

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени В.И.ВЕРНАДСКОГО»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра компьютерной инженерии и моделирования

Лабораторный практикум

по дисциплине «СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ»

для обучающихся по направлениям подготовки:

09.03.01 – Информатика и вычислительная техника; 09.03.04 – Программная инженерия,
очной/заочной формы обучения

Квалификационный уровень - бакалавриат

Симферополь, 2020

Е.П. Таран. Лабораторный практикум по дисциплине «Сети и телекоммуникации».
– Симферополь: ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», 2020. – 17 стр.

Лабораторный практикум по дисциплине «Сети и телекоммуникации» содержит требования к студентам по подготовке и выполнению лабораторной работы, технические задания на выполнения лабораторных работ, теоретический материал для каждой лабораторной работы, список рекомендуемой литературы, правила оформления отчета по лабораторной работе.

Утверждено на заседании кафедры компьютерной инженерии и моделирования,
протокол от 15.01.2020 г. № 5

Издается по решению Методического совета Физико-технического института
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 6 от 28.02.2020 г.).

© Таран Е.П. 2020
© ФГАОУ ВО «Крымский
федеральный университет имени
В.И. Вернадского», 2020

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий лабораторный практикум включает в себя описания лабораторных работ по дисциплине «Сети и телекоммуникации» для студентов направлений подготовки: 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 09.03.04 «Программная инженерия». При выполнении лабораторных работ с использованием средств автоматизированного проектирования студенты данных направлений подготовки исследуют основные характеристики и принципы построения современных телекоммуникационных систем и сетей.

Цель данного лабораторного практикума - разработка требований и рекомендаций по выполнению лабораторных работ и представлению отчетов.

Требования к студентам по подготовке, выполнению и отчету по лабораторным работам:

1. Студент приходит на лабораторное занятие, ознакомившись с теоретическим материалом по данной теме, подтвержденным конспектом в тетради, для выполнения лабораторных работ.
2. В начале занятия преподаватель проверяет подготовку к лабораторной работе и оценивает ее. Студенты, не знающие теорию вопроса, к выполнению работы не допускаются.
3. Отчет по лабораторной работе должен содержать:
 - титульную страницу (приложение 1);
 - цель лабораторной работы;
 - техническое задание;
 - математический аппарат и основные формулы по дисциплине «Сети и телекоммуникации», необходимые для выполнения технического задания и достижения цели по данной лабораторной работе;
 - руководство пользователя по разработанному программному обеспечению, необходимому для выполнения лабораторной работы;
 - результаты выполнения работы и их обоснования;
 - выводы по работе;
 - программный код разработанного программного обеспечения (в приложении).
4. Порядок сдачи лабораторной работы. В ходе лабораторной работы студент разрабатывает программное обеспечение, необходимое для выполнения технического задания и достижения цели работы. Сдача лабораторной работы состоит из двух частей: 1. демонстрации работы разработанного программного обеспечения с анализом полученных значений; 2. сдача отчета по лабораторной работе. Отчет должен включать все необходимые разделы (пункт 3 данных требований), должен быть сформирован в формате .pdf и выслан преподавателю не позже установленного дня в Электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС).

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельбух С.С. Сети ЭВМ и телекоммуникации. Архитектура и организация: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 208 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/118646/#1>
2. Самуйлова К.Е., Шалимов И.А., Кулябова Д.С. Сети и телекоммуникации: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 363 с. <https://biblio-online.ru/viewer/seti-i-telekommunikacii-432824#page/1>
3. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации : учебное пособие / авт.-сост. С.В. Буцык, А.С. Крестников, А.А. Рузаков ; под общ. ред. С.В. Буцык и др. - Челябинск : ЧГИК, 2016. - 116 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-94839-537-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=492739>.
4. Современные информационные каналы и системы связи : учебник / В.А. Майстренко, А.А. Соловьев, М.Ю. Пляскин, А.И. Тихонов ; Минобрнауки России, Омский государственный технический университет, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Академия военных наук Российской Федерации. - Омск : Издательство ОмГТУ, 2017. - 452 с. : табл., граф., схем., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8149-2458-2 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493441>.
5. Душин, В.К. Теоретические основы информационных процессов и систем : учебник / В.К. Душин. - 5-е изд. - Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2016. - 348 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-394-01748-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453880>.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ПО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ»

Цель работы: спроектировать канала передачи данных с заданными энергетическими характеристиками.

