《数据通信技术》

一第10章光网络器件与光纤通信系统的设计

主讲:郑秋匀

系部:数据科学与工程系

办公室: 逸夫楼413

E-mail:109345@qq.com

本章教学内容



- □光纤通信系统中所用的器件可分成有源器件和无源器件两大类。
- □有源器件的内部存在着光电能量转换的过程,而没有该功能的则 称为无源器件。
- □本章主要了解相关光器件;了解光纤通信系统设计原则等。
- □共<mark>2</mark>课时。

5.1 光放大器

- □光放大器是可将微弱光信号直接进行光放大的器件。
- □光信号沿光纤传输一定距离后,会因为光纤的衰减特性而减弱,从而使传输距 离受到限制。为了使信号传送的距离更大,就必须增强光信号。
- □光纤通信**早期**使用的是光一电一光再生中继器,需要进行光电转换、电放大、 再定时脉冲整形及电光转换,这种中继器适用中等速率和**单波**长的传输系统。
- □经过多年的探索,已经研制出多种光放大器,如基于受激辐射机理来实现入射 光功率放大。优势:
 - □一,可以对任何比特率和格式的信号都加以放大,这种属性称之为光放大器对任何比特率和信号格式是透明的。
 - □二,它不只是对单个信号波长,而是在一定波长范围内对若干个信号都可以放大。

5.1 光放大器

□光放大器的原理

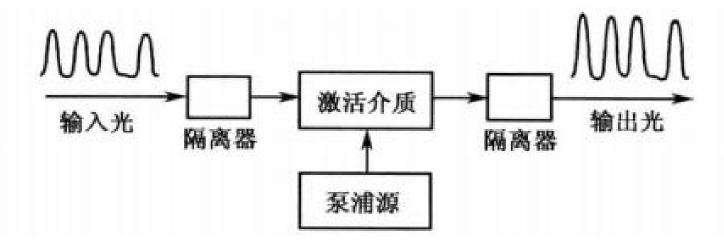
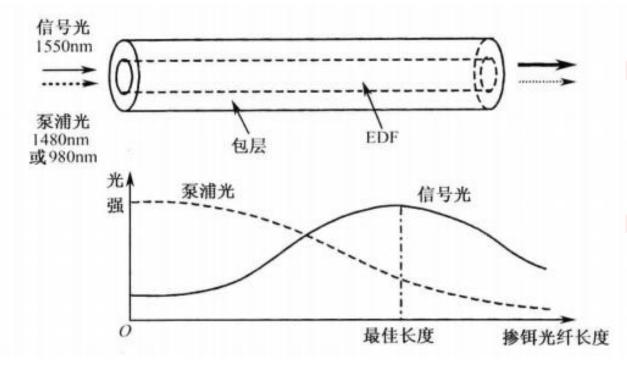


图1.2.14 光放大器的原理

5.1 光放大器

□激活介质为一种稀土掺杂光纤,它吸收了泵浦源提供的能量,使电子跳到高能级上,产生<mark>粒子数反转</mark>,输入信号光子通过<mark>受激辐射</mark>过程触发这些已经激活的电子,使跃迁到较低的能级,从而产生一个放大信号。



- 泵浦源是具有一定波长的光能量源,掺铒光纤放大器,其泵浦光源的波长有1480nm和980nm两种,激活介质则为掺铒光纤。
- □最佳长度,这个长度大约在20 40米。而1480nm泵浦光的功率 为数十毫瓦。

图1.2.15 掺铒光纤中泵浦光功率与信号光功率之间的转换

5.1.2 半导体光放大器

- □ 半导体光放大器SOA(Semiconductor Optical Amplifier)分成法布里 一珀罗腔放大器FPA(Fabry-Perot Amplifier)和行波放大器 TWA(Traveling-Wave Amplifier)两大类。
- □法布里一珀罗腔放大器两侧有部分反射镜面,它是由半导体晶体的解理面形成的。其自然反射率达32%。当信号光进入腔体后,在两个镜面间来回反射并被放大,最后以较高的强度发射出去。
- □行波放大器在两个端面上<mark>有增透膜</mark>以大大降低端面的反射系数,或者有适当的 切面角度,所以不会发生内反射,入射光信号只要通过一次就会得到放大。它 的光带宽较宽,饱和功率高,偏振灵敏度低。所以用途比法布里一珀罗腔放大 器更广。

