

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

(ТУСУР)

Кафедра Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)

Метрология в оптических телекоммуникационных системах

**ИЗМЕРЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН
ОПТИЧЕСКИМ ТЕСТЕРОМ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе для бакалавров, направления 210700.62
"Инфокоммуникационные технологии и системы связи", профиль
"Оптические системы и сети связи"

2014

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

(ТУСУР)

**Кафедра Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧиКР)**

УТВЕРЖДАЮ
Зав. каф. СВЧиКР

_____ Шарангович С.Н.
“ _____ ” _____ 2014г.

Метрология в оптических телекоммуникационных системах

**ИЗМЕРЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН
ОПТИЧЕСКИМ ТЕСТЕРОМ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе для бакалавров, направления 210700.62
"Инфокоммуникационные технологии и системы связи", профиль
"Оптические системы и сети связи"

Разработчики:

доцент кафедры СВЧиКР
_____ Г.Г. Куш

проф. кафедры СВЧиКР
_____ А.Е. Мандель

2014

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4
2. Методы измерения затухания ВОЛС	4
3. Оптический тестер ОМКЗ-76.....	5
4. Указания по эксплуатации прибора.....	14
5. Порядок выполнения работы	16
6. Содержание отчета	17
7. Контрольные вопросы	18
Список литературы	

Цель работы: Изучение принципа действия и устройства оптического тестера, изучение методов измерения с помощью оптического тестера параметров волоконно-оптической линии передачи.

1. Введение

Оптический тестер – прибор в котором используются согласованные пары: источник излучения – измеритель оптической мощности. Тестер позволяет измерить уровень оптического сигнала в различных участках линейного тракта и определить затухание как линейного участка ВОЛС, так и затухание, вносимое различными элементами тракта ВОЛС. Оптический тестер предназначен для настройки, обслуживания и ремонта волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).

2. Методы измерения затухания ВОЛС

По мере распространения света в оптическом световоде его интенсивность ослабевает, что носит название затухания оптического волокна.

Полное затухание оптического сигнала в световодах определяется коэффициентом затухания α , который в общем виде равен:

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_r + \alpha_{пр} + \alpha_k$$

где α_n – составляющая коэффициента затухания, которая характеризует ослабление излучения за счёт собственного поглощения материала сердцевины. Эта составляющая в значительной степени зависит от спектрального состава передаваемого излучения;

α_r - составляющая коэффициента затухания, характеризующая ослабление излучения за счёт рассеивания световой энергии. Составляющая α_r определяется, в основном, рэлеевским рассеянием, обусловленным малыми по сравнению с длиной волны флуктуациями (в том числе и тепловыми) показателя преломления оптического волокна;

$\alpha_{пр}$ - составляющая коэффициента затухания, связанная с наличием в оптическом волокне посторонних примесей, приводящих к дополнительному поглощению оптической мощности. Такими примесями являются ионы металлов (Fe^{+2} , Cu^{+2} , Cr^{+3}) и гидроксидные группы (ОН), приводящие к резонансному всплеску затухания на определенных длинах волн;

α_k - составляющая коэффициента затухания, характеризующая дополнительные потери оптической мощности за счет скрутки, деформации и изгибов оптического волокна при изготовлении оптического кабеля (эти потери называют кабельными)

Полное (суммарное) затухание излучения в волоконном световоде характеризуется выражением

$$A = 10 \lg \left[\frac{P_0 I_s}{1 - \rho^2} / P_L \right], \text{ дБ} \quad (2.1)$$

где P_0 - мощность на входе световода;

P_L - мощность на выходе;

ρ - коэффициент отражения от входного торца;

I_s - эффективность ввода излучения в световод.

При согласованном вводе, к чему стремятся на практике, приходим к традиционной формуле :

$$A = 10 \lg \left(\frac{P_0}{P_L} \right). \text{ дБ} \quad (2.2)$$

Для измерения затухания с помощью оптических тестеров разработаны и применяются на практике согласно (ГОСТ 26814-86) два основных метода - методы разрушающего (обрыва) и неразрушающего (вносимых потерь) измерения.

