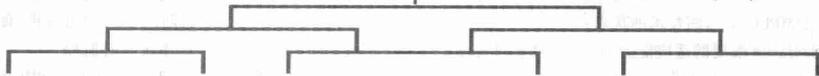


EDFA 光纤放大器原理及应用(5)



丁 炜 济南历泰信息科技有限公司

第五部分 EDFA 光放大器的应用

掺铒光纤放大器的实用化是近年来国际上信息领域光电子技术突破性的成就,它的出现导致了光通信技术的革命,为有线电视高质量、远距离、大面积的传输与覆盖带来了革命性的进展,并大幅度降低了网络的基本造价。目前国家的长途干线网,各大中城市的光缆联网系统都采用 EDFA 提升光信号功率;尤其是 EDFA 的国产化更促进了 EDFA 的应用。

1 EDFA 在 CATV 系统的主要应用方式

EDFA 在 CATV 光纤通信系统中主要有四种应用方式,根据其应用方式的不同,对 EDFA 的要求也不同。

(1)EDFA 用作前置放大器。由于 EDFA 的低噪声特性,使它很适于作光接收机的前置放大器。应用 EDFA 后,光接收机的灵敏度可提高 10~20dB,其基本应用思路是:在光信号送入光接收机前,EDFA 将信号光放大到足够大,以抑制光接收机内的噪声,其应用结构形成如图 1。



图 1

这种应用是末端小信号放大,要求 EDFA 低噪声性能要高,对输出饱和功率则不要求很高,它对光接收机灵敏度的改善,与 EDFA 本身的噪声系数有关,噪声系数越小,灵敏度越高。此外 EDFA 自发辐射谱

宽度也对光接收机的灵敏度有关,谱线越宽,灵敏度就越低。因此为了减小噪声的影响,常在 EDFA 后面加装光滤波器以滤除噪声。对于已在整机内部输出端加有光滤波器的 EDFA,则无需再加光滤波器。

(2)EDFA 用作功率放大器。功率放大器是将 EDFA 直接放在光发射机之后用来提升光输出功率,由于发射功率的大大提高,可将通信距离延长;通信距离的延长由光放大器的增益及光纤损耗决定。功率放大器除要求低噪声外,还要有高的饱和输出功率。应当注意的是,输入到光纤中的功率提高以后将出现非线性——受激布里渊散射。受激布里渊散射将消耗有用功率,增加额外损耗。布里渊散射是后向散射,将传至光源,影响激光器工作的稳定性,解决的方法是提高光纤的布里渊散射阈值。其功率放大器的应用结构形式如图 2。



图 2

其实在 CATV 中并不只这一种结构,在一个星形网络结构中,还有如图 3 结构形式。



图 3

这种结构的光放大器也是功率放大器的应用。由于光发射机的输出端一般都加有光隔离器,因此作为

功率放大器的 EDFA 都要求输入端不加光隔离器,这可改善 EDFA 的噪声系数,有利于前端光信号的低噪声放大,同时要求 EDFA 的输入光功率允许范围宽(0~10dBm),以适应前端要求。对于大于 17dBm 的功率放大器不能用于点对点传输,也不能用于树型网,但可用于星型网,其后接的光分路器应靠近光放大器安装,连接线应尽量短。

(3)EDFA 用作线路放大器。EDFA 用作线路放大器是它在 CATV 光纤通信系统中的一个重要应用。用 EDFA 实现全光中继,代替了原来的光—电—光中继,这种方式非常适合长距离干线传输网应用,尤其是海底光缆应用,但其最大的吸引力所在,是在 WDM 光纤通信系统中的应用。在光—电—光中继的 WDM 系统中,须先将各信道进行解复用,再用各自的光收、光发进行放大,再生并完成光—电—光转换,但在用 EDFA 作线路放大器的系统中,一只 EDFA 就可放大全部 WDM 信号,只要信号带宽限制在放大器带宽以内就行。线路放大器的应用结局形式如图 4。



图 4

EDFA 在线路中可多级应用,但不能无限制地增多,它受到下列因素的限制。

①光纤色散的限制。限制光纤传输距离有两个因素:损耗和色散。光放大器补充光纤的损耗,但并未能解决色散问题,当采用 EDFA 级数过多、传输距离过长时,光纤色散就会限制它的应用。1550nm 并非常规光纤的低色散窗口,这使上述问题将更为突出。解决的办法:A、采用色散位移光纤,使在 1550nm 处为零色散。B、利用窄谱光源,减小色散的影响。

