

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ**  
**БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ**  
**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**  
**им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**  
**(СПбГУТ)**

---

## **Защита от перехвата информации в направляющих линиях связи**

**Практикум по дисциплине**

**СПб ГУТ)))**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

**2021**

## Содержание

Тема 1	Конструкция и параметры направляющих систем электросвязи.....	4
Тема 2	Физические процессы в электрических направляющих системах связи.	5
Тема 3	Взаимные влияния в кабельных цепях.....	2
Тема 4	Измерения электрических линейных трактов.....	4
Тема 5	Защита сооружений связи от внешних электромагнитных влияний. ....	10
Тема 6.	Защита сооружений связи коррозии. ....	15
Тема 7.	Законы отражения и преломления света на границе раздела двух диэлектриков.....	17
Тема 8	Затухание в оптических волокнах. ....	18
Тема 9	Многомодовые оптические волокна. ....	22
Тема 10	Одномодовые оптические волокна.....	27
Тема 11	Пассивные оптические компоненты.....	30

# Тема 1 Конструкция и параметры направляющих систем электросвязи.

**Практическое задание:** изучить конструкции представленных образцов кабелей. Изучить правила маркообразования.

## Теоретические сведения

В зависимости от назначения, материала, конструкции, защитных покровов, емкости (количества жил — пар и четверок) все кабели маркируют начальными буквами наименований и цифрами.

Первые буквы маркировки обозначают область применения кабеля:

	Симметричные кабели		Коаксиальные кабели	
Магистральные	МК	магистральный кабель	КМ	коаксиальный магистральный или комбинированный магистральный
			МКТ	малогабаритный коаксиальный
Зоновые	ЗК	зоновый кабель	ВК	внутриобластной коаксиальный
Городские	Г	телефонный кабель	-	
Сельские	КС	кабель сельский	-	

Для коаксиальных кабелей существует еще марка КП - коаксиальный подводный кабель. Для симметричных комбинированных кабелей дальней связи далее указывается ДС.

Следующая буква маркировки для симметричного кабеля указывает тип изоляции: П – полиэтиленовая, С – кордельно-полистирольная (стирофлексная). Отсутствие данной буквы маркировки означает кордельно-бумажную изоляцию.

Затем для симметричного кабеля указывается тип влагозащитной оболочки: П – полиэтиленовая, А – алюминиевая, В - поливинилхлоридная (виниловая). Если тип влагозащитной оболочки не указан, подразумевается свинцовая оболочка.

Для телефонных кабелей перед типом изоляции может указываться тип скрутки в соответствии с п. 2.2 (парная скрутка не указывается). За типом скрутки может быть указано наличие у элементарных групп экрана (Э). Например, ТЗЭ – телефонный кабель звездной скрутки с экранированными четверками. В этом случае буквы маркировки, указывающие тип изоляции и влагозащитной оболочки смещаются на две позиции вправо.

Для коаксиальных кабелей за областью применения может быть указано наличие у коаксиальных пар экрана (Э). Для симметричных и коаксиальных кабелей далее указывается наличие гидрофобного заполнения (З) и наличие и тип брони и внешнего покрова.

После букв, определяющих марку кабеля, указываются цифрами:

- для симметричного кабеля: количество элементарных групп, количество жил в группе, диаметр жил;
- для коаксиального кабеля: количество коаксиальных пар.

Если в сердечнике кабеля имеются элементы разных конструкций, это указывается, например: 3×2 экр. ×1.4 + 15×4×0.8.

### 2.2.4.2. Маркировка оптических кабелей

СКО-	Д	П	С -	020А/004Н-	06-	А08×2/04×1/Н04×1	- Э2	-15		
СКО-	О	П	Т -	016Е-	01-				LS	
									Исполнение кабеля: НГ - не распространяющий горение; LS - с низким дымо- и газовыделением; HF - с пониженной коррозионной активностью продуктов дымо-	

									и газовыделения; FR – огнестойкое; Д – дугостойкое (стойкое к медленной электрокоррозии)
									Длительно-допустимая растягивающая нагрузка кабеля в кН
									Количество электрических жил в кабеле: от Э1 до Э8
									Распределение волокон в модулях (по 8 волокон типа А в двух модулях, 4 волокна типа А в одном модуле, 4 волокна типа Н в одном модуле)
									Число элементов сердечника: от 01 до 18
									Число и тип волокон: от 002 до 288 волокон. Типы: Е – одномодовое стандартное, А – одномодовое без водяного пика, Н – одномодовое с ненулевой смещенной дисперсией, С – одномодовое с отрицательной ненулевой смещенной дисперсией, D – одномодовое с ненулевой смещенной дисперсией, нормированной в диапазоне длин волн 1460—1625 нм, МА – многомодовое с диаметром сердцевины 50 мкм, МВ – многомодовое с диаметром сердцевины 62,5 мкм, MD – многомодовое с диаметром сердцевины 100 мкм
									Тип дополнительных внешних покровов: О – без дополнительных внешних покровов, Л – с гофрированной продольно наложенной стальной лентой и ПЭ оболочкой, Н – с гофрированной стальной лентой и оболочкой из пластмассы, не распространяющей горения, С – с однослойной броней из стальных проволок и ПЭ оболочкой, У – с усиленной однослойной броней из стальных проволок и ПЭ оболочкой, 2 – с двухслойной броней из стальных проволок и ПЭ оболочкой, М – с однослойной броней из стеклопластиковых стержней и ПЭ оболочкой, Т – с периферийными диэлектрическими силовыми элементами и ПЭ оболочкой.
									Тип оболочки: А – алюмополиэтиленовая, П – полиэтиленовая, Н – не распространяющая горение
									Конструкция сердечника: Д – повивный с диэлектрическим центральным силовым элементом, О – с использованием одиночной трубки
									Фирма-производитель ЗАО «Севкабель-Оптик»

Рис. 2.15. Пример маркировки оптических кабелей

Единых правил маркировки волоконно-оптических кабелей пока не существует. Производители придерживаются индивидуальной системы маркировки своей продукции. Обычно марка представляет собой буквенно-цифровой индекс, в котором тем или иным способом зашифрованы сведения о конструкции кабеля и его основных характеристиках. Этот индекс вместе с метровыми метками наносится на внешнюю защитную оболочку.

## Тема 2 Физические процессы в электрических направляющих системах связи.

Провести расчет первичных и вторичных параметров передачи направляющей системы электросвязи, определить максимальное расстояние передачи для системы передачи.

Варианты приведены в таблице:

1 циф ра	Аппарату ра	Кодирова ние	Скорость передачи,	Затухание на частоте	Тип кабеля		Диаметр жилы			
1	PGS-4 Ericsson	xDSL, 2B1Q	320 кбит/с	42 дБ / 80 кГц	ТПП	ТГ	0,4	0,5	0,6	0,7
2	PGS-8 Ericsson	xDSL, 2B1Q	576 кбит/с	42 дБ / 150 кГц	ТПП	ТГ	0,4	0,5	0,6	0,7
3	MultiGam 2000	xDSL, 2B1Q	160 кбит/с	42 дБ / 40 кГц	ТПП	ТГ	0,4	0,5	0,6	0,7
4	ИКМ-120		8 Мбит/с	55 дБ 2048	МКСАП	МКТС-4		0,8	0,9	1,2
5	WATSON 3 Schmid	CAP-64 (2 пары)	2,048 Мбит/с	42 дБ / 120 кГц	МКСАП	КСПП		0,8	0,9	1,2
6	Морион 30А	HDB3	2048 кбит/с	1024 кГц/42 дБ	МКСАП	ЗКП-1x4		0,8	0,9	1,2
7	АЦУ 5С	2B1Q	320 кбит/с	42 дБ / 40 кГц	ТПП-10x2	КСПП-1x4	0,4	0,5	0,6	0,7
8	FlexGain PCM411/1 2	2B1Q	784 кбит/с	31 дБ / 150 кГц	ТПП-10x2	КСПП-1x4	0,4	0,5	0,6	0,7
9	ИКМ-30		до 2048 кбит/с		МКСАП	МКТС-4		0,8	0,9	1,2
0	UTP		FE 100 Мбит/с				24 AWG			

### Тема 3 Взаимные влияния в кабельных цепях

Задание: Изучить методы уменьшения взаимных влияний между кабельными цепями.

Экранирование электрических цепей, подверженных электромагнитным помехам, наиболее эффективный способ их защиты. Экраны защищают кабельные цепи и от внешних и от взаимных помех.

Экраны бывают разделительные и внешние. Для уменьшения взаимных влияний используют разделительные экраны, которые увеличивают переходное затухание на ближний конец  $A_0$  и защищенность на дальнем конце  $A_{3l}$ .

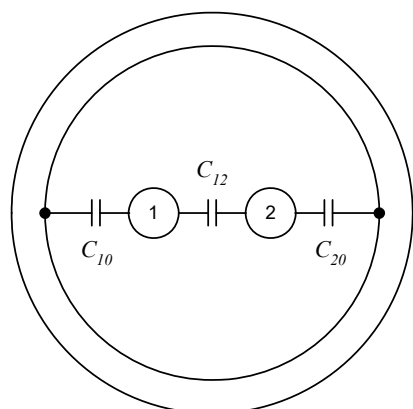


Рис. 4.15. Симметричная пара в экране

Экран оказывает влияние на параметры экранируемых симметричных цепей. Это явление называют реакцией экрана. Из-за наличия заземленного экрана возрастают емкости всех экранируемых элементов относительно земли (экрана) (рис.4.15). Это приводит к тому, что:

1. Существенно возрастает рабочая емкость, так как параллельно рабочей емкости  $C_{12}$  присоединяются две последовательно соединенные емкости  $C_{10}$  и  $C_{20}$  между проводниками пары и экраном

$$C_e = \frac{\pi \cdot \epsilon_a}{\ln\left(\frac{a - r_a}{r_a} \cdot \frac{D_e^2 - a^2}{D_e^2 + a^2}\right)}, \quad (4.13)$$

где  $\epsilon_a$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость изоляции,  $a$  – расстояние между проводниками,  $r_a$  – радиус проводника,  $D_e$  – диаметр экрана.

