



浙江工业大学

实验报告

课程：通信光电子基础

实验二： 数字光发端机的平均光功率及消光比测量

姓 名 凌智城

学 号 201806061211

专业班级 通信工程 1803 班

老 师 郭淑琴

学 院 信息工程学院

提交日期 2020 年 10 月 29 日

实验项目名称

一、实验目的

1. 了解数字光发端机平均光功率的指标要求；
2. 掌握光发端机输出光功率的测试方法；
3. 了解数字光发端机的消光比的指标要求；
4. 掌握数字光发端机的消光比的测试方法。

二、实验仪器

1. 光纤通信实验箱
2. 光功率计（FC-FC 单模尾纤）
3. 20M 双踪示波器 1 台
4. 信号连接线
5. 万用表
6. 螺丝刀

三、实验原理

在光纤通信中，首先要将电信号转变为光信号，最常用的光源是半导体激光器和发光二极管。半导体光源体积小，发光面积可以与光纤芯径相比较，从而有较高的耦合效率；发射光波长适合在光纤中低损耗传输；可以直接进行强度调制，即只要将信号电流注入半导体光源，就可以得到相应

的光信号输出；可靠性较高，尤其是半导体激光器，不仅发射功率大，耦合效率高、响应速度快，而且发射光的相干性也较好，在一些高速率、大容量数字光纤通信系统中得到广泛应用。本实验系统中，提供了半导体激光器和半导体发光二极管两种光源。本章节中将对半导体激光器的指标进行测量。

1. 数字光发端机的平均光功率测量

给光发端机的数字驱动电路送入一伪随机码二进制序列为测试信号，用光功率计直接测

试光发端机的光功率，此数值即为数字发送单元的平均光功率。平均光功率是在额定电流下测得的，否则结果有偏差。

实验测量结构示意图如图 2-1 所示。

2. 数字光发端机的消光比测量

消光比指光发射端机的数字驱动电路送全“0”码，测得此时的光功率 P0；给光发射端机的数字驱动电路送全“1”码，测得此时的光功率 P1，将 P0、P1 代入公式：

$$ETX = 10Lg \frac{P_0}{P_1} \quad (dB) \tag{2-1}$$

即得到光发射端机的消光比

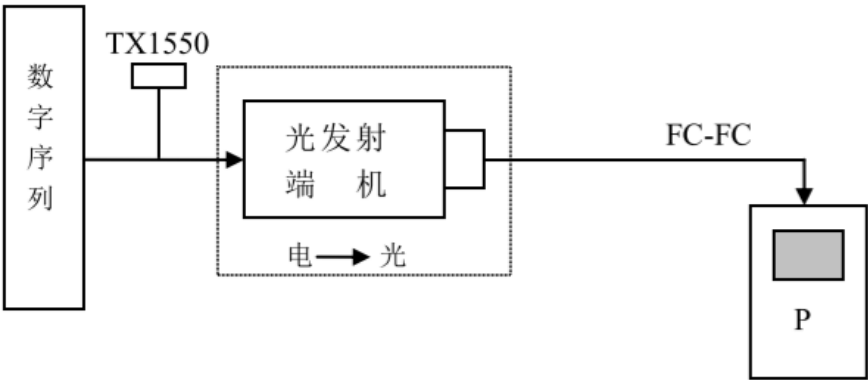


图 2-1 平均光功率测试结构示意图

本实验平台上的 1310 数字光端机，参数可调，按式 2-1 测量可得到激光器的消光比。

本实验平台上的 1550 数字光端机，由于其一体化设计时作过处理，因此输入全“0”时光功率计测不出光功率（极小），即消光比为零。本实验主要对激光/探测器的消光比进行测量。由于激光器的输入电路采用了隔直电容，对于输入全“1”或全“0”，其输出功率不变。如果直接输入全“1”和全“0”，将无法测出消光比。但是我们知道，当输入全“1”时，使得激光器的电流最大，输入全“0”时，激光器的电流最小。因此我们可以采用，当激光器电流最小时(对应全“0”)，测出此时的光功率 P_0 ；当激光器电流最大时(对应全“1”)，测得此时光功率 P_1 ，将 P_0 、 P_1 代入公式（式 2-1），即得到激光器的消光比。

四、实验步骤

1. 1550nm 数字光发端机的平均光功率测量

（1）关闭系统电源，按照图 2-1 将 1550nm 光发射端机的 TX1550 法兰接口、FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好（TX1550 通过尾纤接到光功率计），注意收集好器件的防尘帽（实验结束要盖回去），连接 FC 型光纤接口时，要先对准卡口，再旋上螺丝。

（2）打开系统电源，液晶菜单选择“码型变换实验--CMI 码设置”确认，即在 P101 铆孔输出 32KHZ 的 SW101 拨码器设置的 8 比特周期性序列，如 10001000。

（3）示波器测试 P101 铆孔波形，确认有相应的波形输出。

(4) 用信号连接线连接 P101、P203 两铆孔，示波器 A 通道测试 TX1550 测试点，确认有相应的波形输出，调节 W205 使送入光发端机信号 (TX1550) 幅度最大，记录信号电平值。即将拨码器设置序列电信号送入 1550nm 光发端机，并转换成光信号从 TX1550 法兰接口输出。

(5) 调节光功率计工作波长“1550nm”、单位“dBm”，读取此时光功率 P，即为 1550nm 光发射端机在正常工作情况下，对于拨码器设置 32K 的 10001000 序列的平均光功率，记录码型和光功率。(6) 拨码器设置其它序列组合，W205 保持不变，记录码型和对应的输出光功率，得出你的结论。

(7) 按返回键，液晶菜单选择“码型变换实验—CMI 码 PN”。确认，即在 P101 铆孔输出 32KHZ 的 15 位 m 序列。以同样的方法测试，记录码型、速率和平均光功率值。

(8) 改变 W205 值，以同样的方法测试，记录 TX1550 点信号电平值和对应的输出光功率，得出你的结论。

2. 1550nm 数字光端机消光比测量

(1) 关闭系统电源，按照图 2-1 将 1550nm 光发射端机的 TX1550 法兰接口、FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好 (TX1550 法兰输出通过尾纤接到光功率计)，，注意收集好器件的防尘帽 (实验结束要盖回去)，连接 FC 型光纤接口时，要先对准卡口，再旋上螺丝。

(2) 打开系统电源，液晶菜单选择“码型变换实验-- CMI 码设置” 确认，即在 P101 铆孔输出 32KHZ 的 SW101 拨码器设置的 8 比特周期性序列，如 10001000。

(3) 示波器测试 P101 铆孔波形，确认有相应的波形输出。

(4) 用信号连接线连接 P101、P203 两铆孔，示波器 A 通道测试 TX1550 测试点，确认有相应的波形输出，调节 W205 使送入光发端机信号 (TX1550) 幅度最大，记录信号电平值。即将拨码器设置序列电信号送入 1550nm 光发端机，并转换成光信号从 TX1550 法兰接口输出。

(5) 调节光功率计工作波长“1550nm”、单位“mW”，设置拨码器 SW101 为 11111111，读取此时光功率 P1，即为 1550nm 光发射端机在正常工作情况下，对于全 1 码的输出光功率，记录码型和光功率。

(6) 拨码器 SW101 设置为 00000000，W205 保持不变，记录码型和对应的输出光功率 P0。

(7) 将 P0、P1 代入公式 2-1，算出此数字光端机的消光比 EXT。

(8) 关闭系统电源，拆除各光器件并套好防尘帽。注：由于 1550 数字光端机，其一体化设计时作过处理，输入全“0”时，光功率输出为 0，光功率计测不出光功率，即 $P0=0$ 。

3. 1310nm 数字光端机消光比测量

(1) 关闭系统电源，将 1310nm 激光器的 TX1310 法兰接口、FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好 (TX1310 法兰输出通过尾纤接到光功率计)，注意收集好器件的防尘帽 (实验结束要盖回去)，连接 FC 型光纤接口时，要先对准卡口，再旋上螺丝。

(2) 将 K01, K02 短路帽拔掉 (注意保存好)，用万用表红表笔接 TP202，黑表笔接 TP203，三用表设置直流 (200mA 档位)。

(3) 打开系统电源，调节光功率计工作波长为“1310nm”单位“mw”。

顺时针调整电位器 W202 使电流表（即通过激光器的电流）指示 5mA。

读出此时光功率 P_0 ,即为激光器对应于全“0”码的输出光功率。

(4) 逆时针调整电位器 W202,使电流表指示为 14mA,读出此时光功率 P_1 ,即为激光器对应于全“1”码的输出功率。

(5) 将 P_0 、 P_1 代入公式 2-1,算出此激光器的消光比 EXT。

(6) 关闭系统电源,拆除各光器件、电流表。电流表的表笔扎到电压电阻档位,开关旋转到交流 750V,以保护电表。套好光纤、光发射器、光接收器的防尘帽,插好 K01, K02 短路帽,整理好设备。