Техническое задание: На вход усилителя передатчика канала подается сигнал с уровнем мощности $p_{вх}$. Коэффициент усиления передатчика $S_{пер}$. Длина канала L . Затухание в канале передачи данных α . Промежуточные усилители имеют коэффициент усиления S . Коэффициент усиления приемника $S_{пр}$. Уровень помехи в канале передачи данных $p_{пом}$. Величина защищенности от помех A . Выход канала имеет уровень мощности $p_{вых}$ (таблица 1).

Необходимо разработать программное обеспечение для расчета энергетических характеристик и проектирования канала передачи данных.

Таблица 1. Энергетические характеристики канала передачи данных.

№	$p_{вх}$, дБ	$S_{пер}$, дБ	L , км	α , дБ/км	S , дБ	$S_{пр}$, дБ	$p_{пом}$, дБ	A , дБ	$p_{вых}$, дБ
1	-3	10	100	1	20	4	-15	5	-5
2	-4	11	120	1,2	21	5	-16	4	-6
3	-5	12	140	1,4	22	6	-17	3	-7
4	-6	13	160	1,6	23	7	-18	4	-8
5	-7	14	180	1,8	24	8	-19	5	-9
6	-8	15	200	2	25	9	-20	6	-10
7	-9	16	240	2,2	24	8	-21	7	-11
8	-10	17	280	2,4	23	7	-22	6	-10
9	-9	18	320	2,6	22	6	-23	5	-9
10	-8	19	340	2,8	21	5	-24	4	-8
11	-7	20	360	3	20	6	-25	3	-7
12	-6	21	380	3,2	19	7	-24	2	-6
13	-5	22	400	3,4	18	8	-23	1	-5
14	-4	23	410	3,6	17	9	-22	2	-6
15	-3	24	420	3,8	16	10	-21	3	-7
16	-2	25	430	4	15	9	-20	4	-8
17	-1	24	440	3,6	14	8	-19	5	-9
18	-2	23	450	3,2	13	7	-18	6	-8
19	-3	22	470	2,8	12	6	-17	7	-7
20	-4	21	500	2,4	11	5	-16	6	-6

Вопросы для подготовки:

1. Классификация систем электросвязи по видам передаваемых сообщений.
2. Обобщенная структурная схема взаимодействия телекоммуникационных систем и сетей.
3. Логарифмические единицы измерения.
4. Диаграмма энергетических уровней.

Теория:

Канал передачи данных представляет из себя каскадное соединение пассивных и активных четырехполюсников. При прохождении сигнала по каналу передачи данных

имеют место потери энергии в пассивных четырехполюсниках и ее увеличение в активных. Для оценки изменения энергии в различных точках канала вводится понятие рабочего затухания и рабочего усиления.

Под затуханием четырехполюсника понимается

$$A_p = 10 \lg \frac{W_c}{W_n} = p_c - p_n, \text{ дБ} \quad (1.1),$$

где W_c – кажущаяся мощность, которую отдал бы источник (генератор) сигнала согласованной с ним нагрузке;

W_n – кажущаяся мощность, выделяющаяся в нагрузке четырехполюсника в реальных условиях включения;

p_c – уровень передачи по мощности от генератора, дБ;

p_n – уровень передачи по мощности в нагрузке, дБ.

Рабочее усиление четырехполюсника определяется выражением:

$$S_p = 10 \lg \frac{W_n}{W_c}, \text{ дБ} \quad (1.2),$$

где W_c и W_n имеют тот же смысл, что и в выражении 1.1.

При проектировании и эксплуатации оборудования телекоммуникационных систем и сетей необходимо знать величины уровней сигнала в различных точках каналов и трактов передачи. Чтобы охарактеризовать изменения энергии сигнала при его передаче, используется диаграмма уровней – график, показывающий распределение уровней передачи вдоль тракта передачи.

На рисунке 1.1 показана диаграмма уровней канала передачи, состоящего из усилителя передачи ($УСПЕР$) с усилением, равным $S_{пер}$, трех участков линии связи (среды распространения) длиной l_1 , l_2 и l_3 с затуханием, равным A_1 , A_2 и A_3 , двух промежуточных усилителей ($УС_1$ и $УС_2$) с усилением соответственно S_1 и S_2 и усилителя приема ($УСПР$) с усилением $S_{пр}$.