5.1.3 掺杂光纤放大器

- □ 掺杂光纤放大器是利用光纤中掺杂稀土引起的增益机制实现光放 大的。
 - □光纤通信系统最适合的掺杂光纤放大器是工作波长为1550nm的掺铒光纤放大器和工作波长为1300nm的掺镨光纤放大器。目前已商品化并获得大量应用的是EDFA。
 - □掺镨光纤放大器的工作波段在1310nm,并与G-652光纤的零色散点相吻合,在已建立的1310nm光纤通信系统中有着巨大的市场。但由于掺镨光纤的机械强度较差,与常规光纤的熔接较为困难,故尚未获得广泛的应用。另一掺杂光纤放大器——掺铥放大器工作的波段为光传输开辟了新的波段资源。

5.1.4 喇曼光纤放大器

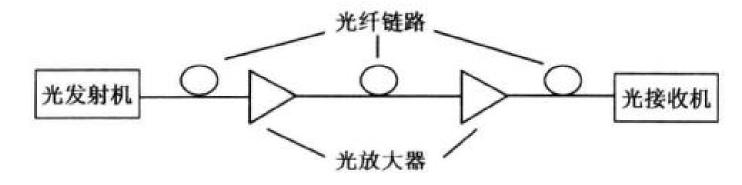
- □基于受激喇曼散射机理,可以制造出喇曼光纤放大器RFA(Raman Fiber Amplifier)。
 - □如果将频率为ωs的小功率信号光与一个频率为ωp的大功率泵浦光同时注入光纤,并且它们的频差Ω= ωp- ωs(也称作频移)落在喇曼增益谱带宽范围之内,则信号光沿着光纤传输时将得到有效的放大。
 - □对于固定的泵浦光频率,由于喇曼增益谱宽度很大,所以利用SRS效应可以 在相当宽的波长范围对信号光进行放大。

5.1.5 光放大器的应用

□光放大器的类型很多,不同的使用场合对光放大器参数的要求是不一样,根据光放大器在光链路中所处<mark>位置</mark>的不同,将其应用分成三个类型。

1. 在线放大(in-line amplifier)

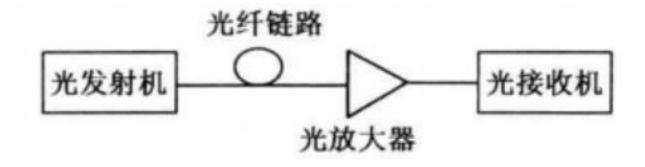
□ 在单模光纤通信系统中,光纤的色散影响较小,限制传输距离的主要因素是 光纤的衰减,所以用光放大器可以补偿传输损耗。它适用于超长距离传输的 系统。



5.1.5 光放大器的应用

2. 前置放大 (pre-amplifier)

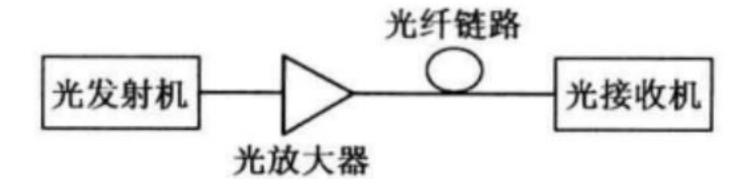
□在光纤链路末端、接收机之前。



- □ 在光电检测之前将弱信号放大,可以抑制在接收机中由于<mark>热噪声</mark>引起的信噪 比下降。
- □由于光放大器的增益足够高,前置放大器的加入,使可检测到的最小信号功率降低,即提高了接收机的灵敏度。