2. Изменяется (обычно уменьшается) индуктивность  $L$ , что обусловлено потерями за счет вихревых токов в экране, а также магнитным полем этих токов, которое искажает исходное магнитное поле:

$$L_e = \frac{\mu_0}{\pi} \cdot \ln \left( \frac{a - r_a}{r_a} \cdot \frac{D_e^2 - a^2}{D_e^2 + a^2} \right) \quad (4.14)$$

3. Возрастает активное сопротивление цепи на величину, которую для высоких частот при  $t_3 > \theta_3$  (толстые экраны) можно рассчитать по выражению:

$$\Delta R_e = \frac{8 \cdot a^2}{\pi \cdot \sigma_e \cdot D_e^3 \cdot \theta_e}, \quad (4.15)$$

где  $\sigma_e$  – проводимость материала экрана,  $\theta_e$  – глубина проникновения для экрана.

Таким образом, экран изменяет величины всех вторичных параметров кабельной цепи и, в частности, коэффициента затухания. Для коэффициента затухания в диапазоне ВЧ справедливо:

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} = \alpha_m + \alpha_d$$

В преимущественно используемом для связи диапазоне преобладают потери в металле  $\alpha_m > \alpha_d$ , а эта составляющая возрастает из-за влияния экрана.

## Тема 4 Измерения электрических линейных трактов.

Практическое задание: изучить работу импульсного прибора РЕЙС-205, провести измерения на участке кабеля

Измерения на импульсном токе.

### Структурная схема импульсного прибора. Принцип измерений.

Импульсные измерения основаны на зондировании двухпроводной цепи короткими импульсами напряжения и регистрации обратного потока. Упрощенная схема импульсного прибора (рис. 5.12) содержит: генератор коротких импульсов (ГИ), дифференциальную систему (ДС), усилитель напряжения обратного потока (УС), устройство отображения (УО) и блок развертки (БР).

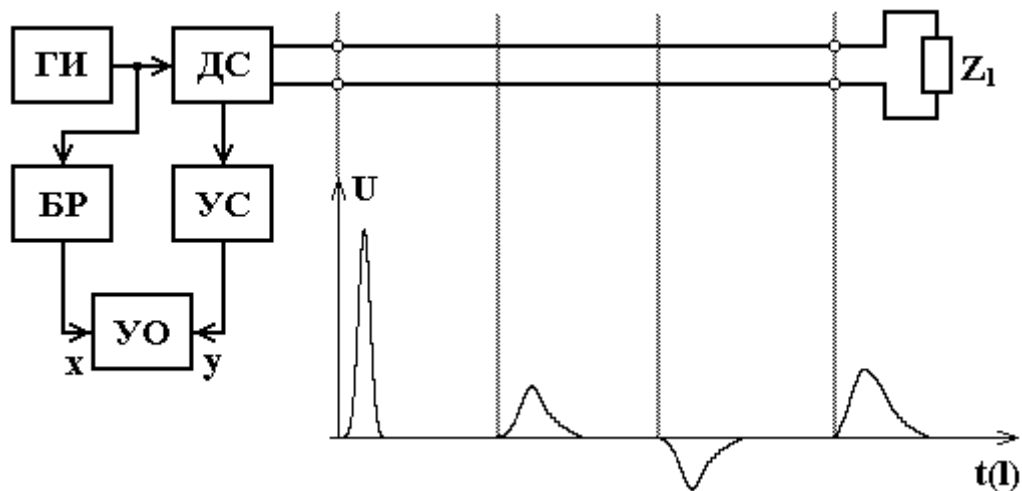


Рис. 5.12. Упрощенная схема импульсного прибора

Импульсы от ГИ через ДС поступают в исследуемую цепь. Обратный поток, образующийся на различных неоднородностях, через ДС поступает на УС и затем на УО, в качестве которого используется электронно-лучевая трубка или жидкокристаллическая панель, на экране которых наблюдают рефлектограмму (по терминологии МККТТ G.601 - эхограмму), которую не вполне корректно иногда называют импульсной характеристикой. Развертка УО запускается зондирующими импульсами. Импульсные приборы (ИП) или рефлектометры (в иностранной литературе их называют рефлектометрами во временной области TIME DOMAIN



REFLECTOMETER или сокращенно TDR) позволяют определить характер неоднородности, расстояние до нее и количественную характеристику - коэффициент отражения от неоднородности.

Образование рефлектограммы линии легко проследить по диаграмме, приведенной на рис. 5.13. Здесь осью ординат является ось расстояния, а осью абсцисс – ось времени.

В левой части рисунка показана кабельная линия с муфтой и коротким замыканием, а в нижней части – рефлектограмма этой кабельной линии.

Анализируя рефлектограмму линии, оператор получает информацию о наличии или отсутствии в ней повреждений и неоднородностей.

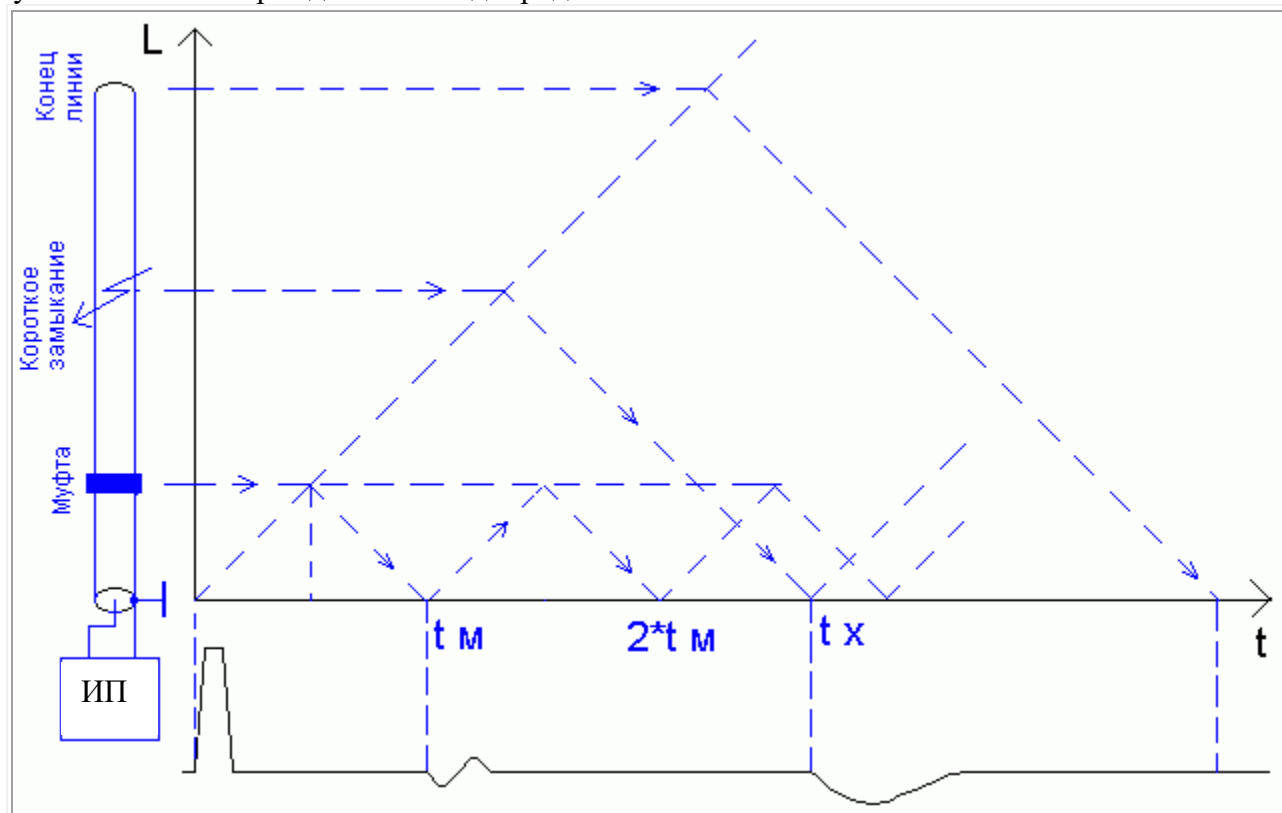


Рис. 5.13. Получение рефлектограммы

Например, по приведенной выше рефлектограмме можно сделать несколько выводов.

1. На рефлектограмме кроме зондирующего импульса есть только два отражения: отражение от муфты и отражение от короткого замыкания. Это свидетельствует о хорошей однородности линии от начала до муфты и от муфты до короткого замыкания.

2. Выходное сопротивление рефлектометра согласовано с волновым сопротивлением линии, так как переотраженные сигналы, которые при отсутствии согласования располагаются на двойном расстоянии, отсутствуют.

3. Повреждение имеет вид короткого замыкания, так как отраженный от него сигнал изменил полярность.

4. Короткое замыкание полное, так как после отражения от него других отражений нет.

5. Линия имеет большое затухание, так как амплитуда отражения от короткого замыкания много меньше, чем амплитуда зондирующего сигнала.

### **Отражения от неоднородностей различных типов.**

Различают следующие виды неоднородностей:

- **концевые**, обусловленные рассогласованием по входу и выходу цепи;
- **стыковые**, обусловленные рассогласованием в стыках строительных длин имеющих разное волновое сопротивление;
- **внутренние**, обусловленные изменениями волнового сопротивления, возникающими из-за конструктивных неоднородностей в строительной длине.

Неоднородности могут быть сосредоточенными (точечными) и распределенными.

Сосредоточенные неоднородности могут быть классифицированы как продольные и поперечные, а также могут быть разделены на резистивные, емкостные и индуктивные. К распределенным неоднородностям можно отнести кабельные вставки с отличающимся волновым сопротивлением, а также кабель замкший на некотором расстоянии.

Коэффициент отражения от конца линии с волновым сопротивлением  $Z_v$ , нагруженной на произвольное сопротивление  $Z_L$  равен:

$$r_L = \frac{Z_L - Z_v}{Z_L + Z_v}. \quad (5.29)$$

Для линии разомкнутой на конце (режим холостого хода)  $r_L = 1$ , а для короткозамкнутой линии  $r_L = -1$ . Т.е. в обоих этих случаях отраженный импульс имеет максимальную амплитуду и сохраняет форму падающего импульса. Замыкая и размыкая конец линии, и наблюдая отраженный сигнал, изменяющий при этом полярность, можно убедиться, что импульс действительно отражен от конца линии.