五、实验内容与结果分析

1. 1550nm 数字光发端机的平均光功率测量

(4) 216mV

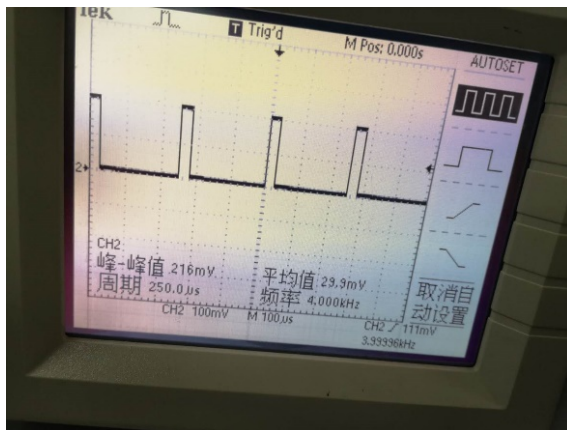
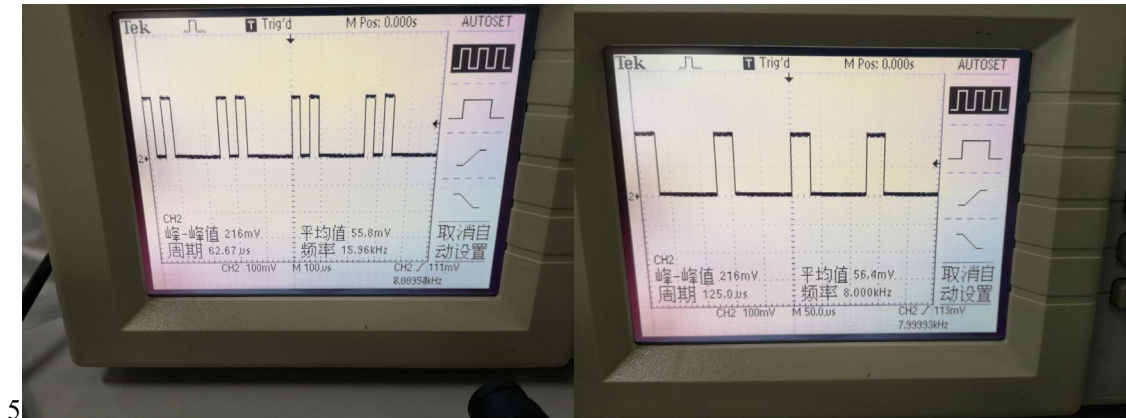
(5) 码型 10001000 -17.76dBm

(6) 码型 00100000 -20.58dBm

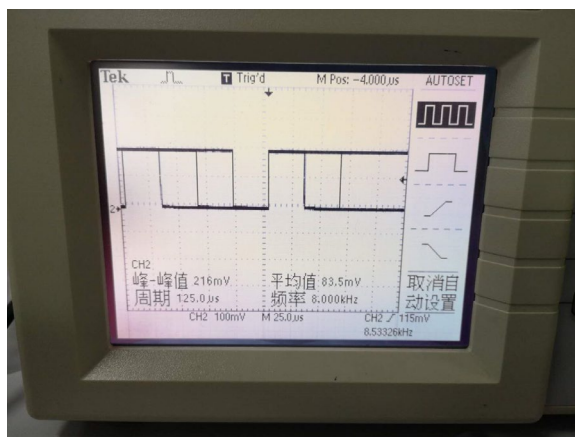
码型 10100000 -17.36dBm

码型 10101001 -14.56dBm

结论: 根据数据和 CMI 编码原理, 当为 0 时用 01 表示, 可以看出 0 越多时, 光功率越高。



(7) 8.533kHz -14.38dBm



(8) 180mV -14.40dBm

250mV -14.32dBm

228mV -14.36dBm

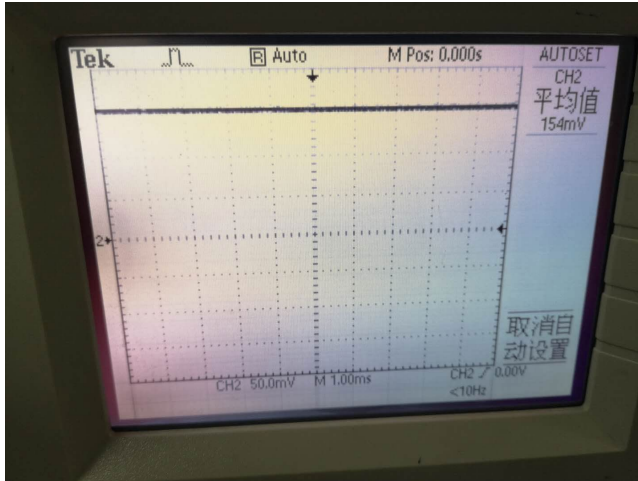
280mV -14.38dBm

结论：根据数据和 PN 随机序列满足 0、1 出现次数接近相同以及 CMI

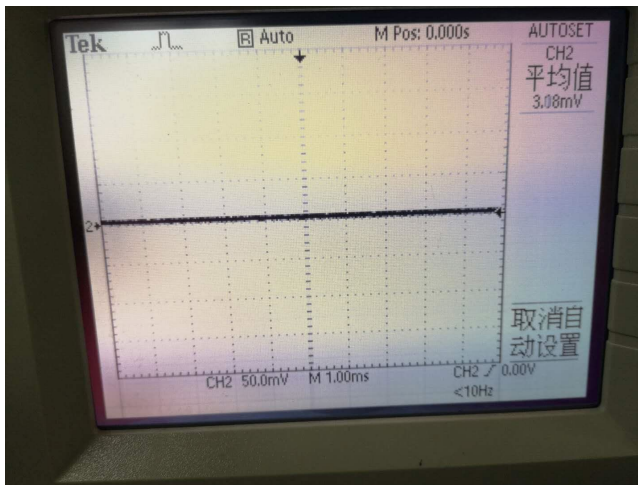
编码原理原则，可以看出，其输出光功率接近相同。

2. 1550nm 数字光端机消光比测量

(5) SW101 11111111 输出光功率 $P_1=62.6 \mu\text{w}$



(6) SW101 00000000 输出光功率 $P_0=0$



(7) 带入公式 2-1 得到消光比 $\text{EXT}=0$

3. 1310nm 数字光端机消光比测量

(3) 激光器对应于全“0”码的输出光功率为 $P_0=218\text{nw}$

(4) 激光器对应于全“1”码的输出光功率为 $P_1=174.2 \mu\text{w}$

(5) 代入公式 2-1 得到消光比 $\text{EXT}=29.03$

六、实验总结

1. 记录数字光发射端机的平均光功率，标上必要的实验参数说明，归纳出光发射机输出的光功率与输入电信号的那些参数有关。

2. 记录数字光发射端机的消光比，标上必要的实验说明。

3. 光纤通信系统中的消光比大小对系统传输特性有何影响？为什么？

答：消光比的这一指标，表示了光发送电路的一定质量参数。消光比过大时，即调制电流变化太大，容易产生调制过程中电光延迟和弛豫振荡。然而消光比过小时，又容易因偏置电流产生噪声功率而造成接收信噪比不能达到性能指标和光谱宽度增加的情况。



浙江工业大学

实验报告

课程：通信光电子基础

实验三： 半导体 LED 光源 P-I 曲线特性测量

姓 名 凌智城

学 号 201806061211

专业班级 通信工程 1803 班

老 师 郭淑琴

学 院 信息工程学院

提交日期 2020 年 11 月 05 日

一、 实验目的

1. 学习发半导体 LED 的发光原理；
2. 了解半导体 LED 平均输出光功率与注入电流的关系；
3. 掌握半导体 LED 的 P-I 曲线测试及绘制方法。

二、 实验仪器

1. 光纤通信实验箱
2. 半导体 LED（850nm）光通信模块
3. 20M 双踪示波器 1 台
4. 光功率计 1 台
5. 万用表 1 个
6. FC-ST 多模尾纤一根
7. 平口螺丝刀 1 个
8. 信号连接线

三、 实验原理

广泛应用于光纤通信系统的有两种半导体光源：发光二极管（Light Emitting Diode, LED）和激光二极管（Laser Diode, LD）。这两种光源的主要区别在与：LED 输出的是非相干光，其谱宽宽，入纤功率小，调制速率低；而 LD 是相干光输出，谱宽窄，入纤功率大，调制速率高。LED 适宜于短距离低速系统，LD 适宜于长距离高速系统。