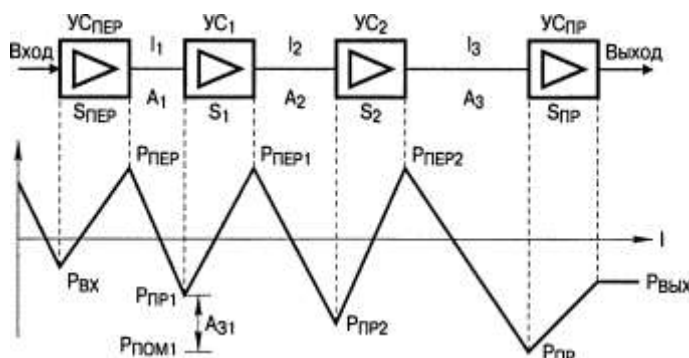


Рисунок 1.1. Диаграмма уровней и ее характерные точки.

На диаграмме уровней отмечены характерные точки канала (тракта) передачи: вход канала с уровнем $p_{вх}$; уровень передачи, равный $p_{пер} = p_{вх} + S_{пер}$; уровни приема на входе i -го усилителя $p_{пр(i)} = p_{пер(i-1)} - A_i$; выход канала (тракта) с уровнем $p_{вых}$ и величина защищенности от помех на входе i -го усилителя, равная

$$A_{zi} = 10 \lg \frac{W_{npi}}{W_{номи}} = p_{npi} - p_{номи}, \text{ дБ} \quad (1.3),$$

где W_{npi} – мощность сигнала на входе i -го усилителя;

$W_{номи}$ – мощность помехи на входе i -го усилителя;

p_{npi} – уровень сигнала на входе i -го усилителя, дБ;

$p_{номи}$ – уровень помехи на входе i -го усилителя, дБ.

Уровень сигнала на входе приемника $p_{пр}$:

$$p_{пр} = p_{вых} - S_{пр}, \text{ дБ} \quad (1.4),$$

Затухание на участке длиной l_i (A_i) определяется исходя из коэффициента затухания в канале передачи α_i

$$A_i = \alpha_i \cdot l_i, \text{ дБ} \quad (1.5).$$

Соотношение между уровнями сигнала на входе и выходе канала определяет его остаточное затухание, которое представляет собой рабочее затухание, определяемое при условии замыкания входа и выхода канала на активные сопротивления нагрузки, соответствующие номинальным значениям входного и выходного сопротивлений канала. Остаточное затухание равно разности между суммой всех рабочих затуханий, имеющих в канале, и суммой всех рабочих усилений:

$$A_r = \sum_i A_{pi} - \sum_k S_{pk} \quad (1.6).$$

Ход работы:

Задание I. С использованием разработанного программного обеспечения необходимо рассчитать следующие энергетические характеристики канала передачи данных:

1. уровень передачи ($p_{пер}$);
2. минимальный уровень сигнала на входе i -го усилителя (p_{npi});
3. затухание на участке длиной l_i (A_i);
4. длину i -го участка (l_i);
5. уровень сигнала на входе приемника p_{np} ;
6. длину конечного участка канала передачи данных;
7. количество промежуточных усилителей.

Задание II. Построить диаграмму уровней и изобразить характерные точки.

Задание III. Сделать выводы по работе.

Отчет: подготовить отчет по данной лабораторной работе согласно необходимым требованиям (пункт 3 «Требования к студентам по подготовке, выполнению и отчету по лабораторным работам» данных методических указаний).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ»

Цель работы: технико-экономическое обоснование применения многоканальных систем передачи.

Техническое задание: протяженность магистрали между пунктами А и В – L , стоимость одного километра физической цепи K_u , стоимость оборудования систем передачи конечных станций K_o , стоимость прокладки одного километра физической цепи K_l . Необходимо разработать программное обеспечение и провести расчет затрат при проектировании многоканальной системы передачи. Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2.

№	L , км	K_l , руб/км	K_u , руб/км	K_o , руб
1	100	2000	3000	50000
2	120	2200	2800	55000
3	140	2400	2600	60000
4	160	2600	2400	65000
5	180	2800	2200	70000
6	200	3000	2000	75000
7	220	3100	1900	80000
8	240	3200	1800	85000
9	260	3300	1700	90000
10	280	3400	1600	95000
11	300	3500	1500	94000
12	320	1900	1600	92000
13	340	1800	1700	88000
14	360	1700	1800	86000
15	380	1600	1900	84000
16	400	1500	2000	82000
17	420	2100	2100	78000
18	440	2300	2200	76000
19	460	2500	2300	74000
20	480	2700	2400	72000

Вопросы для подготовки:

1. Обобщенная структурная схема многоканальной системы передачи.
2. Общие и удельные капитальные вложения.
3. Унифицированное оборудование многоканальных систем передачи.
4. Методы разделения канальных сигналов.
5. Взаимные помехи между каналами.

