

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине
«Направляющие среды в сетях электросвязи
и методы их защиты»

для студентов очной и заочной форм обучения
Направление подготовки 11.03.02
Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль Защищенные инфокоммуникационные системы

Ростов-на-Дону

2022

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к проведению лабораторных работ по дисциплине

«Направляющие среды в сетях электросвязи
и методы их защиты»

Составитель: И.А. Енгибарян, доцент кафедры ИТСС

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры ИТСС
Протокол №5 от 19.12.2022

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 Изучение конструкций и маркировки НСЭ.

Лабораторная работа № 2 Исследование параметров передачи в симметричных цепях.

Лабораторная работа № 3 Исследование параметров передачи в коаксиальных цепях.

Лабораторная работа № 4 Исследование электромагнитных влияний между симметричными и коаксиальными цепями.

Лабораторная работа № 5 Исследование процессов распространения оптических импульсов по многомодовым волоконным световодам.

Лабораторная работа № 6 Исследование процессов распространения оптических импульсов по одномодовым волоконным световодам.

Лабораторная работа № 7 Оптический рефлектометр.

Лабораторная работа № 8 Измерение параметров пассивных оптических компонентов. Исследование пассивных элементов оптического линейного тракта.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И МАРКИРОВКИ НСЭ

Цель работы: Изучение основных конструктивных элементов направляющих систем электросвязи – по конструкции определить тип (марку) и область применения кабеля связи.

Основные положения из теории: классификация электрических кабелей связи; конструктивные элементы (симметричные и коаксиальные) кабелей связи; маркировка и типы электрических кабелей связи [1]; электрические кабели для цифровых абонентских линий; классификация оптических кабелей связи; основные конструктивные элементы ОК и материалы для их изготовления; маркировка оптических кабелей связи [1,4].

Руководящие документы Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ (<https://minsvyaz.ru/ru/documents>), ГОСТы, ОСТы, Нормы на электрические параметры кабелей связи (<http://files.stroyinf.ru/list0.htm>).

Руководства и Рекомендации. Основные понятия и требования нормативных актов.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются электрические кабели связи по области применения и конструкции?
2. Как классифицируются электрические кабели связи по условиям их прокладки и эксплуатации?
3. Каковы основные конструктивные элементы электрических кабелей связи?
4. Материалы токопроводящих жил и требования, предъявляемые к ним.
5. Основные характеристики диэлектриков, применяемых для изоляции жил.
6. Основные типы изоляции жил симметричных кабелей связи.
7. Основные типы изоляции коаксиальных кабелей связи.
8. Типы скрутки жил в группы.
9. Типы защитных оболочек и требования, предъявляемые к ним.
10. Типы бронепокровов и требования, предъявляемые к ним.
11. Как маркируются междугородные симметричные кабели?
12. Как маркируются коаксиальные кабели?
13. Каковы отличительные особенности кабелей с использованием витых пар, область их применения?
14. Как классифицируются оптические кабели?
15. Какие конструкции модулей применяются в ОК?
16. Какого назначения силовых элементов в ОК, их материалы?

17. Назовите основные требования, предъявляемые к ОК.

Рекомендуемая литература

1. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Том 1. Теория передачи и влияния: Учебник для вузов / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов и др. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. –424 с.; . ISBN 978-5-9912-0092-9, 1000 экз. – Текст : электронный. – URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=256974>
2. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи их монтаж и измерение [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Портнов Э.Л. – М.: Горячая линия - Телеком, 2012. – 448с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=333230>
3. Ю. А. Парфенов Кабели электросвязи. М.: Эко-Трендз, 2003.–256с.: ил.
4. Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для вузов.– М.: Горячая линия –Телеком 2009 г.– 268с.; ил.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ В СИММЕТРИЧНЫХ ЦЕПЯХ

Цель работы: Закрепление полученных теоретических знаний по расчёту параметров передачи симметричных цепей. Овладение навыками работы с кабельными измерительными приборами. Измерение параметров симметричного кабеля.

Лабораторное оборудование

1. Симметричный кабель.
2. Кабельный прибор ИРК-ПРО.

Содержание отчета по лабораторной работе

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Состав лабораторного оборудования.
4. Схемы измерений.
5. Выводы.

Краткие теоретические положения

Конструктивные параметры симметричного кабеля

Основным элементом симметричного кабеля является симметричная цепь (СЦ), состоящая из двух одинаковых в электрическом и конструктивном отношениях изолированных проводников.

Для изготовления проводников симметричной цепи используются в основном медь и алюминий. Их основные параметры:

- ρ – удельное сопротивление, равное для меди $0,0175 \text{ Ом} \times \text{мм}^2 / \text{м}$, для алюминия $0,0295 \text{ Ом} \times \text{мм}^2 / \text{м}$;
- m – плотность, для меди $8,89 \text{ г/см}^3$, для алюминия $2,72 \text{ г/см}^3$;
- d – диаметр проводника;
- α_R – температурный коэффициент сопротивления, для меди $\alpha_R = 0,039$, для алюминия $\alpha_R = 0,0037$.

По конструкции проводники (токопроводящие жилы) подразделяются на цилиндрические сплошные, многопроволочные (гибкие), биметаллические.

Основными параметрами изоляции (диэлектрика) являются:

- ε – диэлектрическая проницаемость, характеризующая степень поляризации зарядов в диэлектрике при воздействии на него электрического поля;
- $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь, характеризующий потери высокочастотной энергии в диэлектрике;
- ρ – удельное электрическое сопротивление, характеризующее ток утечки в диэлектрике;
- V – электрическая прочность, при которой происходит пробой изоляции.

Значения некоторых параметров приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Тип изоляции	ε	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-4}$ при частоте, кГц			
		10	100	250	550
Кордельно-бумажная	1,3 ... 1,4	55	113	160	280
кордельно-стирофлексная	1,2 ... 1,4	3	7	12	20
полиэтиленовая сплошная	1,9 ... 2,1	2	6	8	14
полиэтиленовая пористая	1,4 ... 1,5	3	8	12	20

В симметричных кабелях отдельные жилы обычно скручиваются в группы (парная, звездная, двойная парная, двойная звездная и восьмерочные способы скрутки). Из этих групп путем их пучковой или повивной скрутки формируется кабельный сердечник. Кабельный сердечник покрывают поясной изоляцией и заключают в герметичную оболочку, предохраняющую сердечник от влаги и возможных механических воздействий. В электрических кабелях связи могут применяться металлические (свинцовые, алюминиевые, стальные), пластмассовые (полиэтилен, поливинилхлорид, полиизобутиленовые композиции) и металлопластмассовые оболочки.

Снаружи кабеля поверх оболочек располагаются бронепокровы, защищающие кабель от механических повреждений. В качестве брони могут использоваться стальные ленты и повивы из круглых стальных проволок.

Для маркировки электрических кабелей связи используют буквенно-цифровые обозначения $B_1, B_2, B_3, B_4 - Ц$.

где

B_1 – буквенное обозначение, указывающие на область применения кабеля:

- МК – магистральный кабель симметричный;
- КМ – кабель магистральный коаксиальный;
- ЗК – зонный кабель симметричный;
- ВК – внутризонный кабель коаксиальный;
- МКТ – малогабаритный коаксиальный кабель;
- Т – телефонный кабель;
- КС – кабель сельский;

Б₂ – обозначение типа изоляции:

- отсутствие буквы – бумажная;
- С – стирофлексная;
- П – полиэтиленовая;

Б₃ – обозначение типа оболочки:

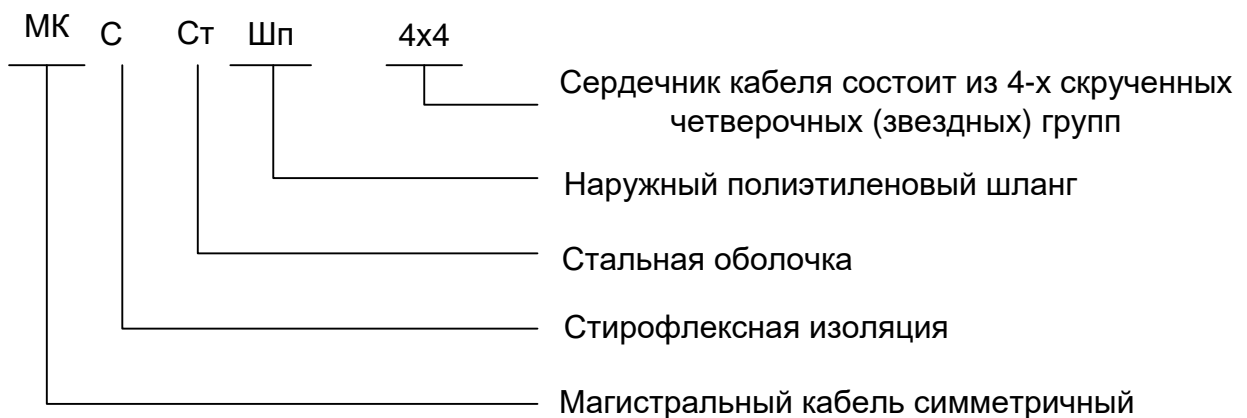
- отсутствие буквы – свинцовая;
- Ст – стальная;
- П – полиэтиленовая;

Б₄ – тип защитного покрова:

- Г – без защитного покрова;
- Б – броня из стальных лент;
- К – броня из стальных круглых проволок;

Ц – цифры, указывающие на ёмкость кабеля.

Например



Параметры передачи симметричной цепи

Электрические свойства СЦ характеризуются первичными и вторичными параметрами передачи.

К первичным параметрам СЦ относятся активное сопротивление и индуктивность проводников, ёмкость цепи и проводимость изоляции.

Активное сопротивление складывается из сопротивления проводников постоянному току (R_0) и составляющих, обусловленных поверхностным эффектом ($R_{ПЭ}$), эффектом близости проводников ($R_{ЭБ}$) и влиянием окружающих металлических элементов (R_M).

Активное сопротивление СЦ в общем случае равно:

$$R = R_0 + R_{ПЭ} + R_{ЭБ} + R_M =$$

$$= 2R_0\chi \left[1 + F(kr) + \frac{P \cdot G(kr) \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2}{1 - H(kr) \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2} \right] + R_M, \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \quad (2.1)$$

где $\chi = 1,02 \dots 1,07$ – коэффициент скрутки

$$R_0 = \frac{400\rho}{\pi d^2} \quad \text{сопротивление проводника постоянному току, Ом/км;} \quad (2.2)$$

P – коэффициент учитывающий вид скрутки (для парной скрутки равен 1, двойной парной – 2, звездной – 5);

$k = \sqrt{\omega\mu_a\sigma}$ – коэффициент вихревых токов;

d и r – диаметр и радиус проводника, мм;

a – расстояние между центрами проводников, мм;

$F(kr), G(kr), H(kr)$ – функции, позволяющие учитывать возрастание сопротивления за счёт явлений поверхностного эффекта и эффекта близости;

R_M – увеличение сопротивления за счет влияния окружающих металлических элементов.

Для меди (Cu), алюминия (Al) и стали (Ст)

$$kr_{Cu} = 0,0105d\sqrt{f}; \quad kr_{Al} = 0,082d\sqrt{f}; \quad kr_{Ст} = 0,0375d\sqrt{f}.$$

Индуктивность симметричной цепи складывается из внешней индуктивности цепи и внутренней индуктивности проводника

$$L = L_{ВШ} + L_{ВН} = \chi \left[4 \ln \frac{a-r}{r} + \mu_r Q(kr) \right] \cdot 10^{-4}, \frac{\text{Гн}}{\text{км}} \quad (2.3)$$

Ёмкость СЦ без учета близости соседних пар:

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot 10^{-6}}{36 \ln \left[(a-r)/r \right]}, \text{Ф/км.} \quad (2.4)$$

С учетом близости соседних пар

$$C = \chi \varepsilon_r \cdot 10^{-6} / \left[36 \ln (a\psi/r) \right], \quad (2.5)$$

где ψ – поправочный коэффициент, учитывающий близость металлических элементов.

Значения ψ для разных типов скрутки приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Тип скрутки	Поправочный коэффициент
Парная	$\psi_n = \frac{(d_n + d_u - d)^2 - a^2}{(d_n + d_u - d)^2 + a^2}$
Звездная	$\psi_3 = \frac{(d_3 + d_u - d)^2 - a^2}{(d_3 + d_u - d)^2 + a^2}$
Двойная парная	$\psi_{\partial n} = \frac{(0,65d_n + d_u - d)^2 - a^2}{(0,65d_n + d_u - d)^2 + a^2}$

где d – диаметр голого проводника,

d_u – диаметр изолированного проводника,

$d_n, d_3, d_{\partial n}$ – диаметры парной, звездной и двойной парной скрутки соответственно.

Если используется комбинированная изоляция (например, кордельно-бумажная, кордельно-стирофлексная), в формулах (1.3) и (1.4) ε_r заменяется на эквивалентное значение ε_{∂} , значения которой приведены в табл.1.

Проводимость изоляции СЦ:

$$G = G_0 + G_f = \frac{1}{R_{из}} + \omega C \cdot \operatorname{tg} \delta, \text{ См/км}, \quad (2.6)$$

где

G_0 – проводимость изоляции по постоянному току, См/км;

G_f – проводимость изоляции по переменному току, См/км;

$R_{из}$ – сопротивление изоляции цепи, Ом;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота;

C – емкость симметричной цепи;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Для комбинированной изоляции используется эквивалентное значение $\operatorname{tg} \delta_{\partial}$.

Ко вторичным параметрам СЦ относятся коэффициент распространения, коэффициенты затухания и фазы, волновое сопротивление, скорость распространения электромагнитных волн вдоль цепи.

Коэффициент распространения через первичные параметры выражается формулой:

$$\gamma = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)} = \alpha + i\beta, \text{ 1/км}, \quad (2.7)$$

где

$$\alpha = 8,7 \left[0,5R\sqrt{C/L} + 0,5G\sqrt{L/C} \right] \text{ дБ/км} - \text{коэффициент затухания} \quad (2.8)$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \text{ рад/км}, - \text{коэффициент фазы}. \quad (2.9)$$

При подстановке в (1.8) значений первичных параметров

$$\alpha = \frac{2,6\sqrt{f\varepsilon} \cdot 10^{-3}}{\ln[(a-r)/r]} \left(\frac{1}{2r} + \frac{r}{a^2} \right) + 9,08f\sqrt{\varepsilon} \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-5}, \text{ дБ/км} \quad (2.10)$$

Волновое сопротивление:

$$Z_B = \sqrt{L/C} = (120 / \sqrt{\varepsilon}) \ln[(a-r)/r], \text{ Ом} \quad (2.11)$$

Скорость распространения электромагнитной энергии по цепи:

$$V = \omega / \beta = 1/\sqrt{LC}, \text{ км/с} \quad (2.12)$$

Импульсный метод определения мест повреждения кабелей

Импульсный метод основан на использовании явления отражения электромагнитных волн от места изменения волнового сопротивления СЦ (обрыв, короткое замыкание, проникновение влаги в кабель и др.). При согласованных сопротивлениях

$$Z_{\text{вх}} = Z_H = Z_{\text{в}}$$

где $Z_{\text{вх}}$ – сопротивление источника на входе линии;

Z_H – сопротивление нагрузки на выходе линии, в линии имеется только падающая волна.

При несогласованной нагрузке $Z_H \neq Z_{\text{в}}$ появляются отраженные волны, которые взаимодействуют с падающими, изменяя $Z_{\text{вх}}$.

Количественное соотношение между энергией, поступающей в нагрузку и отраженной от нее, определяется через коэффициент отражения:

$$K = \frac{Z_H - Z_{\text{в}}}{Z_H + Z_{\text{в}}} \quad (2.13)$$

При напряжении на входе цепи $U_{\text{вх}}$ напряжение отраженного сигнала равно $U_{\text{от}} = U_{\text{вх}} K$, тогда:

– при $Z_H = \infty$ (обрыв), $K = 1$, $U_{\text{от}} = U_{\text{вх}}$, т.е. $U_{\text{от}}$ имеет ту же полярность, что и $U_{\text{вх}}$;

- при $Z_H = 0$ (короткое замыкание), $K = -1$, $U_{om} = -U_{ex}$, т.е. U_{om} имеет полярность, противоположную U_{ex} ;
- при $Z_H > Z_г$, $K > 0$, $U_{om} > 0$, т.е. U_{om} имеет ту же полярность, что и U_{ex} ;
- при $Z_H < Z_г$, $K < 0$, $U_{om} < 0$, т.е. U_{om} имеет полярность, противоположную U_{ex} ;

Аналогичные процессы происходят при наличии неоднородностей, влияющих на $Z_г$, в цепи.

На рис. 1 показаны осциллограммы с зондирующим и отраженным импульсом для случаев a – при $Z_H > Z_г$, b – при $Z_H < Z_г$.

Таким образом, несогласованность сопротивления нагрузки с волновым сопротивлением цепи и неоднородности в цепи приводят к отражению волн. Если несогласованно выходное сопротивление генератора с волновым сопротивлением $Z_г \neq Z_л$, то возникают многократные отражения.

Сущность импульсного метода определения расстояния до неоднородности заключается в измерении интервала времени t_i между моментом послышки в линию зондирующего импульса и моментом возвращения отраженного от неоднородности импульса, при скорости распространения электромагнитной волны в линии $V_л$ расстояния до неоднородности равно

$$L_i = V_л t_i / 2 \quad (2.14)$$

Скорость $V_л$ отличается от скорости света и зависит от диэлектрической проницаемости изоляции. Для учета этого вводится параметр «коэффициент укорочения» $\gamma = c/V_л$, характеризующий уменьшение скорости сигнала в линии и позволяющий корректировать измеряемое значение L_i .

Для измерения расстояния до неоднородностей цепи и определения их характера в качестве зондирующего может быть использован единичный перепад напряжения. Полученные в этом случае осциллограммы для различных видов неоднородностей показаны на рис. 2.

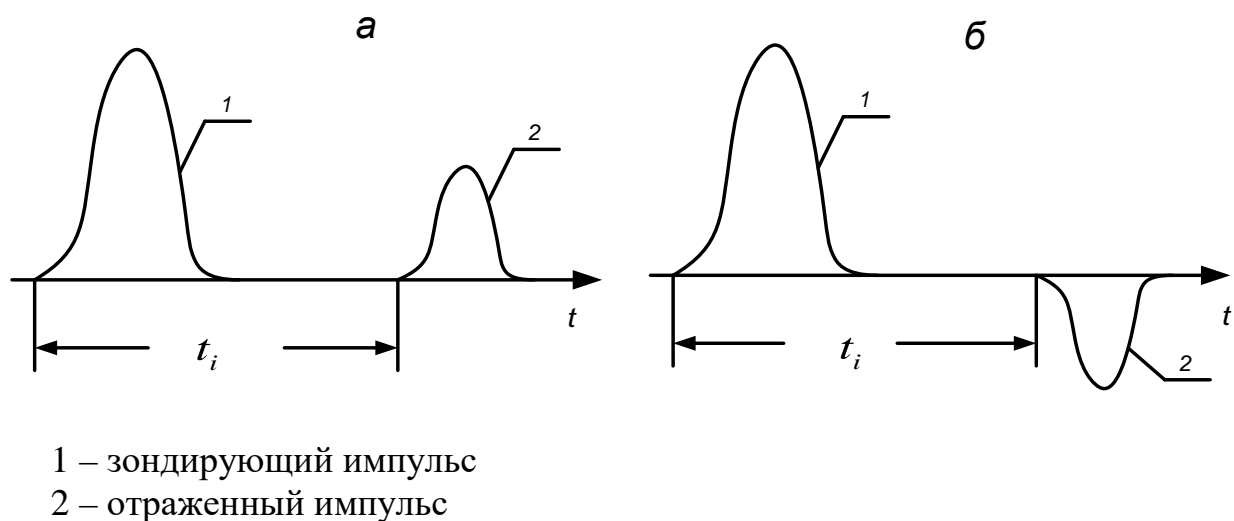


Рисунок 1 – Осциллограммы на экране измерительного прибора при различных видах неоднородностей