5.1.5 光放大器的应用

3. 功率放大 (power boaster)



□ 在光发射机后安装一个光放大器,以<mark>提高</mark>发射功率,一般可使传输距离<mark>增加</mark> 10km-100km。如果同时使用前置放大,即可实现200km-250km的无中继海 底传输。

5.2 无源器件

- □光无源器件是能量消耗型光学器件。
- □其种类繁多,功能各异。是一类实用性很强的不可缺少的器件。
- □主要产品有耦合器、滤波器、隔离器、衰减器、光开关和连接器等。它们的作用概括起来是**连接**光路,<mark>控制</mark>光的传输方向,控制光功率的分配,控制光波导之间、器件之间以及光波导与器件之间的光耦合、合波、分波。

5.2.1 耦合器

□1. 耦合器类型

□耦合器是对光信号实现分路、合路和分配的无源器件,是波分复用、光纤 局域网、光纤有线电视网以及某些测量仪表中不可缺少的光学器件。

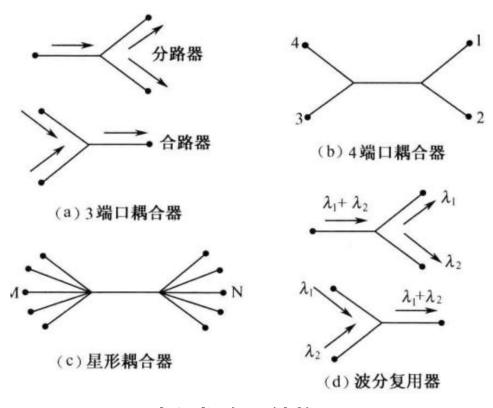


图5.2.1光纤耦合器结构图



5.2.2 滤波器

- □滤波器是一种波长选择器件,在光纤通信系统中有着重要的应用,如上节光放大器中噪声的滤波。特别在WDM光纤网络中每个接收机都必须选择所需要的信道,滤波器成为必不可少的部分。
- □滤波器分成<mark>固定滤波器和可调</mark>谐滤波器两大类。前者是允许一个确定波长的信号光通过,而后者是可以在一定光带宽范围内动态地选择波长。
 - □严格来说,可调谐滤波器属于有源器件,它可以通过控制电压或温度的变化来改变滤波器的某些参数,从而达到波长动态选择的目的。
 - □可调谐滤波器主要使用在WDM系统中, WDM网络中所有波长都从ITU标准中选取,如波长间隔约为0.8nm(1550nm窗口),则对应信道频率间隔是100GHz。

5.2.3 隔离器

- □隔离器是一种只允许光单方向传输的器件。
- □光纤通信系统中的很多光器件如激光器,光放大器对来自连接器,熔接点,滤波器的反射光非常敏感,反射光将导致它们的性能恶化,例如半导体激光器的线宽受反射光的影响会展宽或压缩,甚至可达几个数量级。因此要在靠近这种光器件的输出端放置隔离器,阻止反射光的影响。
 - □隔离器由三个功能部件**组成**,输入偏振器(起偏器),法拉第旋转器和输出偏振器(检偏器)。
 - □输入和输出偏振器的作用是将光变成固定偏振方向的线偏振光。法拉第旋 转器是使入射光的偏振方向发生旋转变化。