Теория:

Основу современных телекоммуникационных систем составляют многоканальные системы передачи (МСП), позволяющие получить типовые каналы и тракты и обеспечить экономически целесообразно организованную связь на любые расстояния. Представление об эффективности использования МСП можно получить путем сравнения вариантов организации связи между пунктами А и В путем сравнения вариантов по общим или удельным капитальным вложениям.

Существуют два варианта организации N каналов между пунктами А и В:

1 вариант – необходимое количество каналов N получается при использовании N физических цепей;

2 вариант – необходимое количество каналов N получается путем использования МСП и одной физической цепи.

Общие капитальные вложения определяются по формулам:

по первому варианту

$$K_1 = (K_{\text{л}} + NK_{\text{ц}})L \quad (2.1)$$

и по второму варианту

$$K_2 = (K_{\text{л}} + K_{\text{ц}})L + 2K_0 \quad (2.2).$$

Удельные капитальные вложения по соответствующим вариантам k_1 и k_2 определяются как частное от деления общих капитальных вложений на протяженность каналов магистральной – на канал-километры NL .

Для первого варианта

$$k_1 = \frac{K_1}{NL} = \frac{K_{\text{л}}}{N} + K_{\text{ц}}, \quad (2.3)$$

для второго варианта

$$k_2 = \frac{K_2}{NL} = \frac{K_{\text{л}} - K_{\text{ц}}}{N} + \frac{2K_0}{NL}. \quad (2.4)$$

Общая экономия от применения оборудования МСП будет равна

$$\Delta K = K_1 - K_2 = LK_{\text{ц}}(N - 1) - 2K_0 \quad (2.5)$$

и удельная экономия

$$\Delta k = \frac{\Delta K}{NL} = K_{\text{ц}} \frac{N - 1}{N} - \frac{2K_0}{NL}. \quad (2.6)$$

Ход работы:

Задание I. С использованием разработанного программного обеспечения необходимо рассчитать технико-экономические характеристики телекоммуникационной системы для нескольких каналов передачи данных ($N=2, 5, 10, 50, 100$):

1. общие капитальные вложения для двух вариантов организации N каналов (K_1, K_2);
2. удельные капитальные вложения для двух вариантов организации N каналов (k_1, k_2);
3. общую (ΔK) и удельную (Δk) экономию при реализации МСП.

Задание II. Построить графики зависимости общих капитальных вложений и удельных капитальных вложений при организации связи для N каналов.

Задание III. Сделать выводы по работе.

Отчет: подготовить отчет по данной лабораторной работе согласно необходимым требованиям (пункт 3 «Требования к студентам по подготовке, выполнению и отчету по лабораторным работам» данных методических указаний).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«РАСЧЕТ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ»

Цель работы: рассчитать характеристики элементарного излучателя.

Техническое задание: Задан элементарный электрический излучатель в виде диполя Герца: длина - l , амплитуда тока - I_m , частота - f . Излучатель расположен в среде с параметрами - ε , μ . Параметры излучателя и среды распространения волны выбираются из таблицы 3. Необходимо разработать программное обеспечение по расчету характеристик элементарного электрического излучателя.

Таблица 3. Характеристики электрического излучателя и среды расположения.

№	$l, м$	$I_m, А$	ε	μ	$f, МГц$
1	1	0,01	1	1	1000
2	0,9	0,02	2	2	950
3	0,8	0,03	2	3	900
4	0,7	0,04	2	4	850
5	0,6	0,05	3	5	800
6	0,5	0,06	4	6	750
7	0,4	0,07	4	7	700
8	0,3	0,08	5	8	650
9	0,2	0,09	5	9	600
10	0,1	0,1	1	10	550
11	1	0,12	6	10	500
12	1,1	0,14	7	9	450
13	1,2	0,16	8	8	400
14	1,3	0,18	8	7	350
15	1,4	0,20	10	6	300
16	1,5	0,22	10	5	250
17	1,6	0,24	2	4	200
18	1,7	0,26	3	3	150
19	1,8	0,28	4	2	100
20	1,9	0,30	5	1	95
21	2	0,35	6	2	90
22	2,1	0,40	7	3	85
23	2,2	0,45	8	4	80
24	2,3	0,50	9	5	75
25	2,4	0,55	10	6	70
26	2,5	0,60	9	7	65
27	2,6	0,65	8	8	60
28	2,7	0,70	7	9	55
29	2,9	0,75	6	10	50
30	3	0,80	5	1	45

Вопросы для подготовки:

1. Что собой представляет элементарный электрический излучатель?
2. Какие компоненты электромагнитного поля используются для расчета элементарного электрического излучателя?
3. Что такое ближняя, промежуточная и дальняя зоны излучателя?
4. Что такое диаграмма направленности?
5. Как определяется вектор плотности потока мощности?