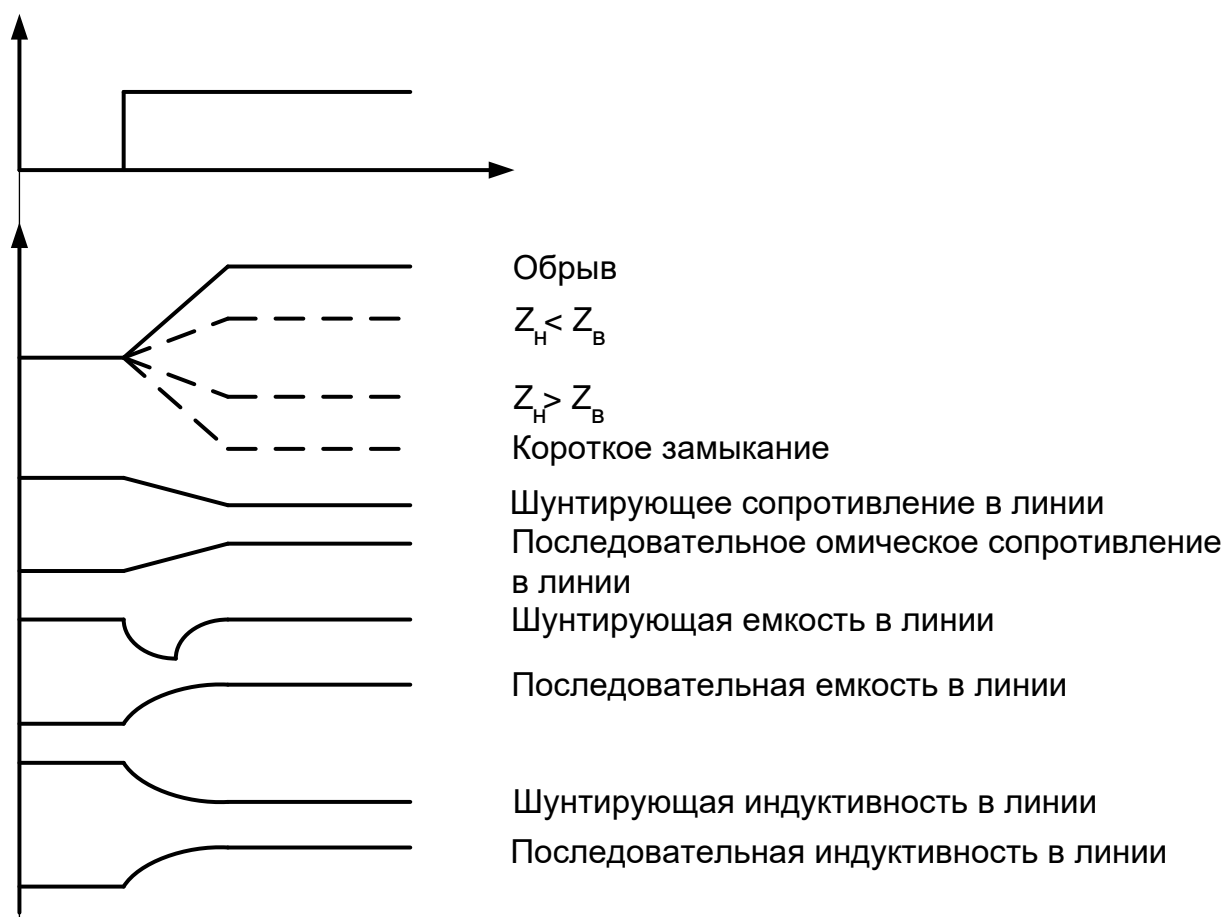
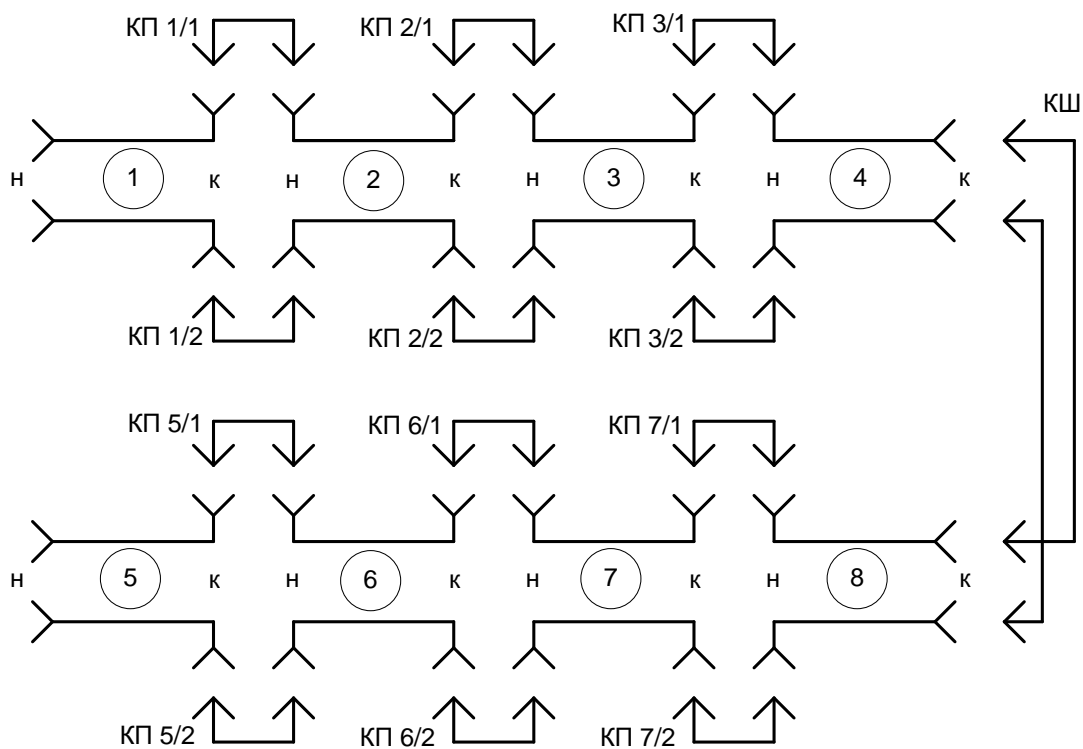


Рисунок 2 – Осциллограммы при зондировании ступенчатым перепадом

Лабораторный стенд

Проведение исследований параметров симметричных цепей осуществляется на лабораторном стенде в состав которого входит следующее оборудование.

Симметричный кабель с медными проводниками диаметром 1,2мм. Бухта кабеля размещена вне помещения лаборатории. На коммутационную панель (рис.3) выведены концы восьми симметричных цепей – секций (на рис. обозначены цифрами 1, 2, ... 8), начала (Н) и концы (К) которых присоединены к гнездам разъемных соединений. Симметричные секции могут последовательно соединяться с помощью коммутационных перемычек КП и коммутационного шнура КШ, что позволяет изменить длину исследуемой линии, а также имитировать различные неисправности кабеля.



1,2, ...8 – номера секций СЦ;

Н,К – начало и конец секции СЦ;

КП1/1, КП1/2,...КП8/2 – коммутационные перемычки;

КШ – коммутационный шнур.

Рисунок 3 – Электрическая схема коммутационной панели

Кабельный прибор ИРК-ПРО

Прибор ИРК-ПРО предназначен для определения расстояния до участка с пониженным сопротивлением изоляции, измерения сопротивления изоляции и сопротивления шлейфа, омической асимметрии, измерения электрической ёмкости всех типов кабелей связи.

Технические данные

Основные технические характеристики:

диапазон измерения сопротивления изоляции	1 кОм÷30000 МОм
диапазон электрической ёмкости	0,1÷2000 нФ
диапазон измерения сопротивления шлейфа	0÷10 кОм
испытательное напряжение	400,180 В
диапазон переходного сопротивления в месте понижения сопротивления изоляции	0÷50 МОм
максимальная погрешность определения расстояния до места понижения сопротивления изоляции в диапазоне переходного сопротивления 0-3 МОм	0,1 % + 1 м
максимальная погрешность измерения сопротивления шлейфа: в диапазоне 0÷3000 Ом в диапазоне 3 кОм÷10 кОм	0,1 % + 0,1 Ом 0,1 кОм
максимальная погрешность измерения сопротивления изоляции в диапазоне 0÷999 кОм в диапазоне 1 МОм÷999 МОм в диапазоне 1000 МОм÷4999 МОм в диапазоне 5000 МОм÷10000 МОм в диапазоне >10000 МОм	2% + 1 ед. 2% + 1 ед. 5% + 1 ед. 10% + 1 ед. не нормируется
максимальная погрешность измерения ёмкости	2% + 0,1 нФ

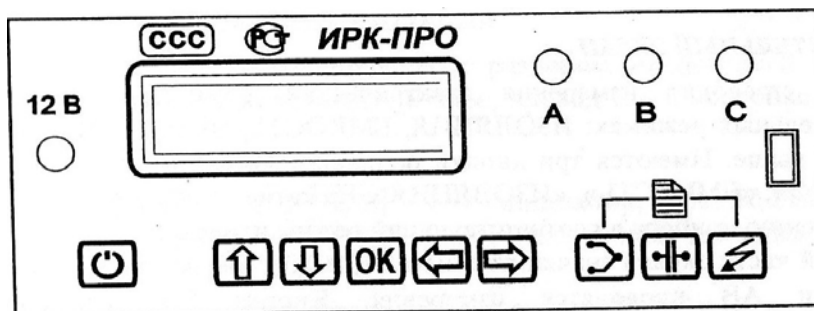
Автоотключение

В приборе предусмотрена защита от разрядки: если прибор не используется в течении 10-ти минут (нет нажатий на кнопки), то прибор переходит в режим 20-ти секундного ожидания. При этом раздаётся прерывистый звуковой сигнал. Если нажатия не происходит – прибор выключается.

При включении прибор показывает, включён или выключен режим автоотключения. Можно отменить и снова включить режим автоотключения в меню режима ИЗОЛЯЦИЯ (Инф. о приборе).

АВТООТКЛ.	ДА
U пит	1 2 . 2 В

Органы управления и контроля



Панель управления

На передней панели прибора размещены:

- Разъём для подключения низковольтного питания
- Алфавитно-цифровой экран
- Кнопки управления
- Разъёмы измерительных проводов – «А», «В», «С»

Инфракрасный порт передачи данных по беспроводному каналу

Кнопки управления разделены на 3 группы:

- 1. Кнопки, включающие измерительные режимы.

ШЛЕЙФ

ЕМКОСТЬ

ИЗОЛЯЦИЯ



- * Навигационные кнопки [\uparrow] [\downarrow] [\Rightarrow] [\Leftarrow] и [OK].
- * Вызов Списка кабелей и работа с Базой данных.

Осуществляется нажатием двух крайних кнопок режимов, как показано на передней панели.

Измерители неоднородностей

Измерители неоднородностей предназначены для:

- обнаружения повреждения кабеля и определения его характера (обрыв, короткое замыкание);
- обнаружение сосредоточенной неоднородности волнового сопротивления (нарушение контакта, снижение сопротивления изоляции и т.п.);
- определения расстояния до повреждения или неоднородности.

Технические данные приборов

Тип прибора	Р 5-9	Р 5-10
Диапазон измерения расстояния, км	до 10	до 300
Точность отсчета, %	± 1	± 1
Длительность зондирующего импульса, нс	от 10 до 2000	от 50 до 100000
Минимальное измеряемое расстояние до неоднородности, м	1	5

Прибор Р5-9

Упрощенная структурная схема прибора приведена на рис. 4, где:

ЗГ – задающий генератор, формирующий опорную частоту;

ГЗН – генератор зондирующих импульсов, вырабатывающий зондирующие импульсы с регулируемой длительностью и перепадом напряжения;

ДС – дифференциальная схема, разделяющая зондирующий и отраженный импульсы;

ГР – генератор развертки;

ЭЛТ – электронно-лучевая трубка на экране которой отображаются процессы, происходящие на линии;

У – усилитель.

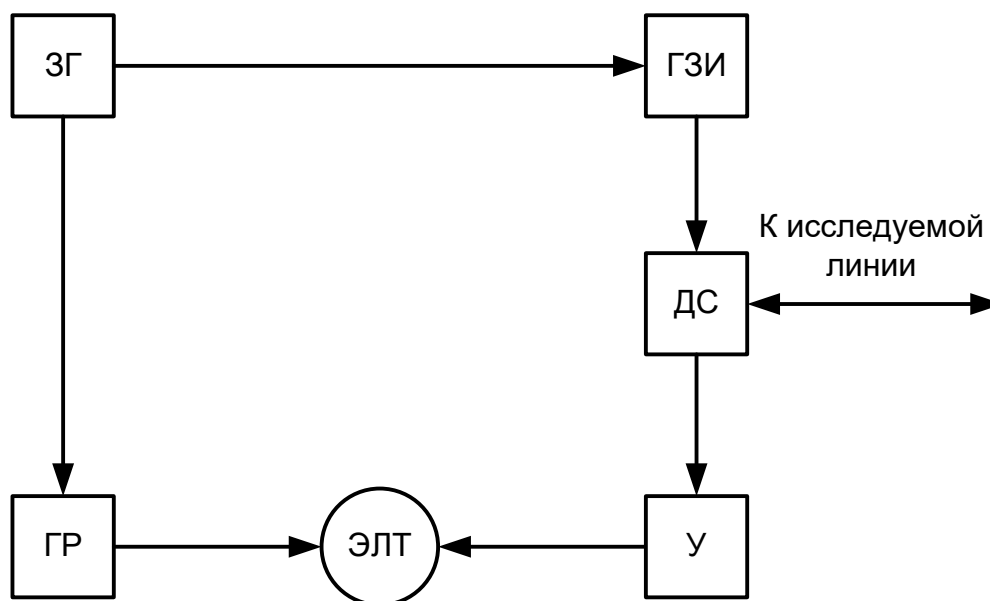


Рисунок 4 – Структурная схема измерителя неоднородностей

Прибор Р5-10

Отличается от прибора Р5-9 тем, что в нем имеется возможность зондирования единичным перепадом напряжения.

Магазин сопротивлений Р 33

Прибор предназначен для использования в цепях постоянного тока в качестве многозначной меры электрического сопротивления. Диапазон изменения сопротивления магазина от 0,1 до 99999,5 Ом. Электрическая схема магазина сопротивлений показана на рис. 5. Магазин состоит из декад сопротивлений. Концы одностипных катушек сопротивлений для каждой декады присоединяются к контактам, по которым скользят щетки, жестко скрепленные с ручками. Суммарное сопротивление магазина отсчитывается по положению ручек в каждой декаде.

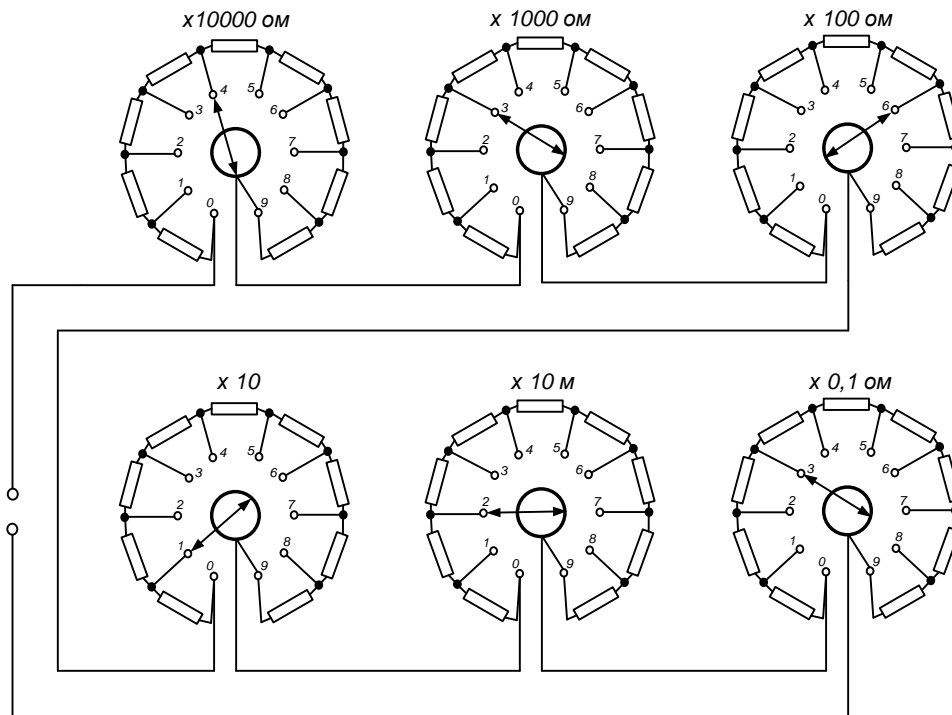


Рисунок 5 – Схема магазина сопротивлений

Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит кабельный сердечник симметричного кабеля?
2. В каких единицах измеряются первичные параметры R, C, Z_{ϵ} ?
3. Как изменяются параметры R, C, Z_{ϵ} , с увеличением частоты?
4. Что характеризует параметр диэлектрическая проницаемость?
5. На каком явлении основан импульсный метод измерения расстояния до неоднородности в СЦ?
6. Как зависит полярность отраженного импульса от характера неоднородности цепи?
7. Что характеризует параметр «коэффициент укорочения»?
8. Какие параметры СЦ позволяет измерять прибор ИРК-ПРО?
9. Какие параметры СЦ позволяет измерять прибор Р5-9?
10. Каким образом можно изменять длину исследуемой СЦ на лабораторном стенде?

Проведение исследований

Измерение параметров симметричной цепи с помощью измерителя неоднородностей Р5-9

Подготовка прибора Р5-9 к работе:

- подключить прибор к сети переменного тока 220В, 50Гц;
- включить питание, для чего ручку «ПИТАНИЕ» на передней панели установить в положение «ВНЕШН»;
- отрегулировать яркость, фокусировку и расположение луча на экране ЭЛТ;
- установить ручку «РАССТОЯНИЕ» в положение «О», «СКОР.РАЗВЕРТКИ» – в крайнее левое положение, «Диапазон М» в положение 10000м, «УКОРОЧЕНИЕ» в положение «1,0» и «ЗОНД.ИМПУЛЬС» в положение 500мс.

Измерение длин секций СЦ:

- на коммутационной панели (рис. 3) с помощью переключек КП и шнура КШ последовательно соединить все восемь секций СЦ, выход (конец) последней секции должен быть разомкнут, начало (Н) первой секции соединить с выходом прибора;
- ручкой «УСТ.ОТСЧЕТА» совместить передний фронт зондирующего импульса с отсчетной вертикальной рискушкой на шкале ЭЛТ;
- вращением ручки «РАССТОЯНИЕ» совместить передний фронт отраженного импульса с отсчетной рискушкой на шкале ЭЛТ;
- отсчитать измеряемое расстояние L на шкале ручки «РАССТОЯНИЕ», исключить длину соединительного кабеля, результат занести в табл. 3 в графу 1-8.

Таблица. 3

Последовательно соединенные секции	1	1-4	1-8
Длина исследуемой линии			
Сопротивление шлейфа			
Километрическое сопротивление цепи			
Волновое сопротивление			

- зарисовать ЭЛТ форму отраженного сигнала;
- закоротить конец последней восьмой секции, зарисовать форму отраженного импульса;
- имитируя увеличение сопротивления проводника в цепи (путем включения в цепь вместо КП резистора) и тока утечки изоляции, зарисовать формы образующихся при этом отраженных импульсов;
- определить длины секции 1 и последовательно соединенных секций 1-4, результаты занести в табл. 3.





Измерение волнового сопротивления СЦ

- на коммутационной панели последовательно соединить все восемь секций СЦ, начало (Н) первой секции соединить с выходом Р5-9, конец (К) восьмой секции соединить с магазином сопротивлений, выполняющим роль сопротивления нагрузки использовать клеммы 0-9999,9 Ом; (регулировки $\times 100$, $\times 10$)
- изменяя величину сопротивления нагрузки, добиться, чтобы амплитуда отраженного импульса стала равной нулю, записать значения сопротивления в табл. 3.1;
- аналогичные измерения провести для секции 1 и последовательно соединенных секций 1-4, результат занести в табл. 3.

Измерение параметров симметричной цепи с помощью прибора ИРК-ПРО Подготовка прибора к работе

ВКЛЮЧЕНИЕ. ПРОВЕРКА ПРИБОРА

Не подключая измерительные провода, включите прибор, а затем включите по очереди соответствующими кнопками режимы «ИЗОЛЯЦИЯ», «ЁМКОСТЬ» и «ШЛЕЙФ». На экране должно быть:

Режим	Кнопка	Экран
ИЗОЛЯЦИЯ		
ЁМКОСТЬ		<div> Ёмкость: 0. 0.0 nF ⊙ А Кабель « 100%» ⊙ С </div>
ШЛЕЙФ		<div> Шлейф > 10 KΩ ⊙ А Кабель « 100 %» ⊙ В </div>

Прибор проводит измерения электрических параметров кабеля в измерительных режимах: ИЗОЛЯЦИЯ, ЁМКОСТЬ, ШЛЕЙФ. Вид экрана показан выше. Имеются три кнопки основных измерительных режимов: «ИЗОЛЯЦИЯ», «ЁМКОСТЬ», «ШЛЕЙФ». Нажатие этих кнопок приводит к включению прибора в соответствующий режим измерения.

В правой части экрана значки показывают, между какими проводами АС, ВС или АВ проводятся измерения. Кнопка [⇒] переключает измерительные провода АВ, АС и ВС в режимах ИЗОЛЯЦИЯ и ЁМКОСТЬ. Прибор непрерывно проводит измерения между обозначенными проводами.

Кнопка [OK] запускает фильтр, чтобы получить однозначный результат в условиях помех. После работы фильтра результат будет зафиксирован на экране. Перемерить результат можно повторным нажатием кнопки [OK]. Чтобы снова запустить режим непрерывных измерений, нужно нажать кнопку [\Leftarrow].

Измерение сопротивления изоляции:

- на коммутационной панели с помощью перемычек КП и шнура КШ последовательно соединить восемь секций, выход (конец) последней секции разомкнуть;

Подключите измерительные провода к разъемам на передней панели прибора. Провода А, В подключите к паре, провод С- к оболочке кабеля (земле).



← индикатор, порог 10 ГОм

← значение R изоляции

Кнопка [\Rightarrow] переключает измерительные провода АВ,АС и ВС.

Кнопка [OK] запускает фильтр.

При измерении сопротивления изоляции кабель необходимо отключать от постороннего напряжения. Если на жиле есть постороннее постоянное напряжение, показания меняются от перемены измерительных проводов местами. Изменение показаний невелико: например, при постоянном напряжении на кабеле 30 В и сопротивлении 0 кОм прибор покажет 20 кОм вместо 0 кОм.

Во время измерения не рекомендуется держать руками изоляторы штекеров измерительных проводов. При повышенной влажности может возникнуть дополнительный канал проводимости.

Перед включением фильтра необходимо дождаться полной зарядки кабеля. При подключении прибора к длинному кабелю показания могут расти, пока кабель заряжается от испытательного напряжения. При смене коммутации измерительных проводов предыдущий контакт автоматически разряжается.

- повторить измерения для последовательно соединенных 4-х секций (1-4) и одной первой секции.

Результаты занести в табл. 4

Таблица 4

Секции СЦ	1	1-4	1-8
Сопротивление изоляции, МОм			
Емкость, нФ			
Сопротивление шлейфа, Ом			
Емкость, нФ/км			
Сопротивление шлейфа, Ом/км			

Измерение электрической емкости

– На коммутационной панели с помощью перемычек КП и шнура КШ последовательно соедините восемь секций, конец последней разомкнуть; подключить измерительные провода к разъёмам на передней панели прибора. Провода А, В подключить к паре, провод С – к оболочке кабеля (земле).

Включите кнопкой режим «ЁМКОСТЬ». Измерения с паспортной точностью проводятся на кабелях с сопротивлением шлейфа до 2 кОм (60 км магистраль и 15 км ГТС) и с сопротивлением изоляции не менее 50 кОм.

Ёмкость: 0. 0 n F	F	⊗ A
Кабель « 100 %»		⊗ C

Кнопка [\Rightarrow] переключает измерительные провода АВ, АС и ВС.