Метод обрыва основан на сравнении значения мощности оптического излучения, измеренной на выходе длинного отрезка волокна, со значением мощности, измеренной на выходе короткого участка волокна, образованного за счет отсечения части длины волокна (около 2 м) со стороны источника излучения. При этом необходимым условием измерения является постоянство мощности и неизменность модового состава вводимого в волокно оптического излучения, с тем, чтобы избежать ввода мощности в переходные моды высшего порядка. Для обеспечения таких условий ввода используются либо фильтры мод (3-5 витков волокна, намотанного с небольшим натяжением на стержень диаметром 15 – 40 мм), либо системы геометрической оптики. Во втором случае геометрическая оптика формирует световой поток, заполняющий 70% диаметра сердцевины и столько же числовой апертуры измеряемого волокна.

Другим важным условием измерений данным методом является обеспечение вывода мод оболочки, заключающегося в том, что ни одна из мод излучения, распространяющаяся по оболочке, не будет обнаружена при короткой длине волокна. С этой целью для вывода мод используется обычно имерсионная жидкость, показатель преломления которой равен или больше показателя преломления оболочки.

Не менее важным является условием измерений является выбор источника излучения, который должен отличаться высокой стабильностью как по интенсивности, так и по длине волны излучения.

Метод обрыва является наиболее точным методом измерения затухания с помощью измерителя оптических потерь, но из-за того, что он требует разрыва волокна, его использование при техническом обслуживании и в полевых условиях неэффективно. Поэтому он применяется только при производстве оптических волокон.

Метод вносимых потерь менее точен, чем предыдущий, однако он не требует разрыва волокна и поэтому обычно используется в полевых условиях. Согласно этому методу вначале производится измерение оптической мощности на выходах источника оптического излучения и эталонного волокна, а, затем измерение проводится с добавлением к системе волокна, потери которого необходимо измерить. Разница между этими двумя результатами и представляет собой потери волокна. При этом условия ввода должны быть одинаковыми как для эталонного, так и для измеряемого волокон. Эталонное волокно может быть того же типа, что и измеряемое. Метод вносимых потерь требует очень качественного соединения волокон, чтобы свести к минимуму потери, вносимые данным соединением и обеспечить достоверные результаты.

3. Оптический тестер ОМКЗ-76

Оптический тестер ОМКЗ-76 используется для измерения затухания волоконных световодов и различных элементов тракта ВОЛС. Принцип действия прибора основан на преобразовании оптического излучения фотоприемником в электрический сигнал. В комплект оптического тестера также входят генераторы оптического излучения: светоизлучающий диод (СИД) и лазерный диод (ЛД).




Технические данные ОМКЗ-76:

- длина волны оптического излучения на выходе преобразователей СИД-1.3 и ЛД-1.3 - 1.3 мкм;
- мощность непрерывного немодулированного излучения на выходе преобразователя СИД-1.3 – 1 мкВт, на выходе преобразователя ЛД-1.3 – 100 мкВт;
- частота модуляции прямоугольно модулированного со скважностью $2 \pm 0,2$ оптического излучения от встроенного генератора – 270 Гц;
- напряжение питания – 12 В;

- время установки рабочего режима – 15 минут.

Функциональная схема тестера приведена на рисунке 3.1. В схему входят следующие функциональные блоки:

- 1) Фотопреобразователь ФП-0.85;
- 2) усилитель-преобразователь;
- 3) схема управления;
- 4) схема сравнения;
- 5) преобразователь напряжения;
- 6) блок батарей;
- 7) усилитель селективный;
- 8) усилитель логарифмический;
- 9) аналого-цифровой преобразователь;
- 10) индикатор;
- 11) усилитель линейный;
- 12) преобразователь СИД-0.85;
- 13) преобразователь ЛД-0.85.

Работа прибора заключается в следующем. С выхода «» блока индикации (А1) на вход «» преобразователей СИД (12) и ЛД (13) поступает напряжение питания и модулирующий прямоугольный сигнал. Включение и выключение напряжения питания, поступающего с преобразователя напряжения (5) в блоке индикации, осуществляется кнопкой ВКЛ ОТКЛ «».