Коэффициент отражения от стыка двух линий с разными волновыми сопротивлениями равен:

$$r = \frac{Z_{v2} - Z_{v1}}{Z_{v2} + Z_{v1}}. \quad (5.30)$$

Коэффициент отражения от продольной резистивной неоднородности (омической асимметрии) с сопротивлением  $R_p$  равен:

$$r = \frac{R_p}{R_p + 2 \cdot Z_v}. \quad (5.31)$$

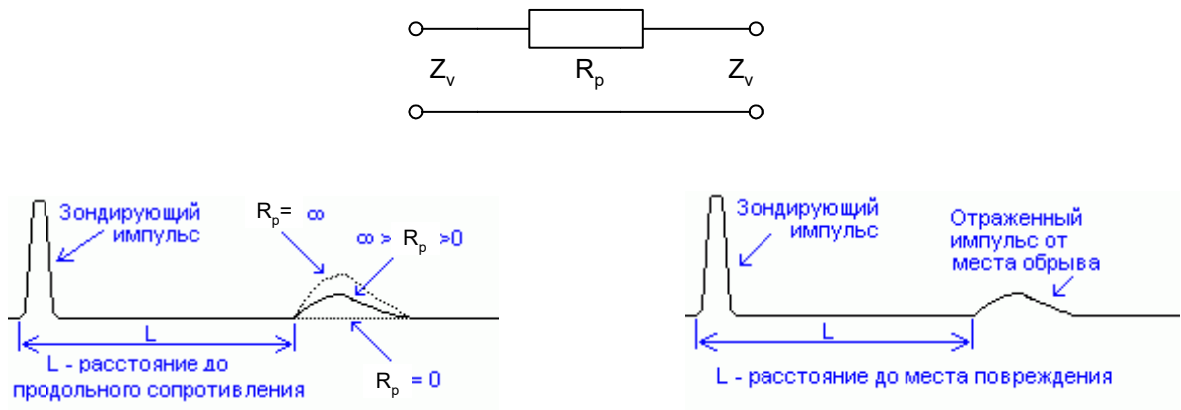


Рис. 5.14. Отражение от омической асимметрии

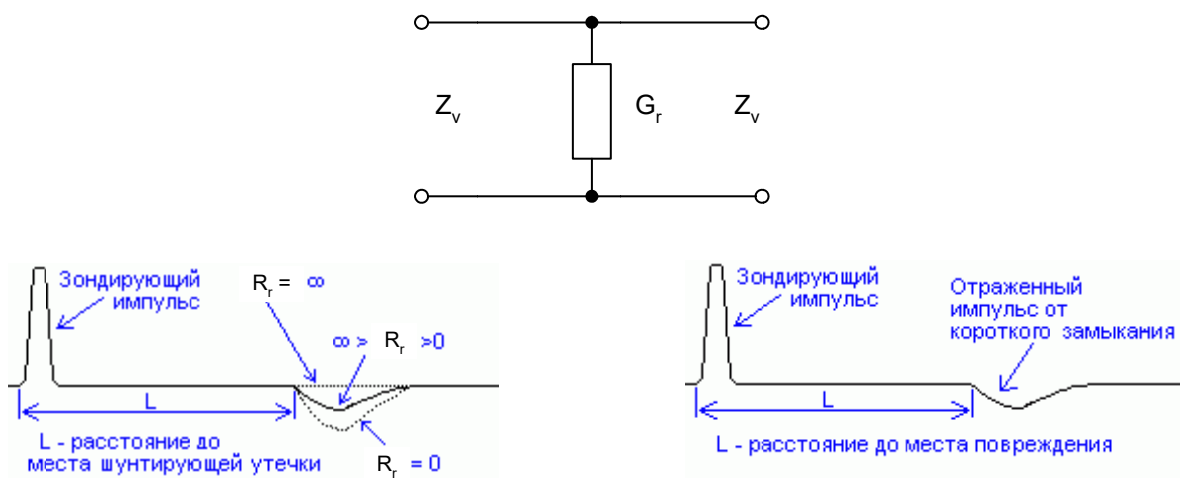
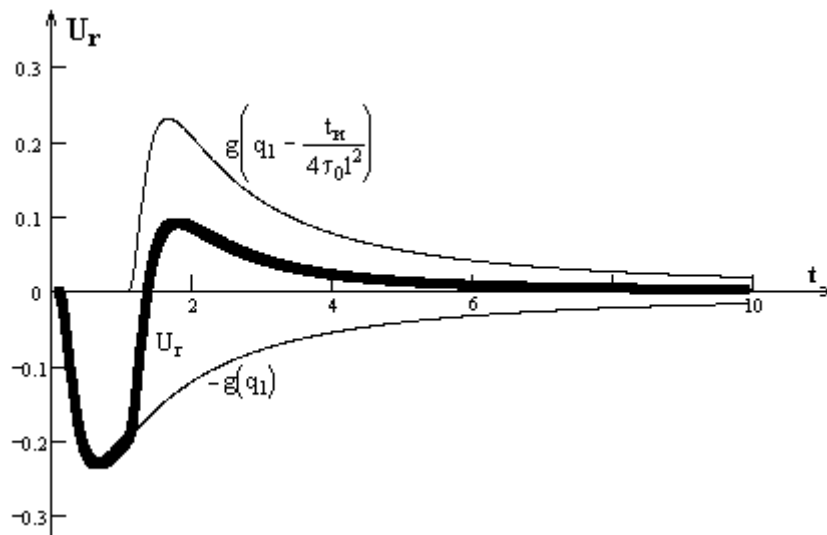


Рис. 5.14. Отражение от поперечной резистивной неоднородности

Коэффициент отражения от поперечной резистивной неоднородности с проводимостью  $G_r$  равен:

$$r = -\frac{G_r}{G_r + 2/Z_v} \tag{5.32}$$

Особую роль в импульсных измерениях играют емкостные неоднородности, (слайд) которые возникают в местах расположения муфт, на замкших участках, в местах высокоомного подключения к линии, например, при несанкционированном доступе. Форма сигнала, отраженного от такой неоднородности показана на рис. 5.15.



**Рис. 5.15. Форма сигнала отраженного от емкостной неоднородности**

**Определение расстояния до неоднородности.**

Одним из основных назначений импульсных приборов (ИП) является определение расстояний до повреждений и измерение длины кабеля. В ИП измеряется временной интервал между зондирующим импульсом и отраженным импульсом. При этом погрешность горизонтальной шкалы современных цифровых ИП при измерении времени задержки составляет 0.1-0.01%. Однако реализовать такую погрешность при измерении расстояний очень сложно из-за методических погрешностей измерения. Одна из погрешностей связана с переходом от измеренного значения временного интервала  $t$  к расстоянию  $l$

$$l = V \cdot t / 2 = c \cdot t / (2\gamma) \quad (5.33)$$

Где  $c$  и  $V$  - скорости распространения электромагнитных волн в вакууме и в линии, соответственно;  $\gamma = c/V = \chi\sqrt{\varepsilon}$  - коэффициент укорочения;  $\chi$  - коэффициент укрутки;  $\varepsilon$  - диэлектрическая проницаемость изоляции.

Коэффициент укорочения в общем случае зависит от частоты, а приведенная для  $\gamma$  формула справедлива только для высоких частот. Этой зависимостью можно пренебречь только в том случае, когда спектр зондирующего сигнала сосредоточен в области высоких частот, а частотные искажения измеряемой цепи в этой области незначительны. Это условие выполняется только для строительных длин коаксиальных пар при длительности зондирующих импульсов 10 - 20 нс.

Практически неопределенность скорости для коаксиальных пар составляет 1-2 %, а для симметричных пар она существенно больше. С целью повышения точности измерения расстояния обычно рекомендуется калибровка ИП по такому же кабелю известной длины.

При измерениях на кабелях большей длины возникает дополнительная погрешность измерения расстояния, обусловленная неопределенностью положения точек отсчета положения зондирующего и отраженного импульсов на рефлектограмме. Это связано с увеличением затухания измеряемой цепи, расширением и искажением отраженного импульса. Фронт отраженного импульса затягивается и возникает погрешность отсчета  $\Delta l$ . В таблице 5.6 приведены значения уширения отраженного импульса  $\Delta t$  (ширины импульсной характеристики на уровне половины амплитуды) и относительного смещения  $\Delta t/t$  вершины отраженного импульса относительно расчетного значения его задержки.

Реально погрешность определения расстояния изучена недостаточно полно. В описаниях ИП указано, что для отсчета расстояния до отражения необходимо совместить передний фронт отраженного импульса с отсчетной рисккой или курсором. Однако передний фронт импульса имеет некоторую протяженность иногда значительную. При этом в описаниях четко не оговаривается, с какой точкой необходимо совместить курсор.

## Тема 5 Защита сооружений связи от внешних электромагнитных влияний.

Задание: рассмотреть источники электромагнитных влияний, провести анализ схемы сближения с ЛЭП или РЖД

Электрические помехи от ЛЭП или ЭЖД могут возникнуть в изолированных от земли проводах ВЛС. Однако при наличии гальванической связи с землей проводов ВЛС и сравнительно большом расстоянии между источником помех и ВЛС электрическими помехами можно пренебречь. На кабельные линии связи (КЛС) за счет экранирующего действия металлической влагозащитной оболочки или экранов КЛС, а также земли для кабелей подземной прокладки электрические помехи не оказывают влияния.

### 5.3.2. Магнитные помехи

Большую опасность для ЛС представляют магнитные влияния. Опасные магнитные влияния создают линии ЭЖД в нормальном и ЛЭП в аварийном режимах. В проводах ЛС идущих параллельно проводу с большими помехонесущими токами  $I_n$  возникает за счет магнитного поля продольная ЭДС

$$E_n = \omega \cdot m \cdot I_n \cdot l \cdot S_k \cdot S_T, \quad (5.4)$$

где  $\omega$  - круговая частота помехонесущего тока,

$m$  – коэффициент взаимной индукции (магнитная связь),

$S_k$  – коэффициент экранирования металлической влагозащитной оболочки для магнитного поля,

$S_T$  – коэффициент экранирования тросов и (или) рельсов ( $S_T=0.4-0.6$ ).

При отсутствии тросов и рельсов надо принять  $S_T=1$ .

Для коэффициента взаимной индукции между однопроводной влияющей линией и проводником кабеля проложенного в земле справедливо

$$m = \left( \ln \frac{1.14}{k \cdot a} + 1 \right) \cdot 10^{-4}, \frac{\Gamma H}{км}, \quad (5.5)$$

где  $a$  – расстояние между параллельными проводами ЛЭП и КЛС,

$k = \sqrt{\omega \cdot \mu_3 \cdot \sigma_3}$  - коэффициент вихревых токов для земли,

$\mu_3$  и  $\sigma_3$  – абсолютная магнитная проницаемость и проводимость Земли, соответственно.

