - коэффициент укрутки $\chi = 1.02 - 1.07$;
- a - расстояния между центрами проводников цепи $a = 4.1$, мм;
- d - диаметр голого проводника, мм. (табл.2);

- p - коэффициент, учитывающий вид скрутки (при парной скрутке $p=1$, при звездной - $p=5$);
- $F(kr)$, $G(kr)$, $H(kr)$ - специальные функции полученные с использованием видоизмененных функций Бесселя [2, табл. 6.1];
- k - коэффициент потерь для металла [2, табл. 6.2];
- g - радиус голого проводника, мм.

—

Сопротивление проводника постоянному току:

$$R_0 = (4000\rho)/(\pi d^2), \text{ Ом/км}, \quad (1.2)$$

где

- d - диаметр голого проводника, мм;
- ρ - удельное сопротивление $\rho=0.0175$, Ом·мм²/м

—

Дополнительное сопротивление, обусловленное потерями на вихревые токи в соседних проводах и металлической оболочке:

$$R_M = R_{M.T.} \sqrt{f / 200}, \text{ Ом/км}, \quad (1.3)$$

где

- $R_{M.T.}$ - табличные значения [2, табл. 6.7] сопротивления потерь на частоте 200 кГц в смежных четверках и металлической оболочке, Ом/км;
- f - частота сигнала, кГц.

Индуктивность симметричной кабельной цепи:

$$L=L_{\text{ВН}}+2L_{\text{а}}=\chi\left[4\ln\frac{a-r}{r}+\mu_r Q(kr)\right]\cdot 10^{-4}, \text{ Гн/км}, \quad (1.4)$$

где

- a - расстояния между центрами проводников, мм;
- r - радиус голого проводника, мм;
- $L_{\text{ВН}}$ - внешняя индуктивность цепи, Гн/км;
- $L_{\text{а}}$ - внутренняя индуктивность одного проводника, Гн/км;
- χ - коэффициент укрутки;
- μ_r - относительная магнитная проницаемость, $\mu_r=1$;
- $Q(kr)$ - специальная функция полученная с использованием видоизмененных функций Бесселя [2,табл. 6.1].

Емкость симметричной кабельной цепи без учета близости соседних пар:

$$C=\frac{\varepsilon_r 10^{-6}}{36\ln[(a-r)/r]}, \text{ Ф/км}, \quad (1.5)$$

где

- a - расстояния между центрами проводников, мм;
- r - радиус голого проводника, мм;
- ε_r - относительная диэлектрическая проницаемость (табл.3).

Ёмкость симметричной кабельной цепи с учётом близости соседних пар:

$$C = \frac{\chi \varepsilon_r 10^{-6}}{36 \ln[(a\psi/r)]}, \text{ Ф/км}, \quad (1.6)$$

где

- χ - коэффициент укрутки;
- ψ - поправочный коэффициент, характеризующий близость металлических элементов $\psi=0.6-0.7$.

Проводимость изоляции симметричной цепи:

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta, \text{ См/км}, \quad (1.7)$$

где

- ω - круговая частота ($\omega=2\pi f$);
- C - ёмкость симметричной цепи;
- $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь (табл.3).

Волновое сопротивление симметричной цепи:

$$Z_B = \sqrt{L / C}, \text{ Ом}, \quad (1.8)$$

где

- L - индуктивность цепи, Гн/км;
- C - ёмкость цепи, Ф/км.

Коэффициент затухания в кабельной симметричной цепи:

$$\alpha = \left[\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right] \cdot 8,69, \text{ дБ/км}, \quad (1.9)$$

где

- R - сопротивление цепи, Ом/км;
 - G - проводимость изоляции цепи, См/км;
 - L - индуктивность цепи, Гн/км;
 - C - емкость цепи, Ф/км.
-

Коэффициент фазы:

$$\beta = \omega \sqrt{LC}, \text{ рад/км}, \quad (1.10)$$

где

- ω - круговая частота ($\omega = 2\pi f$);
 - L - индуктивность цепи, Гн/км;
 - C - ёмкость цепи, Ф/км.
-

Скорость распространения энергии:

$$v = \sqrt{\frac{1}{LC}}, \text{ км/с}, \quad (1.11)$$

где

- L - индуктивность цепи, Гн/км;
- C - емкость цепи, Ф/км.