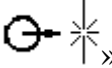

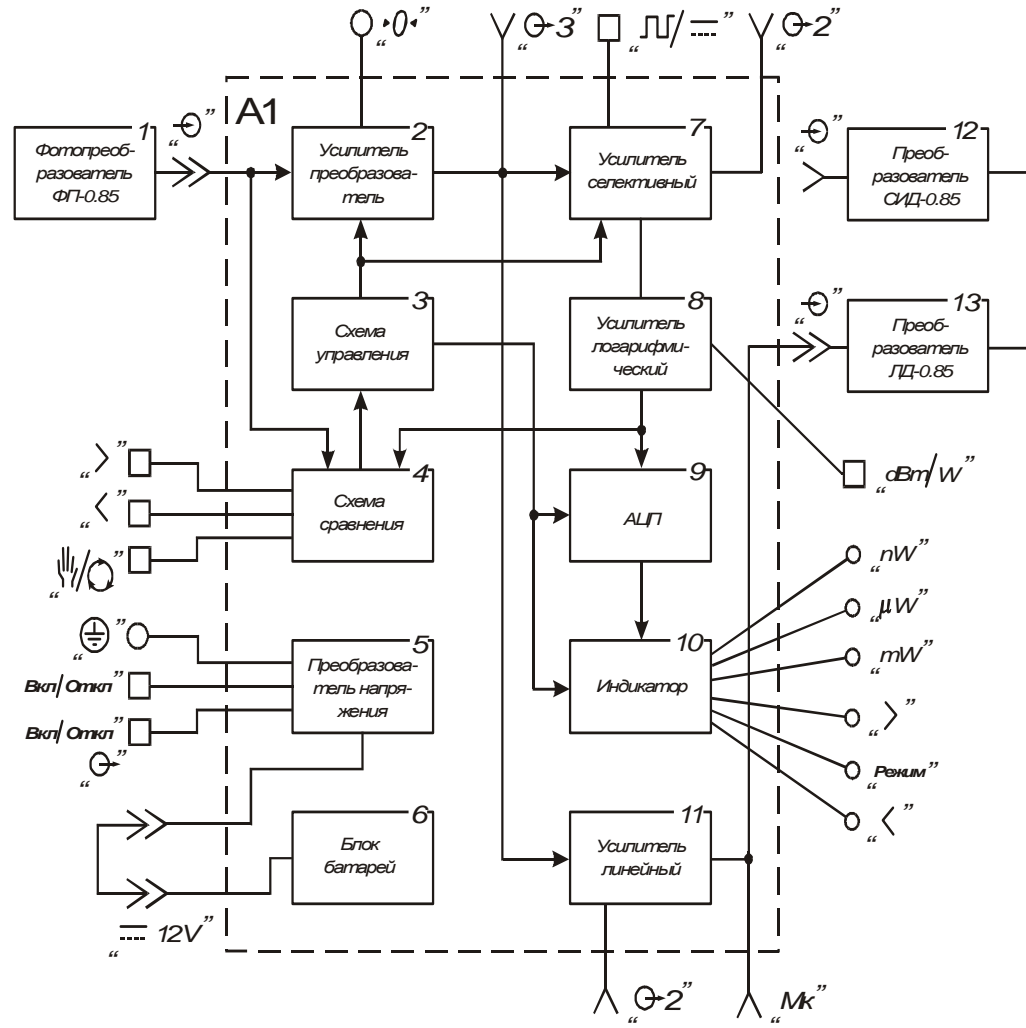

Оптический сигнал с выхода «» преобразователя СИД или ЛД поступает в световодную линию. Оптический сигнал, поступающий на вход «» фотопреобразователя (1), преобразуется фотодиодом в электрический и подается на усилитель - преобразователь (2), на выходе которого



Рисунок 3.1 – Функциональная схема прибора ОМКЗ-76



вырабатывается напряжение, пропорциональное мощности оптического излучения.

Динамический диапазон измерения мощности обеспечивается переключением поддиапазонов усилителя-преобразователя по сигналам, поступающим со схемы управления (3).