Теория:

Длина волны электромагнитного излучения

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3.1),$$

где $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu}}$ – скорость распространения электромагнитной волны в среде с

параметрами ϵ, μ ;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Симметричный электрический вибратор Герца излучает электромагнитное поле, три составляющие которого в сферических координатах определяются выражениями:

$$\dot{E}_{mr} = \frac{I \cdot l \cdot k^3}{2 \cdot \pi \cdot \omega \cdot \epsilon_a} \left[\frac{1}{(kr)} - j \left(\frac{1}{kr} \right)^3 \right] \cdot e^{-jkr} \cdot \cos \theta \quad (3.2),$$

$$\dot{E}_{m\theta} = \frac{I \cdot l \cdot k^3}{4 \cdot \pi \cdot \omega \cdot \epsilon_a} \left[\frac{1}{kr} - j \left(\frac{1}{kr} \right)^2 - j \left(\frac{1}{kr} \right)^3 \right] \cdot e^{-jkr} \cdot \sin \theta \quad (3.3),$$

$$\dot{H}_{m\varphi} = j \frac{I \cdot l \cdot k^2}{4 \cdot \pi} \left[\frac{1}{kr} - j \left(\frac{1}{kr} \right)^2 \right] \cdot e^{-jkr} \cdot \sin \theta \quad (3.4),$$

где \dot{E}_{mr} , $\dot{E}_{m\theta}$, $\dot{H}_{m\varphi}$ – комплексные амплитуды соответственно радиальной, меридиональной составляющих электрического поля и экваториальной составляющей магнитного поля;

I_m – амплитуда гармонического тока, который протекает в вибраторе Герца;

l – длина вибратора;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота электромагнитного поля;

$\epsilon_a = \epsilon_0 \cdot \epsilon$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, которая окружает вибратор;

$k = 2\pi/\lambda$ – волновое число (коэффициент фазы) электромагнитной волны;

θ – меридиональная угловая координата точки наблюдения поля вибратора;

r – расстояние от вибратора до точки наблюдения;

λ – длина волны поля вибратора.

Зоны излучения:

$k \cdot r < 1$ – ближняя зона излучения;

$1 < k \cdot r < 10$ – промежуточная зона излучения;

$k \cdot r > 10$ – дальняя зона излучения.

В дальней зоне учитываются только две ортогональные компоненты поля:

$$\dot{E}_{m\theta} = \frac{I_m l k}{4\pi \omega \epsilon_a r} e^{-jkr} \cdot \sin \theta, \quad \dot{H}_{m\varphi} = j \frac{I_m l k}{4\pi r} e^{-jkr} \cdot \sin \theta.$$

Здесь среднее значение вектора плотности потока мощности имеет только одну радиальную составляющую

$$\bar{P}_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left[\dot{E}_{m\theta} \dot{H}_{m\varphi}^* \right]$$

Показательная форма представления компонент электромагнитного поля в ближней зоне:

$$\dot{E}_{mr} = 2 E_0 \sqrt{\left(\frac{1}{kr} \right)^4 + \left(\frac{1}{kr} \right)^6} \cdot e^{-j \left(kr + \arctg \frac{1}{kr} \right)} \cdot \cos \theta$$

$$\dot{E}_{m\theta} = E_0 \sqrt{\left[\frac{1}{kr} - \left(\frac{1}{kr} \right)^3 \right]^2 + \left(\frac{1}{kr} \right)^4} \cdot e^{-j \left(kr - \frac{\pi}{2} + \arctg \frac{kr}{k^3 r^3 - 1} \right)} \cdot \sin \theta$$

$$H_{\text{мф}} = H_0 \sqrt{\left(\frac{1}{k}\right)^2 + \left(\frac{1}{kr}\right)^4} \cdot e^{-j\left(kr - \frac{\pi}{2} + \text{arctg} \frac{1}{kr}\right)} \cdot \sin \theta$$

где $E_0 = \frac{I_m/k^2}{4\pi} \sqrt{\frac{\mu_z}{\varepsilon_z}}$, $H_0 = \frac{I_m/k^2}{4\pi}$.