②EDFA 本身噪声的限制。EDFA 本身噪声很小,但使用多级 EDFA 时,其噪声是积累的,因而使传输距离受到限制。

当用于 DWDM 系统传输时,一个重要的问题是 EDFA 的增益谱不平坦。在 DWDM 系统中,理想的情况是使不同的信道得到相同或相近的增益,但是 EDFA 的增益谱具有不平坦的双峰特性,各信道由于波长处于增益谱的不同位置而存在着增益差。当使用多级 EDFA 时,由于增益差的积累,这一问题显得更为严重。解决该问题的途径:A、在掺铒光纤中掺入不同的杂质,以改善其增益谱的不平坦性;B、对现有的掺铒光纤的增益谱进行均衡。目前已有多种实用均衡技术,但最好的均衡技术是预加重法和陷波滤波器

法。

对于线路放大器,要求其具有低噪声、高输出功率(在 SBS 抑制阈值之内),由于线路放大器的输入端带光隔离器,因而噪声系数比较高,对输入光功率有一定的要求,一般大于+3dBm。线路放大器应放置在可控制的地方,光放大器的输入光功率影响系统的信噪比,在实际应用中,应根据系统指标,参照载噪比劣化表设计光放大器的输入光功率。

(4)EDFA 在光纤分配网中的应用。EDFA 在宽带本地网,特别是在有线电视分配网中得到广泛应用,其应用结构形式如图 5。

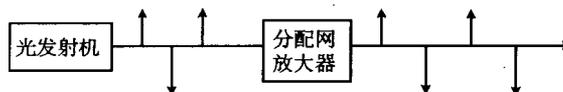


图 5

EDFA 补偿光网络中由光分路器带来的分路损耗及链路损耗,极大地扩大了网络覆盖范围和用户数量。上图为树型应用网络,不过在实际情况中大部分为星型分配网络。

2 EDFA 整机的工作状态设置与监控

目前 EDFA 都采用成熟的 1550nm 模块化技术,核心光部件全由世界著名公司一体集成,保证了产品的高质量和高可靠性;同时整机都内置完善可靠的光功率输出稳定电路(APC)及激光器热电致冷器温度稳定控制电路(ATC),确保整机的最佳性能和激光器的长寿命稳定工作。EDFA 的微处理器系统对泵浦激光器的工作状态进行监控。工作参数由数字面板显示,一旦激光器的工作参数偏离软件设定的允许范围,微处理器将关断激光器的电源,首先保护激光器不受损坏,同时声光报警并提示故障原因。为了适应网络综合管理,EDFA 一般都设有 RS-232 和 RS-485 接口,供网络管理及远程监控使用。

EDFA 的微处理器系统提供的工作状态监控参数主要有以下几项。

(1)产品型号。该项参数表明了 EDFA 的厂家型号,反映的是该产品最主要的参数,如工作波长、输出功率值等。

(2)输入光功率。该项参数值显示的是本机的输入光功率值,其采样值取自输入信号的光分路输出,经过 PD 解调、模数变换输入到微处理器系统。该项参数反映的是光放大器的动态输入光功率值,一般正

常值范围为 0~+10dBm,一旦微处理器检测到输入大于上限值(+10dBm)将提示告警。如果微处理器检测到的输入光功率远低于下限值(一般小于-10dBm)将显示无光信号输入。一般的机型都是在无输入光信号时,自动断开泵浦激光器的偏置电流,使光放大器停止工作。只有输入光功率大于标称输入范围的下限,光放大器才能达到额定输出功率,输入光功率低于下限值越多则输出光功率就越低。

(3)输出光功率。该项参数显示本机的标准输出光功率,允许误差一般小于 $\pm 0.2\text{dBm}$,其采样值取自输出信号的光分路输出。该值在正常输入时一般是固定的,如果输入光功率低则输出光功率也偏低。如果没有光功率输入,泵浦激光器的电源将被关断,检测电路将显示无光功率输出。

(4)激光器的温度。该项参数显示激光器管芯的实际工作温度,其采样值取自 ATC 电路。激光器的工作温度范围一般在 $20^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 内,但最佳的工作温度应在 25°C 左右,因而各个厂家的产品都把 ATC 电路的动态平衡点调在 25°C 。

ATC 的控制精度可以从显示值上看出来,该值的变化范围越小,说明该机 ATC 电路的控制精度越高。EDFA 的 ATC 电路都是双向温控,在开机瞬间,该值变化幅度较大是正常现象。一旦微处理器检测到温度越过设定的范围值,将提示告警,并切断激光器的电源,以使激光器不受损害。