Зависимость коэффициента взаимной индуктивности от расстояния между влияющей и подверженной влиянию линиями показана на рис. 5.11.

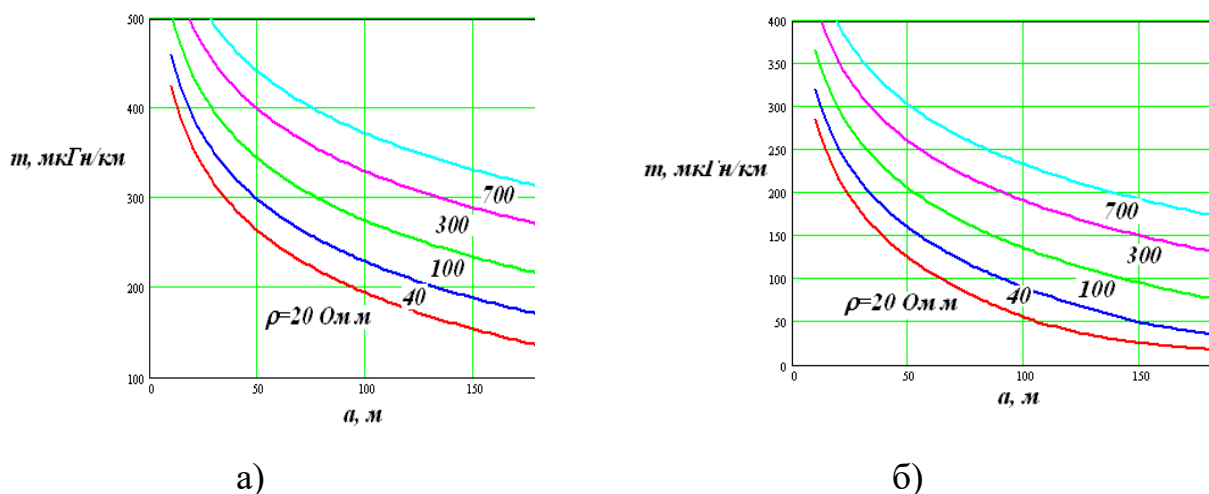


Рис.5.11. Зависимости коэффициента взаимной индуктивности от расстояния между цепями на частоте 50 Гц (а) и 800 Гц (б)

В случае сложной трассы она разбивается на отдельные участки (рис.5.12). Причем выделяются участки длиной  $l_1$ , где влияющая и подверженная влиянию линии идут параллельно на расстоянии  $a_0$  и  $a_3$ . Участки косо сближения разбиваются на отдельные участки с минимальным  $a_1$  и максимальным сближением  $a_2$ . Длина 1 участка косо сближения определяется из условия  $a_2/a_1 < 3$ , а в качестве среднего сближения для 1 участка принимают величину  $a_{31} = \sqrt{a_1 \cdot a_2}$ . Для 2 участка косо сближения среднее сближение будет равно  $a_{32} = \sqrt{a_2 \cdot a_3}$ . Продольная ЭДС помех на протяженном участке определяется как сумма ЭДС на  $N$  отдельных участках сближения

$$E_n = \omega \cdot I_n \cdot \sum_{i=0}^{N-1} m_i \cdot l_i \cdot S_{ki} \cdot S_{Ti} \quad (5.6)$$

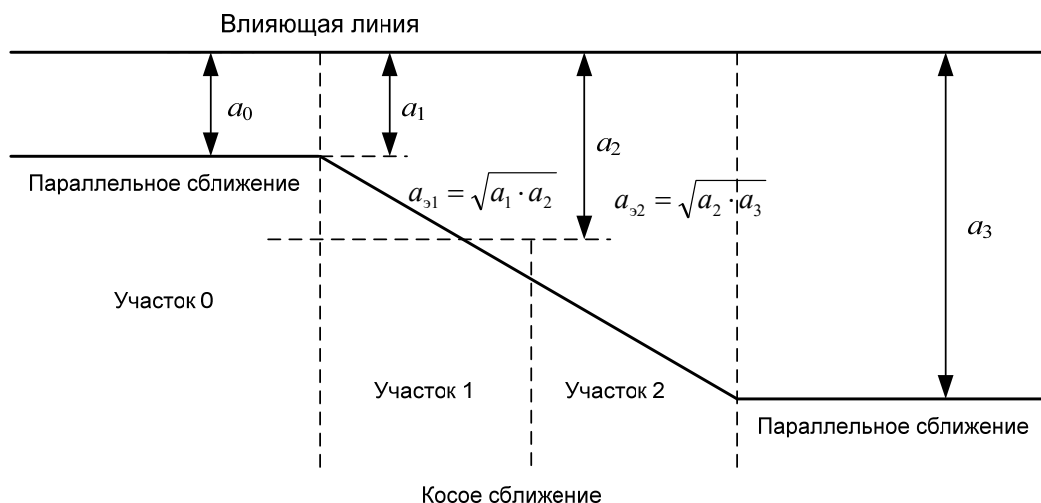


Рис. 5.12. Схема трассы влияющей и подверженной влиянию линии.

Магнитные помехи возрастают с увеличением частоты  $\omega$ , помехонесущего тока  $I_n$ , длины сближения  $l$  и с уменьшением сближения  $a_3$ . Однако надо иметь в виду, что с увеличением частоты  $\omega$  уменьшаются коэффициент магнитной индукции  $m$ , коэффициент экранирования кабеля  $S_k$ ,  $S_T$  – коэффициент экранирования тросов или рельсов. В связи с этим магнитное влияние в целом с увеличением частоты для КЛС уменьшается, а для ВЛС может даже возрастать.

Расчет опасных влияний от ЛЭП обычно проводится для частоты  $f=50 \text{ Гц}$  для аварийных режимов работы ЛЭП. В качестве помехонесущего тока в аварийном режиме выбирают ток короткого замыкания на землю, который можно оценить, зная напряжение на проводе относительно земли  $U_\phi$ , удельное сопротивление провода  $R_0$  на единицу длины и расстояние от подстанции  $l_x$  до короткого замыкания.

$$I_n = I_{кз} = \frac{U_\phi}{R_0 \cdot l_x}. \quad (5.7)$$

Для расчета продольной ЭДС, возникающей в цепи кабеля связи при коротком замыкании фазного провода ЛЭП необходимо учитывать конкретную схему влияний. На рис.5.13 приведена упрощенная схема взаимного расположения ЛЭП и кабеля связи. Трасса ЛЭП в схеме представлена прямой линией, а трасса кабеля отрезками прямых линий. Предполагается, что ЛЭП передает энергию вдоль оси  $l$



графика зависимости тока короткого замыкания от расстояния, а короткое замыкание произошло на расстоянии  $l_x$  от передающей подстанции. Участок трассы, на котором возникают наведенные помехи, можно разделить на два длиной  $l_1$  с шириной сближения  $a_1$  и длиной  $l_x - l_1$  с эквивалентной шириной сближения  $\sqrt{a_1 \cdot a_x}$ . Расчет продольной ЭДС для данного примера может быть проведен по выражению (5.6).

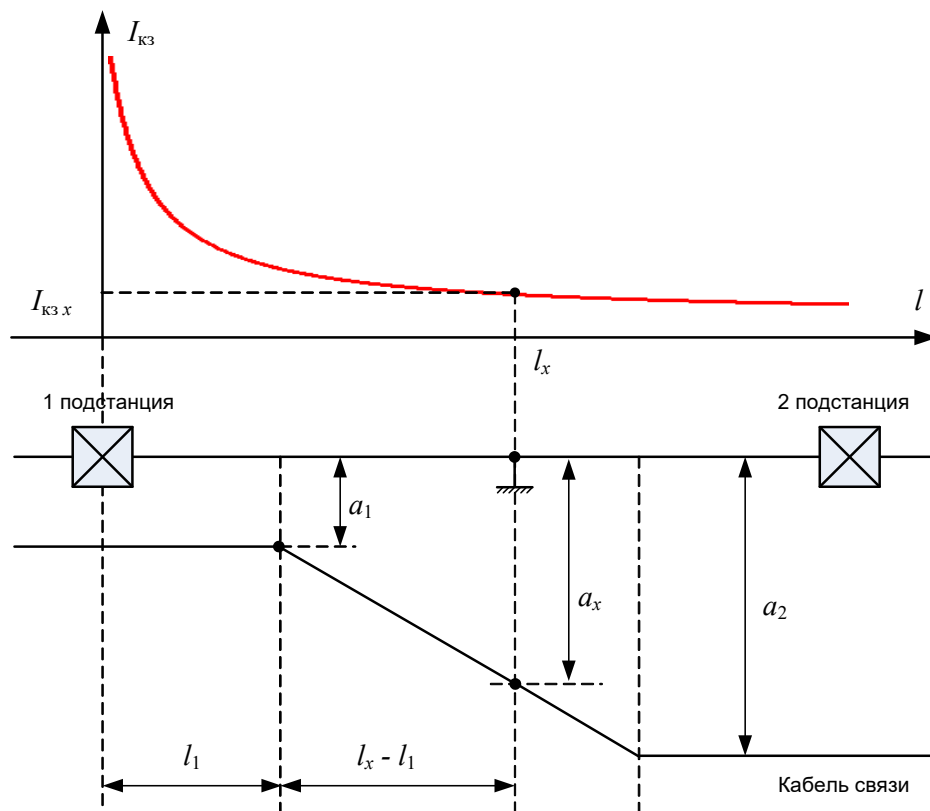


Рис. 5.13. К расчету параметров ЭДС в кабельных цепях при КЗ на ЛЭП.