Управляющие сигналы схемы управления вырабатываются при поступлении команды со схемы сравнения (4), контролирующей уровень сигнала в пределах 0,1-1 В в автоматическом режиме выбора диапазонов () или с переключателей «<>» и «>» в ручном («рука»).

С выхода усилителя входное напряжение исследуемого сигнала поступает на переключатель «  /  », обеспечивающий работу прибора в режимах измерения либо средней мощности непрерывного оптического сигнала, либо мощности оптического сигнала прямоугольно-модулированного по интенсивности сигналом с частотой 270 Гц для обеспечения возможности измерения потерь в оптических узлах при наличии фоновой засветки. В режиме измерения мощности модулированного оптического сигнала, исследуемый сигнал поступает на усилитель селективный (7), который содержит высокодобротный усилительный каскад с переключаемым коэффициентом усиления и измерительный выпрямитель. На выходе усилителя селективного формируется постоянное напряжение, уровень которого пропорционален мощности модулированного оптического сигнала и динамический диапазон ограничен одной декадой.

Переключение коэффициента усиления в высокодобротном усилительном каскаде осуществляется по сигналам, поступающим с устройства управления. В режиме измерения мощности непрерывного оптического сигнала усилитель селективный исключен из цепи, по которой проходит исследуемый сигнал. Усилитель логарифмический (8) включается в измерительную цепь при отсчете уровня мощности оптического сигнала относительно уровня 1 мВт в единицах «дБм». С контактов переключателя «дБм/Вт» сигналы поступают на дифференциальные входы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (9).

На выходах АЦП формируется 35-разрядный цифровой код, значение которого соответствует измеряемой оптической мощности в режиме «Вт», либо в режиме «дБм» в зависимости от положения переключателя «dwt/w».

С АЦП цифровой код поступает на устройство индикации (10), где отображается на жидкокристаллическом цифровом табло. Устройство индикации содержит также группу светодиодных индикаторов режимов работы оптического тестера и электронную схему управления работой табло и индикаторов.

Устройство управления, входящее в состав прибора, обеспечивает автоматический выбор диапазона измерения мощности оптического сигнала и включения соответствующих индикаторов, формирует прямоугольный модулирующий электрический сигнал для управления работой преобразователей СИД и ЛД.

Усилитель линейный (11) обеспечивает возможность осуществления телефонной связи по волоконно-оптической линии.

Подключение внешнего микрофона осуществляется через соответствующий разъем на задней панели индикации.

Рассмотрим работу основных функциональных блоков подробнее с использованием принципиальных схем на примере упрощенной функциональной схемы тестера, изображенной на рисунке 2.2.

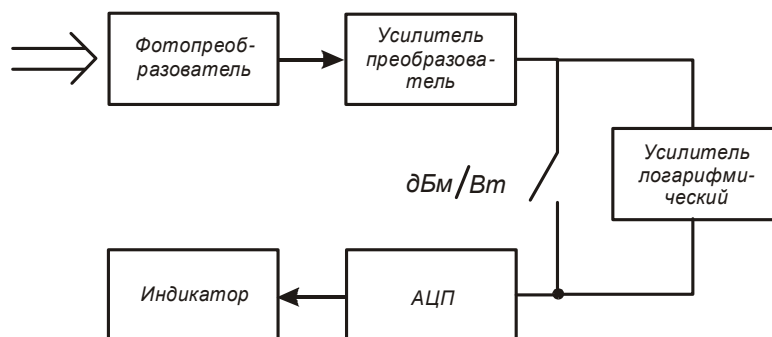


Рисунок 3.2 – Упрощенная функциональная схема оптического тестера

Схема состоит из фотоприемника, преобразующего оптическое излучение в электрический сигнал, линейного усилителя – преобразователя, логарифмического усилителя и блока индикации.

Один из вариантов принципиальной схемы усилителя преобразователя, включающей фотопреобразователь, приведена на рисунке 3.3.