Кнопка [ОК] запускает фильтр.

– повторить измерения для последовательно соединенных 4-х секций (1-4) и одной первой секции.

Результаты занести в табл. 4.

Измерение сопротивления шлейфа

– На коммутационной панели с помощью перемычек КП и шнура КШ последовательно соединить восемь секций, конец последней закоротить;

– в измерительном экране прибор непрерывно измеряет сопротивление шлейфа между проводами А и В. Чтобы измерить шлейф с максимальной точностью, включите фильтр кнопкой [ОК]. В нижней части экрана прибор показывает длину кабеля. Если длина неизвестна и в Списке выбрана « Марка кабеля», то прибор рассчитывает длину кабеля по выбранной марке и температуре грунта.

Шлейф 30Ω0	⊗ A
Луч: 4390	⊗ B

← Результат измерения

← Длина кабеля

Измерение омической асимметрии жил кабеля

– замкните испытываемые жилы на дальнем конце между собой и на оболочку кабеля (или на любую обратную жилу). Провода А и В подключите к испытываемым жилам, провод С к оболочке (если С не подключён, будет сигнал $R_{ут} > 50 \text{ Мом}$).

В режиме Шлейф включите фильтр. После работы бегущей строки прибор запомнит сопротивление шлейфа.

Войдите в меню [\uparrow] [\downarrow] и выберите пункт < Асимметрия пары >. Запуск и повтор измерения кнопкой [ОК].

– повторить измерения для последовательно соединенных 4-х секций (1-4) и одной первой секции.

Результаты занести в табл. 4

Сделать выводы по результатам измерений.

Расчет параметров СЦ

Используя приведенные в разделе 1 формулы и полученные при измерениях результаты рассчитать значения параметров:

- сопротивление шлейфа $R_{ш}$ на постоянном токе;
- емкость симметричной цепи C ;
- волновое сопротивление $Z_в$.

Для участка цепи, состоящего из восьми секций.

Сравнить расчетные значения параметров с измерениями, сделать выводы.

Рекомендуемая литература

1. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Том 1. Теория передачи и влияния: Учебник для вузов / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов и др. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. –424 с.; . ISBN 978-5-9912-0092-9, 1000 экз. – Текст : электронный. – URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/256974>
2. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи их монтаж и измерение [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Портнов Э.Л. – М.: Горячая линия - Телеком, 2012. – 448с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=333230>
3. Ю. А. Парфенов Кабели электросвязи. М.: Эко-Трендз, 2003.–256с.: ил.
4. Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для вузов.– М.: Горячая линия –Телеком 2009 г.– 268с.; ил.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ В КОАКСИАЛЬНЫХ ЦЕПЯХ

Цель работы: Закрепление полученных теоретических знаний по расчёту параметров коаксиальных цепей. Овладение навыками работы с измерительными приборами. Измерение параметров коаксиального кабеля с помощью кабельного прибора ИРК-ПРО. Исследование зависимости коэффициента затухания коаксиальной цепи от частоты.

Лабораторное оборудование

1. Коаксиальный кабель.
2. Кабельный прибор типа ИРК-ПРО.
3. Генератор синусоидального напряжения.
4. Милливольтметр.

Содержание отчета по лабораторной работе

1. Название лабораторной работы
2. Цель работы
3. Состав лабораторного оборудования
4. Схемы измерений
5. Таблица с расчётными и измеренными значениями параметров
6. Расчётный и экспериментальный графики зависимости коэффициента затухания от частоты.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Конструктивные параметры коаксиального кабеля

Основным элементом коаксиального кабеля является коаксиальная цепь (КЦ), представляющая собой два цилиндрических проводника с совмещённой осью; один цилиндрический проводник – сплошной (внутренний) расположен внутри второго проводника – полого (наружного), между ними находится изолирующий материал.

Для изготовления кабельных проводников используются в основном медь и алюминий. Основные параметры проводников:

- ρ - удельное сопротивление, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ (при $t = 20^\circ \text{C}$);
- σ - проводимость, $\text{м} / (\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$;
- γ - плотность, $\text{г} / \text{см}^3$;
- α - температурный коэффициент сопротивления

Внутренний проводник КЦ может быть сплошным, многопроволочным и биметаллическим. Наружный проводник выполняется в виде трубки сплошной окладкой или гофрированной, реже в виде оплётки.

В качестве изолирующих (диэлектрических) материалов используется полистирол, полиэтилен, поливинилхлорид и другие аналогичные материалы.

Основными параметрами диэлектриков являются:

- ϵ - диэлектрическая проницаемость;
- $\tan \delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь;
- $R_{из}$ - сопротивление изоляции по постоянному току

Наилучшим диэлектриком является воздух., у которого $\varepsilon_2 \Rightarrow 1$, $tg\delta \Rightarrow 0$, $\rho \Rightarrow \infty$, поэтому часто кабельная изоляция выполняется комбинированной(сочетание твёрдого диэлектрика и воздуха).

Основные типы изоляции:

- сплошная- из сплошного слоя изоляционного материала;
- пористая- из слоя пенопласта;
- баллонная – из тонкостенной пластмассовой трубки, которая периодически в точках или по спирали обжимается и удерживает внутренний проводник в центре;
- шайбовая- из шайб из твёрдого диэлектрика, насаженных на внутренний проводник через определенные промежутки;
- спиральная – из равномерно распределённой по длине внутреннего проводника пластмассой спирали.

Значения параметров проводников и диэлектриков, необходимых для расчёта параметров передачи КЦ, приведены в таблице 1 и 2.

В общем случае коаксиальный кабель состоит из сердечника и защитных покровов. Сердечник образуется из одной или нескольких КЦ (может дополняться симметричными цепями). Защитные покровы могут состоять из влагонепроницаемой оболочки(металлической, пластмассовой, металлопластмассовой), брони и шланга.

Для маркировки электрических кабелей используют буквенно-цифровые обозначения B_1, B_2, B_3, B_4 - указывающие Ц

где B_1 -буквенные обозначения, на область применения кабеля

- МК- магистральный кабель симметричный;
- КМ- кабель магистральный коаксиальный;
- ЗК- зонный кабель симметричный;
- ВК- внутризонный коаксиальный;
- МКТ- малогабаритные коаксиальные кабели
- Т- телефонный кабель
- КС- кабель;

B_2 - тип изоляции

- отсутствие буквы-бумажная;
- С-спирофлексная
- П-полиэтиленовая

B_3 -тип оболочки

- отсутствие буквы-свинцовая
- СТ-
- П- полиэтиленовая

B_4 -тип защитного покрова

- Г-без защитного покрова
- Б- броня из стальных лент
- К- броня

Ц-цифры, указывающие на ёмкость кабеля.

Параметры передачи коаксиальной цепи.

Электрические свойства КЦ (коаксиальной цепи) характеризуются первичными и вторичными параметрами передачи. К первичным параметрам относятся активное сопротивление и индуктивность проводников, ёмкость цепи и проводимость изоляции.

Активное сопротивление КЦ в общем случае равно:

$$R = R_B + R_H, Ом / км, \quad (3.1)$$

$$\text{где } R_B = R_{OB} [1 + F(kr)] - \text{сопротивление внутреннего проводника;} \quad (3.2)$$

$$R_{OB} = \frac{4000 * \rho_B}{\pi d^2} \text{ -активное сопротивление проводника на постоянном токе, Ом/км; (3.3)}$$

$$K_B = \sqrt{co\mu_B * \delta_B} \text{ -коэффициент вихревых токов, см}^{-1};$$

d и r - диаметр и радиус внутреннего проводника, мм;

μ_B -магнитная проницаемость;

ρ_B, δ_B -проводимость проводника,

$F(kr)$ -функция, учитывающая увеличение сопротивления за счёт поверхностного эффекта, определяется по таблице 3.

$$R_H = \frac{10}{2\pi r_{BH} \delta_H} \left[\frac{\kappa}{\sqrt{2}} \frac{shu + \sin u}{chu - \cos u} - \frac{4r_{BH} + t}{8(r_{BH} + t)r_{BH}} \right] \text{ -сопротивление наружного проводника; (3.4)}$$

где r_{BH} -внутренний радиус наружного проводника, мм;

t - толщина наружного проводника;

$$u = kt\sqrt{2}$$

Сопротивление наружного проводника на постоянном токе может быть определено по формуле:

$$R_{OH} = \frac{4000 * \rho_H}{\pi(D_{HH}^2 - D_{HB}^2)} = \frac{1000 * \rho_H}{\pi(D_{HB} + t)t} \quad (3.5)$$

где D_{HB} -внутренний диаметр наружного проводника, мм.

На частоте $f > 60$ кГц сопротивление можно определить по упрощённой формуле:

$$R = -\frac{\sqrt{2}}{2\pi} \left[\frac{K_B}{\delta_B d} + \frac{K_H}{\delta_H D} \right], \text{Ом/км; (3.6)}$$

где K_B, K_H - коэффициент вихревых токов внутреннего и наружного проводников соответственно;

δ_B, δ_H - проводимости внутреннего и наружного проводников;

d, D -диаметры внутреннего и наружного проводников.

Индуктивность КЦ характеризуется отношением магнитного потока к току, создаваемому этот поток и определяется по формуле:

$$l = l_B + l_H + l_{МП}, \text{Гн/км, (3.7)}$$

$$\text{где } l_B = \frac{1}{2} \mu_2 Q(kr) * 10^{-4} \text{ - индуктивность внутреннего проводника; (3.8)}$$

$$l_H = \frac{10^3}{2\pi r_H \delta} * \frac{k}{\omega\sqrt{2}}, \frac{shu - \sin u}{chu - \cos u} \text{ - индуктивность наружного проводника; (3.9)}$$

$$l_{МП} = \left[2\mu_2 L n \frac{D}{d} \right] * 10^{-4} \text{ - внешняя межпроводниковая индуктивность. (3.10)}$$

На частотах $f > 60$ кГц можно использовать упрощённую формулу:

$$l = \left[2 \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\sqrt{f}} \left(\frac{B_B}{d} + \frac{B_H}{D} \right) \right] * 10^{-4}, \text{ Гн/км}, \quad (3.11)$$

r_H - для медных проводников $B=133,3$; алюминиевых $B=172,88$

Ёмкость КЦ- аналогичные ёмкости цилиндрического конденсатора и определяются по формуле:

$$C = \frac{\varepsilon_2 * 10^{-6}}{18 \ln \frac{D}{d}}, \text{ ф/км}. \quad (3.12)$$

Если в КЦ применяется комбинированный диэлектрик (твёрдый диэлектрик – воздух), то вместо ε_2 используется эквивалентная диэлектрическая проницаемость ε_3 .

Проводимость КЦ характеризует потери энергии в изоляции проводников и определяется по формуле:

$$G = \frac{1}{R_{ИЗ}} + \omega C * tg \delta, \text{ см/км}, \quad (3.13)$$

где $R_{ИЗ}$ -сопротивление изоляции

$tg \delta$ -тангенс угла диэлектрических потерь.

Если в КЦ применяется комбинированный диэлектрик, то при расчёте используется эквивалентный $tg \delta_3$.

Ко вторичным параметрам КЦ относятся коэффициент распространения, волновое сопротивление и скорость распространения электромагнитной энергии по цепи.

Коэффициент распространения определяется по формуле:

$$\gamma = \sqrt{(R + i\omega l)(G + i\omega C)} = l + i\beta, \text{ 1/км}, \quad (3.14)$$

где: l -коэффициент затухания, дБ/км;

β -коэффициент фазы рад/км.

В общем случае:

$$l = 8,7 \sqrt{0,5 \left[\sqrt{(R^2 + \omega^2 l^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} - (\omega^2 lC - RG) \right]} \quad (3.15)$$

$$\beta = \sqrt{0,5 \left[\sqrt{(R^2 + \omega^2 l^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} + (\omega^2 lC - RG) \right]} \quad (3.16)$$

На постоянном токе: $l = \sqrt{R_0 G_0}$; $\beta = 0$.

В тональном диапазоне частот (при $R \gg \omega l$ и $G \ll \omega C$):

$$l = 8,7 \sqrt{\omega RC / 2}; \quad \beta = \sqrt{\omega RC / 2}. \quad (3.17)$$

В диапазоне высоких частот ($\omega l \gg R$, $\omega C \gg G$)

$$l = 8,7 (0,5 R \sqrt{C/l} + 0,5 G \sqrt{l/C}); \quad \beta = \omega \sqrt{lC}. \quad (3.18)$$

На практике для КЦ с медными проводниками пользуются формулой:

$$l_{MM} = \frac{2,6 \sqrt{f \varepsilon}}{\ln(D/d)} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) * 10^{-3} + 9,08 f \sqrt{\varepsilon} * tg \delta * 10^{-5}, \text{ дБ/км} \quad (3.19)$$

где первое слагаемое- затухания в металле, второе в диэлектрике.

Если наружный проводник заменить на алюминиевый, то затухание возрастёт в 1,06 раза ($l_{MA} = 1,06l_{MM}$). При двух алюминиевых проводниках затухание возрастает в 1,26 раза ($l_{AA} = 1,26l_{MM}$).

Волновое сопротивление в общем случае равно:

$$Z_B = \frac{\gamma}{R + i\omega l} = \sqrt{(R + i\omega l)/(G + i\omega C)} = |Z_B|e^{i\varphi}, \text{ Ом} \quad (3.20)$$

На постоянном токе $Z_B = \sqrt{R_0 / G_0}; \varphi = 0$.

На тональных частотах ($R \gg \omega l; G \ll \omega C$) $Z_B = \sqrt{R / \omega C} e^{-i45^\circ}$. (3.21)

На высоких частотах ($R \ll \omega l; G \ll \omega C$) $Z_B = \sqrt{l / C}, \varphi = 0$ (3.22)

Скорость распространения электромагнитной энергии по цепи:

$$V_\phi = \omega / \beta, \text{ км/с} \quad (3.23)$$

$$\text{В диапазоне высоких частот } V = 1 / \sqrt{lC} \quad (3.24)$$

Общий вид частотных зависимостей параметров передачи КЦ приведены на рис.1

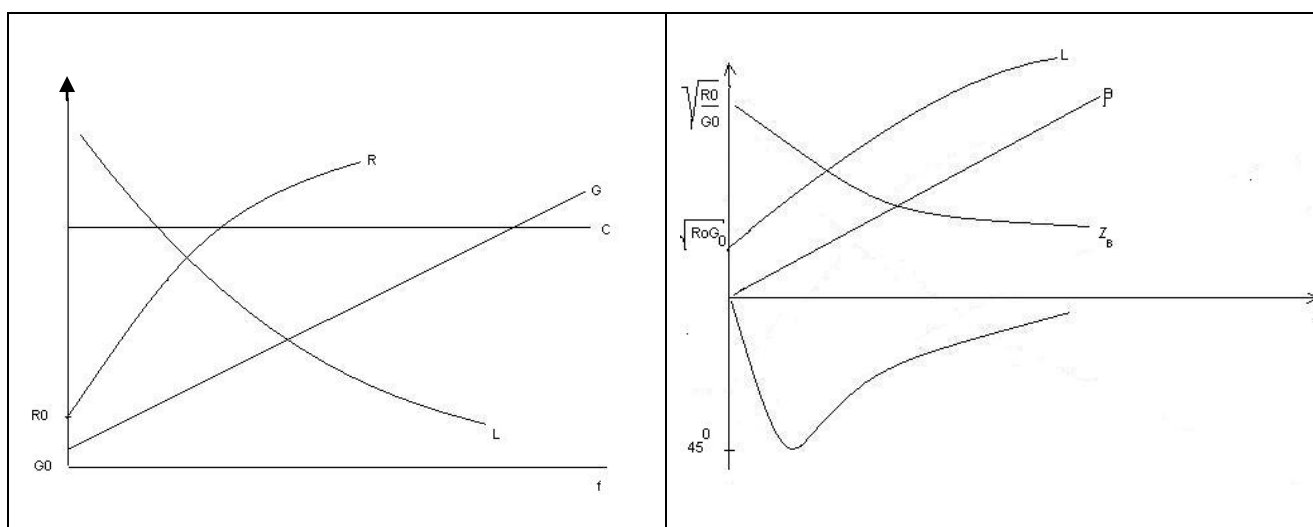


Рисунок 4— Частотные зависимости параметров передачи КЦ

Таблица 1.

Проводник	$k = \sqrt{a\mu_a} \delta, \text{ мм}^{-1}$	$\delta, \frac{\text{м}}{\text{Ом} * \text{мм}^2}$	$\rho, \frac{\text{Ом} * \text{мм}^2}{\text{м}}$
Медь	$0,21\sqrt{f} \text{ ф}[\text{кГц}]$	57,00	0,0175
Алюминий	$0,0164 \sqrt{f}$	34,76	0,0295
Сталь	$0,075 \sqrt{f}$	7,23	0,138

Таблица 2.

Изоляция	$\varepsilon_{\text{э}}$	$\text{tg } \delta_{\text{э}} * 10^{-4}$ при f , МГц			
		1	5	10	60
ПЭ	1,13	0,5	0,5	0,7	0,8
ПЭ	1,1	0,4	0,4	0,5	0,6
ПЭ	1,2...1,3	1,2	1,3	1,5	
ПЭ	1,4...1,5	2	3	3	
Кордель-стирофлекс	1,2...1,3	0,7	0,8	1,0	1,2

Таблица 3

kr	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0	>10
$F(kr)$	0,0003	0,0052	0,0782	0,318	0,678	1,042	1,743	2,799	$(kr\sqrt{2} - 3)/4$
$Q(kr)$	0,9998	0,997	0,961	0,845	0,686	0,556	0,400	0,282	$2\sqrt{2} / kr$

Контрольные вопросы

1. Основные параметры проводников КЦ.
2. Основные параметры изоляции КЦ.
3. Наилучший по параметрам изолятор.
4. Буквенные обозначения для коаксиальных кабелей в их маркировке.
5. Составляющие, из которых складывается индуктивность КЦ.
6. Зависимость активного сопротивления КЦ от частоты.
7. Составляющие, из которых складывается индуктивность КЦ.
8. Зависимость индуктивности КЦ от частоты.
9. Параметры, влияющие на величину ёмкости КЦ.
10. Зависимость ёмкости КЦ от частоты.
11. Зависимость проводимости КЦ от частоты.
12. Составляющие, из которых складывается коэффициент затухания КЦ.
13. Зависимость коэффициента затухания КЦ от частоты.
14. Зависимость волнового сопротивления КЦ от частоты.
15. Первичные параметры передачи КЦ.
16. Вторичные параметры передачи КЦ.
17. Зависимость коэффициента фазы КЦ от частоты.
18. Какие первичные параметры передачи характеризуют проводник.
19. Какие первичные параметры передачи характеризуют диэлектрик.
20. Конструкции изоляторов КЦ.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД

Проведение исследований параметров коаксиального кабеля осуществляется на лабораторном стенде, в состав которого входит следующее оборудование.

Коаксиальный кабель типа ВКПАП- 2,1/9,7 с внутренним медным проводником диаметром 2,1 мм; наружным алюминиевым проводником с внутренним диаметром трубки 9,7 мм., толщиной стенки 1,0 мм; изоляцией из пористого полиэтилена. . Бухта кабеля размещена вне помещения лаборатории. К лабораторному стенду подведены концы кабеля.

Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112-источник синусоидального и прямоугольного напряжения в диапазоне частот от 10 Гц до 10 МГц со ступенчатым изменением выходного напряжения от 0 до -70 дБ и плавной регулировкой в пределах от 0 до -12 дБ.

Милливольтметр ВЗ-41, позволяющий измерять напряжение в диапазонах 3... 300 мВ(-50...-10 дБ) и 1...300 В (0...50 дБ)

Кабельный прибор ИРК-ПРО

Основные технические характеристики.

НАЗНАЧЕНИЕ

Прибор ИРК-ПРО предназначен для определения расстояния до участка с пониженным сопротивлением изоляции, измерения сопротивления изоляции и сопротивления шлейфа, омической асимметрии, измерения электрической ёмкости всех типов кабелей связи.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Основные технические характеристики:

диапазон измерения сопротивления изоляции	1 кОм÷30000 МОм
диапазон электрической ёмкости	0,1÷2000 нФ
диапазон измерения сопротивления шлейфа	0÷10 кОм
испытательное напряжение	400,180 В
диапазон переходного сопротивления в месте понижения сопротивления изоляции	0÷50 МОм
максимальная погрешность определения расстояния до места понижения сопротивления изоляции в диапазоне переходного сопротивления 0-3 МОм	0,1 % +1м
максимальная погрешность измерения сопротивления шлейфа: в диапазоне 0÷3000 Ом в диапазоне 3 кОм÷10 кОм	0,1 % +0,1 Ом 0,1 кОм
максимальная погрешность измерения сопротивления изоляции в диапазоне 0÷999 кОм в диапазоне 1 МОм÷999 Мом в диапазоне 1000 Мом÷4999 Мом в диапазоне 5000 Мом÷10000 Мом в диапазоне >10000Мом	2%+1 ед. 2%+1 ед. 5%+1 ед. 10%+1 ед. не нормируется
максимальная погрешность измерения ёмкости	2%+0,1 нФ

КОНТРОЛЬ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Для определения напряжения источника питания кнопкой **ВКЛ** включите прибор. На экране появится информация об источнике питания. Допустимые значения для аккумуляторной батареи: от 10,5 В до 15 В. Разрядка аккумулятора до напряжения меньше 10В резко снижает его срок эксплуатации. Аккумулятор, разряженный до 8 В, практически не поддаётся восстановлению.

АВТООТКЛЮЧЕНИЕ

В приборе предусмотрена защита от разрядки: если прибор не используется в течении 10-ти минут(нет нажатий на кнопки), то прибор переходит в режим 20-ти секундного ожидания. При этом раздаётся прерывистый звуковой сигнал. Если нажатия не происходит - прибор выключается.

При включении прибор показывает, включён или выключен режим автоотключения. Можно отменить и снова включить режим автоотключения в меню режима ИЗОЛЯЦИЯ (Инф. о приборе).