Расчет мешающих влияний ЛЭП и ЭЖД проводится для частоты  $0.8-1$  кГц (телефонный канал). Если частота тока помех отличается от 1 кГц, то при оценке шума пользуются его психометрическим значением, т.е. учитывают особенности слуха человека, его относительную чувствительность к звукам различных частот. Измеренные значения шума на определенной частоте умножаются на психометрический коэффициент для этой частоты. Существуют измерители шума, в которых установлен специальный фильтр с амплитудно-частотной характеристикой соответствующий чувствительности человеческого уха. Выходной сигнал этого

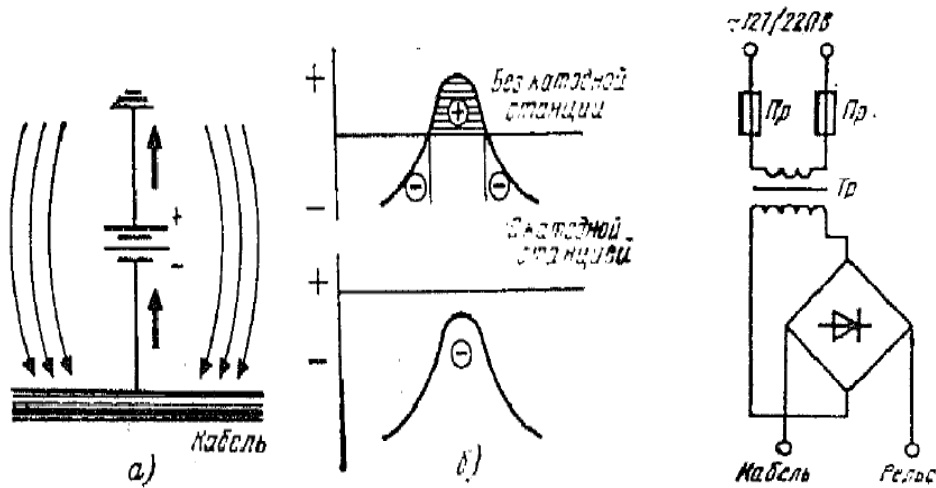
прибора называют психометрическим значением шума. Эти расчеты представляют интерес для однопроводных цепей, использующихся для передачи телефонных сигналов. В настоящее время такие цепи практически не используются.

## Тема 6. Защита сооружений связи от коррозии.

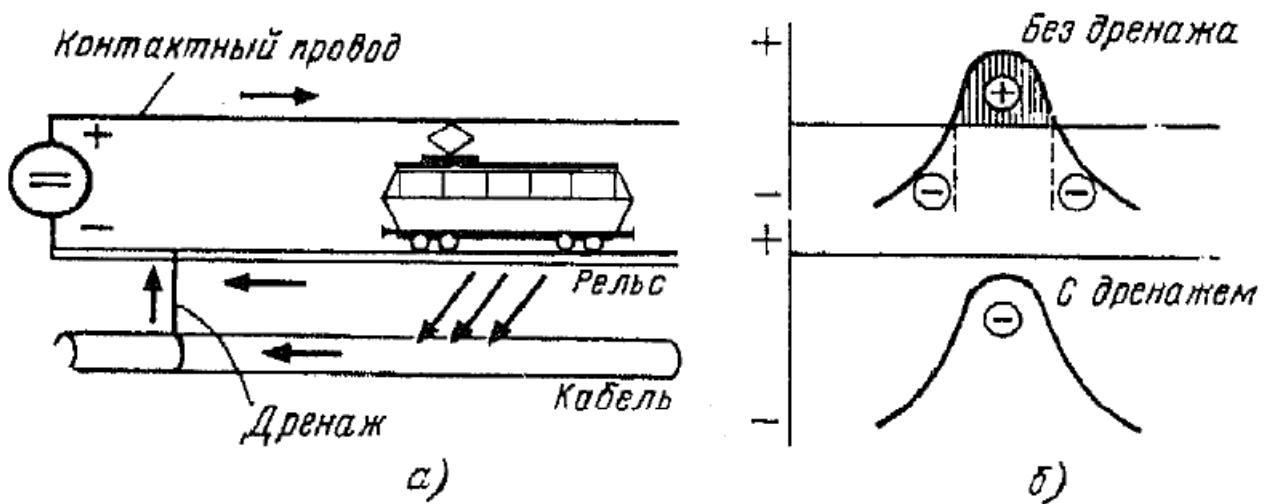
Практическое задание: разработать схему защиты сооружения связи от коррозии.

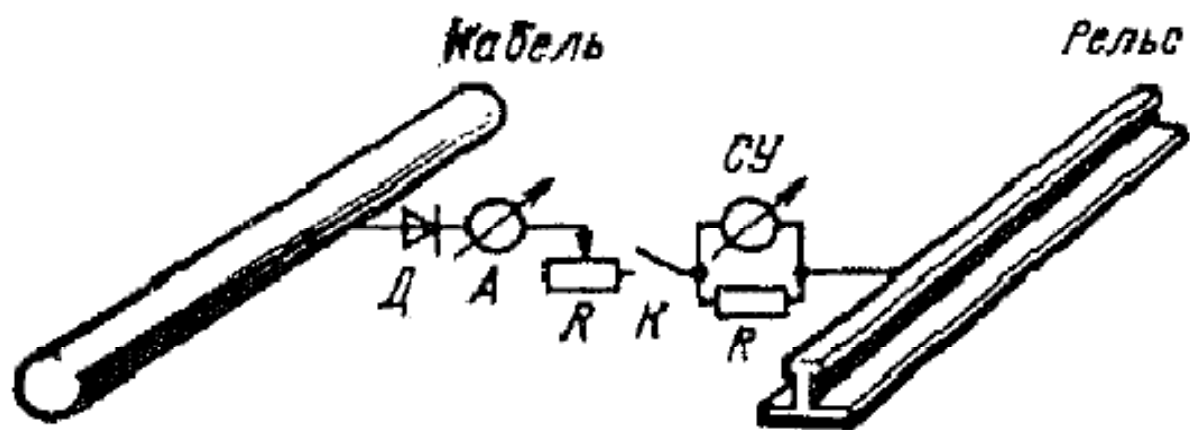
Типовые схемы защиты:

1. Катодная станция:



2. Электрический дренаж





## Тема 7. Законы отражения и преломления света на границе раздела двух диэлектриков.

### Задачи

1. Точечный источник  $S$  расположен на расстоянии  $h = 1,5$  см от передней поверхности плоскопараллельной пластинки толщиной  $d = 1,2$  см, посеребренной с задней стороны. На каком расстоянии  $x$  от источника находится его изображение, получающееся в результате отражения лучей от задней поверхности пластинки? Показатель преломления вещества пластинки  $n = 1,6$ . Наблюдение производится по направлению, перпендикулярному к пластинке, под малыми углами.

2. На горизонтальном дне бассейна лежит плоское зеркало. Луч света, преломившись на поверхности воды, отражается от зеркала и выходит в воздух на расстоянии  $d = 1,5$  м от места вхождения. Глубина бассейна  $h = 2$  м, показатель преломления воды  $n = 1,33$ . Определите угол падения луча  $\alpha$ .

3. Сечение стеклянной призмы имеет форму равностороннего треугольника. Луч падает на одну из граней по нормали к ней. Найдите угол  $\varphi$  между падающим лучом и лучом, вышедшим из призмы. Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .

4. Параллельный пучок света падает на поверхность воды под углом  $\alpha = 60^\circ$ . Ширина пучка в воздухе  $h = 5$  см. Определите ширину пучка в воде, показатель преломления которой  $n = 1,33$ .

5. При каких значениях показателя преломления прямоугольной призмы возможен ход луча, изображенный на рис. 8? Сечение призмы - равнобедренный треугольник, луч падает на грань  $AC$  нормально.

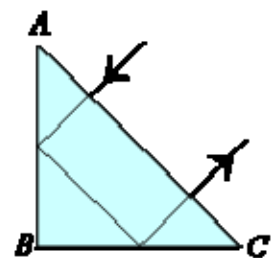


Рис. 8

## Тема 8 Затухание в оптических волокнах.

Требуется рассчитать максимальную допустимую длину регенерационного участка волоконно-оптической системы связи для двух типов интерфейсов. Расчет провести по затуханию.

### Исходные данные для расчета

Вариант задания определяется последней цифрой номера зачетной книжки (студенческого билета). Параметры вариантов сведены в табл. 1. Для каждого варианта определены:

- интерфейс, обозначенный в соответствии с табл. 1/G.957 – Классификация оптических интерфейсов на основе приложения с указанием прикладных кодов.
- рабочая длина волны,
- тип оптического волокна.

Таблица 1 – Варианты задания

Вариант задания	Интерфейс	Длина волны, нм	Волокно
1	S-1.1; S-4.1	1310	G.652
2	S-1.2; S-4.2	1550	G.652
3	L-1.1; L-4.1	1310	G.652
4	L-1.2; L-4.2	1550	G.652
5	L-1.3; L-4.3	1550	G.653
6	S-4.1; S-16.1	1310	G.652
7	S-4.2; S-16.2	1550	G.652
8	L-4.1; L-16.1	1310	G.652
9	L-4.2; L-16.2	1550	G.653
0	L-4.3; L-16.3	1550	G.653

## Методика расчета

Длина регенерационного участка волоконно-оптической линии связи ограничивается двумя явлениями: дисперсией и затуханием [6].

Максимальная длина регенерационного участка по затуханию ( $l_3$ , км) может быть определена по выражению

$$l_3 = \frac{P_{\text{пер}} - P_{\text{ф.п.у}} - n_{\text{р.с}} \cdot a_{\text{р.с}} - a_{\text{д}} - M}{\alpha + \frac{a_{\text{н.с}}}{l_{\text{с.д}}}}, \quad (1)$$

- где  $\alpha$  – километрическое затухание оптического волокна, дБ/км;  
 $P_{\text{пер}}$  – уровень сигнала на выходе передатчика (регенератора), дБм;  
 $P_{\text{ф.п.у}}$  – уровень сигнала на фотоприемном устройстве, дБм;  
 $n_{\text{р.с}}$  – количество разъемных соединений;  
 $a_{\text{р.с}}$  – средние потери в разъемном соединении, дБ;  
 $a_{\text{д}}$  – дополнительные потери за счет дисперсии, дБ;  
 $M$  – системный запас, дБ;  
 $a_{\text{н.с}}$  – средние потери в неразъемном соединении, дБ;  
 $l_{\text{с.д}}$  – строительная длина волоконно-оптического кабеля, км.

Провести проверочный расчет по методике приведенной в РД 45. 047-99 «Руководящий документ отрасли линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризонах первичных сетях ВСС России»

## Ссылки

1. Рекомендации ИТУ-Т «Transmission systems and media, digital systems and networks»

[Электронный ресурс.] URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/en>

2. Глаголев, С. Ф. Определение длины регенерационного участка ВОЛС / С. Ф. Глаголев, Л. Н. Кочановский // IV всероссийск. конф. «Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации линейно-кабельных

сооружений – СТЛКС» (Санкт-Петербург. Март. 2005 г.) : сборник трудов. – СПб., 2005.