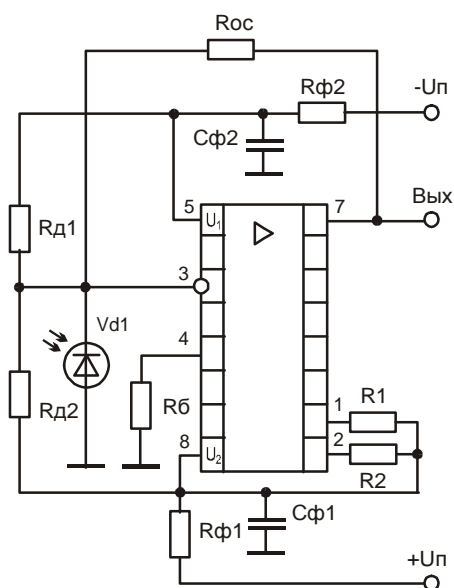


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема усилителя-преобразователя

Схема работает следующим образом. С фотодиода VD1 ток, эквивалентный входному оптическому сигналу, подается на инвертирующий вход операционного усилителя D1, который охвачен цепью обратной связи R_{oc} . Операционный усилитель (ОУ) в данном случае представляет собой усилитель тока, который преобразует малый входной ток фотодиода в напряжение. Для устранения влияния тока смещения (вызванного асимметрией реальной схемы ОУ) необходимо, чтобы сопротивление обоих входов (инвертирующего и неинвертирующего) были равны по отношению к общему проводу. С этой целью между неинвертирующим входом и общим проводом включается балансное сопротивление R_b . Как известно, реальный ОУ имеет при нулевом сигнале некоторое постоянное напряжение, обусловленное разбалансом внутри схемы. Поэтому введена внешняя балансировка нуля, которая осуществляется резисторами R_1 и R_2 , так как это смещение, по сути, определяет основную погрешность прибора. Сопротивления $R_{д1}$ и $R_{д2}$ составляют делитель напряжения, необходимый для обеспечения режима смещения на фотодиоде. Наличие напряжения смещения позволяет повысить чувствительность фотоприемника. Элементы $R_{ф1}$, $R_{ф2}$, $C_{ф1}$ и $C_{ф2}$ представляют собой фильтры по питанию.