Органы управления и контроля

ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ

На передней панели прибора размещены:

- Разъём для подключения низковольтного питания
- Алфавитно-цифровой экран
- Кнопки управления
- Разъёмы измерительных проводов – «А», «В», «С»

Инфракрасный порт передачи данных по беспроводному каналу

Кнопки управления разделены на 3 группы:

- 1. Кнопки, включающие измерительные режимы.

ШЛЕЙФ ЕМКОСТЬ ИЗОЛЯЦИЯ

* Навигационные кнопки [\uparrow] [\downarrow] [\Rightarrow] [\Leftarrow] и [OK].

* Вызов Списка кабелей и работа с Базой данных.

Осуществляется нажатием двух крайних кнопок режимов, как показано на передней панели.

ВКЛЮЧЕНИЕ. ПРОВЕРКА ПРИБОРА

Не подключая измерительные провода, включите прибор, а затем включите по очереди соответствующими кнопками режимы «ИЗОЛЯЦИЯ», «ЁМКОСТЬ» и «ШЛЕЙФ». На экране должно быть:

Режим	Кнопка	Экран
ИЗОЛЯЦИЯ		
ЁМКОСТЬ		
ШЛЕЙФ		

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ЭКРАН

Прибор проводит измерения электрических параметров кабеля в измерительных режимах: ИЗОЛЯЦИЯ, ЁМКОСТЬ, ШЛЕЙФ. Вид экрана показан выше. Имеются три кнопки основных измерительных режимов: «ИЗОЛЯЦИЯ», «ЁМКОСТЬ», «ШЛЕЙФ». Нажатие этих кнопок приводит к включению прибора в соответствующий режим измерения.

В правой части экрана значки показывают, между какими АС, ВС или АВ проводятся измерения. Кнопка [\Rightarrow] переключает измерительные провода АВ, АС и ВС в режимах ИЗОЛЯЦИЯ и ЁМКОСТЬ. Прибор непрерывно проводит измерения между обозначенными проводами.

Кнопка [OK] запускает фильтр, чтобы получить однозначный результат в условиях помех. После работы фильтра результат будет зафиксирован на экране. Перемерить результат можно повторным нажатием кнопки [OK]. Чтобы снова запустить режим непрерывных измерений, нужно нажать кнопку [\Leftarrow].

МЕНЮ

Параметры измерительного цикла задаются в Меню каждого режима. Вход в Меню кнопками [\uparrow] [\downarrow]. Кнопки [\uparrow] [\downarrow] перемещают по пунктам меню, кнопка [OK] запускает выбранный пункт. Кнопка [\Leftarrow] используется при этом как Esc, выводящий из пункта меню или возвращающий в измерительный экран. Цикл меню закольцован: пролистывание в любом направлении [\uparrow] [\downarrow].

Все пункты меню, которые выводят на экран какое-то значение, делятся на два класса: изменяемые и не изменяемые. Если значение можно изменить, перед ним стоит значок ►. Например:

Тестовое напряжение
U тест ► 180 в

Значок ► в данном случае показывает, что мы можем нажать [ОК], войти в пункт и изменить тестовое напряжение на 400 В. Перед неизменяемым значением стоит двоеточие. Например:

Шлейф	30Ω 0
Луч: 4390	

Работа с прибором.

РЕЖИМ « ИЗОЛЯЦИЯ » ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Подключите измерительные провода к разъемам на передней панели прибора. Провода А, В подключите к паре, провод С- к оболочке кабеля (земле).

← индикатор, порог 10 ГОм

← значение R изоляции

Кнопка [⇒] переключает измерительные провода АВ,АС и ВС.

Кнопка [ОК] запускает фильтр.

При измерении сопротивления изоляции кабель необходимо отключать то постороннего напряжения. Если на жиле есть постороннее постоянное напряжение, показания меняются от перемены измерительных проводов местами. Изменение показаний невелико: например, при постоянном напряжении на кабеле 30 В и сопротивлении 0 кОм прибор покажет 20 кОм вместо 0 кОм.

Во время измерения не рекомендуется держать руками изоляторы штекеров измерительных проводов. При повышенной влажности может возникнуть дополнительный канал проводимости.

Перед включением фильтра необходимо дождаться полной зарядки кабеля. При подключении прибора к длинному кабелю показания могут расти, пока кабель заряжается от испытательного напряжения. При смене коммутации измерительных проводов предыдущий контакт автоматически разряжается.

УСТАНОВКА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ 180 ИЛИ 400 В

Для определения дефекта изоляции требуется подавать на кабель напряжение не менее 400 В. Иногда измерителям необходимо провести измерения сопротивления изоляции, не отключая защиту на импортном оборудовании. Для этого в приборе предусмотрено пониженное тестовое напряжение 180 В. При первом включении прибор включает пониженное напряжение 180 В. Если вы установили напряжение 400 В, прибор это запомнит. При следующем включении прибор будет выставлять то напряжение, которое вы установили последним. Как установить нужное тестовое напряжение?

Включите режим « ИЗОЛЯЦИЯ ».

Кнопками [↑] [↓] выберите в меню пункт

Настройки режима
<= Rизол= = Uтест =>

Нажмите [ОК]. Появится пункт:

Уровень изоляции	
R изол ►	10 GΩ

Нажимаем [OK] и кнопками [\uparrow] [\downarrow] осуществляем выбор нужного порога. Можно установить порог 1,2,3 ... 10 ГОм. По умолчанию устанавливается 10 ГОм, как показано на экране.

ПУНКТЫ МЕНЮ В РЕЖИМЕ « ИЗОЛЯЦИЯ »

- Настройка режима
 - Порог
 - Тестовое напряжение
- Информация о приборе
- Плановые измерения
- Коэффициент К

РЕЖИМ «ЁМКОСТЬ»

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЁМКОСТИ

Подключите измерительные провода к разъёмам на передней панели прибора. Провода А, В подключите к паре, провод С- к оболочке кабеля (земле).

Включите кнопкой режим «ЁМКОСТЬ». Измерения с паспортной точностью проводятся на кабелях с сопротивлением шлейфа до 2 кОм (60 км магистраль и 15 км ГТС) и с сопротивлением изоляции не менее 50 кОм.

Ёмкость: 0. 0 n F	F	A
Кабель « 100 %»		C

Кнопка [\Rightarrow] переключает измерительные провода АВ, АС и ВС.

Кнопка [OK] запускает фильтр.

РЕЖИМ « ШЛЕЙФ »

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ШЛЕЙФА

В измерительном экране прибор непрерывно измеряет сопротивление шлейфа между проводами А и В. Чтобы измерить шлейф с максимальной точностью, включите фильтр кнопкой [OK]. В нижней части экрана прибор показывает длину кабеля. Если длина неизвестна и в Списке выбрана « Марка кабеля », то прибор рассчитывает длину кабеля по выбранной марке и температуре грунта.

← Результат измерения

← Длина кабеля

ИЗМЕРЕНИЕ ОМИЧЕСКОЙ АСИММЕТРИИ ЖИЛ КАБЕЛЯ

Замкните испытуемые жилы на дальнем конце между собой и на оболочку кабеля (или на любую обратную жилу). Провода А и В подключите к испытуемым жилам, провод С к оболочке (если С не подключён, будет сигнал $R_{ут} > 50 \text{ Мом}$).

В режиме Шлейф включите фильтр. После работы бегущей строки прибор запомнит сопротивление шлейфа.

Войдите в меню [\uparrow] [\downarrow] и выберите пункт < Асимметрия пары >. Запуск и повтор измерения кнопкой [OK].

КОРРЕКЦИЯ ПРОВОДОВ

Прибор настраивается вместе со своими измерительными проводами. Если Вы используете провода не из комплекта прибора, то при работе на коротких участках кабеля измерительные провода могут вносить погрешность в результат измерения. Воспользуйтесь

функцией коррекции нуля. Для этого ДО ВКЛЮЧЕНИЯ прибора нажмите кнопки [Шлейф] + [⇒], включите прибор и отпустите кнопки. Должна появиться надпись «Коррекция нуля». Войдите в режим кнопкой ОК. Далее прибор сам будет «вести» Вас. Завершив коррекцию, нажмите [⇐] и продолжайте работу в обычном порядке. Чтобы вернуться к работе с «родными» проводами, нужно повторить процедуру коррекции для них.

ПОИСК ДЕФЕКТА ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЯ

Чтобы измерить расстояние до повреждения изоляции, нужно до начала измерений в списке выбрать нужный кабель, а затем перейти к измерениям. Как правильно сделать выбор в различных случаях?

КАК НАЙТИ РАССТОЯНИЕ В ПРОЦЕНТАХ ДЛИНЫ

Этот режим называется «Кабель 100 %». Он устанавливается по умолчанию при включении прибора. Поэтому можно сразу переходить к измерению. Результат показывается в % длины. Только для кабеля без вставок!

РАССТОЯНИЕ В МЕТРАХ, КОГДА ДЛИНА КАБЕЛЯ ИЗВЕСТНА

Чтобы получить результат в метрах, нужно известную длину кабеля ввести в «Кабель 100 %».

Вызовите список, нажимая одновременно кнопки [ИЗОЛЯЦИЯ]+ [ШЛЕЙФ]. Появится для редактирования «Кабель 100%»:

« КАБЕЛЬ	100%»
[ОК]	редактиров.

Нажмите [ОК], чтобы начать редактирование (ввод длины):

Длина	кабеля
выбрано ►	01000

Значок ► показывает, что уже введена длина 1000 м. Чтобы ввести свою длину, нажмите [ОК]. Ввод значения кнопками [↑] [↓], переход к нужному разряду кнопками [⇒][⇐]. После набора длины надо нажать [ОК]. Прибор вернётся к предыдущему экрану и покажет введённую длину.

Длина	кабеля
выбрано ►	13500

Чтобы вернуться в измерения с изменёнными данными, надо нажать кнопку влево [⇐]. Прибор подтвердит изменения и предупредит, что они сохраняются только до включения прибора.

Чтобы получить результат в метрах, нужно известную длину кабеля ввести в «Кабель 100 %». Нажмите одновременно кнопки [ИЗОЛЯЦИЯ]+ [ШЛЕЙФ] – появится экран:

« Кабель	100%»
[ОК]	редактиров.

Нажмите [ОК] и введите длину кабеля. Ввод значения кнопками [↑] [↓], переход к нужному разряду [⇒][⇐]. Чтобы вернуться в измерения с изменёнными данными, надо нажать кнопку влево [⇐]. Прибор подтвердит изменения и предупредит, что они сохраняются только до выключения прибора. Если подтверждения нет, прибор будет хранить введённые параметры до выключения, но будет работать с прежним кабелем. Вы можете вернуться в редактирование и подтвердить изменения [⇐]. Только для кабеля без вставок!

ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перед началом работы проверить заземление всех электрических измерительных, установить в исходное положение все органы упарвления приборов.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КЦ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА ИРК-ПРО.

Используя формулы (1.3; 1.5; 1.12), рассчитать значения коаксиального кабеля:

- $R_{ОВ}$ - сопротивление внутреннего проводника на постоянном токе;

- $R_{ОН}$ - сопротивление наружного проводника на постоянном токе;

- $R_{Ш} = R_{ОВ} + R_{ОН}$ - сопротивление шлейфа;

- С-ёмкость;

полученные результаты занести в таблицу 3.1

Таблица 3.1

Параметры	$R_{ОВ}$, Ом/км	$R_{ОН}$, Ом/км	$R_{Ш}$, Ом/км	С, ф/км	$R_{ИЗ}$, Мом
Расчётные					
Измеренные					

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ КОАКСИАЛЬНОЙ ЦЕПИ ОТ ЧАСТОТЫ

Рассчитать значения коэффициента затухания на частотах 0,1 ; 0,5 ; 1,0; 1,5 и 2 МГц, результаты занести в таблицу 3.2.

Частота, МГц	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0
l , дБ/км расчётное					
A , дБ/ 0,72 км эксперимент.					
l , дБ/км эксперимент					

Собрать схему измерения коэффициента затухания коаксиального кабеля.

Включить питание на генераторе сигналов, установить начальную частоту 0,1 МГц, ручкой аттенюатора выходного напряжения установить в положение «0 дБ».

Включить милливольтметры, установить их переключатели в положение «0 дБ».

Ручкой плавной регулировки выходного напряжения на генераторе установить уровень «0 дБ», контролируя его по милливольтметру 1.

По милливольтметру 2 отсчитать уровень напряжения A на выходе кабеля в децибелах.

Пересчитать полученные значения A (дБ/ 0,72 км) в значения коэффициента затухания l (дБ/км).

Построить расчётный и экспериментальный график зависимости коэффициента затухания от частоты. Сделать выводы по проделанной работе.

Рекомендуемая литература

1. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Том 1. Теория передачи и влияния: Учебник для вузов / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов и др. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. —424 с.; . ISBN 978-5-9912-0092-9, 1000 экз. – Текст : электронный. – URL: <https://new.znaniy.com/catalog/product/256974>
2. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи их монтаж и измерение [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Портнов Э.Л. – М.: Горячая линия - Телеком, 2012. – 448с. <http://znaniy.com/catalog.php?bookinfo=333230>
3. Ю. А. Парфенов Кабели электросвязи. М.: Эко-Трендз, 2003.–256с.: ил.
4. Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для вузов.– М.: Горячая линия –Телеком 2009 г.– 268с.; ил.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЛИЯНИЙ МЕЖДУ СИММЕТРИЧНЫМИ И КОАКСИАЛЬНЫМИ ЦЕПЯМИ

Взаимные электромагнитные влияния в направляющих системах и меры защиты

Природа влияний между цепями в симметричных и коаксиальных кабелях связи, первичные и вторичные параметры влияния. Методы повышения помехозащищенности между цепями. Компенсация взаимных влияний на участке ОУП-ОУП и нормы на защищенность от взаимных помех.

Вопросы для самопроверки

1. Особенности влияния между коаксиальными цепями.
2. Причины возникновения косвенных влияний между цепями в кабелях связи.
3. Нормы на защищенность от взаимных помех.
4. Этапы симметрирования низкочастотных кабелей связи.
5. Что такое эффект перестановки?
6. Основные параметры взаимных влияний.
7. Что такое непосредственные и косвенные влияния между цепями?
8. Основные меры защиты цепей линий связи от взаимных влияний.
9. Симметрирование высокочастотных кабелей связи.

Защита направляющих систем от внешних электромагнитных влияний

Источники опасных и мешающих влияний и особенности влияния полей высоковольтных линий электропередачи, электрифицированных железных дорог переменного и постоянного токов, а также мощных радиостанций на направляющие системы.

Меры защиты от опасных и мешающих влияний и мероприятия, осуществляемые на установках высокого напряжения и мероприятия, применяемые на направляющих системах. Меры защиты кабелей от ударов молнии и особенности защиты кабелей в алюминиевых и стальных оболочках.

Рассчитать вторичные параметры взаимного влияния на строительной длине симметричного (коаксиального) кабеля. По результатам расчета построить графики частотной зависимости.

Исходные данные приведены в табл. 1.1 и 1.2. Кроме того, при решении используются ранее рассчитанные в ЛР 2-3 значения первичных параметров

передачи. Расчет параметров влияния выполняется на тех же частотах, что и параметров передачи в предыдущих (ЛР2-3) задачах.

Методика расчета вторичных параметров влияния между цепями симметричного кабеля

Переходные затухания на ближнем конце – A_0 и на дальнем конце – A_l на строительной длине кабеля рассчитываются по формулам:

$$A_0^{сд} = 20 \lg \left| \frac{2}{N_{12}} \right|, \text{ дБ}, \quad (4.1)$$

$$A_l^{сд} = 20 \lg \left| \frac{2}{F_{12}} \right|, \text{ дБ}. \quad (4.2)$$

При расчете коэффициентов электромагнитных связей N_{12} и F_{12} рекомендуется использовать формулы:

$$N_{12} = (g_{12} + j\omega \cdot k_{12})Z_B + \frac{r_{12} + j\omega \cdot m_{12}}{Z_B}, \quad (4.3)$$

$$F_{12} = (g_{12} + j\omega \cdot k_{12})Z_B - \frac{r_{12} + j\omega \cdot m_{12}}{Z_B}. \quad (4.4)$$

Исходной величиной при расчетах является k_{12} , которая при решении задачи принимается равной $k_{12} = 10$ пФ/сд.

Величина m_{12} определяется из соотношения между индуктивной и электрической связями в кабелях связи:

$$\frac{m_{12}}{k_{12}} = Z_B^2. \quad (4.5)$$

Активные составляющие g_{12} электрических и магнитных r_{12} связей определяются из усредненных соотношений активных и реактивных составляющих:

$$\frac{g_{12}}{\omega \cdot k_{12}} = 0,15, \quad \frac{r_{12}}{\omega \cdot m_{12}} = 0,3. \quad (4.6)$$

Контрольные вопросы

1. Как оценивается эффективность экранирования кабельных цепей?
2. Какое воздействие на цепи связи оказывают радиостанции?
3. Способы защиты кабелей от ударов молнии.
4. Назначение разрядников и запирающих катушек.
5. Источники электромагнитных влияний на направляющие системы электросвязи.
6. Какие влияния называют опасными и какие мешающими?
7. Влияние ЛЭП и ЭЖД на направляющие системы.
8. Нормы опасных и мешающих влияний.
9. Расчет электрических и магнитных влияний.

Методика расчета вторичных параметров влияния между цепями коаксиального кабеля

Переходное затухание на ближнем конце – A_0 и дальнем конце – A_l между коаксиальными цепями определяются по формулам:

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{4Z_B \cdot Z_3 \cdot \gamma}{Z_{12}^2 (1 - e^{-2\gamma l})} \right|, \text{ дБ}, \quad (4.7)$$

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{2Z_B \cdot Z_3}{Z_{12}^2 \cdot l} \right|, \text{ дБ}. \quad (4.8)$$

При расчетах строительную длину кабеля l принять равной 0,5 км, значения Z_B и $\gamma = \alpha + j\beta$ – из предыдущей задачи.

Значение сопротивления связи Z_{12} внешнего проводника коаксиальной цепи, экранированной двумя стальными лентами определяется по формуле:

$$Z_{12} = \left[\frac{\sqrt{j} \cdot k}{2\pi \cdot \sqrt{r_B \cdot r_c}} \cdot \frac{1}{\sigma \cdot sh \cdot \sqrt{j} \cdot kt} \right] \cdot \frac{L_z}{L_z + L_B}, \quad (4.9)$$

где σ – проводимость материала проводника;

t – толщина внешнего проводника;

r_B – внутренний радиус внешнего проводника;

$r_c = r_B + t$ – внешний радиус внешнего проводника.

Значения k в формуле (2.9) принимаются равными:

$k = 0,021 \sqrt{f}$ – для медного проводника,

$k = 0,0164 \sqrt{f}$ – для алюминиевого проводника,

где f – частота, Гц.

Входящие в формулу (2.9) L_z – продольная и L_B – внутренняя индуктивности третьей цепи рассчитываются так:

$$L_z = \frac{\mu_3 \cdot 4\pi \cdot r_c \cdot t_3}{h^2} \cdot 10^{-4}, \quad (4.10)$$

$$L_B = \left(2\mu_3 \ln \frac{r_c + t_3}{r_c} \right) \cdot 10^{-4}, \quad (4.11)$$

где μ_3 – относительная магнитная проницаемость экрана, для экрана из стальных лент $\mu_3 = 100$.

Значение сопротивления третьей цепи Z_3 в формулах (2.7) и (2.8) при наличии поверх экрана изолирующего покрытия:

$$Z_3 = \left(4\mu_3 \omega \ln \frac{r_c + t_3}{r_c} \right) \cdot 10^{-4}. \quad (4.12)$$

В заключение выполнения лабораторной работы, как указывалось в условиях задач, необходимо построить графики частотной зависимости рассчитанных параметров и письменно объяснить их характер.

Контрольные вопросы

1. Поясните физический смысл взаимного влияния между коаксиальными цепями.
2. Как изменяется A_0 и A_3 между коаксиальными цепями с изменением частоты?
3. Назовите первичные параметры взаимного влияния и поясните их физический смысл.
4. Назовите вторичные параметры взаимного влияния и поясните их физический смысл
5. Каков физический смысл косвенного влияния через третьи цепи?
6. Частотные зависимости сопротивления связи Z_{12} и полного сопротивления $Z_{пр}$ внешнего проводника коаксиального кабеля.
7. Частотная зависимость тока помех.
8. Уравнение для первичного параметра влияния между коаксиальными цепями.

Рекомендуемая литература

1. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Том 1. Теория передачи и влияния: Учебник для вузов / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов и др. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. –424 с.; . ISBN 978-5-9912-0092-9, 1000 экз. – Текст : электронный. – URL: <https://new.znaniium.com/catalog/product/256974>
2. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи их монтаж и измерение [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Портнов Э.Л. – М.: Горячая линия - Телеком, 2012. – 448с. <http://znaniium.com/catalog.php?bookinfo=333230>
3. Ю. А. Парфенов Кабели электросвязи. М.: Эко-Трендз, 2003.–256с.: ил.
4. Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для вузов.– М.: Горячая линия –Телеком 2009 г.– 268с.; ил.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5-6

«ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ ПО МНОГОМОДОВЫМ И ОДНОМОДОВЫМ ВОЛОКОННЫМ СВЕТОВОДАМ»

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

На экране осциллографа можно наблюдать форму оптического импульса на входе в оптическое волокно, а также форму оптического импульса на выходе из оптического волокна. Для переключения наблюдаемых импульсов используется клавиша «РАСЧЕТ». Входные и выходные импульсы располагаются в центральной части экрана осциллографа. Для удобства измерения длительностей входного и выходного импульсов с помощью вертикального курсора уровень половинной амплитуды (мощности) показан горизонтальным синим курсором. Для измерения половины длительности импульса вертикальный курсор совмещается с точкой пересечения горизонтального курсора и импульса. Вертикальный курсор перемещается с помощью движка на горизонтальной линейке под экраном осциллографа. Отсчеты по курсору располагаются слева от экрана осциллографа. Для измерения амплитуды импульсов вертикальный курсор совмещают с серединой импульса. Задержка выходного импульса по отношению к входному может быть определена как «НАЧАЛО ОТСЧЕТА» слева от экрана осциллографа. Слева же располагаются переключатели цен деления по горизонтальной и вертикальной осям осциллографа.