发光二极管（LED）结构简单，是一个正向偏置的 PN 同质节，电子-空穴对在耗尽区辐射复合发光，称为电致发光。发光二极管（LED）发射的不是激光，输出功率较小、具有较宽的谱宽（30~60nm）、发射角较大（ $\approx 100^\circ$ ）、与光纤的耦合效率较低。其优点是：寿命很长，理论推算可达 10⁸ 至 10¹⁰ 小时，其次是受温度影响较小，输出光功率与注入电流的线性关系较好，价格也比较便宜，驱动电路简单，不存在模式噪声等问题。半导体发光二极管（LED）可以做为中短距离、中小容量的光纤通信系统的光源。

对于发光二极管（LED）而言，自发辐射产生的功率是由正向偏置电压产生的注入电流提供的，当注入电流为 I ，工作在稳态时，电子-空穴对通过辐射和非辐射复合，其复合率等于载流子注入率 I/q ，其中发射电子的复合率决定于内量子效率 η_{int} ，光子产生率为 η_{int}/q ，此 LED 内产生的光功率为式（3-1）：

$$p_{\text{int}} = \eta(\hbar\omega / q)I \quad (3-1)$$

式中， $\hbar\omega$ 为光量子能量。假定所有发射的光子能量近似相等，并设从 LED 逸出的功率内部产生功率的份额为 η_{ext} ，则 LED 的发射功率为式（3-2）：

$$p_e = \eta_{\text{ext}} p_{\text{int}} = \eta_{\text{ext}} \eta_{\text{int}} (\hbar\omega / q)I \quad (3-2)$$

η_{ext} 亦称为外量子效率。由 3-2 式可知，LED 发射功率 p 和注入电流 I 近似成正比。这 说明 LED 的 P-I 曲线线性度好，调制时动态范围大，信号失真小。 该实验测量其电光转换特性（P-I 特性），工作电流不同的时候，输出功率也不同，基本上是成线性关系（图 3-1）。用万用表测量发光二极管的驱动电流，同时用光功率计测得一定驱动电流下发出的光功率，从而完成 P-I 特性的测试。

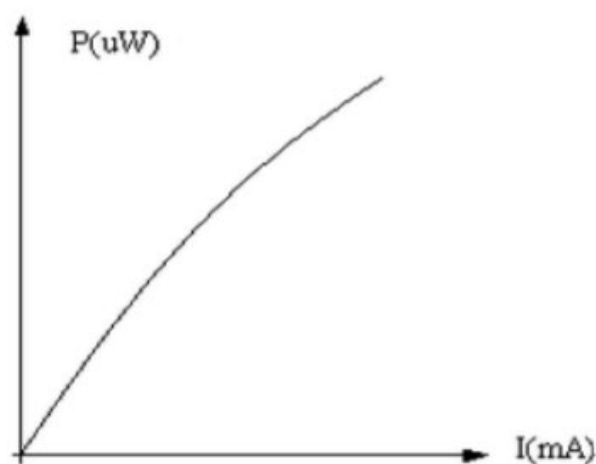


图 3-1 LED 发光二极管 P-I 曲线示意图



图 3-2 HFBR 系列光发送和光接收器件

本实验系统中采用安捷伦公司高性能的半导体通信光源组件 HFBR-1414T，如图 3-2 中左 上角的器件，HFBR 系列命名规则如图 3-3，HFBR-1414T 模块的各管脚功能分配表见图 3-4，表 3-1 为 HFBR-1414 的绝对参数，表 3-2 为 HFBR-1414 的电光特性，图 3-5 为输入电压与工 作电流关系曲线（V-I 曲线），图 3-6 为工作电流与光功率关系曲线（P/I 曲线）。

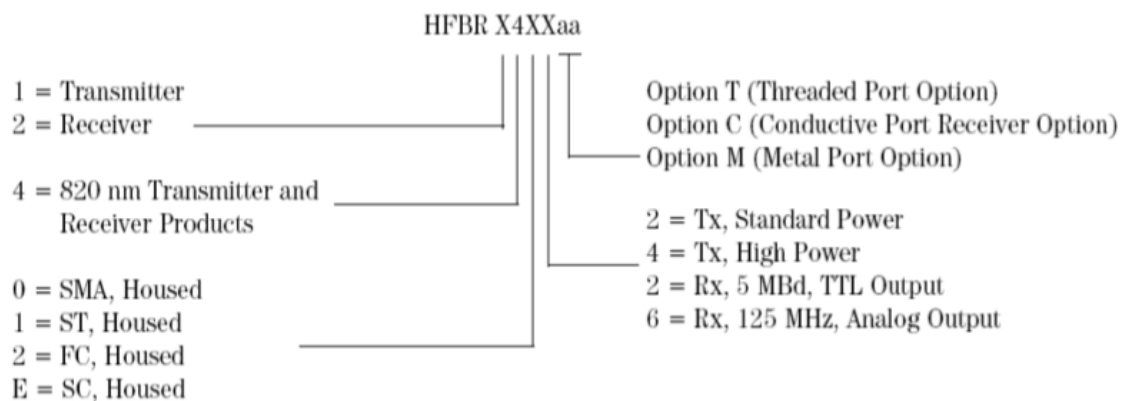


图 3-3 HFBR 系列命名规则

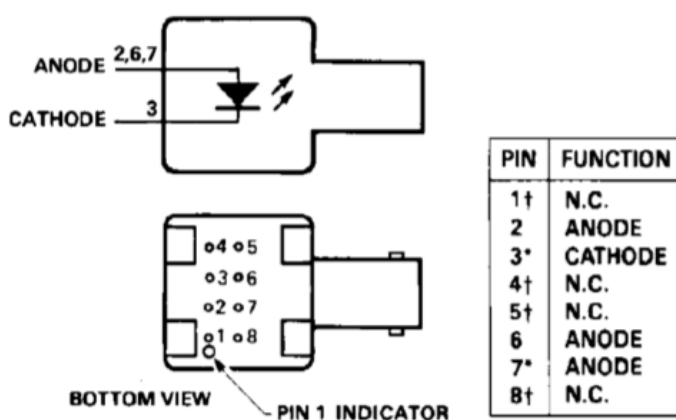


图3-4 HFBR-1414T管脚功能分配表

表3-1 HFBR-1414的绝对参数

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Reference
Storage Temperature	T _S	-55	+85	°C	
Operating Temperature	T _A	-40	+85	°C	
Lead Soldering Cycle	Temp.		+260	°C	
	Time		10	sec	
Forward Input Current	Peak	I _{FPK}	200	mA	Note 1
	dc	I _{Fdc}	100	mA	
Reverse Input Voltage	V _{BR}		1.8	V	

四、 各主要元件、各测量点和开关的作用

1. GQ001 为光发射器，其波长为 850nm。GQ002 为光接收器，可接收发端发出的 850nm 波长的光。发射器与接收器之间采用多模尾纤相连。
2. 左侧铆孔（P01）为电信号输入口，数字信号与模拟信号都可以从该铆孔输入。右侧铆孔（P02）为电信号输出口，电信号经过光纤传输后由该输出

口输出。

3. 模块上左右两侧红色视频接口（j003、j004），用来传送视频信号，左侧为发送，右侧 为接收。

4. TP01 为输入信号测量点，TP02、TP03 为发射器电流测量点，在测量电流时，需将 K01

短路器拔掉，不测电流时，必须插上。TP04、TP05 为光接收气器电流测量点，测量电流时， K02 短路器拔掉，不测电流时 必须插上。TP06 为光接收器输出信号测量点。

5. 电位器 W001 为输入电平调节、调整该电位器可以改变送入光发射器的输入信号大小。W1 电位器用来调整光发射器直流电流大小，W003、W004 都是用来调整光接收端输出信号大小。

表3-2 HFBR-1414的电光特性

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ^[2]	Max.	Units	Conditions	Reference
Forward Voltage	V_F	1.48	1.70	2.09	V	$I_F = 60 \text{ mA dc}$	Figure 9
			1.84			$I_F = 100 \text{ mA dc}$	
Forward Voltage Temperature Coefficient	$\Delta V_F / \Delta T$		-0.22		mV/°C	$I_F = 60 \text{ mA dc}$	Figure 9
			-0.18			$I_F = 100 \text{ mA dc}$	
Reverse Input Voltage	V_{BR}	1.8	3.8		V	$I_F = 100 \mu\text{A dc}$	
Peak Emission Wavelength	λ_P	792	820	865	nm		
Diode Capacitance	C_T		55		pF	$V = 0, f = 1 \text{ MHz}$	
Optical Power Temperature Coefficient	$\Delta P_T / \Delta T$		-0.006		dB/°C	$I = 60 \text{ mA dc}$	
			-0.010			$I = 100 \text{ mA dc}$	
Thermal Resistance	θ_{JA}		260		°C/W		Notes 3, 8
14X2 Numerical Aperture	NA		0.49				
14X4 Numerical Aperture	NA		0.31				
14X2 Optical Port Diameter	D		290		μm		Note 4
14X4 Optical Port Diameter	D		150		μm		Note 4