Расчет первичных (R , L , C , G) и вторичных (α , β , ZB , v .) параметров передачи выполняют по формулам, приведенным выше.

Для вычисления R и L используют функции $F(kr)$, $G(kr)$, $H(kr)$, $Q(kr)$, значения которых указаны в [2, табл. 6.1] . Если величины kr не совпадают с приведенными в этой таблице, применяют линейную интерполяцию.

Задача 2

Методические указания к решению задачи 2

Рассчитать параметры передачи стандартизированной коаксиальной пары, исходные данные взять из табл. 5, 6, 7.

Таблица 5. Исходные данные для расчета

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Диаметр внутреннего проводника, d , мм	2,6	2,5	2,45	2,5	2,6	2,55	2,45	2,6	2,5	2,55

Таблица 6. Исходные данные для расчета

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Внутренний диаметр внешнего проводника, D , мм	9,4	9,45	9,5	9,4	9,45	9,5	9,4	9,45	9,5	9,4

Таблица 7. Исходные данные для расчета

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Система передачи	ИКМ-480	ИКМ-1920	К-1920	К-3600	К-5400	ИКМ-480	ИКМ-1920	К-1920	К-3600	К-1920

Для аналоговой системы передачи типа К расчет дать для пяти значений частот, распределенных примерно равномерно в диапазоне от f_n - нижней до f_v - верхней частоты линейного спектра [2, табл. 1.2]

Для цифровой системы передачи типа ИКМ расчет дать для пяти значений частот (0,5; 0,6 ... 1,0) f_t , где $f_t \sim$ тактовая частота, МГц, соответствующая скорости передачи, Мбит/с [2, табл. 1.3].
Материал внутреннего и внешнего проводников – медь.

По результатам расчетов построить графики частотной зависимости параметров передачи, дать их анализ и сравнить с типовыми [2, рис. 6.10 и 6.12].

1. Основные формулы

—

Активное сопротивление коаксиальной пары с медными проводниками:

$$R = 0,0835 \cdot \sqrt{f} \cdot \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right), \quad \text{Ом/км.} \quad (2.1)$$

где

- d - диаметр внутреннего проводника, мм;
- D - диаметр внешнего проводника, мм;
- f – заданная частота, Гц;

Индуктивность коаксиальной цепи:

$$L = L_a + L_b + L_{вн} = \left[2 \ln \frac{D}{d} + \frac{133,3}{\sqrt{f}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \right] 10^{-4}, \text{ Гн/км}, \quad (2.2)$$

где

- L_a - внутренняя индуктивность внутреннего проводника, Гн/км;
- L_b - внутренняя индуктивность внешнего проводника, Гн/км;
- $L_{вн}$ - внешняя индуктивность цепи (или наружная межпроводниковая индуктивность), Гн/км.

Емкость коаксиальной цепи:

$$C = \epsilon_r \cdot 10^{-6} / [18 \cdot \ln(D / d)], \text{ Ф/км}, \quad (2.3)$$

где

- ϵ_r - диэлектрическая проницаемость изоляции коаксиальной пары [2, табл. 6.3].

Проводимость изоляции коаксиальной цепи:

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta, \text{ См/км}, \quad (2.4)$$

где

- ω - круговая частота ($\omega = 2\pi f$);
- C - ёмкость коаксиальной цепи;

- $\operatorname{tg}\delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь [2, табл. 6.3].

—

Величина волнового сопротивления коаксиального кабеля на частотах >2 МГц практически не изменяется и может определяться непосредственно через габаритные размеры коаксиальной пары (d и D) и параметры изоляции (ϵ):

$$Z_{\%o} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D}{d}, \quad \text{Ом.} \quad (2.5)$$

Для определения волнового сопротивления на низких частотах можно воспользоваться выражениями используемыми для оценки $Z_{\text{в}}$ симметричных цепей.