Мгновенные значения напряженностей в любой момент времени:

$$E_r = 2E_0 \sqrt{\left(\frac{1}{kr}\right)^4 + \left(\frac{1}{kr}\right)^6} \cdot \cos\left(\omega t - kr - \text{arctg} \frac{1}{kr}\right) \cdot \cos \theta$$

$$E_\theta = E_0 \sqrt{\left[\frac{1}{kr} - \left(\frac{1}{kr}\right)^3\right]^2 + \left(\frac{1}{kr}\right)^4} \cdot \cos\left(\omega t - kr + \frac{\pi}{2} - \text{arctg} \frac{kr}{k^2 r^2 - 1}\right) \cdot \sin \theta$$

$$H_\varphi = H_0 \sqrt{\left(\frac{1}{kr}\right)^2 + \left(\frac{1}{kr}\right)^4} \cdot \cos\left(\omega t - kr - \text{arctg} \frac{1}{kr}\right) \cdot \sin \theta$$

Ход работы:

Задание I. С использованием разработанного программного обеспечения необходимо:

1. Рассчитать длину волны электромагнитного излучения λ ;
2. Рассчитать компоненты электромагнитного поля симметричного электрического излучателя;
3. Определить границы ближней, промежуточной и дальней зон;
4. Построить диаграммы направленности по электрическому полю для ближней, промежуточной и дальней зон (по 3 диаграммы в каждой зоне для характерных расстояний r);
5. Определить, при каких значениях r в диапазоне $0 < r < 5/k$ диаграмма направленности по электрическому полю имеет вид горизонтальной «восьмерки» и вертикальной «восьмерки».

Задание II. Построить диаграммы направленности электрического излучателя по магнитному полю для 3 характерных зон; вычислить и построить зависимость мощности электрического излучателя от расстояния и выделить на графике три характерные зоны излучения.

Задание III. Сделать выводы по работе.

Отчет: подготовить отчет по данной лабораторной работе согласно необходимым требованиям (пункт 3 «Требования к студентам по подготовке, выполнению и отчету по лабораторным работам» данных методических указаний).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

«РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГИСТРАЛЬНОЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ»

Цель работы: Рассчитать волоконно-оптический канал связи и его энергетический бюджет.

Техническое задание: Магистральная волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС) и приемопередающая аппаратура обладают техническими характеристики, представленными в таблице 4. Необходимо разработать программное обеспечение по расчету технических характеристик ВОЛС.

Таблица 4. Паспортные технические данные приемопередающего оборудования и волоконно-оптического канала (ВОК), используемые при расчетах дисперсии и затухания.

№	L , км	n	λ , мкм	$n_{нс}$	α , дБ/км	$n_{рс}$	$P_{вых}$ дБм	$P_{фпр}$ дБм	$\Delta\lambda$, нм	$B_{0,4}$, Мбит/с	$\tau_{0,4}$, пс	$B_{0,16}$, Мбит/с	$\tau_{0,16}$, пс
1	50	1,467	1,82	21	0,26	4	+15	-20	0,02	620	420	9900	20
2	52	1,467	1,80	21	0,26	4	+15	-21	0,02	621	418	9910	21
3	54	1,467	1,79	21	0,26	4	+15	-22	0,02	622	416	9920	22
4	56	1,467	1,78	21	0,26	4	+15	-23	0,02	623	414	9930	23
5	58	1,467	1,77	21	0,26	4	+15	-24	0,02	624	412	9940	24
6	60	1,467	1,76	21	0,26	4	+16	-25	0,03	625	410	9950	25
7	62	1,467	1,75	21	0,26	4	+16	-26	0,03	626	408	9960	26
8	64	1,467	1,74	21	0,26	4	+16	-27	0,03	627	406	9970	27
9	66	1,467	1,73	21	0,26	4	+16	-28	0,03	628	404	9980	28
10	68	1,467	1,72	21	0,26	4	+16	-29	0,03	629	402	9900	29
11	70	1,321	1,71	22	0,24	6	+14	-30	0,04	630	400	10000	30
12	72	1,321	1,79	22	0,24	6	+14	-29	0,04	629	398	9990	29
13	74	1,321	1,69	22	0,24	6	+14	-28	0,04	628	396	9980	28
14	76	1,321	1,68	22	0,24	6	+14	-27	0,04	627	394	9970	27
15	78	1,321	1,67	22	0,24	6	+14	-26	0,04	626	392	9960	26
16	80	1,321	1,66	22	0,24	6	+13	-25	0,05	625	390	9950	25
17	82	1,321	1,65	22	0,24	6	+13	-24	0,05	624	388	9940	24
18	84	1,321	1,64	22	0,24	6	+13	-23	0,05	623	386	9930	23
19	86	1,321	1,63	23	0,24	6	+13	-22	0,05	622	384	9920	22
20	88	1,321	1,62	23	0,24	6	+13	-21	0,05	621	382	9910	21
21	90	1,667	1,61	23	0,22	8	+12	-20	0,06	620	380	9900	20
22	92	1,667	1,60	23	0,22	8	+12	-19	0,06	619	378	8990	19
23	94	1,667	1,59	23	0,22	8	+12	-18	0,06	618	376	8980	31
24	96	1,667	1,58	23	0,22	8	+12	-17	0,06	617	374	8970	18
25	98	1,667	1,57	24	0,22	8	+12	-16	0,06	616	372	8960	32
26	100	1,667	1,56	24	0,22	8	+11	-17	0,07	615	370	8950	17
27	102	1,667	1,55	24	0,22	8	+11	-18	0,07	614	368	8940	33
28	104	1,667	1,54	24	0,22	8	+11	-19	0,07	613	366	8930	16
29	106	1,667	1,53	24	0,22	8	+11	-20	0,07	612	364	8920	34
30	108	1,667	1,52	24	0,22	8	+11	-21	0,07	611	362	8910	15