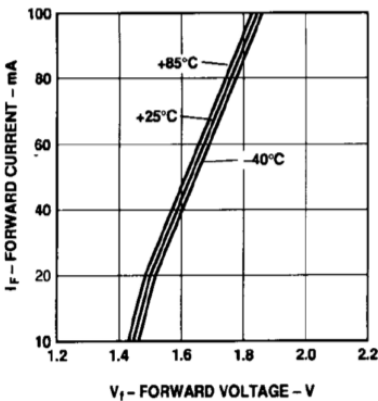


图3-5 输入电压与工作电流关系

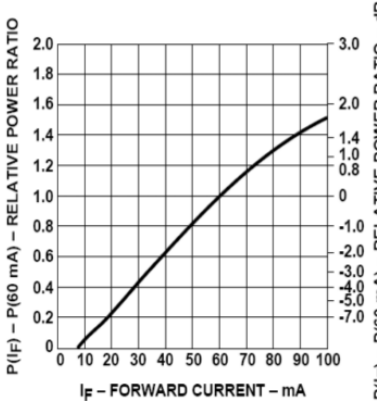


图3-6 工作电流与光功率关系曲线

五、 实验注意事项

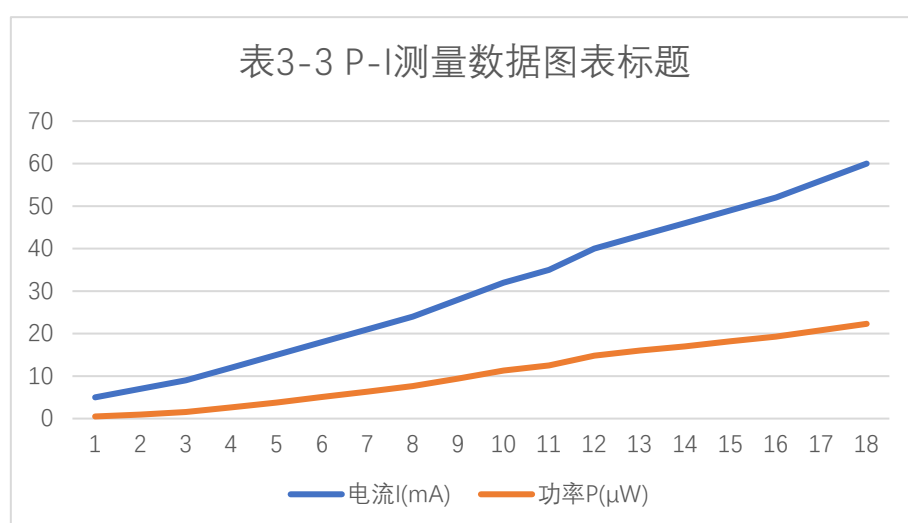
1. 实验中发光二极管驱动电流不可大于 60mA，否则有烧毁发光二极管的危险。
2. 由于光源、光功率计、光跳线等光器件的插头属易损件，应轻拿轻放，使用时切忌用力过大，不可带电拔插光电器件。
3. 光接头连接时，请预先了解接头的结构，手持接头金属部分，按接口的轴线方向轻插轻拔，防止损坏纤芯。
4. 不要将工作中的光纤芯对准眼睛，以免受伤。

六、 实验步骤

1. 关闭系统电源，将“850nm 模块”插入实验箱左下角，将“850nm 模块”上发射器尾纤取下，拔下光纤 ST 口的方法是先往发射器方向压紧再旋转出卡口，（注意实验结束后插回原位），用另外一根 ST-FC 尾纤将功率计与光发射器相连，其中光纤 ST 口接光发射器，FC 接口接光功率计，以便测试光发射器的光功率。将万用表正表笔与“850nm 模块”TP03 相连，负表笔与 TP02 相连，K01 短路帽拔掉。万用表设置为直流电流（200mA）档。
2. 打开系统电源和光功率计电源，光功率计选择 850nm 波长和功率单位 uW 档。
3. 按照下表调整 W1，达到相应的电流值（顺时针调输入电流减小），测出与电流相对应的光功率，并填入表 3-3 中。

电流 I(mA)	5	7	9	12	15	18	21	24	28	32	35	40
功率 P(μW)	0.502	0.954	1.56	2.64	3.76	5.08	6.34	7.64	9.43	11.3	12.5	14.8
电流 I(mA)	43	46	49	52	56	60						
功率 P(μW)	16.0	17.0	18.2	19.3	20.8	22.3						

4. 以横轴为电流 I，纵轴为功率 P，按照上表画出其对应的 P-I 曲线。



5. 测试完毕后，调整 W1，使电流达到中间值（如 30mA），以便使光发射器在正常工作状态。

6. 关闭系统电源，插好 K01 跳线器，将“850nm 模块”上发射器尾纤取下，带上防尘帽，单方向绕大圈放到包装袋内，防止折断。把原光纤安装在光发射器和光接收器上，安上 K01 短路帽，把“850nm 模块”拔下拿到箱外，整理好实验设备。

七、 实验总结

1. 简述 LED 发射器原理。

答：LED 是一种直接注入电流的电致发光器件，其半导体晶体内部受激电子从高能级恢复到低能级时发射出光子，属自发辐射过程。LED 为非相干光源，具有较宽的谱宽（30~60nm）和较大的发射角（ $\approx 100^\circ$ ），常用于低速、短距离光波系统。

2. 记录和分析实验数据。

答：光发射机 I-P 特性测量实验，主要是验证实验。半导体激光器有一个门限电流 I_{th} ，当注入电流 I 低于 I_{th} 时功率就不会有较大的变化，当注入电流 I 大于 I_{th} 时功率就发生线性剧烈变化。



浙江工业大学

实验报告

课程：通信光电子基础

实验四：用 OTDR 测量光纤长度、损耗及断点

姓 名 凌智城

学 号 201806061211

专业班级 通信工程 1803 班

老 师 郭淑琴

学 院 信息工程学院

提交日期 2020 年 11 月 12 日

一、实验目的

1. 掌握光时域反射仪进行光纤长度、损耗及断点测试原理；
2. 学会使用光时域反射仪测量光纤长度、损耗及断点。

二、实验仪器

1. 光时域反射仪
2. 3km 光纤、3m 光纤跳线等
3. 酒精、药棉、镊子

三、实验原理

光时域反射仪 (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) 简称光时域仪，它是通过被测 光纤中产生的背向瑞利散射信号来工作的，所以又叫做背向散射仪。主要用来测量光纤长度、 光纤故障点、光纤衰耗以及光纤接头损耗等，是光纤测试的重要仪器，经常用于科研、光缆 工程施工和光缆线路维护工作中。

OTDR 主要根据光学原理以及瑞利散射和菲涅尔反射理论制成的，包含一个光发射机 (激光器) 和一个光接收器。激光源发出一定强度和波长的光束至被测光纤，由于光纤本身的缺陷、 制作工艺和石英玻璃材料成分的不均匀性，使光在光纤中传输产生瑞利散射；由于机械连接 和断裂等原因将造成光在光纤中产生菲涅尔反射，由光纤沿线各点反射回的微弱的光信号经 光定向耦合器到仪器的接收端，距 OTDR 较近的光纤中的后向分散会很快到达，距 OTDR 较 远的光纤中的后向分散则需要较长时间，距 OTDR 的长度与后向分散返回所需要的时间成正比。OTDR 通过测量光在光纤中的往返时间来计算光纤长度，光纤长度的计算公式如式 4.1， 光纤的折射率对

计算结果的准确性至关重要，通常由光纤生产商提供，真空中的光速为 $3.0 \times 10^8 \text{ km/s}$ 。

$$\text{光纤长度} = 0.5 \times \text{往返时间} \times \text{真空中的光速} / \text{折射率} \quad (4-1)$$

光纤沿线各点反射回的微弱的光信号经光定向耦合器到仪器的接收端，通过光电转换器、低噪声放大器、数字图象信号处理等过程，显示光纤沿长度损耗的分布特性曲线。

用 OTDR 进行光纤测量可分为三步：参数设置、数据获取和曲线分析。人工设置测量参数包括：

1. 波长选择(λ)