3. РД 45. 047-99 Руководящий документ отрасли линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризональных первичных сетях ВСС России.

Типовые значения параметров:

#### Характеристики систем передачи

Параметр	Система передачи			
	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
Скорость передачи, $C$ , Мбит/с	155	620	2500	10000
$\tau_0$ , нс	1,54	0,386	0,096	0,024

Характеристики оптических волокон приведены в табл. 4

#### Характеристики оптических волокон

Параметр оптического волокна в соответствии с рекомендацией МСЭ		Рекомендация МСЭ			
		G.652	G.653	G.655	G.655
Тип волокна		SSF	DSF	-NZDSF	+NZDSF
Окно прозрачности, нм		1300/1550	1500–1600	1530–1565	1530–1565
Коэффициент затухания $\alpha$ , дБ/км	1310 нм	0,34	<1,0	Не нормируется	Не нормируется
	1550 нм	0,22	0,22	0,19–0,22	0,19–0,22
Хроматическая дисперсия $D_x$ , пс(км/нм)	1310 нм	$\pm 3,5$	17–18	Не нормируется	Не нормируется
	1550 нм	17–18	$\pm 3,5$	-(5–8)	5–8

уровень сигнала на выходе передатчика

$$p_{\text{пер}} = -2 \dots +4 \text{ дБ};$$

уровень сигнала на фотоприемном устройстве

$$p_{\text{ф.п.у}} = -8 \dots -24 \text{ дБ};$$

количество разъемных соединений

$$p_{\text{р.с}} = 2;$$

средние потери в разъемном соединении

$$a_{\text{р.с}} = 0,15 \dots 0,25 \text{ дБ};$$

дополнительные потери за счет дисперсии

$$a_{\text{д}} = 1,0 \text{ дБ};$$



системный запас  $M$ , обычно принимают  
средние потери в неразъемном соединении  
строительная длина кабеля  
длина волны излучения данного источника  
ширина спектра излучения

3,0 дБ;  
 $p_{н.с} = 0,05 \dots 0,15$  дБ;  
 $l_{с.д} = 5,0 \dots 15,0$  км;  
 $\lambda = 1,310; 1,550$  мкм;  
 $\Delta \nu = 1,0 \dots 100$  ГГц

## Тема 9 Многомодовые оптические волокна.

Задание на практическую работу:

По заданным параметрам ВС рассчитайте:

- групповой показатель преломления на оси волокна  $n_{10g}$  по выражению (1.11),
- групповую скорость  $V_g$  по выражению (1.12),
- коэффициент затухания  $\alpha$  по выражению (1.22).
- нормированную частоту  $V$  по выражению (1.7), считая радиус сердцевины волокна равным 25 мкм,
- число направляемых мод  $M$  по выражению (1.8),
- уширение импульса (дисперсию)  $\Delta t_M$  на 1 км по выражению (1.15),

Многомодовые волоконные световоды с усеченным степенным профилем, т. е. профилем, изменения которого описываются следующими выражениями:

$$n(r) = \begin{cases} n_1(r) = n_{10} \left[ 1 - \Delta \left( \frac{r}{a} \right)^q \right] & \text{при } 0 < r < a \\ n_2 = n_{10}(1 - \Delta) & \text{при } r > a \end{cases} \quad (1.1)$$

где  $r$  - расстояние от оси ВС, мкм;  $a$  - радиус сердцевины ВС, мкм;  $n_{10}$ ,  $n_2$  - показатели преломления на оси ВС (при  $r = 0$ ) и в оболочке (при  $r > a$ ), соответственно;  $q$  - показатель степенного профиля, который обычно близок к величине 2;  $\Delta$  - относительная разность показателей преломления ВС, которую можно рассчитать по выражению:

$$\Delta = \frac{n_{10}^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad (1.2)$$

В кабелях связи обычно используют так называемые слабораспространяющие ВС, для которых  $\Delta \ll 1$ .

В качестве оболочки ВС используется чистый кварц  $\text{SiO}_2$ . Требуемая величина  $n_1$  достигается легированием материала сердечника. В качестве легирующих добавок используется  $\text{GeO}_2$ .

Процессы распространения оптических импульсов по многомодовым ВС рассмотрим на основе геометрической оптики, в которой основным является понятие светового луча. В многомодовых ВС могут распространяться два типа лучей:

**меридиональные**, которые распространяются в плоскостях, проходящих через ось ВС  $z$ ;

**косые**, которые не лежат в этих плоскостях.

В общем случае лучи в градиентных многомодовых ВС распространяются по спиралевидным траекториям. Различные типы лучей (мод) можно характеризовать **лучевыми инвариантами**  $B$  и  $E$ , которые представляют собой постоянные для данного луча скалярные величины, однозначно определяющие его направление в любой точке траектории.

Лучевые инварианты определяются следующим образом:

$$B = n(r) \cdot \cos \theta_z(r) \quad (1.3)$$

$$E = n(r) \cdot \sin \theta_z(r) \cdot \cos \theta_f(r) \quad (1.4)$$

В этих формулах:  $\theta_z(r)$  - угол наклона луча по отношению к оси  $z$  ВС;  $\theta_f(r)$  - угол между направлением проекции траектории луча и азимутальным направлением. Для меридиональных лучей  $\theta_f(r) = \pi / 2$  и  $E = 0$ .

Эффективность ввода излучения в ВС принято характеризовать **числовой апертурой**  $NA = n_0 \sin \theta_0$ , которая определяет максимальный угол  $\theta_0$  между осью  $z$  и направляемым лучом, падающим на торец ВС из среды с показателем преломления  $n_0$ . У градиентных многомодовых ВС числовая апертура зависит от  $r$ . Ее называют **локальной числовой апертурой**:

$$NA(r) = n_0 \sqrt{n_1^2(r) - n_2^2}, \text{ при } 0 < r < a. \quad (1.5)$$

В соответствии с волновой оптикой в ВС может распространяться на большое расстояние только определенное конечное количество типов направляемых волн (мод). Для направляемых лучей величина инварианта  $B$  должна удовлетворять следующему условию:

$$n_2(\lambda) < B < n_{10}(\lambda). \quad (1.6)$$

Важным параметром ВС является нормированная частота:

$$V = 2\pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \sqrt{n_{10}^2 - n_2^2} \quad (1.7)$$

где  $\lambda$  - длина волны используемого источника излучения в вакууме.

Нормированная частота определяет общее количество направляемых мод (лучей) в градиентном многомодовом ВС:

$$M = INT\left(\frac{V^2}{2} \frac{q}{q+2}\right), \quad (1.8)$$

где  $INT(x)$  - означает целую часть  $x$ .

Различные лучи (моды) распространяются вдоль оси  $z$  многомодового ВС с различными скоростями, что приводит к межмодовой дисперсии  $\Delta t_m$ , т. е. к уширению оптических импульсов при прохождении многомодового ВС единичной длины. Известно, что удельное время  $t$  распространения луча на единичное расстояние в ВС с усеченным степенным профилем зависит только от лучевого инварианта  $B$  и от параметра  $p$  внеосевой дисперсии материала сердцевины ВС:

$$t(B) = \frac{1}{c} \cdot \frac{n_{10g}}{q+2} \left[ (p+q) \frac{n_{10}}{B} + (2-p) \frac{B}{n_{10}} \right], \quad (1.9)$$

где

$c = 3 \cdot 10^5$  км/с - скорость света в вакууме,  $p$  - параметр внеосевой дисперсии материала сердцевины ВС, который можно рассчитать по выражению:

$$p(\lambda) = \frac{n_{10}(\lambda)}{n_{10g}(\lambda)} \cdot \frac{\lambda}{\Delta(\lambda)} \cdot \frac{d\Delta(\lambda)}{d\lambda}, \quad (1.10)$$

$n_{10g}$  - групповой показатель преломления на оси ВС<sup>1</sup>:

$$n_{10g}(\lambda) = n_{10}(\lambda) - \lambda \frac{dn_{10}(\lambda)}{d\lambda}. \quad (1.11)$$

Обратите внимание, что длина волны  $\lambda$  в (1.10) и (1.11) подставляется в мкм.

---

<sup>1</sup> С этим параметром связано понятие групповой скорости:.

С параметром  $n_{10g}$  связано понятие групповой скорости:

$$V_g = c/n_{10g} \quad (1.12)$$

Минимальное удельное время распространения на единичное расстояние равно:

$$t(B_m) = \frac{1}{c} \cdot \frac{2n_{10g}}{q+2} \sqrt{(p+q)(2-p)} \quad (1.13)$$

для луча с инвариантом:

$$B_m = n_{10} \sqrt{\frac{q+p}{2-p}}. \quad (1.14)$$

Если рассчитанное значение  $B_m$  не удовлетворяет условию направляемых лучей (1.6), то и расчет минимального удельного времени распространения не имеет смысла. В зависимости от величин  $q$  и  $p$  максимальное удельное время распространения будет для лучей с инвариантами  $B = n_1$  или  $n_2$ .

В качестве оценки межмодовой дисперсии  $\Delta t_m$  принимается разность максимального и минимального удельных времен распространения из трех значений  $t(n_1)$ ,  $t(n_2)$  и  $t(B_m)$ :

$$\Delta t_m = t_{\max} - t_{\min}. \quad (1.15)$$

Величина  $t(B_m)$  учитывается, только если  $B_m$  лежит в диапазоне направляемых лучей.

Полученное значение  $\Delta t_m$  необходимо сравнить с величиной межмодовой дисперсии  $\Delta t_{m\text{опт}}$  для градиентного ВС с оптимальным показателем  $q_{\text{опт}}$  степенного профиля

$$q_{\text{опт}} = 2 \cdot (1-p) - \Delta \cdot (2-p), \quad (1.16)$$

$$\Delta t_{m\text{опт}} = \frac{n_{10g}}{c} \cdot \frac{\Delta^2}{8}. \quad (1.17)$$

Хроматической дисперсией в градиентных многомодовых ВС можно пренебречь по сравнению с межмодовой дисперсией.

Коэффициент затухания  $\alpha$  ВС складывается из собственного затухания  $\alpha_c$  и дополнительного  $\alpha_d$ , возникающего в процессе производства оптического волокна,

при изготовлении оптического кабеля из оптического волокна, а также при прокладке кабеля и монтаже регенерационных участков волоконно-оптической линии связи (ВОЛС).