В области высоких частот коэффициент затухания целесообразно выражать непосредственно через габаритные размеры (d и D) и параметры изоляции (ϵ и $\operatorname{tg}\delta$):

$$\alpha = \alpha_{\text{м}} + \alpha_{\text{д}} = \frac{6,05\sqrt{f\epsilon_r}}{\ln(D/d)} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \cdot 10^{-3} + 9,08 \cdot f \sqrt{\epsilon_r} \cdot \operatorname{tg}\delta \cdot 10^{-5}, \text{дБ/км.} \quad (2.6)$$

Коэффициент фазы определяет угол сдвига между током (или напряжением) на протяжении одного километра. Для определения коэффициента фазы в областях высоких частот можно пользоваться выражением:

$$\beta = \frac{\sqrt{\epsilon_r}}{c}, \text{ рад/км,} \quad (2.7)$$

В области высоких частот , когда скорость не зависит от частоты и определяется только параметрами кабеля, скорость распространения электромагнитной энергии можно выразить через ϵ :

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}, \text{ км/с}, \quad (2.8)$$

где c - скорость света (300 000 км/с).

Задача 3

Рассчитать длину регенерационного участка оптического кабеля. Выбрать конструкцию оптического кабеля и нарисовать эскиз поперечного сечения с указанием всех элементов в зависимости от числа оптических волокон соответствующего варианта (табл.9) исходные данные взять из табл. 8, 9.

Таблица 8. Исходные данные для расчета

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Дисперсия пс/нм,км,	17,0	1,3	17,2	1,5	17,4	2,0	17,7	2,5	18,0	3,0
Затухание α , дБ/км,	0,20	0,30	0,21	0,31	0,22	0,32	0,22	0,33	0,21	0,34
Ширина источ, изл, δ_{λ} , нм,	0,1	0,3	0,2	0,5	0,2	0,7	0,3	0,6	0,1	0,5
Длина волны λ , мкм, Потери в нераз, соедин, α_n , дБ,	1,55	1,30	1,55	1,30	1,55	1,30	1,55	1,30	1,55	1,30
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03

Таблица 9. Исходные данные для расчета

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Системы СЦИ	СТМ-1	СТМ-16	СТМ-4	СТМ-64	СТМ-1	СТМ-16	СТМ-1	СТМ-64	СТМ-4	СТМ-16
Энергетический потенциал сист, П, дБ,	24	25	26	27	28	29	30	24	25	26
Число волокон в кабеле m	12	8	12	16	20	24	8	16	20	24
Строит, длина ОК l_c , км,	5	3	6	2	5	3	4	6	4	3

Методические указания к решению задачи 3

Основные формулы

В ВОЛС через определённое расстояние, называемое длиной регенерационного участка, устанавливают регенераторы, которые усиливают и восстанавливают световые импульсы, подверженные затуханию и искажению формы при прохождении по линейному тракту.

Длина регенерационного участка L_{p1} , ограниченная дисперсией сигналов в оптическом волокне, т.е. уширением импульсов, не должна превышать величину:

$$L_{p1} \leq \frac{0,25}{D \cdot \delta_{\lambda} \cdot B}, \text{ км}, \quad (3.1)$$

где

D - удельная хроматическая дисперсия ОВ пс/нм.км, (табл,8);

δ_{λ} - ширина спектральной линии источника излучения нм, (табл,8);

B - скорость передачи цифрового сигнала в линии для систем СТМ Гбит,/с, [2табл,1,4].

Длина регенерационного участка L_{p2} , ограниченного энергетическими характеристиками ВОЛС, определяется выражением:

$$L_{p2} < \frac{P - \alpha_n - 2 \cdot \alpha_p}{\alpha + \frac{\alpha_n}{l_c}}, \text{ км}, \quad (3.2)$$

где

P – энергетический потенциал системы дБ, (табл,9);

α_n – величина потерь в неразъемных соединениях дБ, (табл,8);

α_p – величина потерь в разъемных соединениях дБ, $\alpha_p=0,3$;

l_c – строительная длина кабеля км, (табл,9);

α – величина затухания ОВ дБ/км, (табл,8).

В результате расчета сравнивается длина регенерационного участка L_{p1} , ограниченного дисперсией, с длиной регенерационного участка L_{p2} , ограниченного потерями в линии, и выбирается окончательный вариант. Конструкция оптического

кабеля выбирается исходя из количества волокон для заданного варианта (табл,9) из [1,2,3,].

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основная

1. В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, и др. Направляющие системы электросвязи. Учебник для вузов, Теория передачи и влияния. – М. 2018.
2. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1; Теория передачи и влияния. Под редакцией Андреева В.А. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 424 с.

Дополнительная

3. Э.Л. Портнов. Волоконная оптика в телекоммуникации. – М.: Горячая линия – Телеком. 2018 г.