因不同的波长对应不同的光线特性(包括衰减、微弯等)，测试波长一般遵循与系统传输通信波长相对应的原则，即系统开放 1550nm 波长，则测试波长为 1550nm。

2. 脉宽(Pulse Width)

脉宽越长，动态测量范围越大，测量距离越长，但在 OTDR 曲线波形中产生盲区更大；短脉冲注入光平低，但可减小盲区。脉宽周期通常以 ns 来表示。脉冲宽度直接影响着 OTDR 的动态范围，随着被测光纤长度的增加，脉冲宽度也应逐渐加大，脉宽越大，功率越大，可测的距离越长，但分辨率变低。脉宽越窄，分辨率越高，测量也就越精确。一般根据所测纤长，选择一个适当大小的脉冲宽度，经常是试测两次后，确定一个最佳值。

用 OTDR 测试光纤时，反映不出某段范围内光纤损耗等的测量情况，称之为盲区。实际上，盲区是由 OTDR 测量输出/输入端口与被测光纤活动连接上产生的菲涅尔反射所造成的，在光纤线路中，若某点存在菲涅尔反

射，反射光功率远大于瑞利散射光功率，则在示波器处显现的后向散射曲线上，对应光纤菲涅尔反射点处有突变的峰值区。

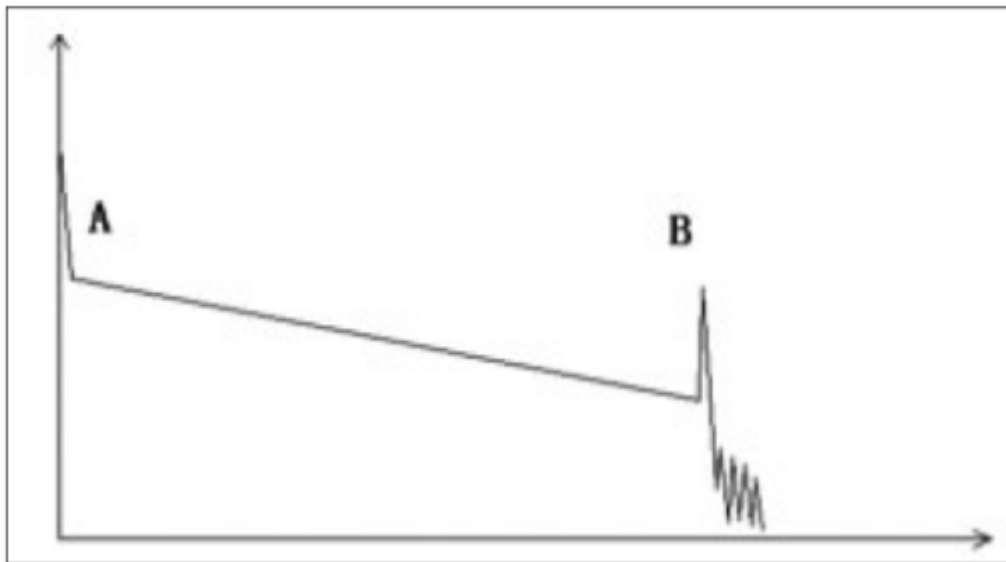


图4-1 正常曲线

盲区范围大小与所选测试光脉冲宽度有关。光脉冲越宽，信号越强，对返回信号处理有利。但由于 OTDR 与被测光纤连接点上的菲涅尔反射增强，该段时间内包括瑞利散射在内的其它任何信号均被掩盖，分辨不出，所以盲区也越大。OTDR 发出的光脉冲通过 OTDR，与被测光纤连接的点会产生很强的菲涅尔反射。若把光脉冲前沿到达连接点的时间视为起始时间，且不考虑光的二次及二次以上反射，则光脉冲的前 $\tau/2$ 部分通过连接点后，进入光纤所产生的后向瑞利散射光，与光脉冲后 $\tau/2$ 部分在连接点上产生的菲涅尔反射光正好同时到达 OTDR；而光脉冲前 $\tau/2$ 部分在连接点上的菲涅尔反射，与光脉冲后 $\tau/2$ 部分产生的后向瑞利散射同时到达 OTDR。由于菲涅尔反射光功率远大于后向散光功率，光脉冲进入被测光纤后，在前 $\tau/2$ 时间的后向瑞利散射（即通过光纤连接点以后的部分）被菲涅尔反射掩盖。OTDR 长度坐标的 0 刻度应设置在 OTDR 测量输出/输

入端口与被测光纤活动连接点所产生的菲涅尔反射峰的前沿。

图 4-1 为正常曲线图，A 为盲区，B 为测试末端反射峰。测试曲线为倾斜的，随着距离的增长，总损耗会越来越大。

图 4-2 中连续曲线中间多了一个反射峰，一般情况下中间的反射峰为一个接续点。

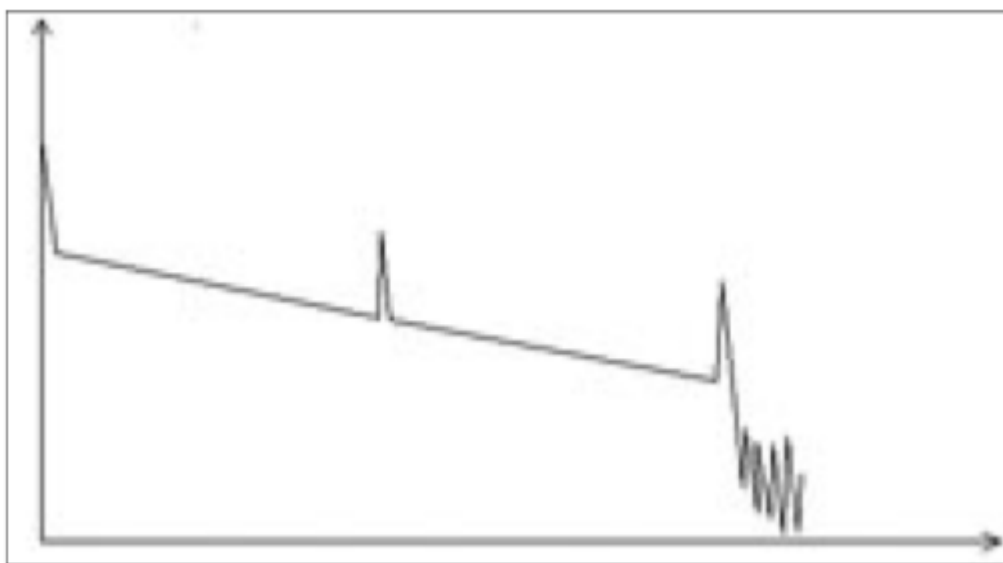


图4-2 中间有接续点曲线

3. 测量范围(Range)

OTDR 测量范围是指 OTDR 获取数据取样的最大距离，此参数的选择决定了取样分辨率 的大小。最佳测量范围为待测光纤长度 1.5~2 倍距离之间。

4. 平均时间

由于后向散射光信号极其微弱，一般采用统计平均的方法来提高信噪比，平均时间越长， 信噪比越高。例如，3min 的获得取将比 1min 的获得取提高 0.8dB 的动态。但超过 10min 的获 得取时间对信噪比的改善并不大。一般平均时间不超过 3min。

参数设置好后，OTDR 即可发送光脉冲并接收由光纤链路散射和反射回

来的光，对光电探测器的输出取样，得到 OTDR 曲线，对曲线进行分析即可了解光纤质量。

四、实验步骤



图4-3 连接方式

1. 接头清洁

OTDR 的输出接口、活接连接器及光纤接口接入 OTDR 前，必须认真清洗，否则插入损耗太大、测量不可靠、曲线多噪音甚至使测量不能进行，它还可能损坏 OTDR。

将棉花撕成层面平整的扇形小块，用镊子夹取药用棉，沾少许酒精（以两指相捏无溢出为宜）清洁各接口，每次要使用棉花的不同部位和层面，一块棉花使用 2~3 次后要及时更换，这样即可提高棉花利用率，又防止了接口的两次污染。

2. 连接

将光纤通过接口连接到光时域反射仪上。把电源适配器接在 OTDR 的电源接口上，如图 4-3，按下电源按钮，OTDR 启动。

3. 面板

在安捷伦 Agilent E6000 Series Mini-OTDR 的面板左侧，从上到下依次排列：“Run/Stop” 键、方向键、选择“Select”键（图 4-4）。方向键和选择键在不同的测量步骤中代表不同的含义，具体内容在显示屏中的右上侧显示出来，如图 4-5。