С правой стороны от экрана осциллографа располагается переключатель типов оптических волокон, который позволяет выбрать для исследования следующие типы волокон»:

- стандартное волокно (SF) со ступенчатым профилем показателя преломления,
- волокно со смещенной дисперсией (DSF),
- волокно с ненулевой положительной дисперсией (+NZ DSF),
- волокно с ненулевой отрицательной дисперсией (-NZ DSF),
- стандартное волокно (SF) без водяного пика затухания.

Под переключателем типа оптических волокон располагается регулятор, позволяющий изменять длину исследуемого волокна.

Остальные регуляторы и переключатели относятся к источнику излучения. В лабораторной установке можно плавно изменять длину волны источника в пределах 1250-1675 нм, длительность импульса от 1 пс до 10 нс, переключать ширину спектра излучения от 0.01 ГГц до 100 ГГц. Реальные источники излучения могут иметь паразитную частотную модуляцию, которую также можно задавать с помощью переключателя.

Порядок выполнения работы

Получить у преподавателя номер варианта задания на выполнение лабораторной работы.

Типы двух исследуемых волокон, их длины L , а также длительности входных импульсов t_1 приведены в таблице 1. Ширину спектра излучения источника в частотной области принять равной $\Delta f = 10$ ГГц. Для расчета ширины спектра излучения в единицах длины можно воспользоваться выражением

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{c} \cdot \Delta f$$

Таблица 1

Вар. .	Тип OB1	Длина, OB1, км	Длит. 1 имп. пс	Длит. 2 имп. пс	Тип OB2	Длина, OB2, км	Длит. 1 имп.	Длит. 2 имп.
1	SFобычное	25	10	2000	DSF	75	25	1000
2	SFобычное	50	15	4000	SF без OH	100	20	1500
3	SFобычное	75	20	6000	+NZDSF	25	15	2000
4	SFобычное	100	25	8000	-NZDSF	50	10	2500
5	SF без OH	30	25	1000	DSF	90	10	2000
6	SF без OH	60	20	1500	+NZDSF	120	15	4000
7	SF без OH	90	15	2000	-NZDSF	30	20	6000
8	SF без OH	120	10	2500	SFобыч- ное	60	25	8000

Провести измерения амплитуды P_1 и ширины t_1 входного (один раз) и выходных импульсов P_2 и t_2 при различных длинах волн λ источника излучения (от 1250 до 1675 нм не менее 20 точек) и поместить результаты в таблицу 2 при первой и второй длительности входного импульса. Для каждого волокна должна быть две таблицы с результатами, полученными для двух длительностей входных импульсов. Провести расчеты затухания a , коэффициента затухания α , уширения оптического импульса Δt и хроматической дисперсии D_x .

$$a = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}$$

$$\alpha = \frac{a}{L}$$

$$\Delta t = \sqrt{t_2^2 - t_1^2}$$

$$D_x = \frac{\Delta t}{L \cdot \Delta \lambda}$$

Построить графики зависимости коэффициента затухания α и хроматической дисперсии D_x от длины волны λ для двух длительностей входных импульсов и для двух оптических волокон. Дать объяснения полученным результатам, сравнить измерения при двух длительностях импульсов и для двух различных волокон.

Таблица 2

Тип волокна	Длина волокна, км				Длительность входного импульса, пс			
Длина волны, нм								
Мощность, мВт								
Длительность импульса, пс								
Затухание, дБ								
Уширение импульса, пс								
Коэффициент затухания, дБ/км								
Хроматическая								

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ОПТИЧЕСКИЙ РЕФЛЕКТОМЕТР

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДА

ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ В ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ С ПОМОЩЬЮ

ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

СОСТАВ УСТАНОВКИ

Моделируемая лабораторная установка (рис.7.1) состоит из универсального оптического рефлектометра (ОР), сварочного аппарата (СА) и двух однородных отрезков волоконных световодов (ВС1 и ВС2). Предусмотрены возможности подключения ОР к волоконному тракту (ВТ) с любой стороны (ВС1+ВС2) или (ВС2+ВС1) и отключения ОР от ВТ.

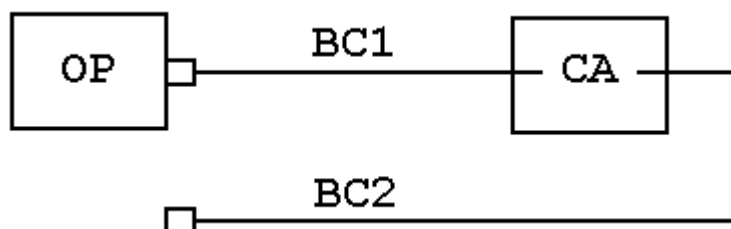


Рис.7.1. Структурная схема лабораторной установки

ОПТИЧЕСКИЙ РЕФЛЕКТОМЕТР

Оптический рефлектометр (ОР) состоит из четырех сменных оптоэлектронных блоков и электронного блока обработки сигналов обратного рассеяния. В комплект ОР входят следующие оптоэлектронные блоки:

- для многомодовых ВС (МВС) с длиной волны $\lambda=0.85$ мкм;
- для МВС с $\lambda=1.3$ мкм;
- для одномодовых ВС (ОВС) с $\lambda=1.3$ мкм;
- для ОВС с $\lambda=1.55$ мкм.

Структурная схема (рис.1.2) оптоэлектронного блока, подключенного к ВТ с помощью направленного ответвителя (НО), содержит:

- стабилизированный по мощности источник коротких оптических импульсов (ИИ);
- фотоприемное устройство (ФПУ).

Источник излучения (ИИ) включает: лазерный диод (ЛД) с встроенным фотодиодом (ФД) и систему стабилизации выходной оптической мощности, состоящую из усилителя тока накачки (УТН), источника опорного тока (ИОТ) и усилителя тока ошибки (УТО).

ФПУ включает: лавинный фотодиод (ЛФД) со стабилизированным источником питания (ИП), усилитель фототока (УФТ) и усилитель напряжения (УН).

Периодическая последовательность коротких импульсов напряжения поступает из блока обработки на один вход УТН, который преобразует входное напряжение в ток накачки ЛД. Для стабилизации выходной оптической мощности используется датчик - встроенный ФД, фототок которого поступает на один вход УТО, который преобразует разность фототока

и опорного тока от ИОТ в напряжение стабилизирующей отрицательной обратной связи, поступающее на второй вход УТН.

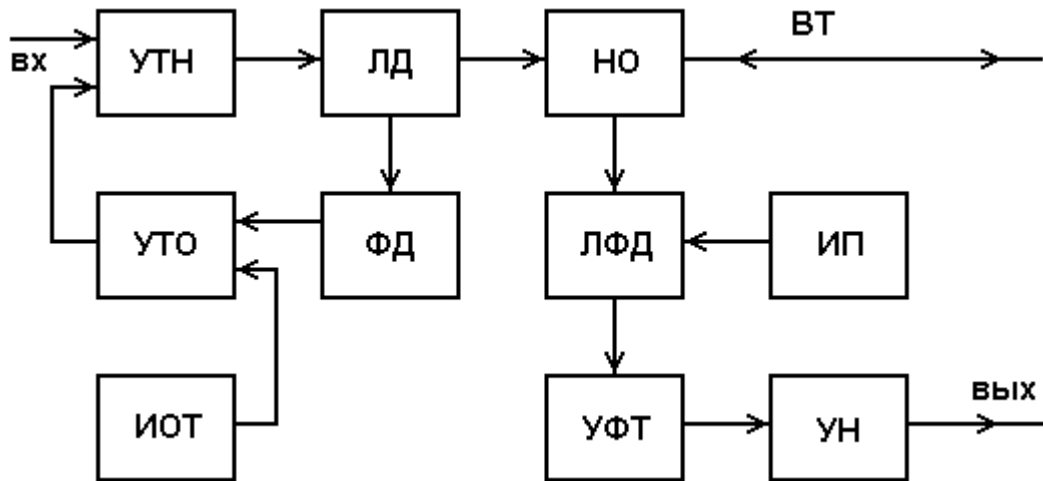


Рис.7.2. Структурная схема оптоэлектронного блока

Оптические импульсы через НО поступают в исследуемый ВТ. Обратно рассеянное излучение и отраженные от неоднородностей ВТ оптические импульсы через НО поступают на вход ЛФД, где преобразуются в фототок. Последний в УФТ преобразуется в напряжение и усиливается в УН. Коэффициент УН можно изменять при настройке ОР.

Структурная схема электронного блока ОР (рис.7.3) включает генератор импульсов (ГИ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микропроцессорное устройство управления (МПУУ) и устройство отображения (УО).

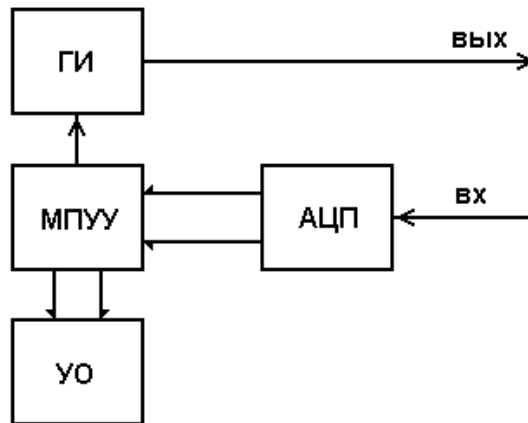


Рис.7.3. Структурная схема электронного блока обработки ОР

УО выполняется на основе электронно-лучевой трубки или жидко-кристаллической панели. МПУУ управляет работой АЦП и позволяет осуществлять накопление и запоминание сигналов обратного рассеяния от различных точек ВТ.

ПРИНЦИП НАКОПЛЕНИЯ СИГНАЛА ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Для накопленного сигнала $U_N(l)$, обусловленного участком ВТ, расположенном на расстоянии l от начала ВТ, можно записать

$$U_N(l) = \frac{I}{N} \sum_{i=1}^N (U_s(l) + U_{ni}), \quad (7.1)$$

где N - число накоплений сигнала в данной точке;

$U_s(l)$ - полезный сигнал в данной точке рефлектограммы;
 U_{ni} - отсчет шума при i накоплении.

Т.к. шум на выходе ФПУ является случайной величиной со среднеквадратическим отклонением (СКО) σ , то отношение сигнала к шуму на выходе ФПУ составляет

$$S/N_f = \frac{U_s(l)}{\sigma}. \quad (7.2)$$

После N накоплений отношение сигнала к шуму возрастает пропорционально \sqrt{N}

$$S/N_N = \frac{U_N(l)}{\sigma_N} = [S/N_f] \sqrt{N}. \quad (7.3)$$

Число накоплений в ОР можно управлять.

Динамический диапазон ОР, который представляет собой выраженное в логарифмических единицах отношение сигнала обратного рэлеевского рассеяния при $l=0$ к шуму

$$D_N = 5 \cdot \lg \frac{U_N(0)}{\sigma_N} = 5 \cdot \lg \frac{U_s(0)}{\sigma_n} + 2.5 \cdot \lg(N) \quad (7.4)$$

за счет накопления возрастает на $2.5 \lg(N)$ дБ.

Динамический диапазон ОР зависит также от длительности зондирующего импульса t_i . Если известен динамический диапазон D_0 при длительности импульса t_{i0} , оценить в первом приближении динамический диапазон D при другой длительности импульса t_i можно по выражению

$$D = D_0 + 5 \cdot \lg \frac{t_i}{t_{i0}}. \quad (7.5)$$

Типичная рефлектограмма сигнала обратного рассеяния для ВТ приведена на рис. 7.4.

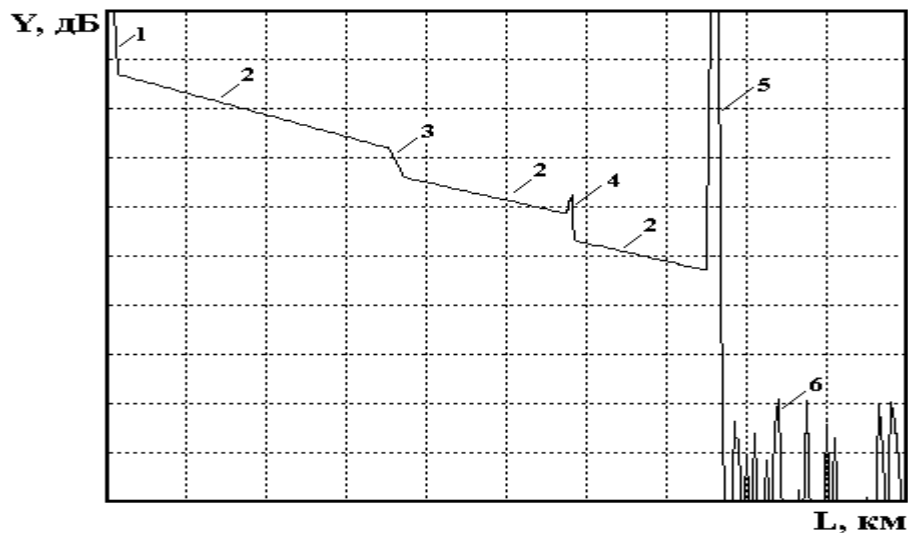


Рис.7.4. Сигнал обратного рассеяния

На ней можно выделить однородные участки (2) ВТ (без неоднородностей) с постоянным коэффициентом затухания α , на которых СОР после логарифмирования выглядит, как прямая линия, наклон которой определяет коэффициент затухания.

Наряду с линейным изменением уровня СОР на рефлектограмме имеются особенности, обусловленные различными неоднородностями. Начальный выброс сигнала (1) вызван френелевским отражением от входного торца исследуемого ВС. Как правило, он вводит ФПУ в насыщение, а время выхода из него определяет важный параметр ОР - мертвую зону, т.е. расстояние Δl_m , на котором невозможно обнаружить неоднородности и измерить коэффициент затухания.

Выброс сигнала с перепадом затухания (4) возникает при наличии в тракте разъемного соединителя, а также при наличии в волокне маленьких включений инородных примесей или пузырьков воздуха. Такие отражения характеризуются возвратными потерями, которые могут быть рассчитаны по выражению:

$$a_B = -10 \cdot \lg R, \quad (7.6)$$

где R - коэффициент отражения.

Коэффициент отражения для границы раздела кварц/воздух достигает значительной величины 4% при угле падения 0° . Однако, если поверхность скошенная, неровная или загрязненная, коэффициент отражения может иметь значительно меньшую величину, и отражение от обрыва или заднего торца ВТ не всегда можно обнаружить.

Неразъемные соединения (сварные, клеевые и механические сrostки волокон), в которых обычно отсутствуют отражения, отображаются на рефлектограмме ступенькой (3). Конец ВТ или его обрыв определяется по отраженному от заднего торца импульсу (5) и следующему за ним участку (6) с резкими случайными перепадами уровня регистрируемого сигнала, обусловленных шумами ФПУ.

УПРАВЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ

ОСНОВНОЕ МЕНЮ

Основное меню содержит следующие пункты (режимы работы): «Помощь», «Вариант», «Параметры», «Рефлектограмма», «Сварка», «Подключение», «Настройка» и «Выход». После запуска программы, выбрав пункт горизонтального меню «Вариант» курсорными клавишами устанавливается указанный преподавателем вариант задания. На экран выведены параметры ОР, заданные по умолчанию. Изменение пунктов основного меню осуществляется горизонтальными курсорными клавишами. Обращение к выбранному пункту осуществляется клавишей «Enter».

ЗАПУСК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Режим «Рефлектограмма» позволяет запустить ОР на регистрацию рефлектограммы. Основной целью выбора и задания параметров ОР является получение наглядной рефлектограммы, по возможности свободной от шумов, и по которой можно определять параметры исследуемого волоконного тракта и самого ОР.

ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОР

Режим **"ПАРАМЕТРЫ"** позволяет выйти в подменю, каждый пункт которого предназначен для установки определенного параметра ОР. Для перемещения по подменю используются вертикальные курсорные клавиши. Выбор устанавливаемого параметра подтверждается клавишей **«Enter»**. Для установки конкретного значения выбранного параметра также используется подменю, управляемое курсорами. Выбранное значение параметра подтверждается клавишей «Enter». После установки значений всех параметров для выхода в главное меню нажмите клавишу «Enter» при выборе пункта подменю **"Выход"**.

При установке **"Коэффициента усиления"** изменяется коэффициент передачи УН в ФПУ в пределах от 0.3 до 10000. При этом изменяется расположение рефлектограммы на экране в логарифмическом масштабе, но не меняется отношение сигнала к шуму.

При установке **"Длительности импульса"** вместе с изменением длительности импульса в пределах от 20 до 5000 нс изменяется также уровень сигнала обратного рассеяния. Причем с увеличением длительности уровень сигнала обратного рассеяния растет, а уровень френелевских сигналов и уровень шума практически не изменяются. При изменении длительности изменяется расположение рефлектограммы на экране в логарифмическом масштабе и отношение сигнала к шуму.

При установке **"Длины участка"** горизонтальная шкала ОР имеет протяженность 1, 5, 25 и 125 км.

При установке **"Длины волны"** изменяется тип оптико-электронного блока. При этом для длины волны $\lambda = 1.3$ мкм необходимо выбрать также и тип оптического разъема 50/125 мкм или 9/125 мкм в пункте меню **"Оптический разъем"**. Для других длин волн оптический разъем и длина волны связаны однозначно. Поэтому достаточно задать только длину волны.

При установке **"Режима работы"** можно выбирать между линейным масштабом по оси Y и логарифмическим. Второй режим работы удобнее при измерениях затухания и потерь. Шкала градуируется непосредственно в дБ. В линейном режиме по вертикальной оси откладывается величина напряжения сигнала в Вольтах на выходе ФПУ. После выбора режима работы в этом же пункте выбирается цена деления вертикальной шкалы дБ/дел в логарифмическом масштабе (в пределах от 0.25 до 2.5 дБ/дел) и в В/дел в линейном масштабе (в пределах от 1 мВ/дел до 1.0 В/дел).

При установке **"РЕЖИМА НАКОПЛЕНИЙ"** можно выбирать между **последовательным** и **параллельным** накоплением сигнала обратного рассеяния. В первом случае в каждом измерительном периоде измеряется сигнал только в одной точке рефлектограммы. В каждой точке проводится N измерений (N может изменяться от 10 до 1000). После чего начинается регистрация другой точки.

Общее время регистрации T_r прямо пропорционально числу регистрируемых точек M и числу накоплений в каждой точке N

$$T_r = N \cdot M \cdot T_0 = \frac{N \cdot M}{F_0},$$

где $T_0 = 1/F_0$ - период следования зондирующих импульсов.

- Во втором случае в каждом измерительном периоде измеряется сигнал ото всех точек рефлектограммы. Число накоплений N может изменяться от 2000 до 2000000. Общее время регистрации не зависит от числа регистрируемых точек M и составляет

$$T_r = N \cdot T_0 = \frac{N}{F_0}.$$

Отметим, что параллельное накопление организовать технически сложнее чем последовательное. Кроме того, его реализация требует применения большего количества быстродействующих микросхем, что приводит также к увеличению энергопотребления. При работе на установке помните, что с увеличением числа накоплений N резко возрастает время измерения, особенно при последовательном накоплении.

УПРАВЛЕНИЕ СВАРОЧНЫМ АППАРАТОМ

Режим **"СВАРКА"** позволяет войти в подменю, состоящее из двух пунктов: **"Сварка"** и **"Скол"**. При выборе пункта **"Сварка"** происходит сварка двух ВС, в последовательности указанной в режиме основного меню **"ПОДКЛЮЧЕНИЕ"**. При выборе пункта **"Скол"** сварка, если она была перед этим сделана, разрушается и на рефлектограмме можно видеть только один ВС.

УПРАВЛЕНИЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕМ

Режим **"ПОДКЛЮЧЕНИЕ"** позволяет выйти в подменю, состоящее из трех пунктов: **"ВС1+ВС2"**, **"ВС2+ВС1"** и **"Нет подключения"**. Выбирая первый или второй, можно подключить ОР с любой стороны ВТ. При установке третьего пункта можно наблюдать отражение от границы раздела ВС/воздух.

Режим **«НАСТРОЙКА»** предназначен для выбора вывода на экран монохромного или цветного изображения, для включения и выключения звуковых эффектов, для подстройки программы под быстродействие компьютера. Для подстройки с помощью курсорных клавиш изменяется задержка.

ПОЛЬЗОВАНИЕ КУРСОРАМИ

Для измерения уровней сигналов обратного рассеяния и расстояний до соответствующих точек используются два вертикальных курсора, которые перемещаются с помощью курсорных клавиш клавиатуры: левый курсор – клавишами → и ←, правый – клавишами ↑ и ↓.

Отсчеты расстояний в км и сигналов обратного рассеяния в дБ находятся под экраном с рефлектограммой. Там же приводится расстояние между курсорами и разность сигналов обратного рассеяния.

Предусмотрена возможность подробного изучения фрагмента рефлектограммы, находящегося между курсорами, с помощью нажатия большой клавиши пробела. Этот режим работы называют «электронной лупой» или «окном». Режим используется для повышения точности измерения расстояний и вносимого неоднородностями затухания.

Операция выделения фрагмента может выполняться и для уже выбранного фрагмента. Возврат к исходной рефлектограмме «обзор» осуществляется через пункт меню «Параметры».

ПОМОЩЬ

В режиме «ПОМОЩЬ» содержатся некоторые сведения по управлению лабораторной установкой.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ВС И ПОТЕРЬ НА ВВОДЕ

В настоящее время в оптических кабелях дальней связи используют волоконные световоды (ВС) с кварцевыми сердцевинами и оболочкой двух основных типов: одномодовые ВС (ОВС) и многомодовые ВС (МВС) с градиентным профилем показателя преломления. Они имеют одинаковый диаметр оболочки $2b = 125 \text{ мкм}$, но разный диаметр сердцевины $2a = 50 \text{ мкм}$ для МВС и $2a = 8-10 \text{ мкм}$ для ОМВ. Конструкции оптических разъемов для различных ВС практически одинаковы, что приводит к возможности неправильного подключения ВС к оптическому рефлектометру (ОР). Например, подключение ОВС к многомодовому выходу ОР или подключение МВС к одномодовому выходу ОР приводит к большим потерям на вводе или выводе излучения, уменьшению полезного сигнала и ухудшению отношения сигнала к шуму. Причем большие потери возникают только при переходе излучения из МВС в ОВС. Потери в первом приближении определяются отношением площадей сердцевины соединяемых ВС (или квадратов радиусов) и отношением числовых апертур. Дополнительные потери на вводе/выводе излучения при неправильном соединении ВС можно оценить по выражению

$$a_d = 10 \cdot \lg \left[\frac{r_m \cdot NA_m}{r_o \cdot NA_o} \right], \text{ дБ}$$

где r_m, r_o - радиусы МВС и ОВС, соответственно;

NA_m, NA_o - числовые апертуры МВС и ОВС, соответственно.