Основные обозначения:

Протяженность ВОЛС - L ;

Показатель преломления сердцевины - n ;

Рабочая длина волны - λ ;

Количество муфт (количество сростков) - $n_{нс}$;

Километрическое затухание в оптическом волокне (ОВ) - α ;

Количество разъемных соединений - $n_{рс}$;

Потери на неразъемных соединениях (сростках): $A_{нс}=0,05$ дБ;

Потери на разъемных соединениях: $A_{рс}=0,2$ дБ;

Эксплуатационный запас для аппаратуры: $A_{эза}=3$ дБ;

Эксплуатационный запас для кабеля: $A_{эзк}=3$ дБ;

Мощность источника оптического излучения - $P_{\text{вых}}$;

Чувствительность приемника - $P_{\text{фпр}}$;

Диапазон длин волн с нулевой дисперсией: от $\lambda_0 = 1301,5 \div 1321,5$ нм;

Максимальная величина крутизны нулевой дисперсии: $S_0 = 0,092$ пс/(нм²·км);

Максимальная ширина спектра излучения источника - $\Delta\lambda$;

Коэффициент поляризационной модовой дисперсии: $D_{\text{PMD}} = 0,5$ пс/км^{1/2}.

Скорость передачи при STM-4 - $B_{0,4}$;

Скорость передачи при STM-64 - $B_{0,16}$;

Начальная длительность импульса для STM-4 - $\tau_{0,4}$;

Начальная длительность импульса для STM-16 - $\tau_{0,16}$;

$A_{\text{эза}}$ и $A_{\text{эзк}}$ берутся из технических условий (контрактных спецификаций) для оборудования ВОЛС.

Вопросы для подготовки:

1. На каких частотах работает волоконно-оптическая линия передачи?
2. Какие основные преимущества оптического волокна?
3. От чего зависит длина волны оптического излучения?
4. Какие основные параметры светоизлучающего диода?
5. Назовите основные параметры фотодиодов.
6. Изобразите обобщенную структурную схему передающего оптического модуля.
7. Изобразите обобщенную структурную схему приемного оптического модуля.

Теория:

1. Расчет дисперсии ВОЛС

При передаче сигналов по ВОЛС используются методы импульсно-кодовой модуляции (ИКМ), в результате чего передаваемая информация представляется в виде двоичных кодов - битов 1 и 0, причем 1 соответствует высокому уровню мощности, а 0 - низкому. Модулированный сигнал передается по ОВ импульсами с длительностью τ_0 и скоростью передачи B_0 бит/с. В процессе распространения вследствие дисперсии происходит «размывание» импульсов, т.е. увеличение их длительности.

Если длительность τ_L полученных приемником импульсов превысит битовый интервал, то произойдет наложение соседних импульсов друг на друга, что вызовет межсимвольную интерференцию. Следовательно, приемник не сможет распознать отдельные импульсы, и в результате этого увеличится коэффициент битовых ошибок BER. Битовый интервал T_0 связан со скоростью передачи сигналов B_0 соотношением:

$$T_0 = \frac{1}{B_0} \quad (4.1)$$

Таким образом, для нормального функционирования ВОЛС необходимо:

- обеспечить длительность полученного импульса τ_L , не превышающую исходный битовый интервал;
- обеспечить полученную мощность, равную чувствительности приемника $P_{\text{фпр}}$ или ввести запас, превышающий $P_{\text{фпр}}$.