图4-4 操作按钮



图4-5 方向键和选择键的含义

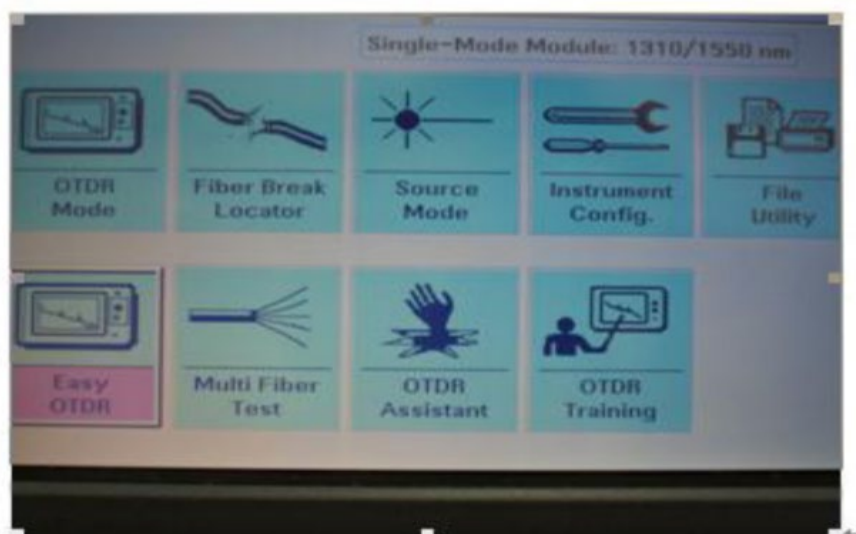


图4-6 菜单图

4. 光纤断点测量

打开系统电源开关，底板的电源指示灯正常显示。若电源指示灯显示不正常，请立即关 开机主菜单如图 4-6，在主菜单上选择“Fiber Break Locator” 光纤断点测量项目。出现图 4-7，根据屏幕提示按“Select” 键。接着按“Run/Stop” 键开始测量。当“Run/Stop” 键上红灯灭后， 屏幕显示断点位置、总损耗（图 4-8）。记录测量结果。

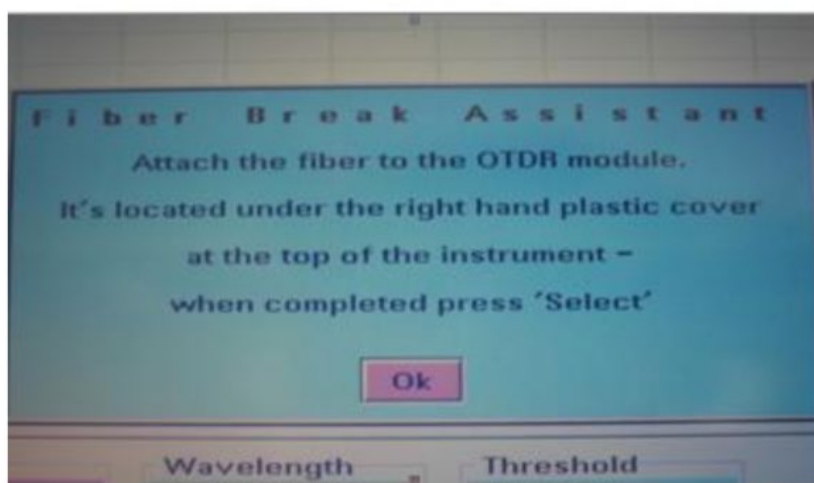


图4-7 屏幕提示

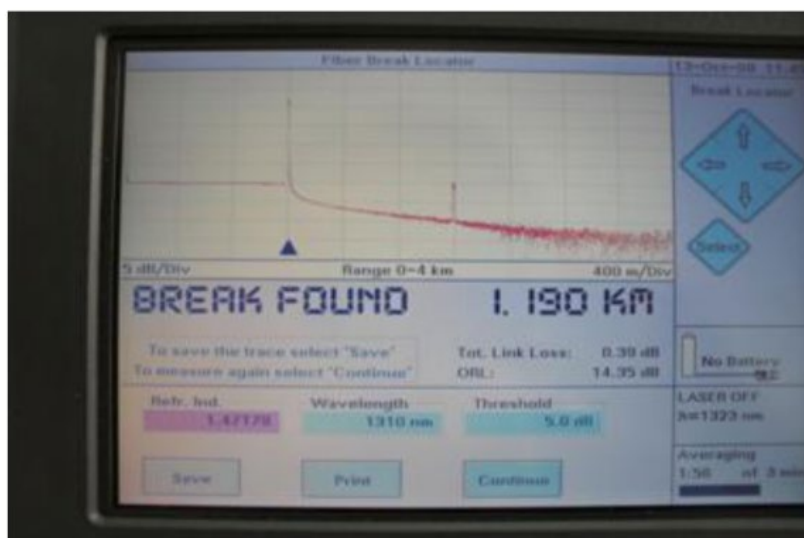


图 4-8 测量结果示例

用光标键选中显示屏幕图 4-8 中“Continue”按钮，按“Select” 键，根据提示，用方向键 选定“Close”，结束断点测量。

5. 光纤长度、损耗测量

(1) 回到主菜单（图 4-6），用方向键选择“OTDR Mode”，按“Select”确定。

(2) 参数设置：这时“Select”键对应屏幕右侧的“Popup Menu”，选择“Settings”，按“Select”键。移动光标键选定 Range、PulseWidth、WaveLength、Meas.Mode、Ave.Tiime 等项目，按“Select”键，通过方向键选择合适的量程、波长、脉冲宽度、测量模式、平均测量时间等参数。将光标键移到“OK”，按“Select”键确定选择参数，退出设置界面。