Собственные потери  $\alpha_c$  включают остаточные потери за счет резонансного поглощения кварца в инфракрасной  $\alpha_{ик}$  и ультрафиолетовой  $\alpha_{уф}$  областях спектра, потери на релеевское рассеяние  $\alpha_{рр}$ , а также потери за счет резонансного поглощения  $\alpha_{рп}$  в различных примесях ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{C}_2^{3+}$ ).

Потери на резонансное поглощение трудно поддаются расчету и могут быть приняты равными:

$$\begin{aligned} \alpha_{рп} &= 0.1 \text{ дБ/км} \quad \text{для } \lambda = 0.85 \text{ мкм;} \\ \alpha_{рп} &= 0.05 \text{ дБ/км} \quad \text{для } \lambda = 1.3 \text{ мкм.} \end{aligned} \quad (1.18)$$

Для расчета  $\alpha_{ик}$ ,  $\alpha_{уф}$  и  $\alpha_{рр}$  в кварцевых ВС на заданной длине волны  $\lambda$  можно использовать следующие выражения, дБ /км:

$$\alpha_{ик} = 7.81 \cdot 10^{11} \cdot \exp\left(-\frac{48.5}{\lambda}\right), \quad (1.19)$$

$$\alpha_{уф} = 2.55 \cdot 10^{-3} \cdot \exp\left(\frac{4.63}{\lambda}\right), \quad (1.20)$$

$$\alpha_{рр} = \frac{0.8}{\lambda^4}. \quad (1.21)$$

В выражениях (1.19-1.21) коэффициенты затухания получатся в дБ/км, если длина волны выражена в мкм.

Дополнительные потери  $\alpha_d$  складываются из потерь на микроизгибы и макроизгибы, потерь в оболочке, потерь из-за термомеханических напряжений. Их точный учет затруднен, поэтому можно ориентировочно принять  $\alpha_d = 0.1 - 0.3$  дБ/км.

Общий (суммарный) коэффициент затухания:

$$\alpha = \alpha_{ик} + \alpha_{уф} + \alpha_{рр} + \alpha_{рп} + \alpha_d. \quad (1.22)$$

## Тема 10 Одномодовые оптические волокна

Практическое задание: провести расчет регенерационного участка волоконно-оптической линии связи по дисперсии.

Максимальная длина участка регенерации по дисперсии ( $l_d$ , км) может быть определена по выражению

$$l_d = \frac{2 \cdot \pi \cdot c \cdot \tau_0^2}{\lambda^2 \cdot D_x \cdot \sqrt{1 + 4 \cdot \pi^2 \cdot \Delta\nu^2 \cdot \tau_0^2}}, \quad (2)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме,  $c = 3 \cdot 10^5$  км/с;

$\tau_0$  – ширина оптического импульса на выходе передатчика (зависит от скорости передачи), нс;

$\lambda$  – длина волны излучения источника, мкм;

$D_x$  – величина хроматической дисперсии, зависящая от типа применяемого волокна, пс/(нм·км);

$\Delta\nu$  – ширина спектра излучения, ГГц.

Длина регенерационного участка волоконно-оптической линии связи ограничивается двумя явлениями: дисперсией и затуханием [6].

Максимальная длина регенерационного участка по затуханию ( $l_3$ , км) может быть определена по выражению

$$l_3 = \frac{P_{\text{пер}} - P_{\text{ф.п.у}} - n_{\text{р.с}} \cdot a_{\text{р.с}} - a_d - M}{\alpha + \frac{a_{\text{н.с}}}{l_{\text{с.д}}}}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – километрическое затухание оптического волокна, дБ/км;

$p_{\text{пер}}$  – уровень сигнала на выходе передатчика (регенератора), дБм;

$p_{\text{ф.п.у}}$  – уровень сигнала на фотоприемном устройстве, дБм;

$n_{\text{р.с}}$  – количество разъемных соединений;

$a_{\text{р.с}}$  – средние потери в разъемном соединении, дБ;

$a_{\text{д}}$  – дополнительные потери за счет дисперсии, дБ;

$M$  – системный запас, дБ;

$a_{\text{н.с}}$  – средние потери в неразъемном соединении, дБ;

$l_{\text{с.д}}$  – строительная длина волоконно-оптического кабеля, км.

Провести проверочный расчет по методике приведенной в РД 45. 047-99 «Руководящий документ отрасли линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризонавых первичных сетях ВСС России»

## Ссылки

1. Рекомендации ITU-T «Transmission systems and media, digital systems and networks»

[Электронный ресурс.] URL: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/en>

2. Глаголев, С. Ф. Определение длины регенерационного участка ВОЛС / С. Ф. Глаголев, Л. Н. Кочановский // IV всероссийск. конф. «Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации линейно-кабельных сооружений – СТЛКС» (Санкт-Петербург. Март. 2005 г.) : сборник трудов. – СПб., 2005.

3. РД 45. 047-99 Руководящий документ отрасли линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризонавых первичных сетях ВСС России.

Типовые значения параметров:



### Характеристики систем передачи

Параметр	Система передачи			
	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
Скорость передачи, $C$ , Мбит/с	155	620	2500	10000
$\tau_0$ , нс	1,54	0,386	0,096	0,024

Характеристики оптических волокон приведены в табл. 4

### Характеристики оптических волокон

Параметр оптического волокна в соответствии с рекомендацией МСЭ		Рекомендация МСЭ			
		G.652	G.653	G.655	G.655
Тип волокна		SSF	DSF	-NZDSF	+NZDSF
Окно прозрачности, нм		1300/1550	1500–1600	1530–1565	1530–1565
Коэффициент затухания $\alpha$ , дБ/км	1310 нм	0,34	<1,0	Не нормируется	Не нормируется
	1550 нм	0,22	0,22	0,19–0,22	0,19–0,22
Хроматическая дисперсия $D_x$ , пс(км/нм)	1310 нм	$\pm 3,5$	17–18	Не нормируется	Не нормируется

## Тема 11 Пассивные оптические компоненты

Практическое задание: изучить конструкцию и характеристики пассивных оптических компонентов.

Теоретические сведения:

При симметричной конструкции (рис. 11.10), которая получила наибольшее распространение, для соединения ОВ необходимы три основных элемента: два штекера и переходная розетка. Главным элементом штекера является наконечник наружным диаметром 2.5 мм с отверстием для ввода ОВ, которое предварительно освобождается от защитных покрытий. Наиболее жесткие требования предъявляются к параметрам отверстия (капилляра) наконечника, которое должно обеспечить минимальный люфт введенного в него ОВ. В соответствии со стандартом диаметр отверстия составляет  $126 +1/-0$  мкм для одномодового ОВ (ООВ) и  $127+2/-0$  мкм для многомодового ОВ (МОВ). Наконечники изготавливают из нержавеющей стали или из керамики на основе циркония или оксида алюминия. Переходная розетка снабжается центрирующим элементом, выполненным в виде упругой трубки с продольным разрезом. Центрирующий элемент плотно охватывает наконечники, обеспечивая их строгую соосность.

К соединителям предъявляются следующие требования: малые вносимые потери, малое обратное отражение, устойчивость к внешним механическим, климатическим и другим воздействиям, высокая надежность и простота конструкции, незначительное ухудшение параметров после многократных повторных соединений.

Существующая номенклатура стандартных соединителей достаточно велика. Однако наибольшее распространение получили соединители ST, SC и FC (рис. 11.11-11.13). Все они имеют диаметр наконечника 2.5 мм, сферическую форму торца наконечника и выпускаются с различными типами физического контакта.

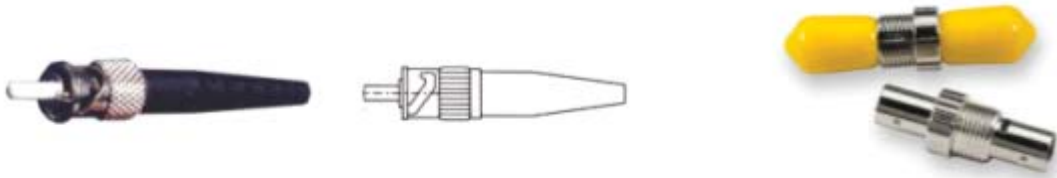


Рис. 11.11. Соединитель ST



Рис. 11.12. Соединитель FC

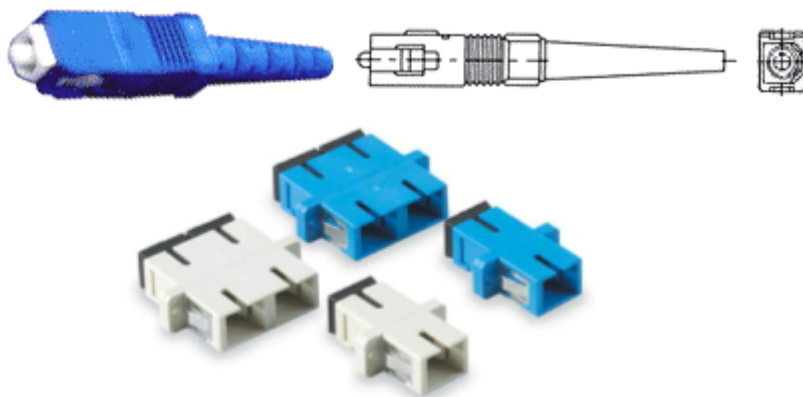


Рис. 11.13. Соединитель SC

**Соединитель ST** (рис. 11.11) был стандартизован для физического уровня Ethernet на MOB (10 BASE-FL) и до появления разъема SC был наиболее распространенным в оптических системах. Название разъема происходит от английского "Straight Tip", то есть "прямой разъем". Он имеет круглое поперечное сечение, байонетный тип фиксации с ключом и подпружиненный наконечник.

Достоинствами разъема являются возможность оконцовки волокон без применения обжимного инструмента и низкая стоимость. Основной недостаток - громоздкость и невозможность объединения двух вилок в одну дуплексную, что значительно уменьшает плотность монтажа на коммутационном и активном сетевом оборудовании. Кроме того, вращательное движение оправы при подключении и отключении коннектора со временем приводит к повреждению полировки наконечников, что вызывает увеличение затухания оптического сигнала.

Наконечник выступает из основы конструкции на 5-7 мм, что увеличивает вероятность его загрязнения.

Тем не менее, разъем типа ST до сих пор довольно часто применяется в оптических подсистемах СКС, но его использование ограничивается стандартами (допускается лишь в том случае, если разъемы данного типа уже использованы в существующей системе).