Для экспериментального определения типа ВС и величины дополнительных потерь за счет неправильного выбора оптического блока необходимо провести измерения уровней сигнала Y_s на определенном расстоянии и шума Y_n за пределами ВС на длине волны $\lambda = 1.3 \text{ мкм}$ при двух типах оптических разъемов ОР (многомодовом 50/125 мкм и одномодовом 9/125 мкм).

Предварительно установите следующие режимы работы лабораторной установки:

- подключение - (BC1+BC2);
- сварка - (скол)

и следующие параметры ОР:

- коэффициент усиления - (100);
- длительность импульса - (500 нс);
- длину волны - (1.3 мкм);
- режим просмотра - (обзор);
- максимальное расстояние - (25 км);
- режим работы - (логарифмический);
- цена деления по вертикали - (2.5 дБ/дел);
- оптический разъем - (многомодовый 50/125 мкм);
- режим накопления - (параллельный);
- число накоплений - (2000).

Тип подключенного к ОР световода соответствует тому оптическому разъему, при котором уровень сигнала при одном и том же расстоянии больше. **Измерения должны проводиться с помощью курсора в таких точках, в которых насыщение ФПУ отсутствует.**

Для измерения уровня шума курсором выбирается максимальный шумовой всплеск на рефлектограмме за пределами ВС. Тогда потери на вводе/выводе при несоответствии ВС и оптического блока ОР составят

$$a_d = |Y_{sm} - Y_{so} + Y_{nm} - Y_{no}|,$$

где индексы "m" и "o" означают МВС и ОВС, соответственно,
индексы "s" и "n" означают сигнал и шум, соответственно.

Зарисуйте рефлектограммы ВС конечной длины в логарифмическом и линейном масштабах. Обратите внимание на различие их форм, а также на различный характер шума. Укажите в отчете тип используемого ВС и рассчитанное по экспериментальным данным значение потерь на вводе.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВС1 И ВС2

После определения типа ВС установите в режиме «Параметры» длину волны $\lambda = 1.3$ мкм и соответствующий световоду тип оптического разъема.

Подключите выбранный ВС и проверьте, что в режиме «Сварка» включен "скол".

Изменяя длительность импульса, длину участка, добейтесь получения рефлектограммы, на которой видны: импульс отраженный от переднего торца ВС, участок однородного ВС, импульс отраженный от заднего торца ВС и шумы за пределами ВС.

При изменении параметров ОР учитывайте следующее:

- при изменении коэффициента усиления ФПУ отношение сигнала к шуму не изменяется;
- при увеличении длительности импульса возрастает сигнал обратного рассеяния, отношение сигнала к шуму, а отраженный импульс и шумовое напряжение практически не изменяется;
- при увеличении числа накоплений уменьшается шумовое напряжение, возрастает отношение сигнала к шуму, а сигнал обратного рассеяния не изменяется.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВС

Для определения длины ВС используйте любой из двух курсоров. Длина ВС соответствует началу импульса, отраженного от заднего торца ВС.

Подводите курсор слева к импульсу отраженному от заднего торца ВС. За начало импульса принимается последняя точка, после которой начинается увеличение сигнала.

Для увеличения точности необходимо перейти в режим (окно). Выделите с помощью первого и второго курсоров участок ВС, который содержит отраженный от конца ВС импульс. Точность определения расстояний возрастает с уменьшением длительности импульса.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ

Для определения коэффициента затухания на однородном участке ВС необходимо с помощью курсоров выбрать две точки, отстоящие друг от друга на известное расстояние $\Delta L = L_2 - L_1$, например 1 км и определить в них уровни сигналов Y_{s1} и Y_{s2} . Тогда коэффициент затухания

$$\alpha = \frac{Y_{s1} - Y_{s2}}{\Delta L}, \text{ дБ/км}$$

Общее затухание на однородном участке можно определить по выражению

$$a = \alpha \cdot L, \text{ дБ},$$

а также как разность уровней сигнала между двумя курсорами, совмещенными с интересующими нас точками. Для повышения точности измерений Y_s необходимо уменьшить цену деления по оси Y .

ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Проведите измерения длины ВС1 и ВС2 (при одной длине волны $\lambda = 1.3 \text{ мкм}$). Измерения коэффициента затухания проводятся на двух длинах волн, которые используются с данным типом ВС, например для МВС на $\lambda = 0.85$ и 1.3 мкм , а для ОВС на $\lambda = 1.3$ и 1.55 мкм . Результаты измерений и расчетов внесите в таблицу 1.

ТАБЛИЦА 1

$\lambda, \text{мкм}$	ВС	$L, \text{км}$	$Y_{s1}, \text{дБ}$	$Y_{s2}, \text{дБ}$	$\Delta L, \text{км}$	$\alpha, \text{дБ/км}$	$a, \text{дБ}$
1.3	ВС1						
	ВС2						
	ВС1	-					
	ВС2	-					

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ МЕРТВОЙ ЗОНЫ

"Мертвая зона" образуется из-за насыщения ФПУ. В этой зоне невозможно проведение измерений, в частности невозможно обнаружить даже отражение от обрыва ВС.

Для измерения ширины "мертвой зоны" $L_{мз}$ необходимо выбрать начальный участок рефлектограммы с первым курсором, установленным на расстояние $L_0 = 0$.

Ширину "мертвой зоны" определяют с помощью второго курсора, наблюдая за уровнем сигнала. Конец зоны соответствует началу рассеянного сигнала. Измерения можно провести для одного ВС, который надо указать в отчете. Результаты измерений ширины "мертвой зоны" в зависимости от длительности импульса и длины волны поместите в таблицу 2.

ТАБЛИЦА 2

$\lambda, \text{мкм}$	$L_{мз}, \text{км при } T_{i,нс}$				
1.3	20	50	100	500	2000

(!) При измерениях необходимо следить за тем, чтобы ФПУ не входило в насыщение от рассеянного сигнала. При этом должно быть четко видно отражение от переднего торца.

ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

Динамический диапазон определяет максимальное затухание волоконного тракта (ВТ), при котором отношение сигнала рассеянного от конца ВТ к шуму равно 1.

Для экспериментального определения динамического диапазона ОР необходимо измерить уровень сигнала обратного рассеяния от начала ВТ Y_s (сразу после импульса, отраженного от переднего торца ВТ) и уровень шума Y_n , определяемый по уровню максимального пика.

Динамический диапазон определяется по выражению

$$D = Y_s - Y_n, \text{ дБ}$$

Динамический диапазон определяется на длинах волн 0.85 и 1.3 мкм для многомодовых ВС и 1.3 и 1.55 для одномодовых ВС.

Результаты измерений динамического диапазона от длины волны λ , длительности импульса T_i и числа накоплений N внесите в таблицу .3.

Таблица 3

$\lambda, \text{мкм}$	N	2000			20000		
	$T_i, \text{нс}$	20	200	2000	20	200	2000
1.3	$D, \text{дБ}$						

ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ В СВАРКЕ

Измерения проводятся на длине волны $\lambda=1.3 \text{ мкм}$. Установите последовательность подключения ВС (BC1 + BC2). Сварите волокна, включив режим "сварка". Убедитесь по рефлектограмме, что BC1 и BC2 сварены.

Для повышения точности измерений используйте режим электронной лупы (окно) и уменьшите цену деления по оси Y .

Для расположения участка рефлектограммы со сваркой посередине экрана ОР нужно изменять коэффициент усиления ФПУ и длительность зондирующего импульса.

Вносимые сваркой потери можно определить методом трех курсоров. В современных ОР для этих измерений все курсоры устанавливаются на рефлектограмме одновременно и расчет потерь проводится по заложенной в программное обеспечение ОР формуле. На рис.3.1 показана типичная рефлектограмма отражающей неоднородности, например разъёмного соединения.

Первый курсор устанавливают в точке, соответствующей концу BC1. Ему соответствуют расстояние l_1 и сигнал обратного рассеяния Y_1 . Курсоры 2 и 3 устанавливаются на однородном участке BC2. При этом фиксируют соответствующие уровни сигналов Y_2, Y_3 и расстояния l_2, l_3 .

За потери в соединении принимается разность уровней $Y_A = Y_1$ и Y_B . Точка А находится в точке начала стыка на расстоянии l_1 , а точка В находится на пересечении курсора 1 с прямой, аппроксимирующей сигнал обратного рассеяния на участке ВТ после соединения.

Аппроксимация производится по двум точкам, определяемым курсорами 2 и 3. Курсор 2 следует располагать непосредственно после стыка, в точке, которая лежит на линейном участке сигнала обратного рассеяния. Курсор 3 должен лежать, как можно дальше от стыка, но на линейном участке сигнала обратного рассеяния. Тогда для вносимых потерь в разъёмных и неразъёмных соединениях будет справедливо:

$$a_c = Y_1 - Y_2 \cdot \frac{l_3 - l_1}{l_3 - l_2} + Y_3 \cdot \frac{l_2 - l_1}{l_3 - l_2}.$$

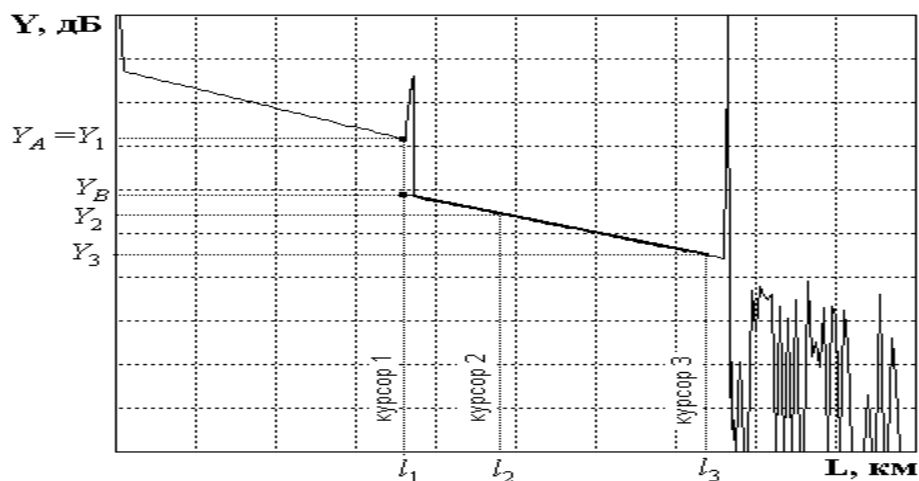
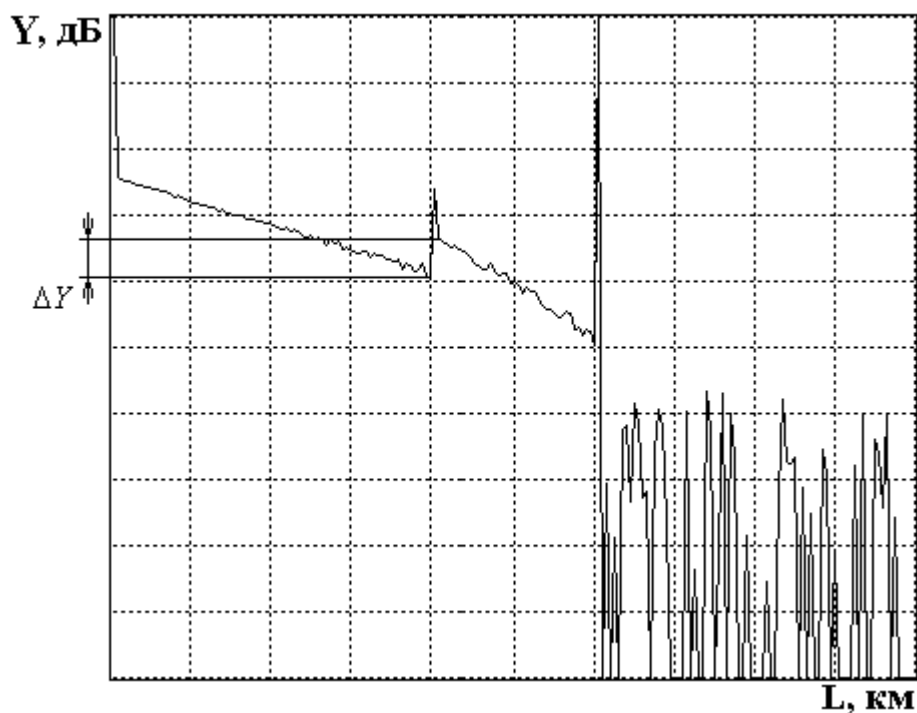


Рис. 3.1. Измерение вносимых потерь в соединении методом трех курсоров

Результат расчета потерь может в некоторых случаях иметь отрицательный знак. Отрицательные потери в сварке физически не возможны. Такой результат свидетельствует о том, что свариваемые ВС имеют разные значения коэффициентов рассеяния и (или) разные числовые апертуры. Причем уровень обратного рассеяния во втором ВС в этом случае, как правило, превышает соответствующий уровень в первом. Обычно при этом наблюдаются и значительные расхождения в коэффициентах затухания этих ВС. В связи с этим при измерении потерь в соединениях ВС с различными параметрами методом обратного рассеяния возникает методическая погрешность.

Для исключения этой погрешности необходимо проводить измерения с двух концов ВТ, т.е. провести два измерения потерь в стыке при подключениях (BC1+BC2) и (BC2+BC1).

На рис.3.2 показаны рефлектограммы, иллюстрирующие такую измерительную ситуацию.



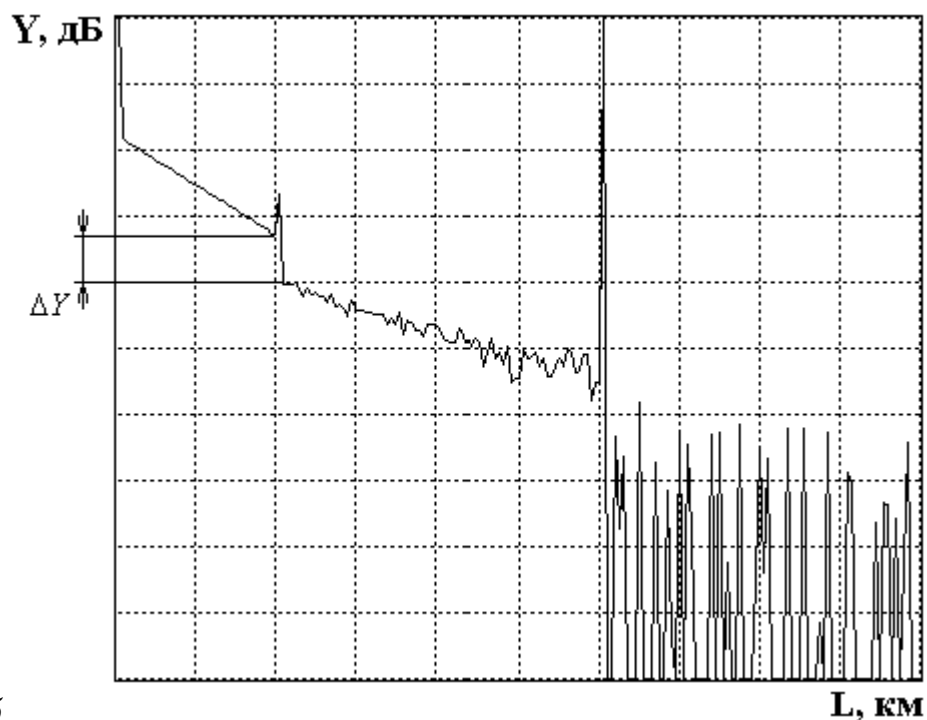


Рис.3.2. Рефлектограммы, зарегистрированные с обоих концов ВТ

Потери в стыке определяются по выражению

$$a_s = \frac{a_{s1} + a_{s2}}{2},$$

где a_{s1} , a_{s2} - потери в стыке, измеренные с разных концов ВТ.

Для определения средних потерь \bar{a}_s при сварке ВС и их среднеквадратического отклонения (СКО) проведите многократные измерения (не менее 5) потерь в сварке. Для этого после измерения потерь в очередной сварке произведите скол ВС и повторную сварку. При возникновении аномальной сварки с большим френелевским отражением проводится повторная сварка, а аномальная сварка игнорируется. Средние потери \bar{a}_s и СКО $s(a_s)$ определяем по следующим выражениям:

$$\bar{a}_s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{sj}, \quad s(a_s) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (a_{sj} - \bar{a}_s)^2},$$

где j - номер сварки.

Результаты измерений и расчетов поместите в таблицу 4.

ТАБЛИЦА 4

№	Подк л	Экспериментальные данные						Рассчитан. величины			
		$L1$	$L2$	$L3$	Y_{s1}	Y_{s2}	Y_{s3}	a_{s1}	a_{s2}	a_s	$s(a_s)$
1	BC1										
	BC2										
2	BC1										
	BC2										
5	BC1										
	BC2										

ИЗМЕРЕНИЕ ВОЗВРАТНЫХ ПОТЕРЬ В НЕОДНОРОДНОСТИ

При сварке ВС существует некоторая вероятность возникновения дефектных сварок, которые представляют собой отражающие неоднородности, которые характеризуются возвратными потерями (1.6). В данной лабораторной установке примерно через пять успешных сварок появляется одна дефектная с отражением от места стыка ВС. Ее необходимо найти, несколько раз повторив процедуры сварки и скола ВС.

Для определения возвратных потерь с помощью ОР необходимо получить рефлектограмму (рис. 3.3), на которой виден выброс сигнала, обусловленный френелевским отражением Y_F в разъемном соединении. Этот выброс не должен вызывать перегрузку ФПУ, т.е. уровень Y_F должен лежать в пределах экрана ОР. Если этот уровень выходит за пределы экрана необходимо уменьшить коэффициент усиления ФПУ. Затем по рефлектограмме измеряют уровни сигнала обратного рассеяния Y_S и Y_F .



Рис. 3.3. Методика измерения возвратных потерь

Для расчета возвратных потерь по рефлектограмме используют выражение:

$$a_B = -2 \cdot Y_{s0} - 10 \cdot \lg \frac{t_i}{t_{i0}} - 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{Y_F - Y_S}{5}} - 1 \right),$$

где Y_{s0} — относительный уровень СОР при длительности зондирующего импульса t_{i0} ;

t_i — длительность зондирующего импульса, при которой была зарегистрирована рефлектограмма.

Для $t_{i0}=1$ нс типичные значения затухания обратного рассеяния Y_{s0} для стандартных ВС приведены в табл. 5.

Таблица 5

Тип ВС	Длина волны, мкм	Y_{s0} , дБ
МВС	0.85	−35
	1.3	−37.5
ОВС	1.31	−39.5
	1.55	−40.5

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Упрощенную структурную схему оптического рефлектометра.
2. Результаты наблюдений и измерений по пунктам:
 - 2.1. Результаты измерений, расчета, **вывод о типе ВС и 2 рефлектограммы**;
 - 2.2. Результаты измерений и расчетов длины, коэффициента затухания и общего затухания двух ВС на двух длинах волн (**таблица 3.1**) ;
 - 2.3. Результаты измерений ширины мертвой зоны (**таблица 3.2**) ;
 - 2.4. Результаты измерения динамического диапазона ОР (**таблица 3.3**) ;
 - 2.5. Результаты многократных измерений потерь в сварке и результаты статистической обработки результатов наблюдений (**таблица 3.4**) .
 - 2.6. Результат измерения возвратных потерь.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОПТИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА

Цель работы:

1. Овладение навыками работы с оптическими измерительными приборами.
2. Овладение методикой измерения параметров оптических пассивных компонентов.
3. Измерение параметров оптических пассивных элементов.

Лабораторное оборудование.

1. Лабораторный стенд с оптическими пассивными компонентами.
2. Оптические измерительные приборы.

Лабораторное оборудование позволяет выполнить следующие работы:

1. Градуировка электронного блока «Источник оптического сигнала»
2. Измерение параметров разъёмных соединений оптических волокон.
3. Измерение параметров неразъёмных соединений оптических волокон.
4. Измерение параметров оптических аттенюаторов.
5. Измерение параметров оптического разветвителя.

Содержание отчётов по работам.

1. Название лабораторной работы
2. Цель работы
3. Состав оборудования
4. Схемы измерений
5. Таблицы с измеренными и рассчитанными величинами
6. Анализ результатов измерений

.Краткие теоретические положения

В процессе строительства и эксплуатации волоконно-оптических сетей связи используется широкий спектр оптических пассивных компонентов (различные типы оптических соединителей, разветвителей, аттенюаторов и др.). По мере роста сложности и увеличения протяженности сетей роль оптических пассивных компонентов возрастает. В связи с этим возрастают требования к квалификации специалистов в области телекоммуникаций при решении задач

проектирования и эксплуатации оптических сетей. В результате выполнения настоящей лабораторной работы студенты ознакомятся с конструкцией некоторых типов оптических пассивных компонентов, методикой измерения их основных параметров.

Разъемные соединители оптических волокон.

Оптические разъемные соединители (коннекторы) предназначены для многократного соединения/рассоединения концов двух оптических волокон (ОВ). Обычно они имеют конфигурации «вилка-розетка». Принцип организации такого соединения заключается в следующем (рис. 8.1):

- торцы стыкуемых ОВ очищаются до оболочки (диаметр 125 мкм для всех ОВ);
- очищенная часть 1 волокна помещается в наконечник 2 (диаметр 2,5 мм), фиксируясь с помощью эпоксидного компаунда. Наконечник может выполняться из металла или керамики;
- поверхность наконечника специальным образом обрабатывается и полируется;
- соединение торцов волокон осуществляется путём размещения наконечников двух стыкуемых волокон в центрирующей втулке 3 розетки;
- в соединённом состоянии торцы стыкуемых наконечников прижимаются друг к другу с определенным усилием с помощью соединительного механизма 4. Возникающая эластичная деформация обеспечивает физический контакт волокон.