(3) 按“Run/Stop”键开始光纤长度、光纤的损耗的测量。通过光标键来选择光标 A、B 的位置，测量 A、B 之间的长度、损耗。

(4) 按“Run/Stop”键开始光纤长度、光纤的损耗的测量。通过光标键来选择光标 A、B 的位置，测量 A、B 之间的长度、损耗。

屏幕下侧各变量的含义为：

A-B： 光标 A 和光标 B 之间的距离。

B- 2pt.L： 光标两点之间的损耗。

C- Ins.L： at A/B： 靠近光标点的插入损耗。

D- Range： 量程

E- Pwidth： 脉冲宽度。

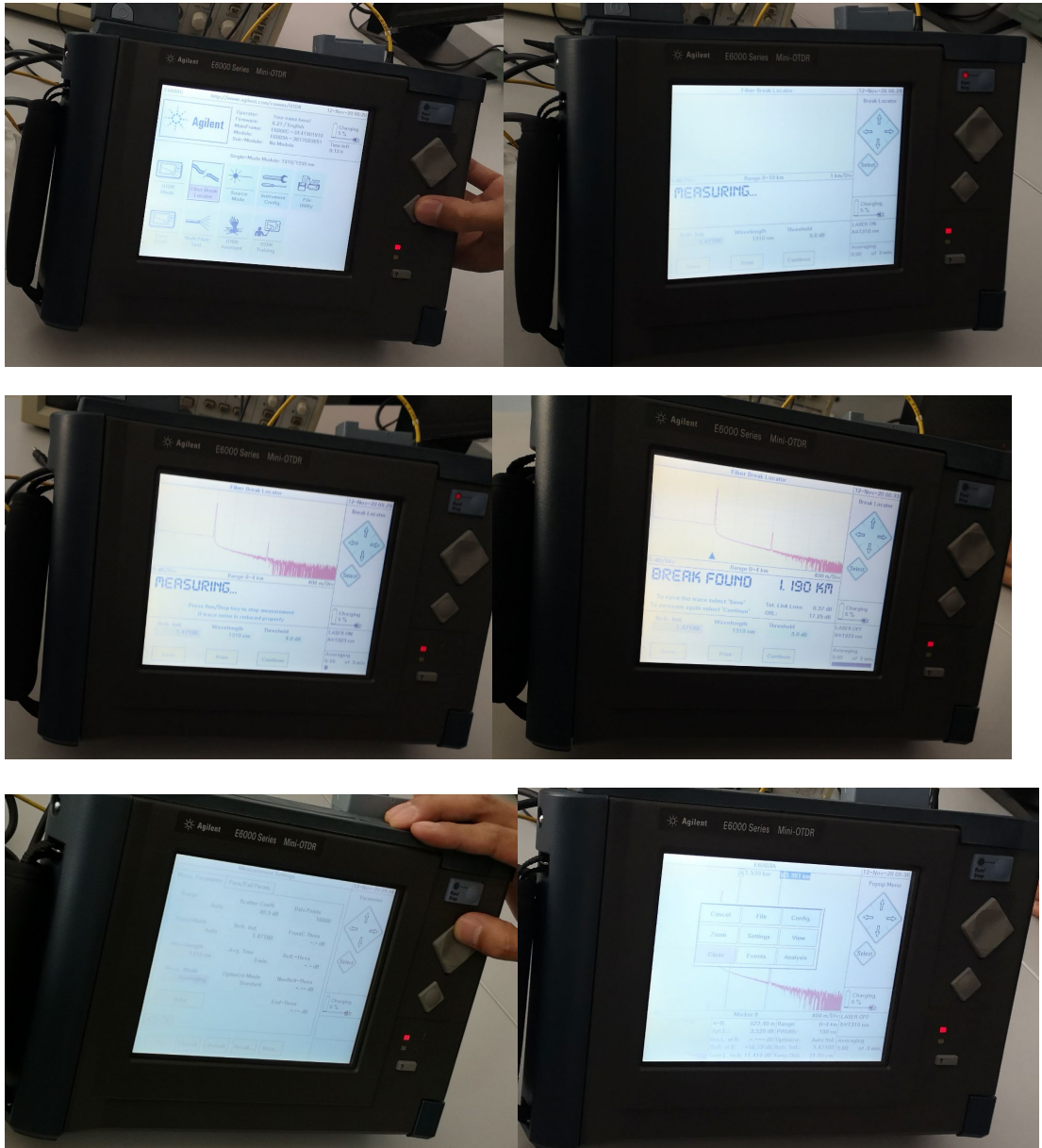
F- Sample Dist： 采样距离。

G- 从光纤的另一端进行相同的测量。对测量结果进行分析。

(5) 关闭电源，旋下光纤接口，整理仪器和器件。

五、实验总结

1. 画出测量的结果图，确定光纤长度、光纤的损耗系数以及光纤断点的位置。



2. 理解光时域反射仪如何实现光纤的上述性能参数的测量。

时域反射仪测试是通过发射光脉冲到光纤内,然后在 光时域反射仪端口接收返回的信息来进行。当光脉冲在光纤内传输时,会由于光纤本身的性质,连接器,接合点,弯曲或其它类似的事件而产生散射,反射。其中一部分的散射和反射就会返回到 光时域反射仪中。返回的有用信息由 光时域反射仪的探测器来测量,它们就作为光纤内不同位置上的时间或曲线片断。从发射信号到返回信号所用的时间,再确定光在玻璃物质中的速度,就可以计算出距离。光时域反射仪会打入一连串的光突波进入光纤来检验。检验的方式是由打入突波的同一侧接收光讯号,因为打入的讯号遇到不同折射率的介质会散射及反射回来。反射回来的光讯号强度会被量测到,并且是时间的函数,因此可以

将之转算成光纤的长度。作为 1550nm 波长的光时域反射仪，它也具有低的衰减性能，因此可以进行长距离的测试。而作为高衰减的 1310nm 或 1625nm 波长，光时域反射仪的测试距离就必然受到限制，因为测试设备需要在 OTDR 轨迹中测出一个尖锋，而且这个尖锋的尾端会快速地落入到噪音中。瑞利散射是由于光信号沿着光纤产生无规律的散射而形成。光时域反射仪就测量回到光时域反射仪端口的一部分散射光。这些背向散射信号就表明了由光纤而导致的衰减（损耗/距离）程度。菲涅尔反射是离散的反射，它是由整条光纤中的个别点而引起的，这些点是由造成反向系数改变的因素组成，例如玻璃与空气的间隙。在这些点上，会有很强的背向散射光被反射回来。因此，光时域反射仪就是利用菲涅尔反射的信息来定位连接点，光纤终端或断点。



浙江工业大学

实验报告

课程：通信光电子基础

实验五：波分复用器的性能指标测量

姓 名 凌智城

学 号 201806061211

专业班级 通信工程 1803 班

老 师 郭淑琴

学 院 信息工程学院

提交日期 2020 年 11 月 19 日

六、实验目的

3. 了解光波分复用器的原理；
4. 掌握光波分复用器的测试方法；
5. 了解光波分复用器的用途。

七、实验仪器

4. 光纤通信实验箱
5. 20M 双踪示波器
6. 光波分复用器（中心波长 1310/1550） 1 对
7. 活动连接器 1 个
8. 信号连接线 2 根

八、实验原理

1. 光波分复用器原理

光波分复用器（Optic Wavelength Division Multiplexing, WDM）又称为光合波/分波器。光波分复用器是为适应光波波分复用技术的需要研制出来的，使用光波分复用器的主要目的是提高光纤传输线路的传输容量。

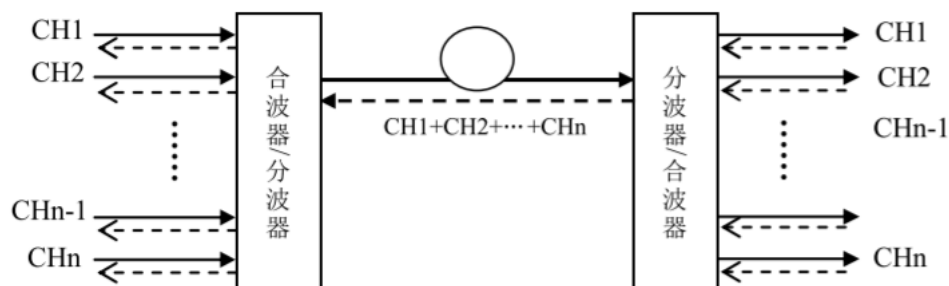


图 5-1 波分复用原理图

波分复用是指一条光纤中同时传输具有不同波长的几个光载波，而每个光载波又各自载 荷一群数字信号，因此波分复用又称多群复用。图 5-1 给出的是波分复用通信的原理图。具有 不同波长、各自载有信息信号的若干

个载波经由通道 CH1、CH2、……CH_n 等进入合波器，被耦合到同一条光纤中去，再经过此条光纤长距离传输，到终端进入分波器，由其按波长将各载波分离，分别进入各自通道 CH1、CH2、……CH_n，并分别解调，从而使各自载荷的信息重现。同样过程可沿与上述相反的方向进行，如图中的虚线所示，这样的复用称为双向复用，显然，双向复用的复用容量将增大一倍，如一个通道传输的信息量为 B，单向复用传输的则为 NB，双向复用传输的则为 2NB。

从上面分析不难看出，复用通信系统中关键的部件是合波、分波器，由于分波器与合波器在原理上是相同的，因此可统称波分复用器。

2. 光波分复用器的分类

光波分复用器一般地分为有源、无源以及集成光学型几类。

（1）无源光波复用器

光波复用器由光滤波器构成。光滤波器一般地分为三种类型，即相干光滤波器、棱镜型滤波器，以及衍射光栅滤波器。

（2）有源波分复用器

有关有源光波分复用器主要是多波长激光器(LD)，多波长发光二极管(LED)、多波长光检测器以及集成光学型的光波分复用器。

3. 光波分复用器一般性能

光波分复用器的主要性能指标是：波分复用光通道数、工作波长、插入损耗、波长隔离度以及结构方式、外形尺寸等等。

光波分复用器的主要技术性能指标如：

工作波长：1300、1550nm

插入损耗： $\leq 0.5\text{dB}$

波长隔离度： $>20\text{ dB}$

温度范围： $0\sim 65^{\circ}\text{C}$

热稳定性： $\leq 4\%$

偏振稳定性： $\leq \pm 2.5\%$

回波损耗： $>50\text{ dB}$

最大功率： 350mW

4. 光波分复用器连接

本实验系统提供了 1310nm 、 1550nm 两个工作波长光源，所以配置波分复用器也必须是这两个工作波长。图 5-2 为波分复用器（合波器、分波器）在本实验系统中常用连接示意图。a 点 1310nm 光波与 b 点 1550nm 光波经合波器复用到达 c 点，即 $1310\text{nm}+1550\text{nm}$ 光波；c 点复用光波经分波器后，又分为 d 点 1310nm 光波和 e 点 1550nm 光波。理想情况下，d 点应是 与 a 点完全一样的 1310nm 光波，e 点应是 与 b 点完全一样的 1550nm 光波。由于插入损耗等性能指标并不十分理想，d 点和 e 点输出的光波的功率与输入的 a 点，b 点的参数会有差异。