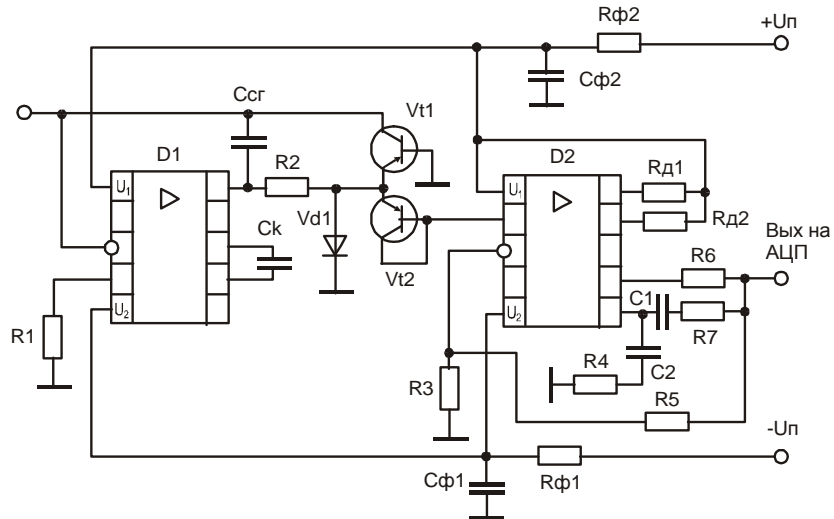


Рисунок 3.4 – Принципиальная схема усилителя логарифмического

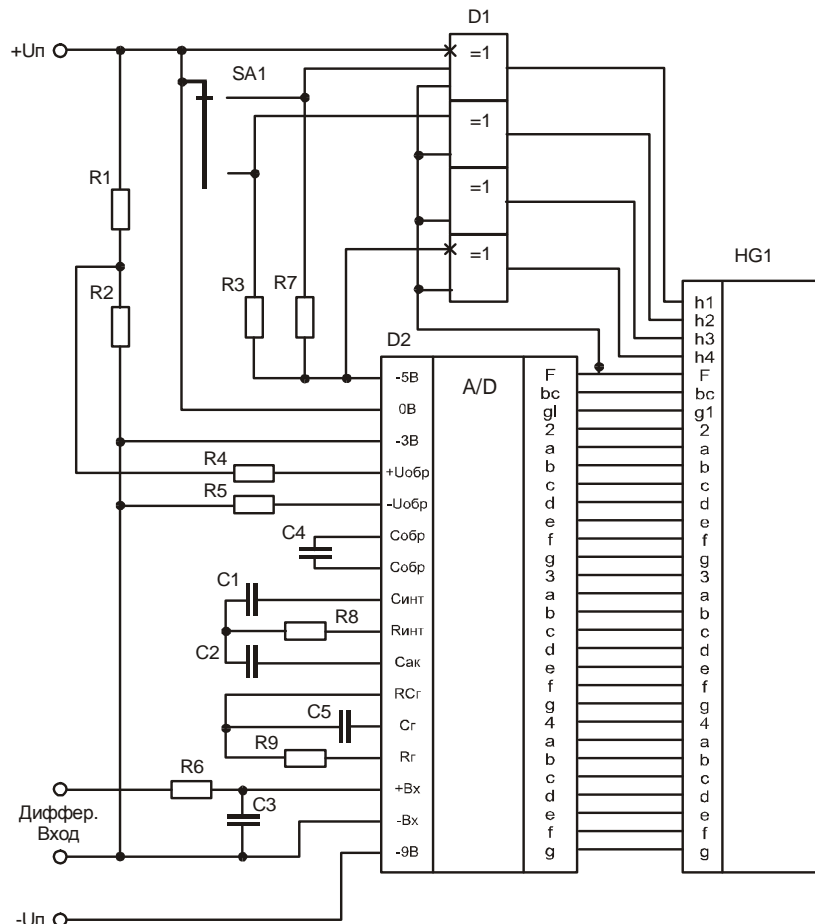


Рисунок 3.5 – Принципиальная схема цифрового блока

Далее сигнал поступает на контакты переключателя «дБм/Вт» и на усилитель логарифмический (УЛ). УЛ включается в измерительную цепь при отсчете уровня мощности оптического сигнала относительно уровня 1

мВт в единицах «дБм». Принципиальная схема УЛ может быть построена по схеме, изображенной на рисунке 3.4. Для получения логарифмической характеристики усилителя необходимо иметь устройство с логарифмической характеристикой и включить его в цепь обратной связи ОУ. Устройством, обладающим такой характеристикой, является полупроводниковый р-п переход. В предложенной схеме логарифмическую характеристику обеспечивают р-п переходы транзисторов VT1 и VT2. Для улучшения характеристики логарифмического преобразования применен диод VD1. Усилитель, выполненный на микросхеме D2, необходим для регулировки масштаба логарифмического преобразования – 100 мВт на декаду изменения входного напряжения. Коэффициент усиления ОУ D2 определяется величиной сопротивления R3. С контактов переключателя «дБм/Вт» сигналы поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). С АЦП цифровой код поступает на устройство индикации, где отображается на цифровом табло. Вариант схемы цифрового блока, включающего АЦП и цифровое табло приведен на рисунке 3.5. На дифференциальные входы АЦП подается напряжение эквивалентное входному оптическому сигналу. Аналого-цифровой преобразователь отцифровывает входное напряжение и формирует на выходах цифровой код, значение которого соответствует измеряемой оптической мощности.

С АЦП цифровой код поступает на четырех разрядный жидкокристаллический индикатор. Местоположением запятой на цифровом табло управляют два логических элемента «исключающее или» (микросхема D1). На объединенные входы ее элементов подан сигнал с частотой около 60Гц с выхода F микросхемы D2. При логических нулях на других входах элементов они повторяют этот сигнал, напряжение на электродах запятой синфазно напряжению общего электрода и запятые погашены. Если на вход одного из элементов D1 подается логическая «1», этот элемент начинает инвертировать сигнал 60Гц, напряжение на электроде соответствующей запятой и на общем электроде становятся противофазными, запятая высвечивается. Резистор R9 и конденсатор C5 являются частотоподающими элементами генератора. Конденсатор C1 и резистор R8 - элементы интегратора, конденсатор C2 работает в цепи автокоррекции. C4 служит для запоминания образцового напряжения. Цепь R6, C3 служит для фильтрации входного напряжения АЦП.