(5)激光器的偏置电流。该项参数反映了激光器的实际直流偏置电流的大小,其采样值取自 APC 电路。由于激光器的输出功率很高,因而直流偏置电流很大,可达数百毫安,具体数值可参照前面列举的激光器的参数。激光器的偏流是激光器的主要工作参数,当该参数超过微处理器的设定值,将提示告警并自动切断激光器的电源,保护激光器。

(6)半导体致冷器的制冷/加热电流。该项参数显示为保持激光器的温度在标准值 25°C ,热电致冷器处于加热或制冷时的工作电流。其采样值取自 ATC 电路,在开机瞬间该值的变化幅度较大是正常现象。由于激光器工作在大电流下,工作时产生的热量较多,如果激光器工作时产生的热量增多,则致冷器势必会加大制冷量,其直流工作电流也就变大,尤其在外界高温条件下,致冷器的负担会很重。因此光放大器最好工作于恒温的工作环境。在较热的环境中,微处理器将显示制冷,在冷的环境中,微处理器将显示加热。

(7)工作电压。该项参数反映了光放大器的实际关键工作电压值,其采样值取自整机电源的输出端。对于电源的监控一般有 2 个参数+5V 和-5V。由于光放大器的一系列精密控制电路都以标准 $\pm 5\text{V}$ 作为基准,如果偏差过大将导致控制电路功能紊乱。一般 EDFA 的最大允许范围为 $\pm 0.5\text{V}$,一旦微处理器检测到实际电压超过设定的正常值,将提示告警并停止光放大器的工作。

(8)地址码。地址码是本机的数据识别编码,用于网管系统对本机的数据查询及指令寻址操作。该地址码可以通过 RS-232 端口设定,一经设定便成为本机的固有地址码,可在前面板显示。

微处理器系统除了提供工作状态查询以外,还具有丰富的故障诊断及报警功能。目前市场流行机种的故障报警提示功能主要有以下几项:①插上电源插头接通 220V 电源,如果机器正常则电源指示灯点亮并提示操作步骤的下一步,一般提示打开钥匙开关。②用钥匙开机后,除激光器电源外,其余各工作电源将正常工作。为保护激光器安全工作,激光器电源一般具有延时功能,延时时间一般在 10 秒以上。目的是各功能电路工作稳定以后,才启动激光器的电源,使激光器进入工作状态。③按动工作状态查询按钮可依次显示上面介绍的逐项内容。④一旦微处理器检测到整机的任何一项工作状态参数超出设定的正常范围,就会提示告警(一般为红灯闪烁或蜂鸣器发出报警声),与此同时微处理器将关断激光器的电源,并在数字面板上显示故障原因。

3 EDFA 的应用注意

(1)由掺铒光纤放大器的放大机理可知,其工作波长为 1550nm ,所以 CATV 前端的光发射机应工作在 1550nm 波长上,光放大器才有放大作用。

(2)采用光放大器的系统中,光发射机应采用外调制光发射机,这是因为在 1550nm 波段上普通的单模光纤色散较大,直接调制下的光发射机激光器会产生 CHIRP 效应。由于色散影响造成 CSO 急剧下降,加之 EDFA 的增益谱不平坦的影响,将使二阶失真 CSO 指标进一步恶化。目前市场上的 1550nm 直接调制光发射机虽然不多见,但也不是没有,本人就曾见过一些广播站采用直接调制 1550nm 光发射机,一般都不用光放大器而直接传输,由于在 1550nm 波段上光纤衰减小,可延长传输距离,但由于 CHIRP 调制的影

响,指标并不好。

(3)改善和提高 SBS 值,减少 SBS 的影响,充分发挥 EDFA 光放大器的工作效率。当注入光纤中的光功率达到 SBS 阈值以后,将产生受激布里渊散射,外调制光发射机的光源谱线较窄,SBS 更容易发生。SBS 将增加光纤的非线性失真,并使注入到光纤中的光转化为背向散射光,使激光器的相对强度噪声 RIN 指标下降,从而降低系统的载噪比指标。同时,因背向散射的影响,使光纤链路损耗增加,导致接收光功率下降。在激光器光谱线远窄于饱和 SBS 线宽(SBS 线宽约为 30~200MHz)时,可以用下式估算 SBS 的阈值:

$$P_{SBS,th} = 21A_{eff}/g_0L_{eff}$$

式中: g_0 为布里渊系数,是光纤材料决定的一个参数,近似值为 $g_0=2 \times 10^{-12} \text{cm}^2/\text{mW}$; L_{eff} 为光纤等效作用长度,当光纤实际长度 $L > 10 \text{km}$ 时 $L_{eff}=1/L_n(10^{a/40}) \text{km}$,其中: a 为光纤的衰减系数; A_{eff} 为光纤等效截面积,一般为 $89.9 \mu\text{m}^2$ 。减少 SBS 的影响的办法是在光发射机中用高频对激光器进行浅调制,将光谱展宽,提高 SBS 阈值,而对系统的 CSO、CTB 指标没有影响。另一种方法是在外调制器中进行附加相位调制,当采用 CATV 系统信号最高载波频率 2 倍以上的单频正弦信号对光载波进行附加相位调制时,可提高 SBS 阈值 5dB 左右,若将两项技术合用,可将 SBS 阈值提高到 17dB 以上。

表 1 显示出在何种 SBS 抑制阈值状态下,须选择的光纤长度。

表 1

光纤长度	SBS 抑制阈值
<60km	13dBm、16dBm、18dBm
<70km	13dBm、16dBm
<120km	13dBm
>120km	13dBm

一旦 SBS 抑制功率确定,作为线路放大器的 EDFA 的最大应用功率就确定了。其对应功率如表 2 所示(作为功率放大器用于前端,其后连接星型光分路器除外)。

表 2

SBS 抑制功率	EDFA 功率限制
18dBm	MAX、18.4dBm
16dBm	MAX、16.4dBm
13dBm	MAX、13.5dBm

(4)当将光放用于多级串联时,光纤中的自发辐射(ASE)将逐级增加,从而引起噪声增大,系统载噪比下降。为此必须在两台光放大器之间加入光滤波器或光隔离器,以有效地防止自发辐射对降低载噪比指标的影响。市场上的光放大器实际结构并不一致,如果光放大器的输入输出端加有光隔离器、光滤波器,则无须考虑 ASE 的影响;如果没有则必须在光放大器之间加滤波器件。在订购光放大器时,须认真咨询整机的结构及性能。

(5)在 CATV 分配系统中,由于对模拟信号的载噪比要求较高(>50dB),为保证系统传输质量,一般在光链路中使用的光放大器的输入光功率必须大于 1mW,这和 RF 放大器相似。光放大器的输入光功率增大时,该级的 C/N 指标提高,对系统的 C/N 劣化较小。如果 EDFA 光放大器的输入光功率过低,则不能保证系统的载噪比。尤其是线路放大器,一般在光放大器的输入端都带光隔离器,故噪声系数比较高,因此线路放大器对于输入光功率有严格的要求,一般都要求大于 3dBm 以上。

(6)EDFA 光放大器有一定的温度特性,随温度的升高增益下降明显。实验证明,随温度的升高增益下降的速率为 0.07dB/°C 左右,因此当 EDFA 放置在室外作中继器作用时,必须考虑温度特性所带来的不稳定的影响。针对光放大器的工作,应配置完善的监控设备及合适的工作环境。

(7)掺铒光纤放大器中的掺铒光纤对其放大特性起重要的作用。通过改变光纤材料或者利用不同光纤的组合可以改变掺铒光纤的特性,除了改善增益特性外,还可改善 EDFA 的噪声特性和扩展增益带宽。目前采用的光纤技术主要有以下几种:①掺铝的 EDF,在光纤中除了掺铒外还掺入一定的铝,改变玻璃的组成成分,促使 Er 的放大能级分布改变,加宽放大的频率范围。②氟化物 EDF,在 EDF 中掺入一定比例的氟化物,可以将增益的平坦区的波段扩展到 1530~1560nm,在这 30nm 的区域内,增益的平坦度可达到 1.5dB,③掺铒碲化物光纤,在 EDF 中掺入一定比例的碲化物,可扩展光放大器的频带带宽,这种碲化物 EDFA 的宽带特性对 DWDM 系统极具吸引力。④掺钇 EDF,在光纤中掺入一定比例的钇(钇可以作为铒的激活剂),可以改善光放的增益平坦度及带宽。采用这种光纤光放大器在 1544~1561nm 波段的 17nm 带宽内,可以获得 0.5dB 以内的增益平坦度,输出功率大于 26dBm,噪声系数小于 4.5dB。由于掺铒光纤的