下面将对插入损耗和隔离度等指标进行测量。

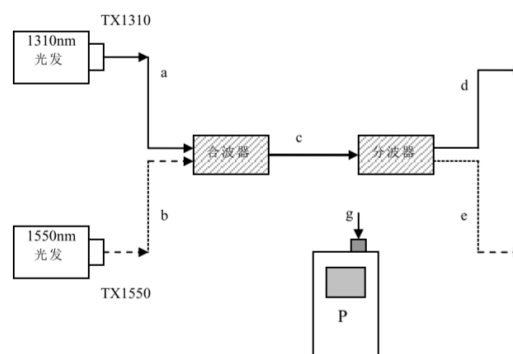


图 5-2 波分复用器常用连接示意图

图 5-2 中，c 点的 1310nm 光功率与 a 点的 1310nm 光功率的差值为光波分复用器对 1310nm 光传输的插入损耗，c 点的 1550nm 光功率与 b 点的 1550nm 光功率的差值为光波分复用器对 1550nm 光传输的插入损耗。但由于便携式光功率计不能滤除 1310nm 光只测 1550nm 的光功率，同时也不能滤除 1550nm 光只测 1310nm 的光功率。所以我们改用下面方法进行插入损耗测量，也可以同时对其隔离度指标进行测量。见图 5-3。

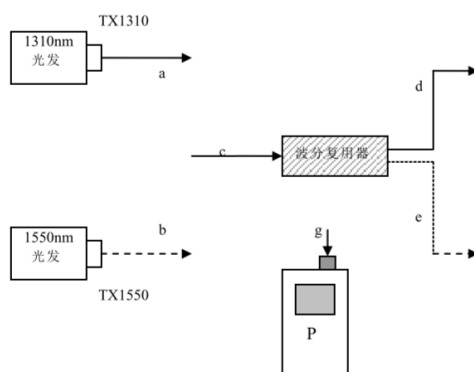


图 5-3 波分复用器测量连接示意图

5. 测量 1310nm 的插入损耗和波长隔离度

如图 5-3 中所示，首先测出 1310nm 光源的输出光功率，记为 P_a 。紧接着将波分复用器的 c 点接 1310nm 光源 a 点，用光功率计测出波分复用器的输出 d、e 两点功率，分别记为 P_d 、 P_e 。代入下面公式得出对应的插入损耗和隔离度。填入表格 5-1。

$$\text{插入损耗:} \quad L_i = 10Lg \frac{P_a}{P_d} \text{ (dB)} \quad (5-1)$$

$$\text{隔离度:} \quad L_g = 10Lg \frac{P_a}{P_e} \text{ (dB)} \quad (5-2)$$

6. 测量 1550nm 的插入损耗和波长隔离度

如图 5-3 中所示，首先测出 1550nm 光源的输出光功率，记为 P_b 。紧接着将波分复用器的 c 点接 1550nm 光源 b 点，用光功率计测出波分复用器的输出 e、d 两点功率，分别记为 P_e 、 P_d 。代入下面公式得出对应

的插入损耗和隔离度。填入表格 5-1。

插入损耗：

$$L_i = 10Lg\frac{P_b}{P_e} \text{ (dB)}$$

(5-3)

隔离度：

$$L_g = 10Lg\frac{P_b}{P_d} \text{ (dB)}$$

(5-4)

功率 \ 波长	输入功率 (mW)	输出功率 (mW)		插入损耗 (dB)	隔离度 (dB)
1310nm	Pa: 0.238	Pd: 0.189	Pe: 10.8nW	1.00	53.8
1550nm	Pb: 0.122	Pe: 0.118	Pd: 20.3nW	0.145	37.8

九、实验步骤

6. 光波分复用器 1310nm 光传输插入损耗和波长隔离度的测量

(1) 关闭系统电源，按照前面实验中图 5-3 将 1310nm 光发射端机的 TX1310 法兰接口、 FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好，注意收集好器件的防尘帽。

(2) 打开系统电源，液晶菜单选择“光纤测量实验—平均光发功率”确认，即在 P103 (P108) 铆孔输出 32KHZ 的 31 位 m 序列。

(3) 示波器测试 P103 (P108) 铆孔波形，确认有相应的波形输出。

(4) 用信号连接线连接 P103 (P108)、P201 两铆孔，示波器 A 通道测试 TP201 测试点，确认有相应的波形输出，即将 32KHZ 的 31 位 m 序列电信号送入 1310nm 光发端机，并转换成光信号从 TX1310 法兰接口输出。

(5) 调节光功率计工作波长“1310nm”、单位“mW”，读取此时光功率，即为 1310nm 光发射端机在正常工作情况下，对于 31 位 m 序列的平均光

功率，记录光功率 P_a 。

(6) 关闭系统电源，按照图 5-3 将光波分复用器串入（记住包装中光波分复用器放置的**连接**将光纤通过接口连接到光时域反射仪上。把电源适配器接在 OTDR 的电源接口上，如图 4-3，按下电源按钮，OTDR 启动。

7. 光波分复用器 1550nm 光传输插入损耗和波长隔离度的测量

(1) 关闭系统电源，按照前面实验中图 5-3 将 1550nm 光发射端机的 TX1550 法兰接口、FC-FC 单模尾纤、光功率计连接好，注意收集好器件的防尘帽。

(2) 打开系统电源，液晶菜单选择“光纤测量实验—平均光发功率”确认，即在 P103 (P108) 铆孔输出 32KHZ 的 31 位 m 序列。

(3) 示波器测试 P103 (P108) 铆孔波形，确认有相应的波形输出。

(4) 用信号连接线连接 P103 (P108)、P203 两铆孔，示波器 A 通道测试 TX1550 测试点，确认有相应的波形输出，调节 W205 即改变送入光发端机信号 (TX1550) 幅度最大（不超过 5V），记录信号电平值。即将 32KHZ 的 31 位 m 序列电信号送入 1550nm 光发端机，并转换成光信号从 TX1550 法兰接口输出。

(5) 调节光功率计工作波长“1550nm”、单位“mW”，读取此时光功率，即为 1550nm 光发射端机在正常工作情况下，对于 31 位 m 序列的平均光功率，记录光功率 P_b 。

(6) 关闭系统电源，按照图 5-3 将光波分复用器串入（记住包装中光波分复用器放置的方式，测量完后原样包装好），光纤测得 1550nm 输出端口的光功率 P_e ，紧接着将光功率计移到 1310nm 输出端口，测得 1550nm 串

扰光功率 P_d ，注意收集好器件的防尘帽。

(7) 将测得数据填入表格，并代入公式算出插入损耗和隔离度。

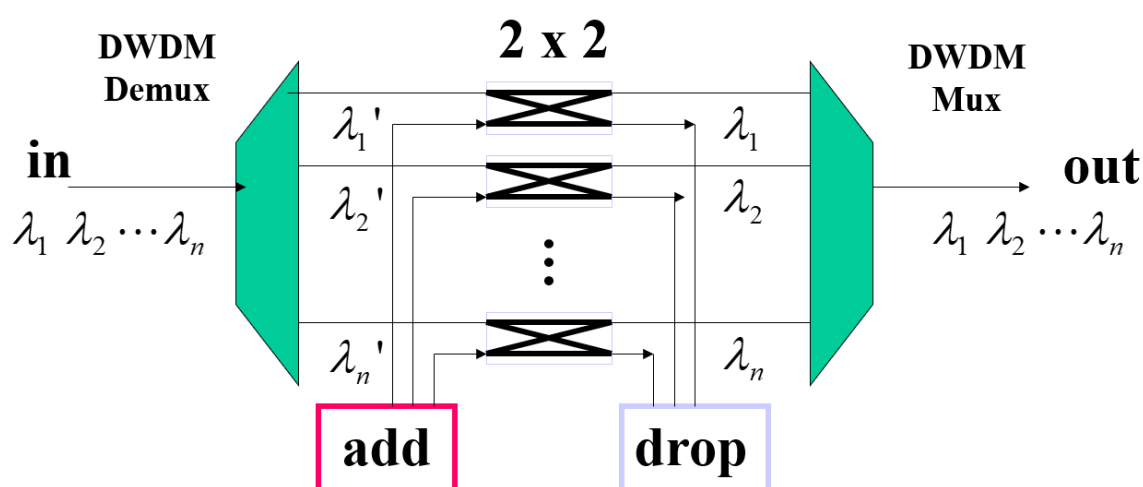
(8) 关闭系统电源，拆除各光器件并套好防尘帽，整理实验设备。

十、实验总结

1. 简述光波分复用器原理，并画出实验框图。

光波分复用器是对光波波长进行分离与合成的光器件，其中的一个端口作为器件的输出 / 输入端，而 N 个端口作为器件的输入 / 输出端，当作为对光波波长起合成作用的器件时，从 N 个端口各自注入不同波长的光信号，在一个端口处将获得按一定光波波长顺序分开的光波信号；当器件作为解复用器时，注入到入射端的各种光波信号，将分别根据其波长的不同，传输到对应的不同出射端口（ N 个端口之一）。由以上分析可以知道，各端口可以作为输入端口，也可以作为输出端口。

OADM Using optical switches



2. 完成实验数据测量和分析。