4. Указания по эксплуатации прибора

4.1 Перед началом работы ознакомьтесь с расположением и назначением органов управления и контроля на передней задней и панелях (см. таблицу 3.1).

4.2 Прибор обеспечивает следующие режимы работ:

измерение в единицах «Вт» и «дБм» средней мощности непрерывного и прямоугольно модулированного частотой 270 Гц оптического излучения на длине волны 0.85 мкм;

излучение непрерывного немодулированного оптического сигнала;


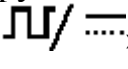

излучение оптического сигнала прямоугольно модулированного частотой 270 Гц;

измерение оптических потерь в световодных трактах.














4.3 Необходимый режим измерения мощности излучения устанавливается кнопками переключения режимов, расположенного на передней панели прибора.

При измерении мощности в единицах «дБм» на индикаторе прибора индицируется значение мощности излучения P [дБм], численно равное уровню измеряемой мощности в децибелах по отношению к уровню мощности 1 мВт. Соотношение между мощностью излучения в единицах «дБм» P [дБм] и P [Вт] определяется формулой:

$$P[\text{дБм}] = 10 \lg \left(\frac{P[\text{Вт}]}{10^{-3} \text{Вт}} \right). \quad (4.1)$$

4.4 Подсоединение источника излучения СИД и ЛД к фотопреобразователю ФП производится оптическим кабелем с диаметром наконечника 2.5 мм. Ручкой «» компенсируется температурный уход нулевой точки отсчета при нажатой кнопке «» и отжатой кнопке «». Сигнал на вход фотопреобразователя подается после установки нуля.

4.5 Перед началом работы следует проверить надежность заземления. Заземление производить раньше других присоединений, отсоединение заземления – позже всех отсоединений. При использовании прибора совместно с другими приборами, в частности, с внешним источником питания, необходимо заземлить все приборы.

Обозначение органа управления	Назначение	Исходное положение
 Вкл  Откл	Кнопка - включение питания	
 ПИТАНИЕ	Индикатор - индикация разряда батарей	
 РЕЖ	Индикатор (Кнопка) - индикация (переключение измерения диапазонов) выхода вниз за диапазон измерения	
 mW, μ W, nW	Индикатор - индикация выхода в диапазон измерения Индикатор (Кнопка) - индикация (переключение измерения диапазонов) выхода вверх за диапазон измерения	
	Индикатор - индикация единиц измеряемой мощности	
	Ручка - установка нуля в приборе	Среднее
	Разъем - подключения кабелем "K5" ФП-0.85	Подключен
	Разъем - подключения кабелем "K4" СИД, ЛД	
ВКЛ/ОТКЛ 	Кнопка - переключение режима работ, включение источника излучения СИД, ЛД	ОТКЛ
	Кнопка - переключение диапазонов измерения: ручное и автоматическое	Произвольн.
	Кнопка - переключение режима работ: прямоугольно модулированное и немодулированное	Произвольн.
dBm/W	Кнопка - переключение режима измерения мощности в единицах "дБм" и "Вт"	Произвольн.
	Зажим измерительного заземления (задняя панель)	Подключен

4.6 При работе с преобразователем ЛД-0.85 не допускать прямого попадания в глаза излучения с выхода преобразователя или оптического кабеля, подключенного к преобразователю.

5. Порядок выполнения работы

5.1 Подготовка к работе

5.1.1 Присоедините прибор к внешнему источнику питания Б5-47, предварительно установив на передней панели источника питания выходное напряжение 12 В и потребляемый ток 0.5А.

5.1.2 Присоедините зажим заземления к корпусам источника питания и тестера (находится на задних панелях приборов).