Качество разъемного соединения характеризуется вносимыми и возвратными потерями.

Причинами вносимых потерь являются погрешности в геометрии ОВ (неконцентричность, эллиптичность, различие диаметров сердцевин) и в юстировке, воздушный зазор между торцами, загрязнение торцевых поверхностей и др.

Величина вносимых потерь равна:

$$A = -10 \lg P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}, \text{ дБ} \quad (8.1)$$

где $P_{\text{вых}}$ и $P_{\text{вх}}$ — мощность оптического излучения на выходе и входе оптического соединителя.

Основной причиной возвратных потерь является френелевское отражение излучения на границах диэлектрик-воздух и воздух-диэлектрик. Величина возвратных потерь равно:

$$R_B = -10 \lg P_{OT}/P_{BX}, \text{ дБ} \quad (1.2)$$

где P_{OT} - мощность отраженного излучения.

Плоские торцы соединяемых наконечников не обеспечивают требуемых показателей качества соединения. Поэтому на практике применяется сферическое закругление торцов, обозначаемое РС (physical contact). Различают два типа закругления.

У первого типа сферическое закругление радиусом (0...25мм перпендикулярно оси волокна (рис.8.2.а)). В зависимости от вида полировки, каждому из которых соответствует определенный уровень обратного отражения, применяются обозначения:

- РС- нормальная полировка(коэффициент обратного отражения до -30дБ);
- SPC-суперполировка (до -40дБ);
- UPC-ультрополировка (до -50дБ).

У второго типа (рис.1.2.б) сферическое закругление радиусом 5...12мм расположено под углом 8...9 к оси волокна. Обозначение:

- APC- угловое (коэффициент обратного отражения до -70дБ);

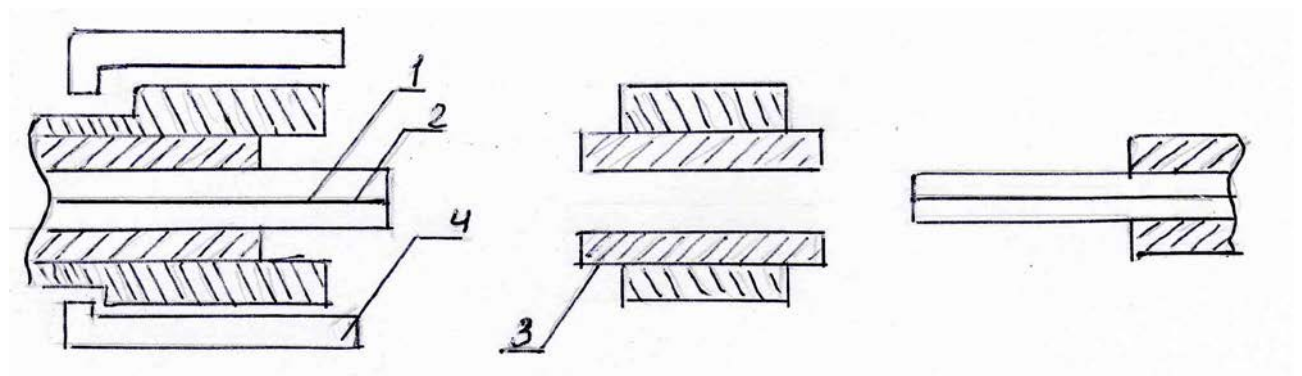


Рисунок 8.1

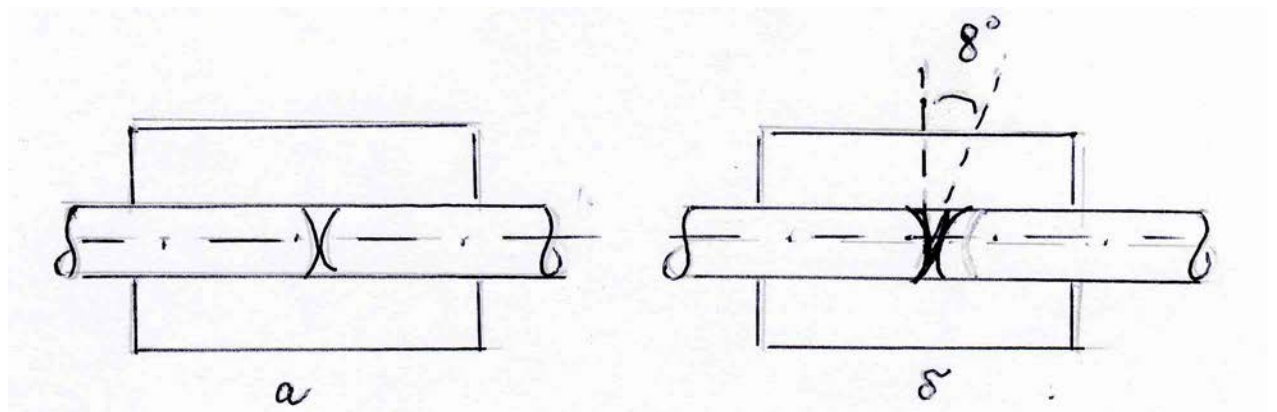


Рисунок 8.2

Для обеспечения физического контакта торцов применяются различные типы соединительных механизмов (соединителей). В настоящее время на сетях связи общего пользования используются в основном соединители типов:

-FC(Fiber connector)- закрепление вилки в розетке осуществляется с помощью накидной гайки с резьбой.

-SC(subscriber connector) - закрепление осуществляется с помощью защелкивающего механизма с фиксатором при линейном движении.

-ST- закрепление осуществляется с помощью гайки с байонетным креплением. Для стыковки гайка линейно продвигается вперед, затем проворачивается на 90.

Кроме указанных выпускаются многоконтактные соединители, которые могут быть выполнены с помощью скрепления однополосных соединителей (например, дуплекс-SC) или в виде самостоятельной конструкции.

Оптические розетки могут быть:

-соединительными(проходными)-для стыковки коннекторов одного типа (например, розетка FC/APC SM).

-переходными-для стыковки коннекторов разных типов (например, FC-ST/PC SM).

Неразъемные соединения

Неразъемные соединения (сплайсы, сrostки) предназначены для постоянного соединения двух ОВ. Основной метод соединения-сварка. При этом выполняются следующие операции:

-снятие первичного защитного покрытия с использованием механического или химического способа;

-скалывание торцов ОВ. Основное требование-обеспечение перпендикулярности поверхности скола к оси ОВ;

-юстировка-сведение сердцевин ОВ по максимуму проходящего через стык сигнала или по профилю показателя преломления;

-сварка-обычно с помощью электрической дуги;

В современных сварочных аппаратах все основные операции выполняются автоматически.

Места соединений ОВ защищают одним из следующих способов:

- восстановление первичного защитного покрытия и заливка места стыка эпокидным компаундом;
- с помощью специальных гильз для защиты сrostков (ГЗС).

ГЗС содержит (рис.8.3) трубку 1 из материала высокой текучести, металлический стержень 2 и термоусаживаемую трубку 3. Перед сваркой ГЗС одевается трубкой 1 на один из концов свариваемого ОВ. После сварки ее надвигают на место сварки и нагревают. При этом материал высокой текучести расплавляется и уплотняется вокруг ОВ. Термоусаживаемая трубка усаживается, скрепляя всю конструкцию. Затем ГЗС размещаются на кассетах в оптических муфтах или кроссовых шкафах.

Качество сварных соединений оценивается вносимым затуханием.

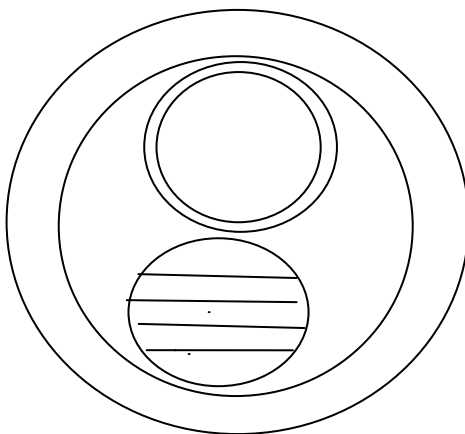


Рисунок 8.3 – Гильза для защиты сростков

Механические соединения.

Механическое соединение используется обычно для временного однократного соединения ОВ. Основными элементами механического соединителя являются:

- элемент для юстировки торцов соединяемых волокон;
- элемент, фиксирующий отъюстированные волокна;
- материал (гель, смазка, жидкость и т.д.) с согласующим показателем преломления.

Для юстировки могут использоваться элементы с V-образными пазами для размещения волокон и трубки с прецизионными отверстиям.

Оптические разветвители.

Оптический разветвитель предназначен для разделения оптического излучения из одного ОВ на несколько или объединения оптических излучений из нескольких ОВ в одно волокно. В общем случае оптический разветвитель представляет собой многопортовое устройство, которое может быть представлено в виде матрицы передачи разветвителя. Матрица передачи-матрица, номера строк которой соответствуют номерам входных портов, номера столбцов-номерам выходных портов, а элементы матрицы представляют собой коэффициенты передачи между соответствующими входными и выходными портами при заданном подключении.

Различают следующие виды разветвителей:

- направленные, в которых коэффициент передачи между оптическими портами зависит от направления излучения;
- ненаправленные, в которых коэффициент передачи между оптическими портами не зависит от направления излучения;
- спектрально-селективные, в которых коэффициент передачи между

оптическими портами зависит от длины волны оптического излучения.

По технологии изготовления разветвители подразделяются на 2 типа:

- сплавные, образованные путём сплавления двух или более ОВ;
- планарные, изготовленные по тонкоплёночной технологии на кристалле кремния, к торцам которого пристыковываются ленточные ОВ.

Разветвители могут оконцовываться разъемами различных типов.

На практике широкое применение находят разветвители X-типа 2xN (два входных и N выходных портов) и Y-типа 1xN (один входной порт и N выходных). В состав лабораторной установки входит разветвитель Y-типа 1x2 (рис.1.4), матрица передачи которого представлена таблицей 1, где P_i – мощности излучения, поступающих на i-й входной или выходной порт, K_{ij} – коэффициенты передачи с порта i на порт j.

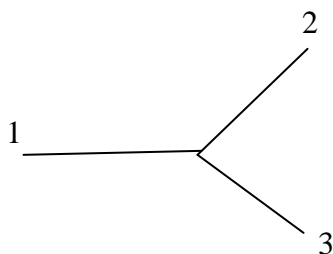


Рисунок 1.4 – Оптический разветвитель Y-типа 1x2

Таблица 1. Матрица передачи оптического разветвителя 1x2.

Входной порт	Выходные порты		
	1	2	3
1	-	$K_{12}=10 \lg(P_2/P_1)$	$K_{13}=10 \lg(P_3/P_1)$
2	$K_{21}=10 \lg(P_1/P_2)$	-	$K_{23}=10 \lg(P_3/P_2)$
3	$K_{31}=10 \lg(P_1/P_3)$	$K_{32}=10 \lg(P_2/P_3)$	-

К основным параметрам оптического разветвителя также относятся:

- коэффициент разветвления, характеризующий распределение мощности излучения между выходными портами. Так если входным является порт 1, то коэффициенты разветвления определяются по формулам:

$$K_{p23}= P_2/(P_2+ P_3) ; K_{p32}= P_3/(P_2+ P_3) \quad (8.3)$$

В документации на разветвители коэффициенты разветвления могут указываться в процентах;

- коэффициент вносимых потерь

$$K_{п1}= (P_2+ P_3)/P_1 \quad (8.4)$$

Аналогично эти параметры определяются в случаях, когда входными являются порты 2 или 3;

– диапазон рабочих длин волн. Выпускаются разветвители сплавные однооконные (1310 ± 10 или 1550 ± 10 нм), двухоконные (1310 ± 40 и 1550 ± 40 нм), планарные (1260...1650 нм)

Оптические аттенюаторы

Оптический аттенюатор- пассивный элемент, позволяющий осуществлять управляемое ослабление мощности оптического сигнала. Основным его параметром являются вносимые потери

$$A = -10 \lg(P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}),$$

где $P_{\text{вх}}$ и $P_{\text{вых}}$ — мощности оптического излучения на входе и выходе аттенюатора соответственно.

Существует два типа оптических аттенюаторов: фиксированные (постоянные) и переменные.

В фиксированных оптических аттенюаторах требуемые вносимые потери обеспечиваются воздушным зазором или поглощающим оптическим фильтром между торцами соединяемых ОВ. В переменных оптических аттенюаторах плавная регулировка вносимых потерь осуществляется за счёт измерения величины воздушного зазора между торцами. Подобные аттенюаторы обычно встраиваются в корпус розетки. Для регулировки величины воздушного зазора на корпусе розетки размещена регулировочная гайка.

В качестве фиксированных аттенюаторов могут быть использованы оптические разветвители с заданным коэффициентом разветвления.

Применение планарных технологий позволило интегрировать несколько оптических регулируемых аттенюаторов на одном кристалле.

Оптические шнуры.

Используются два основных типа оптических шнуров:

- армированные оптическими соединителями на обоих концах (patchcord), применяются для стыка оптического оконечного оборудования с аппаратурой оптических систем передачи, коммутации ОВ, измерительных цепей;
- армированные оптическим соединителем на одном конце (pigtail), применяется в основном для концевой заделки ОВ линейных кабелей.

Оптические шнуры различаются типом и количеством используемых в них ОВ, типами соединителей и видом их полировки, диаметром и длиной кабеля. Цветовая маркировка шнуров: желтый цвет для одномодовых шнуров, оранжевый или серый для многомодовых.

Для армирования оптических шнуров могут использоваться оптические соединители различных типов.

Примеры маркировки оптических шнуров:

ШОС-SM/2,4мм-FC/APC-FC/APC-2,0 м — шнур оптический соединительный, патчкорд, одномодовый, наружный диаметр 2.4 мм, оптические соединители типа FC/APC, длина шнура 2м.

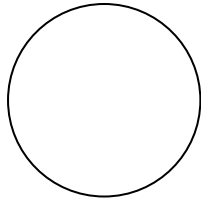
ШОС-SM/0,9мм-FC/UPC-p/t-1,5м- шнур оптический соединительный, одномодовый, наружный диаметр 0,9мм, оптический соединитель типа FC/UPC, пигтейл, длина шнура 1,5м.

Контрольные вопросы.

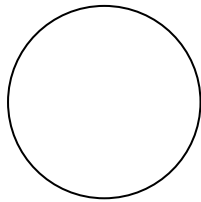
1. Назначение оптического разъемного соединителя.
2. Из каких элементов состоит оптический разъемный соединитель?
3. Как классифицируются вилки оптических соединителей по типу обработки торцов волокон?
4. В чём различие между соединительной и переходной розеткой?
5. Основные типы соединительных механизмов и их маркировка.
6. В чем различие соединительных механизмов типов FC и ST?
7. Как определяются вносимые потери в разъемном соединении ОВ?
8. Основные причины вносимых потерь в разъемном соединении ОВ?
9. Как выполняются сварные соединения ОВ?
10. Как осуществляется защита сварных соединений ОВ от внешних воздействий?
11. Из каких элементов состоит гильза защиты сращивков?
12. Назначение оптических разветвителей.
13. В чём различие разветвителей Х-типа и Y-типа?
14. Как определяется коэффициент передачи разветвителя?
15. Как определяется коэффициент вносимых потерь разветвителя?
16. Чем различаются одномодовый и многомодовые оптические шнуры?
17. В чём различие оптических шнуров типов patchcord и pigtail?
18. За счёт чего осуществляется ослабление излучения в оптических аттенюаторах?

Рис.2
Состав
установки.

Полувилка



Полувилка

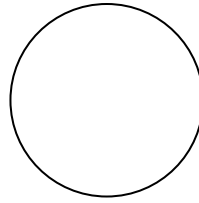


Кассета

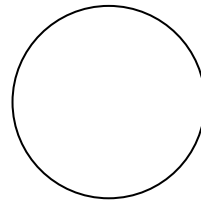
Зеленый
Оранжевый
Синий
Серый

Зеленый
Оранжевый
Синий
Серый

Полувилка

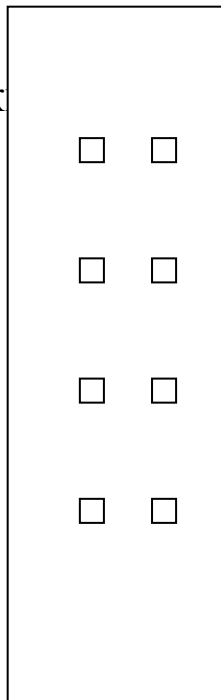


Полувилка



КК1

К



FC/UPC
Разв.

FC/PC

AT
MM

FC/UPC
AT
SM

FC/UPC
AT
SM

FC/PC

CP
MM

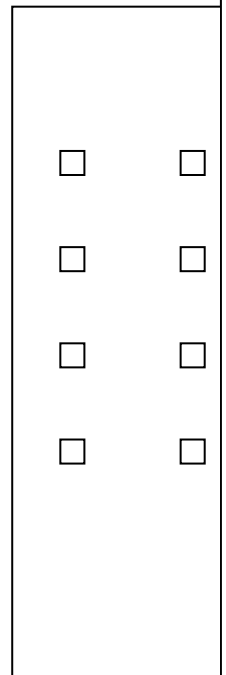
FC-SC/UPC

PP
SM

FC-SC/PC

PP
MM

КК2



Состав лабораторной установки

В состав лабораторной установки (рис.2) входят следующие элементы:

Два отрезка четырехволоконного многомодового кабеля - четырехволоконные полувилки (наружная оболочка оранжевого цвета). Оптические волокна кабелей с одной стороны оконцованы коннекторами SC/PC, неоконцованные стороны трех волокон попарно соединены между собой с помощью сварки.

Два отрезка четырехволоконного одномодового кабеля - четырехволоконные полувилки (наружная оболочка желтого цвета). Оптические волокна с одной стороны оконцованы коннекторами типа SC/PC, неоконцованные стороны трех волокон попарно соединены между собой с помощью сварки.

Универсальная кассета (сплайс-пластина), на которой зафиксированы в защитных гильзах

- три сварных соединения многомодовых волокон (MM)
- три сварных соединения одномодовых волокон (SM)

Две коммутационные коробки КК, рассчитанные на 8 розеточных портов.

В каждой коробке установлены:

- четыре соединительные розетки типа SC/PC (черного цвета), соединенные с одной стороны с ОВ четырехволоконного многомодового кабеля (полувилка).
- четыре соединительные розетки типа SC/UPC (синего цвета), соединенные с одной стороны с ОВ четырехволоконного одномодового кабеля (полувилки).

Платы, на которых установлены:

- переходная многомодовая розетка (ПР) FC-SC/PC MM с бронзовым центрирующим элементом;
- переходная одномодовая розетка (ПР) FC-SC/UPC SM с керамическим центрирующим элементом;
- соединительная многомодовая розетка (СР) FC/PC MM с бронзовым центрирующим элементом;
- соединительная одномодовая розетка (СР) FC/PC SM с керамическим центрирующим элементом;
- фиксированный аттенюатор – розетка (АТ) FC/UPC SM для одномодового волокна;
- фиксированный аттенюатор-розетка (АТ) FC/PC MM для многомодового волокна;
- переменный аттенюатор – розетка (АТ) FC для одномодового и многомодового волокон;
- одномодовый разветвитель (Разв.) 1x2 с коннекторами типа FC/SPC.

Волоконные соединительные и переходные шнуры FC MM , FC SM, SC MM, SC SM, SC-FC MM, SC- FC SM.

Оптические измерительные приборы - источники оптического излучения и измерители мощности оптического излучения (типы используемых в работе приборов - по указанию преподавателя)

Оптические измерительные приборы

Малогабаритный источник оптического излучения Photom 362

ВНИМАНИЕ: испускаемое прибором инфракрасное излучение невидимо, попадание его в глаз может принести ущерб зрению!

Прибор состоит из основного блока и сменного адаптера выходного разъема, тип которого выбирается в соответствии с типом подключаемого коннектора.

Основные параметры прибора:

Тип источника.....	лазерный
Длина волны.....	1310±30нм
Применяемое волокно.....	SM
Уровень выходного сигнала(непрерывное излучение).....	-5дБм
Полуширина спектра.....	≤10нм
Внутренняя модуляция.....	2;1;0,27кГц
	CW-
немодулированное	
Оптический коннектор.....	FC

Прибор автоматически выключается через 10 минут с момента последнего нажатия на любую из кнопок управления прибором.

Органы управления:

- Кнопка ON/OFF — включение/выключение (загорается или гаснет соответствующий светодиодный индикатор). Для отмены функции автоматического отключения прибора при включении прибора удерживать кнопку в течении приблизительно 3сек. (начнет мерцать излучения с частотой 2 Гц).
- Кнопка MOD — выбор частоты модуляции (загорается соответствующий индикатор).

Порядок работы:

- снять защитную крышку и вставить в нее прибор другой стороной.
- Присоединить коннектор измеряемой оптической линии к адаптеру выходного оптического разъема.
- Включить излучатель, нажав кнопку ON/OFF. Источник при этом работает в режиме непрерывного излучения (загорается индикатор CW)

Выбор частоты модуляции осуществляется кнопкой MOD

- При разряде батареи индикатор включения мигает с частотой 1 Гц.

Малогабаритный измеритель оптической мощности Photom 211A основные параметры прибора:

Рабочие длины волн.....850;1310;1550 нм
Диапазон измерений.....-70.....+5 дБм
Максимальный уровень входного сигнала.....+10 дБм

Если мощность сигнала выходит за пределы диапазона измерений, то на дисплее появится сообщение

- Hi dBm - мощность сигнала превышает максимально допустимое значение;
- Lo dBm — мощность сигнала меньше минимально допустимого значения;

Прибор автоматически отключается через 10 мин с момента нажатия на любую кнопку управления прибором (индикация AUTO-OFF).