5.2.4 环形器

□环形器有3、4和6端口之分,它是只允许某端口的入射光从确定端 口输出的器件。

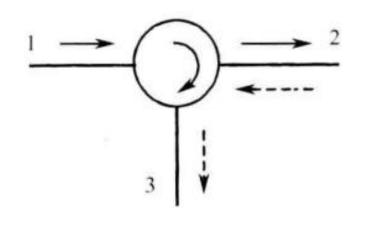


图5.2.13 3端口环形器

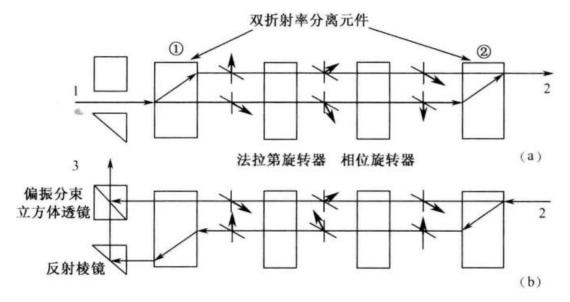


图5.2.14 环形器工作原理

- □ 对于3端口环形器,端口1的输入光信号只能从端口2输出,而端口2的输入光信号只能从端口3输出。
- □ 环形器的主要功能部件为双折射分离元件、法拉第旋转器和相位旋转器。

5.2.5 衰减器

- □衰减器的功能是对光功率进行预定量的衰减。
- □在光纤通信系统中, 许多场合都需要减少光信号的功率。
 - □例如,光接收机对光<mark>功率的过载</mark>非常敏感,必须将输入功率控制在接收机的动态范围内,防止其饱和。
 - □光放大器前的不同信道输入功率间的<mark>平衡</mark>,防止某个或某些信道的输入功率过大,引起光放大器增益饱和等。
 - □另外,在光系统的评估、研究和调整、校正等方面也大量使用衰减器。
- □ 1. 耦合型
 - □ 通过输入、输出两根光纤纤芯偏移来改变光耦合大小,改变衰减量。
- □ 2. 反射型
 - □ 通过改变反射镜的角度,控制透射光的大小。
- □ 3. 吸收型:
 - □ 采用光吸收材料制成的衰减片,对光吸收和透射。

□光纤的连接常采用两种办法:

- □一种是要求两根光纤(缆)的连接<mark>固定</mark>、永久。在光缆施工中,因为一盘 光缆的长度一般在2km以内,所以两根光缆的接续要采用<mark>熔接</mark>机将它们熔融 相连。
- □另一种是光纤与光发射机(附带尾纤)、光接收机或仪表之间的连接,或 者是与另一根光纤**暂时性**的连接,就要用到连接器。
- □连接器是易出故障的器件,也是用途最广泛的无源器件。

□1. 连接器结构

□ 连接器的基本功能部件有:插针件,闭锁装置,后壳,压接套管和保护套。

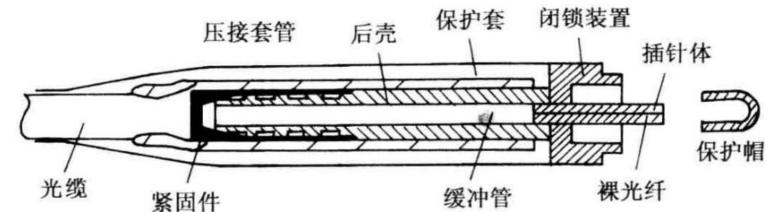


图5.2.16 (a) 与光接收机相连的连接器示意图

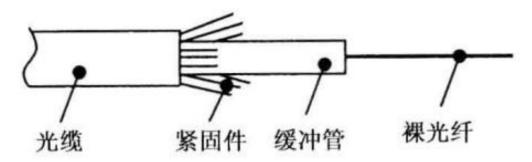
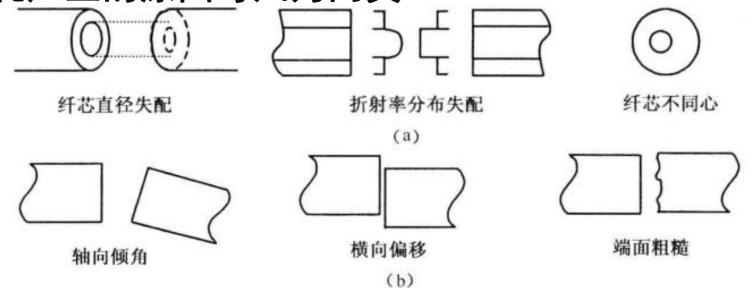