5.1.3 Установите органы управления, настройки и подключения в исходное положение, приведенное в таблице 3.1.




5.2 Подготовка к проведению измерений


5.2.1 Подключите к блоку индикации кабелем «К5» фотопреобразователь ФП и кабелем «К4» преобразователь СИД или ЛД.



5.2.2 Включите внешний источник питания. Затем на оптическом тестере переключатель ПИТАНИЕ поставьте в положение ВКЛ, при этом должен включиться один из светодиодов индикатора режима измерений.

5.2.3 До проведения измерений прогрейте прибор в течение 15мин.

5.2.4 Опробуйте работу прибора по следующим признакам:

при положении «откл» переключателя режимов работ «Вкл/откл », нажатой кнопке «/ » и открытом оптическом входе фотопреобразователя, направленном на источник света, на цифровом табло прибора индицируются значение мощности излучения, попавшего в фотоприемник через входной разъем;

при включении о входному разъему фотопреобразователя ФП выхода преобразователя СИД или ЛД и положении ВКЛ кнопки «Вкл/откл » переключателя режима работ, на цифровом индикаторе индицируется значение мощности излучения, поступающей в фотоприемник с преобразователя СИД или ЛД;

при переключении кнопки «/ » значение мощности, индицируемое на цифровом табло, должно измениться примерно в 2 раза.

5.3 Проведение измерений



5.3.1 Подключите волоконный эталонный световод №1 к выходным разъемам излучателя СИД и фотопреобразователя ФП.

5.3.2 Произведите установку нуля (см. п.4.4).

5.3.3 Измерьте мощность излучения, поступающего в ФП в единицах «Вт» и «дБ/м», занесите данные в таблицу 5.1.

Таблица 5.1.

Тип изл.	№ каб.	Ед. изм.	Измеренная мощность				
СИД	1	Вт					
		дБ/м					
	2	Вт					
		дБ/м					
ЛД	1	Вт					
		дБ/м					
	2	Вт					
		дБ/м					

5.3.4 Подайте на вход СИД прямоугольно-модулированный сигнал, нажав кнопку «/ », и повторите п. 5.3.3.

5.3.5 Подключите волоконный световод с потерями №2 к выходным разъемам излучателя СИД и фотопреобразователя ФП.

5.3.6 Повторите пп. 5.3.3 - 5.3.4. Измерения для световода №2 проводить не менее 5 раз.

5.3.7 Вместо излучателя СИД подключить излучатель ЛД и проделать пп. 5.3.1 – 5.3.6.

5.3.8 После проведения измерений необходимо выключить оптический тестер и источник внешнего питания.

5.3.9 Произвести статистическую обработку экспериментальных данных и определить полное затухание излучения в волоконном световоде с потерями №2 по формуле (1.2).

6. Содержание отчета

6.1 Цель работы

6.2 Структурная схема установки с кратким описанием основных блоков.

6.3 Результаты экспериментов по пп.4.3.1 - 4.3.7.

6.4 Статистическая обработка экспериментальных данных.

6.6 Расчет затухания по формуле (1.2).

6.7 Выводы по результатам работы.

7. Контрольные вопросы

1. На чем основан двухточечный безобломный метод измерения затухания?
2. На чем основан принцип действия оптического тестера?
3. Объяснить назначение блоков по схеме электрической структурной прибора ОМКЗ-76.
4. Какие величины максимальной и минимальной мощности можно измерить оптическим тестером?
5. Как с помощью оптического тестера проверить исправность оптического волокна?

Список литературы

1. Мандель А.Е. Методы и средства измерения в волоконно-оптических линиях связи [Электронный ресурс]: Уч. пособие. - Электрон. текстовые дан. - Томск: ТУСУР, 2012. – 123 с. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/771>.
2. Бакланов И. Г. Тестирование и диагностика систем связи: научное издание.- М.: Эко-Трендз, 2006. - 268 с.
3. Современные проблемы волоконно-оптических линий связи: Справочник. Т. 4: Активные элементы и средства контроля ВОЛС. Под ред. В. Ф. Мышкина, В. А. Хана, А. В. Шмалько. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2005г. -371 с.