Органы управления:

- Кнопка ON/OFF — включение/выключение. Для отмены функции автоматического отключения прибора при включении прибора удерживать кнопку в течение приблизительно 3сек. (исчезнет сообщение AUTO-OFF).
- Кнопка λ — выбор длины волны.

Порядок работы:

- Присоединить оптический шнур к источнику сигнала (выход источника излучения или пассивного элемента), используя при необходимости сменные адаптеры.
- Включить источник излучения.
- Включить измеритель мощности.
- Установить требуемую длину волны.
- Снять отсчёт.

Буква "В" на дисплее указывает на необходимость замены источника питания (батарей).

При внешних электромагнитных помехах необходимо:

- выключить и снова включить прибор, если это не помогло, то
- вынуть и заново вставить батарею, одновременно нажать и удерживать в течение нескольких секунд две кнопки ON/OFF и λ , если не помогло, то
- устранить источник помех.

Индикатор средней мощности оптического излучения «Алмаз-33»

Прибор предназначен для измерения средней мощности непрерывного и импульсно-модулированного оптического излучения, а так же относительных уровней мощности при измерении затухания в оптических волокнах.

Основные параметры:

Рабочие спектральные диапазоны.....	800...900 и 1200...1700 нм
Значения длин волн калибровки.....	850±5; 1310±10; 1550±10 нм
Диапазон измерения мощности.....	-75,0...+6,0 дБм ($3 \cdot 10^{-11}$... $4 \cdot 10^{-3}$ Вт)
Число ячеек энергозависимой памяти.....	50
Тип оптического соединителя.....	FC

Органы управления:

- ☐ «вкл/выкл»-включение/выключение питания прибора
- ☐ «W/dBm/dB»- переключение шкалы, представление результата измерения; переключение в режим измерения из режимов просмотра памяти и записи в память.
- ☐ « λ »-переключение длины волны калибровки.
- ☐ «Установка уровня отсчета»- запись текущего показания в качестве уровня отсчета для относительной логарифмической шкалы.
- ☐ «Запись»- запись текущего показания в память.
- ☐ «Просмотр»- чтение из памяти
- ☐ «Лево-право»-клавиши выбора длин волн калибровки и номеров ячеек памяти.

Порядок работы:

- Измерение средней мощности излучения.
Оптический сигнал подать на вход прибора. Результат измерения выводится в верхней строке дисплея. Показания прибора обновляются примерно два раза в секунду. Время установления показаний после значительного изменения входного уровня мощности — до 10 сек.
- Измерение затухания оптического тракта:

- * измерить среднюю мощность сигнала на выходе источника сигнала;
- * не отключая источника сигнала, нажать кнопку «Установка уровня отсчета» и дождаться появления показания «00,00 dB»;
- * подключить источник сигнала к входу исследуемого тракта, а сигнал с выхода тракта подать на вход прибора;
- * на дисплее отобразится значение затухания тракта.
 - Установка уровня отсчёта:
- * подключить прибор к источнику оптического сигнала, уровень которого должен служить точкой отсчета;
- * получив устойчивый результат измерений на дисплее, нажать кнопку «Установка уровня отсчета». При этом результат автоматически запомнится в ячейке с номером «0»;
- * затем прибор перейдёт в режим вывода значения в единицах относительной логарифмической шкалы (dB), используя новое значение уровня отсчета для преобразования результата измерения.

Работа с памятью:

- Запись показания в ячейку памяти: находясь в режиме измерений, нажать кнопку «Запись», на дисплее появится сообщение «Запись» и номер ячейки, в которую будет произведена запись. С помощью клавиш «Лево-право» можно изменить номер ячейки. Для подтверждения записи нажать на клавишу «Запись», для отказа от записи – на клавишу «W/dBm/dB»
- Просмотр содержимого ячеек памяти: нажать на клавишу «Просмотр», в нижней строке дисплея появится сообщение «Чтение №0». Переход к необходимой ячейке осуществляется с помощью клавиш «Лево-право». Выход из режима просмотра памяти в режим измерений нажатием на клавишу «W/dBm/dB».

Электронный блок «Источник оптического сигнала»

Блок обеспечивает:

- генерацию оптического сигнала на длинах волн 1,33 мкм или 1,55 мкм (переключение с помощью кнопки «Выбор источника», вывод сигналов через розетки типа FC);
- управление режимом работы лазерного диода и схемы стабилизации оптической мощности за счёт изменения токов I_0 , I_1 ;
- индикацию токов I_0 , I_1 с помощью приборов на лицевой панели
- модуляцию оптического излучения импульсами или синусоидальным сигналом, при этом величина I_0 определяет минимальный уровень оптического сигнала, I_1 — его амплитудное значение;
- введение предискажений оптического сигнала (включение кнопкой «Дисперсия», регулировка с помощью потенциометра) для моделирования процесса распространения по реальной оптической

- линии;
- введение шума в оптический сигнал (включение кнопкой «Шум», регулировка уровня с помощью потенциометра);
- контроль работы блока с помощью осциллографа путём подключения его к контрольным точкам КТ1,...,КТ6 (разъёмы СР50);
- получение сигнала синхронизации для осциллографа (разъем «Синхр.Осц.»).

На рис. 1.5 показана зависимость излучаемой оптической мощности P от тока накачки I_n . Значение порогового тока I_n соответствует началу генерации когерентного излучения лазерным диодом. При $I_0 > I_n$ возрастает уровень мощности сигнала, соответствующий нулю при передаче цифрового сигнала. При $I_0 \ll I_n$ снижается быстродействие, что ведёт к снижению скорости передачи. Поэтому значение I_0 выбирается близким к I_n .

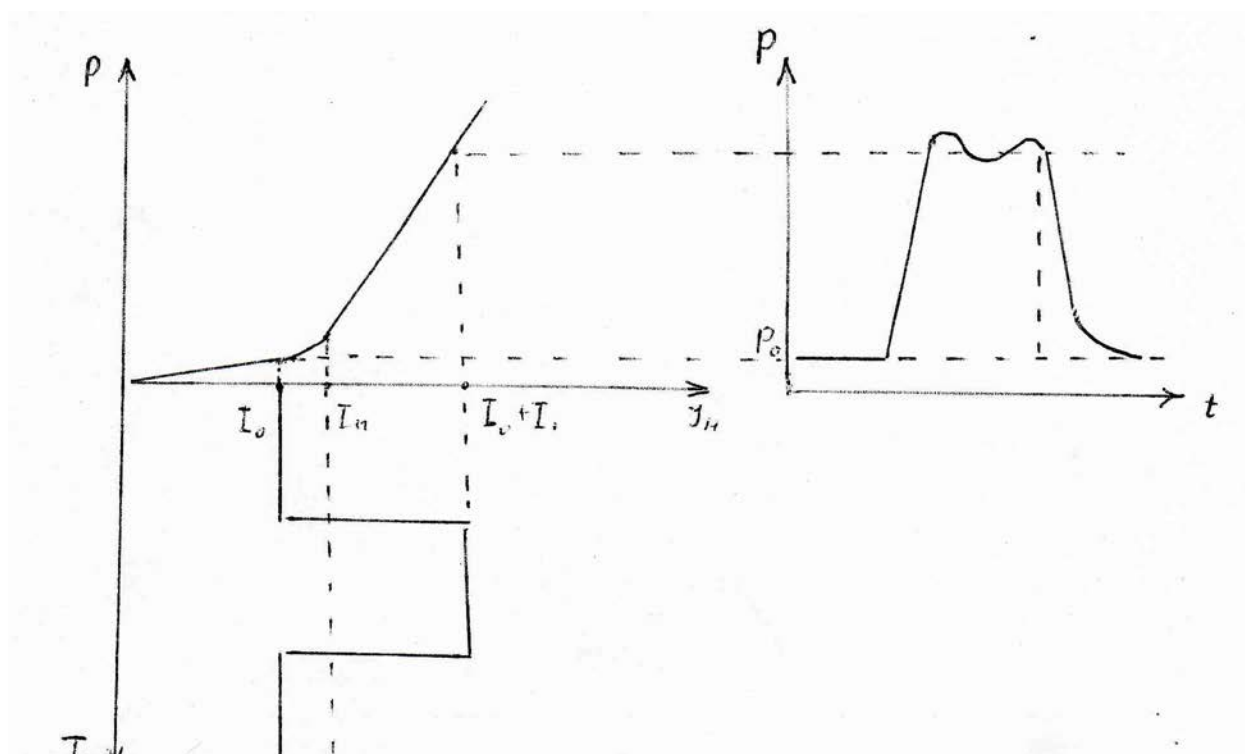


Рисунок 8.5

Электронный блок «Фотоприёмник»

Блок обеспечивает:

- Преобразование оптического сигнала в электрический с помощью фотодиода.
- Подключение оптического сигнала осуществляется через розетку типа FC “оптический вход.
- Регулировку напряжения смещения на фотодиоде (потенциометр

- «рег.смещения») и его индикацию с помощью прибора на лицевой панели.
- Регулируемое усиление электрического сигнала (регулировка с помощью кнопок «чувствительность»-0,001;0,01;0,1;1,0).
 - Индикацию мощности оптического излучения в относительных единицах с помощью приборов на лицевой панели.
 - Контроль сигнала на выходе усилителя (разъем «вход усилителя») с помощью осциллографа.

Порядок выполнения лабораторной работы

Внимание:

1. Лазерное излучение может представлять опасность для органов зрения.
Поэтому включать источники оптического излучения следует только при полностью собранной лабораторной работе (оптическими шнурами соединены все элементы установки).
2. Перед каждой сборкой схемы снять с торцов оптических волокон, розеток, разветвителя и оптических шнуров защитные колпачки. После окончания работы установить колпачки на место.
3. Не прикасаться руками к торцам оптических волокон.
4. Не изгибать оптические шнуры, так как это может привести к повреждению оптического волокна и выводу его из строя.

На лабораторной установке выполняются следующие работы:

Градировка электронного блока “Источник оптического сигнала”.
Измерение параметров разъемных соединений оптических приборов.
Измерение параметров неразъемных соединений оптических волокон.
Измерение параметров оптических аттенуаторов.
Измерение параметров оптического разветвителя.

Типы используемых в работе измерительных приборов - по указанию преподавателя.

Градировка электронного блока “Источник оптического сигнала”

Градировка электронного блока с помощью прибора “Алмаз-33”

На электронном блоке ручки регуляторов “ I_0 ” и “ I_1 ” установить в крайнее левое положение. Обе кнопки “Модуляция” отжаты.
С помощью одномодового оптического шнура FC-FC/PC соединить выходной разъем “1,3 мм” электронного блока с входным разъемом прибора “Алмаз-33”
Включить электронный блок.

- С помощью кнопки "Выбор источника" установить длину волны излучения 1,3 мкм
- Включить прибор "Алмаз - 33"
- Изменяя величину тока I_1 от минимального до максимального значения через , зафиксировать и занести в таблицу 4.1 значения I_1 , средней оптической мощности $P_{ср}$ в относительных единицах на электронном блоке и соответствующие значения мощности P и уровня мощности P_a на приборе "Алмаз-33".

Градуировка электронного блока с помощью прибора "Photom 211 A"

- На электронном блоке ручки регуляторов " I_0 " и " I_1 " установить в крайнее левое положение . Обе кнопки "Модуляция" отжать.
- С помощью одномодового оптического шнура FC-FC/PC соединить выходной разъем "1,3 мкм" электронного блока с входным разъемом прибора "Photom 211A"
- Включить электронный блок . С помощью кнопки "Выбор источника" установить длину волны 1,3 мкм.
- Включить прибор "Photom 211A".
- Изменяя величину тока I_1 от минимального до максимального значения через на электронном блоке, зафиксировать и занести в таблицу 4.1 соответствующие значения уровня мощности P_h на приборе "Photom 211A"

Таблица 8.1

Параметры	Электронный блок							
I_1 отн.ед								
$P_{ср}$ отн.ед								
	Прибор "Алмаз - 33"							
$P_{амвт}$								
$P_A, дБм$								
	Прибор "Photom 211A"							
$P_{Ph}, дБм$								

Измерение параметров разъемных соединений ОВ

Измерение параметров соединительной розетки FC/PC MM.

- С помощью многомодового оптического шнура FC-FC/PC MM соединить вилку источника излучения с входом измерителя мощности.
- Включить источник измерения и измеритель мощности.
- Измерить мощность излучения $P_{вх}$, результат занести в таблицу 8.2
- С помощью многомодовых оптических шнуров соединить одну сторону розетки с выходом источника излучения, а другую с входом измерителя мощности.

- Измерить мощность излучения $P_{\text{вых}}$ на выходе розетки, результат занести в таблицу.
- Определить величину вносимых потерь по формуле (8.1), результат занести в таблицу 8.2

Таблица 8.2

Параметр	Тип розетки			
	FC/PC MM	FC/UPC SM	FC-SC/PC MM	FC-SC/UPC SM
$P_{\text{вых}}$, мВт				
A , дБ				

Измерение параметров соединительной розетки FC/UPC SM.

По аналогии с предыдущим пунктом определить величину вносимых потерь розеткой FC/UPC SM, заменив оптические шнуры на одномодовые FC-FC/UPC SM.

Результаты занести в таблицу.

Измерение параметров переходной розетки FC-SC/PC

По аналогии с предыдущим пунктом определить величину внешних потерь переходной розеткой FC-SC/PC MM, используя многомодовые оптические шнуры FC- SP/ PC MM.

Результаты занести в таблицу.

Измерение параметров переходной розетки FC-SC/ UPC.

По аналогии с предыдущим пунктом определить величину потерь переходной розетки FC-SC/UPC, используя одномодовые оптические шнуры FC-SC/PC SM.

Измерение параметров неразъемных (сварных) соединений оптических волокон.

Измерение потерь в неразъемных соединениях одномодовых оптических волокнах.

С помощью сварки соединены одномодовые волокна двух полувилок (оболочка желтого цвета). Сварные соединения в гильзах размещены в кассете.

С другой стороны волокна оконцованы соединителями типа SC, расположенными на коммутационных коробках (синего цвета). Сварные соединения выполнены некачественно (потери выше допустимых), чтобы облегчить измерения.

При измерениях использовать шнуры оптические соединительные типа ШОС- SM- FC/UPC – SC/UPC. В случае их отсутствия можно воспользоваться шнурами типа ШОС- SC-SC/UPC с переходными розетками FC-SC.

- С помощью оптического шнура ШОС-SM-FC/UPC соединить выход источника излучения с входом измерителя мощности.
- Включить источник излучения и измерителя мощности. Измерить мощность излучения РИИ на выходе источника излучения. Результат занести в таблицу 4.3.1.
- Заменить шнур на источнике излучения на шнур ШОС-SM-FC/UPC-SC/UPC. Присоединить источник излучения к розетке 1 (SC/UPC) на коммутационной коробке КК1.
- С помощью шнура ШОС- SM- FC/UPC –SC/UPC присоединить измеритель мощности к розетке 1 на КК2. Измерить мощность излучения РИм, результаты занести в таблицу 4.3.1.
- Повторить измерения, последовательно подключая источник излучения и измеритель мощности к розеткам 2, 3 и 4. Результаты измерений занести в таблицу.
- Рассчитать величину потерь А в сварных соединениях. Результаты занести в таблицу.

Таблица.

$R_{нн} =$

Параметр	Номер розетки			
	1	2	3	4
Р Им ,мВт				
А ,дБ				

Измерение потерь в неразъемных соединениях многомодовых оптических волокон.

С помощью сварки соединены многомодовые волокна двух полувилок(оболочка оранжевого цвета). Сварные соединения в гильзах размещены в кассете.

С другой стороны волокна оконцованы соединителями типа SC (черного цвета), расположенными на коммутационных коробках. Сварные соединения выполнены некачественно (потери в них выше допустимых).

При измерениях использовать оптические шнуры типа ШОС- ММ- FC/PC-SC/PC.

В случае их отсутствия можно воспользоваться шнурами ШОС- ММ- FC/PC, ШОС- ММ- SC/PC и переходными розетками FC-SC.

- С помощью оптического шнура ШОС- ММ- FC/PC соединить выход источника излучения с входом измерителя мощности.
- Включить источник излучения и измеритель мощности. Измерить мощность излучения $R_{нн}$ на выходе источника излучения. Результат записать в таблицу.

- Заменить шнур на источнике излучения на ШОС- ММ- FC/PC- SC/PC/ . Присоединить источник излучения к розетке 1' на коммутационной коробке КК1 .
- С помощью шнура ШОС- ММ -FC/ PC – SC/PC присоединить измеритель мощности к розетке 1' на КК2. Измерить мощность $P_{\text{нм}}$, результат занести в таблицу 4.3.2.
- Повторить измерения, последовательно подключая источник излучения и измеритель мощности к розеткам 2' , 3' и 4' . Результаты измерений занести в таблицу 4.3.2.
- Рассчитать величины потерь A в сварных соединениях многомодовых волокон.
Результаты занести в таблицу.

Таблица $P_{\text{ии}} =$

Параметр	Номер розетки			
	1'	2'	3'	4'
Р _{Им} , мВт				
A , дБ				

Измерение параметров оптических аттенюаторов.

.Измерение вносимого затухания многомодового фиксированного аттенюатора.

- С помощью многомодового оптического шнура FC-FC/PC ММ соединить выход источника излучения с входом измерителя мощности.
- Включить источник излучения и измеритель мощности.
- Измерить мощность излучения $P_{\text{вх}}$, результат занести в таблицу.
- С помощью двух многомодовых оптических шнуров соединить одну сторону аттенюатора с выходом источника излучения, другую – с входом измерителя мощности.
- Измерить мощность излучения $P_{\text{вых}}$ на выходе аттенюатора ,результат занести в таблицу.
- Определить величину вносимого затухания по формуле (1.5), результаты занести в таблицу.

Таблица

Параметры	Тип аттенюатора									
	ММ фикс	SM фикс	SM регулируемый (обороты гайки)							
			0	1	2	3	4	5	6	7
Рвх,мВт										
А, дб										

Измерение вносимого затухания одномодового фиксированного аттенюатора.

По аналогии с предыдущим пунктом определить величину вносимого затухания одномодового фиксированного аттенюатора, заменив оптические шнуры на одномодовые FC-FC/UPC SM. Результаты занести в таблицу. Градуировка переменного одномодового оптического аттенюатора.

– по аналогии с предыдущим пунктом собрать схему для измерения вносимого затухания регулируемым аттенюатором;

Осторожно, не прилагая усилий, повернуть регулировочную гайку аттенюатора против часовой стрелки до упора.

Измерить мощность излучения $P_{\text{вых}}$ на выходе аттенюатора, результат занести в столбец “0” таблицы.

Повернуть регулировочную гайку аттенюатора по часовой стрелке на один оборот. Замерить мощность излучения на выходе аттенюатора, результат занести в столбец “1” таблицы.

Повторять предыдущий пункт, поворачивая регулировочную гайку Каждый раз на оборот до упора. Результаты измерений заносить в столбцы таблицы, соответствующие числу оборотов.

Рассчитать значения вносимого затухания A по формуле (8.5).

Результат занести в таблицу.

Измерение параметров оптического разветвителя (тип 1x2).

Состав используемого оборудования показан на рис., где ИИ - источник излучения, ИМ – измеритель мощности, ОШ - оптические шнуры.



Определение коэффициентов передачи.

Измерить мощность излучения $P_{\text{вых}}$ на выходе ИИ, соединив оптическим шнуром выход ИИ с входом ИМ. Полученные результаты занести в таблицу.

$$P_{вх} =$$

Номер входного порта	Мощность излучения на выходных портах, мВт		
	1	2	3
1			
2			
3			

- Соединить выход ИИ с портом 1 и измерить мощности P_2 и P_3 , на портах 2 и 3. Результаты занести в таблицу.
 - Соединить выход ИИ с портом 2 и измерить мощности излучения P_1 и P_3 на портах 1 и 3. Результаты занести в таблицу.
 - Соединить выход ИИ с портом 3 и измерить мощность излучения P_1 и P_2 , на портах 1 и 2. Результаты занести в таблицу.
- Используя формулы, приведенные в таблице 1, рассчитать значения коэффициентов передачи. Результаты занести в таблицу.

Таблица

Номер входного порта	Коэффициенты передачи через входные порты, дБ		
	1	2	3
1			
2			
3			

Определение коэффициента разветвления.

Используя полученные результаты и формулы 1.3, рассчитать значения коэффициентов разветвления. Результаты занести в таблицу.

Таблица

Номер входного порта	Коэффициенты разветвления на выходных портах					
	KP23	KP32	KP13	KP31	KP12	KP21
1						
2						
3						

Определение вносимых потерь.

Используя полученные результаты и формулу 8.4 рассчитать величину вносимых потерь $K_{п1}$, $K_{п2}$, $K_{п3}$.

Рекомендуемая литература

1. Енгибарян И.А., Зуев В.В. Волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2012 – 152с.
2. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Том 1. Теория передачи и влияния: Учебник для вузов / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов и др. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. - 424 с.; . ISBN 978-5-9912-0092-9, 1000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/256974>
3. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Т. 2. Проект., строит. и тех. экспл.: Учеб. /В.А.Андреев и др.; Под ред. В.А. Андреева - 7 изд. - Москва : Гор.линия-Телеком,2010-424 с.; - (Уч. пос. для вузов) ISBN 978-5-9912-0141-4, 2000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/245482>.
4. Портнов, Э. Л. Оптические кабели связи, их монтаж и измерение: Учебное пособие для вузов / Э.Л. Портнов. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2012. - 448 с.: ил.; . - (Специальность). ISBN 978-5-9912-0219-0, 1000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/333230>.
5. Оптические телекоммуникационные системы: Учебник для вузов / В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев, А.Д. Моченов, Р.М. Шарафутдинов; Под ред. В.Н. Гордиенко - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. - 368 с.: ил.; . ISBN 978-5-9912-0146-9, 1000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/318817>
6. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы 3-е изд., перераб. и доп.\Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. М.: Техносфера, 2010. - 608с. ISBN 978-5-94836-245-8
7. Ксенофонтов С. Н., Портнов, Э. Л. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009.