图5.2.16(b)光缆紧固件缓冲管裸光纤

□2. 连接损耗

□连接损耗产生的原因可归为两类:



- □一类光纤公差引起的<mark>固有</mark>损耗,如芯径、折射率指数等失配,如图(a)。
- □另一类是连接器加工装配引起的<mark>外部</mark>损耗,如图(b)所示。
- □外部损耗往往是主要的,其中间隙和横向偏移造成损耗占有较大的比例。

□3. 连接器型号和参数

- □常用的连接器型号有FC/PC、FC/APC、SC/PC、SC/APC和ST/PC型,
 - □分子部分表示外部加强件的材料、固定方式: FC是金属套筒,卡口螺旋式; SC是插拔式,外壳为矩形; ST是弹簧带锁卡口结构。
 - □分母部分表示内部光纤<mark>端面</mark>的处理形式: PC是端面做成凸球面形, APC是端面处理成斜面。
 - □除了单芯活动连接器外,已经有大量双芯和多芯连接器问世。
 - □连接器的规格型号繁多,各种型号的连接器都有自己的特点和用途。FC/PC型接接器,插入损耗小,适用于长距离干线网。APC型连接器回波段损耗大,可用于高速率数字系统或模数视频系统。

认识连接器接头

- □LC (Lucent connector): 小方口, 常用于连接SFP光模块和预端接模块 盒
- □SC (Subscriber Cable): 卡接式 方形 (大方口), 常用于光纤收发 器和GBIC光模块
- □FC (ferrule contactor)型:圆形带螺纹,常用于用于光纤配线架
- □ST (Straight Tip): 圆形卡口, 常用于光纤配线架
- ■MPO (Multi-fiber Push On): 使用精密模具成型在MT插针中,用于高密度应用领域



5.2.7 光开关

- □光开关是光交换的关键器件,它具有一个或多个可选择的传输端口,可对光传输线路中的光信号进行相互转换或实行逻辑运算,在光纤网络系统中有着广泛的应用。
- □光开关可分成机械式和非机械式两大类。
 - □机械式光开关依靠光纤或者光学元件的移动,使光路发生转换。
 - □非机械式光开关依靠电光、声光、热光等效应来改变波导的折射率, 使光 路发生变化。

光纤通信系统中使用的器件小结

□有源光器件

- □主动工作,必须外加能源,存在光电能量的转换,进行信号的产生、检测、放大等功能。包括光源、光检测器和光放大器,分别是光发射机、光接收机和光中继器的关键器件。
- □信号的产生、检测与放大

□无源光器件

- □被动工作,无需能源,是能量消耗型光学器件,完成光纤的接续,隔离、信号分/合路、衰耗、复用/解复用等功能。
- □有光纤连接器、衰减器、耦合器、隔离器、波分复用器、光调制器、 光开关等。

6.1光纤通信系统的设计原则

- □光纤通信系统的设计包括两方面的内容:工程设计和系统设计。
- □1. 工程设计的主要任务是工程建设中的详细经费概预算,设备、线路的具体工程安装细节。
 - □ 主要内容:
 - (1) 对近期及远期通信业务量的预测;
 - (2) 光缆线路路由的选择及确定;
 - (3) 光缆线路敷设方式的选择;
 - (4) 光缆接续及接头保护措施, 光缆线路的防护要求;
 - (5) 中继站站址的选择及建筑方式,光缆线路施工中的注意事项。

6. 1光纤通信系统的设计原则

□2. 系统设计

- □系统设计的任务: 遵循建议规范,采用较为先进成熟的技术,综合考虑系统经济成本,合理选用器件和设备,明确系统的全部技术参数,完成实用系统的合成。
- □系统设计注重的是技术规范方面的设计,而工程设计注重的是施工 方面的设计。