Вот почему при проектировании ВОЛС с большей скоростью передачи важнейшими техническими характеристиками являются дисперсия и затухание ОВ.

1.1. Расчет поляризационной модовой дисперсии

Поляризационная модовая дисперсия рассчитывается из выражения

$$\tau_{\text{PMD}} = D_{\text{PMD}} \cdot \sqrt{L},$$

где D_{PMD} - коэффициент поляризационной модовой дисперсии,

L - протяженность ВОЛС.

1.2. Расчет хроматической (волноводной) дисперсии

Предельное значение коэффициента хроматической дисперсии с учетом диапазона длин волн нулевой дисперсии определяется из следующих выражений:

$$D_{\max}(\lambda) = S_0 (\lambda - \lambda_0^{\min})^2 / \lambda_0^5 / 4, \quad (4.2)$$

где S_0 - максимальная величина крутизны нулевой дисперсии;

λ - рабочая длина волны;

$\lambda_{0\min}$ - минимальная длина волны с нулевой дисперсией.

Отсюда можно рассчитать значение хроматической дисперсии:

$$\tau_{chr\max}(\lambda) = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L,$$

которое определяет увеличение длительности импульса.

$\Delta\lambda = 0,04$ нм - максимальная ширина спектра излучения источника.

С учетом поляризационной модовой дисперсией результирующая дисперсия будет определяться из следующего выражения:

$$\tau_{рез} = \sqrt{\tau_{chr}^2 + \tau_{PMD}^2}. \quad (4.3)$$

Т.к. битовый интервал $T_0 = \frac{1}{B_0}$ получим:

для STM-4: $T_{0,4}$

для STM-64: $T_{0,16}$.

Максимально допустимая величина уширения импульсов определяется из условия, что допустимая длительность:

$$\tau = \frac{T_0}{2}. \quad (4.4)$$

Начальная длительность импульсов определяется из выражения:

$$\tau_0 = \frac{\tau}{4}. \quad (4.5)$$

Конечная длительность импульса выражается через его начальную длительность τ_0 соотношением:

$$\tau = \sqrt{\tau_0^2 + \tau_{рез}^2}. \quad (4.6)$$

2. Расчет энергетического бюджета

Используя данные, затухание ВОЛС рассчитывается по формуле

$$A = A_{нс} \cdot n_{нс} + \alpha \cdot L + A_{рс} \cdot n_{рс} \quad (4.7)$$

Потери на неразъемных соединениях (сростках): $A_{нс}$;

Потери на разъемных соединениях: $A_{рс}$;

Количество муфт (количество сростков): $n_{нс}$;

Количество разъемных соединений: $n_{рс}$;

Километрическое затухание в ОВ: α ;

Следовательно, энергетический бюджет будет:

$$A_{эб} = P_{вых} - P_{фпр} - A_{эза} - A_{эзк} - A. \quad (4.7)$$

Мощность источника оптического излучения: $P_{вых}$;

Чувствительность приемника: $P_{фпр}$;

Эксплуатационный запас для аппаратуры: $A_{эза} = 3$ дБ;

Эксплуатационный запас для кабеля: $A_{эзк} = 3$ дБ.

Полученное значение затухания волоконно-оптической линии удовлетворяет требованиям по энергетическому бюджету, если значение рассчитанного энергетического бюджета ($A_{эб}$) получится положительным.

Ход работы:

Задание I. С использованием разработанного программного обеспечения необходимо рассчитать:

1. Поляризационную модовую дисперсию;
2. Хроматическую дисперсию;
3. Результирующее уширение импульса;
4. Конечную длительность импульсов;
5. Максимально возможное уширение импульса;
6. Энергетический бюджет волоконно-оптической линии связи.

Задание II. Выполнить оценку работоспособности системы с точки зрения межсимвольной интерференции и с точки зрения энергетического бюджета и при необходимости произвести перерасчет технических характеристик ВОЛС.

Задание III. Сделать выводы по работе.

Отчет: подготовить отчет по данной лабораторной работе согласно необходимым требованиям (пункт 3 *«Требования к студентам по подготовке, выполнению и отчету по лабораторным работам»* данных методических указаний).



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

Физико-технический институт

Кафедра компьютерной инженерии и моделирования

Лабораторная работа № 1
«Распределение мощности по каналу передачи данных»
по дисциплине
«Сети и телекоммуникации»

Выполнил:
студент 3 курса
группа _____

(ФИО)

Проверил:
Таран Е.П.
«____» _____ 20____ г.
Подпись: _____

Симферополь, 2020