**Соединитель FC** (Fiber Connector) (рис. 11.12) используется для соединения ООВ в сетях связи и кабельного телевидения. Он имеет круглое поперечное сечение, резьбовой тип фиксации с ключом и плавающий наконечник.

Наиболее перспективным считается **соединитель SC** (от английского "Subscriber Connector" - "абонентский разъем") (рис. 11.13). Он имеет прямоугольную форму с малыми размерами. Используемая в его конструкции защелка с фиксатором обеспечивает простое и надежное подключение и большую плотность установки соединителей на оптических распределительных панелях. Предусмотрена возможность объединения двух разъемов в один дуплексный с помощью специальных фиксаторов на вилках или внешнего фиксатора. Наконечник почти полностью покрывается корпусом и потому менее подвержен загрязнению, нежели в конструкции разъема типа ST. Отсутствие вращательных движений при подключении разъема обуславливает более осторожное прижатие наконечников, что продлевает срок эксплуатации разъема.

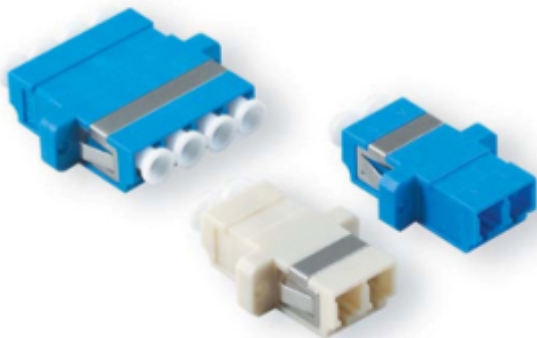
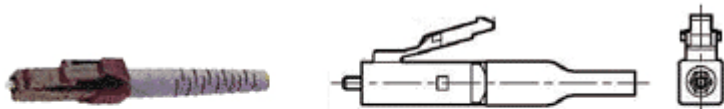


Рис. 11.14. Малогабаритный соединитель LC



Рис. 11.15. Малогабаритный



соединитель E-2000

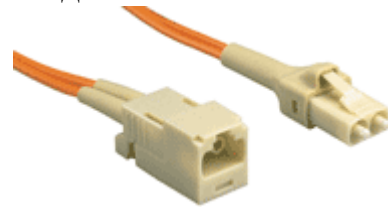


Рис. 11.16. Малогабаритный соединитель MT-RJ

Рис. 11.17. Малогабаритный соединитель FJ

Основным недостатком рассмотренных разъемов являются их большие габариты (дуплексный разъем типа SC приблизительно в два раза больше, чем разъем RJ-45), которые не позволяют обеспечить высокую плотность портов на оборудовании СКС, что приводит к необходимости использования дополнительного оборудования, а значит и к увеличению стоимости системы.

С целью решения данной проблемы были предложены конструкции малогабаритных оптических разъемов. Увеличение плотности портов при их использовании достигается двумя способами:

уменьшение размера самого разъема за счет применения наконечников уменьшенного диаметра или отказа от применения наконечников, и/или за счет миниатюризации элементов конструкции разъема;

применение двух и многоволоконных разъемов.

На рис. 11.14-11.17 показаны некоторые разъемы этого класса.

**Соединитель LC** (Link Control) (11.14) является компактным вариантом разъема типа SC. Но за счет применения наконечника диаметром 1,25 мм удалось приблизительно вдвое по сравнению с SC-разъемом уменьшить размер коннектора. Пластмассовый корпус вилки разъема типа LC имеет прямоугольное сечение и оснащен внешней защелкой рычажного типа, аналогичной разъему RJ-45.

LC вносит самое низкое затухание оптического сигнала среди малогабаритных разъемов (0,1 дБ), что дает возможность его использования в сетях Gigabit Ethernet и высокоскоростных магистральных сетях SDH. Производится в симплексном и дуплексном вариантах.

**Соединитель E-2000** (Европа 2000, SECC-LSH) (рис. 11.15) получил широкое распространение в Европе. Отличительной особенностью коннектора является использование мельхиорового наконечника, который позволяет добиться максимально высокой точности центрирования волокна. Основным недостатком – высокая стоимость.

**Соединитель MT-RJ** (Mass Termination) (рис. 11.16) является дуплексным. Конструктивной особенностью разъема является использование единого предварительно отполированного наконечника для обоих волокон, что позволяет уменьшить габариты и снизить стоимость разъема (поскольку изготовление наконечника является прецизионным и дорогостоящим процессом), а также упростить процедуру монтажа (полировка наконечника с ОВ не требуется).

**Соединитель FJ** (Fiber Jack/Opti-Jack) (рис. 11.17) выпускается только в дуплексном варианте. Он имеет керамический наконечник диаметром 2,5 мм и габариты разъема RJ-45. Уменьшение габаритов достигается за счет уплотнения компоновки и уменьшения расстояния между осями наконечников до 6,4 мм. Фиксация вилки в адаптере осуществляется рычажной защелкой, аналогичной разъема RJ-45.

Конструкции оптических разъемов без дорогостоящих центрирующих наконечников призваны уменьшить стоимость разъема (стоимость наконечника составляет около 40% стоимости разъема) и упростить процедуру оконцовки ОВ. Ведущим представителем данной группы малогабаритных разъемов является **соединитель Volition VF-45** (SG) (рис. 11.18), разработанный для сетей Token Ring. В разьеме VF-45 для центрирования ОВ используется V-образный желоб, образованный изогнутыми круглыми элементами, в котором при стыковке ОВ благодаря своей упругости прижимается к основанию желоба. Существенный недостаток - не обеспечивается достаточная точность выравнивания волокон, что приводит к ухудшению параметра уровня отраженного сигнала.



Рис. 11.18. Малогабаритный соединитель VF-45

Характеристики рассмотренных разъемных соединителей приведены в табл. 11.3

Аттенюаторы используются для уменьшения мощности оптического сигнала. Такая необходимость возникает при передаче как цифровых, так и аналоговых сигналов. При передаче цифровых сигналов избыточный уровень сигнала на приеме приводит к перегрузке приемника, а следовательно к увеличению межсимвольных искажений и вероятности ошибок. При передаче аналоговых сигналов перегрузка приемника приводит к нелинейным искажениям и при передаче телевизионных изображений к ухудшению качества изображения. Широкое применение аттенюаторы находят при измерении параметров различных компонентов ВОЛС.

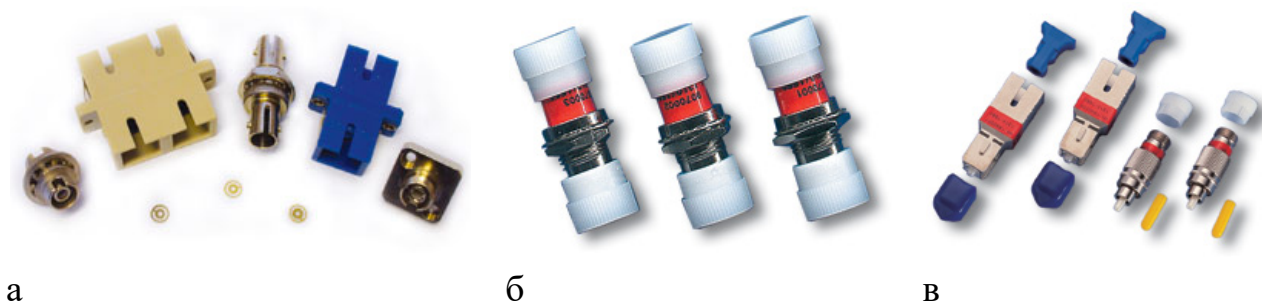


Рис. 11.24. Фиксированные аттенюаторы розетка-розетка (а, б) и вилка-розетка (в).



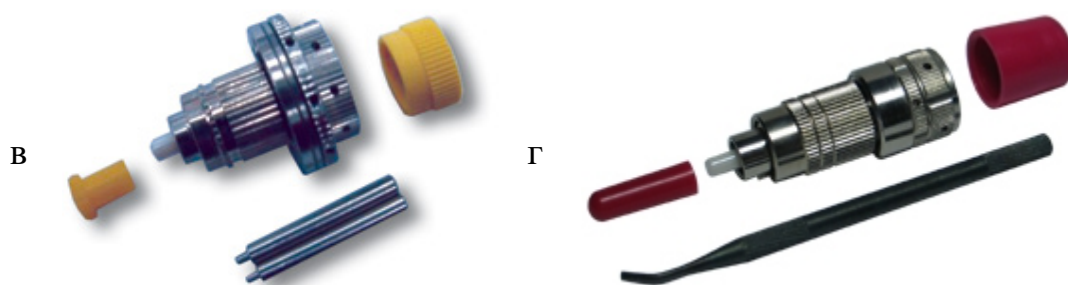


Рис. 11.25. Перестраиваемые аттенюаторы розетка-розетка (а, б) и вилка-розетка (в, г).

Различают аттенюаторы с фиксированным и переменным затуханием. Фиксированные аттенюаторы (рис. 11.24) имеют установленное изготовителем значение затухания, величина которого может составлять 0, 5, 10, 15, 20 дБ или другие значения. Затухание может вноситься посредством радиальных смещений или изменения воздушного зазора двух ОВ, а также с помощью поглощающего фильтра, встроенного в зазор между ОВ. Существует разнообразные конструкции фиксированных аттенюаторов: аттенюаторы шнуры, аттенюаторы розетки и аттенюаторы переходники, устанавливаемые между розеткой и шнуром. Аттенюаторы изготавливаются для установки в разъемы типов ST, SC, FC и других. Важным параметром аттенюаторов являются возвратные потери, для увеличения которых применяют наконечники с угловым физическим контактом (APC). Возвратные потери аттенюаторов обычно превышают 50 дБ.

Аттенюаторы с переменным затуханием (рис. 11.25) позволяют изменять величину затухания в пределах 0- 20 (50) дБ в одномодовых и многомодовых ВТ. Существуют конструкции переменных аттенюаторов с плавным и ступенчатым изменением затухания. Величина затухания может устанавливаться вручную с помощью регуляторов на передней панели аттенюатора или контролироваться с помощью измерения мощности излучения.

Вносимым затуханием переменного аттенюатора принято называть величину начального затухания порядка 0.5-1 дБ. Возвратные потери аттенюаторов обычно превышают 50 дБ.