制造技术日新月异,所以在选型光放大器时,对其光特性中的增益介质应多加考虑,以满足实际工程设计要求。

EDFA 光放大器的智能化水平比较高,在实际工程中用户调节的部分很少,唯一需要做的就是输入光功率的确定及输入、输出光纤跳线的连接。在具体操作 EDFA 光放大器时必须注意以下几点:①EDFA 应有良好的接地,接地电阻应小于 4 欧姆。②EDFA 一般采用高效开关稳压电源,微处理器系统对输出的直流电压进行监控,整机外部一般不设保险丝,如果内部的保险丝烧坏,说明整机已出现故障。③在 CATV 应用中,为保证反射损耗>45dB,EDFA 的光接头一般采用 FC(SC)/APC 型的接头,在连线时应注意接头的匹配及端面的吻合。在安装时应保持接头清洁,插拔多次后应采用无水酒精及脱脂棉擦净端面。④光放大器的输入光功率的大小影响系统的载噪比指标,在实际系统应用中应根据系统指标,参照本机的载噪比劣化表,设计光放大器的输入光功率。EDFA 光放大器的载噪比劣化表一般数据如下(59 路 PAL-D,CTB=-65dB,CSO=-65dB):

从图 6 可以看出,当输入光功率为 0dBm 时载噪

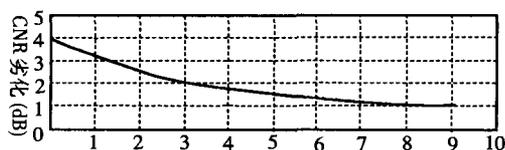


图 6

比劣化 4dB,而当输入光功率大于 3dBm 时,输入光功率的大小对载噪比劣化的影响并不大,因此在实际工程应用中应提高输入光功率的水平,以确保系统载噪比指标。(5)EDFA 光放大器的输出功率较高,最高可达 500mW,因此在机器未接入系统或输出口未加保护套前,不应开机,更不能直视功率输出口,以防激光直射人体,特别是眼睛,对人体造成永久伤害。

4 EDFA 光放大器的维护

在使用 EDFA 光放大器的过程中,一旦 EDFA 出现异常,应认真分析原因,不要轻易认定是 EDFA 损坏所致,针对 EDFA 工作过程中可能出现的问题,本文加以总结如下(表 3)。

表 3

故障现象	故障原因
电源 LED 显示灯不发光,EDFA 不工作	检查后面板的交流电源开关,确保开关打开,置于 [ON]位置。 检查电源插座是否接通电源。 检查电源电线,如果电线受损请换用新的一根电源接线。 如果是机内保险丝烧断,则表明本机已出现故障。
输出光功率太低(输入光功率在正常范围)	检查光纤连接头,确定使用相同类型的连接头(SC/APC or SC/PC)。 清洁连接头的表面端。 取下连接头的保护套,转动里面的连接头并清洁其端面,清洁后并套上保护套(注意:请小心取下保护套,请勿损伤尾纤)。 检查供应电源电压,如果低于 90 伏,则输出光功率将低于设定功率值。
射频信号恶化,噪声过大(输入光功率在正常范围)	检查光纤连接头,确定使用相同类型的连接头(SC/APC or SC/PC)。 清洁连接头的表面端。 取下连接头的保护套,转动里面的连接头并清洁其端面,清洁后并套上保护套(注意:请小心取下保护套,请勿损伤尾纤)。 检查供应电源电压,如果低于 90 伏,则输出光功率将低于设定功率值。
冷却风扇不转动	1) 检查风扇电源插头连接是否完好。 2) 用新的电源线取代风扇的电源线。
噪声性能变坏,低频信号噪声急增	检查 EDFA 输出功率与光发射机 SBS 抑制阈值设定是否相符合;进光纤的光功率不应设置太大(注意:18dBm 抑制可对应 18.4dBm 的光功率,16dBm 抑制对应 16.5dBm,13dBm 抑制对应 13.5dBm 光功率)。
伪振荡噪声明显	光连接器回波损耗不正常,清洁光传输链路上的所有连接头,特别是 EDFA 的输入输出端连接头。
三次谐波失真 CSO 性能变坏	传输光纤过长。18dBm 抑制值对应距离限度为 65km,而 16dBm 抑制对应 75km,13dBm 抑制对应 125km;如果光纤长度超过抑制值对应的长度,请改变相应的 SBS 抑制阈值设定。

▲(全文完)