

Hybird 放大器介绍

1、前言

在拉曼放大器 (Raman amplifier, RFA) 及掺铒光纤放大器 (Erbium-doped optical fiber amplifier, EDFA) 应用之初, 就有将两种放大器混合使用的报道[1]。这种混合使用的放大器同时有 RFA 的低噪声指数 (noise figure, NF) 和 EDFA 的高增益, 所以早期混合放大器 (hybrid amplifier, HYFA) 主要做为长跨距以及超长距离传输的解决方案, 以提高系统的光信噪比(signal-to-noise ratio, OSNR) [2-5]。对于下一代 100G 高速传输系统, 系统 OSNR 要求更为严格, HYFA 将有更广泛的应用。这也对 HYFA 提出许多新的要求, 如小体积、低成本、使用方便以及更优的性能等等。针对上述要求, 光迅科技将 RFA 与 EDFA 有效集成, 推出了能够满足实际光传输系统要求的 HYFA 产品。

2、HYFA 技术方案

关于 RFA 与 EDFA 的混合使用, 主要有三种结构: 后向泵浦分布式 RFA 做为 EDFA 的预放、前向泵浦分布式 RFA 做为 EDFA 的功率放大器、以 EDFA 中间色散补偿光纤做为增益介质的集中 RFA。这三种结构都能够有效地提高系统 OSNR。光迅科技推出的 HYFA 产品就是采用第一种结构, 其结构图见下图 1。为降低成本, 拉曼放大部分采用单泵浦结构。EDFA 部分集成增益平坦度滤波器。

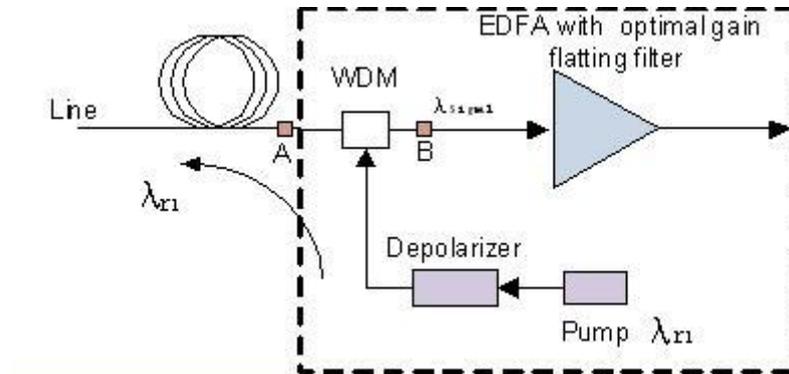


图 1: Hybird 放大器结构示意图

3、光迅科技 HYFA 技术特征

光迅科技有成熟的 RFA、EDFA 产品, 在光放大器领域有多项发明专利。同时在两种放大器混合使用方面也有很多成功案例[6]。所以光迅科技更清楚放大器的性能以及系统要求, 针对 100G 传输系统推出的 HYFA 也就有更优的系统指标。光迅科技推出的 HYFA 有以下技术特征:

激光安全等级 Class 1M

激光安全是光传输系统的一个关键问题，根据标准 IEC60825 的第二部分的要求，应该符合 CLASS 1M 安全等级要求[7]。这表明，当由于意外原因使得光连接器开路或光纤线路故障时，要求与传输相关的所有激光器和发射机的功率应降低到安全水平值以下。G. 664 提供了所有光传输设备中激光安全的有关信息[8]。

对于后向分布式 RFA，沿传输光纤产生的自发辐射噪声较大。所以即使前面光纤发生断开故障时，产生的 ASE 仍沿着系统方向传输。这就使得 EDFA 系统经常使用的输入无光关断的控制方式在此不太适用。为了解决这个问题，需要准确判断线路情况及 RFA 输入信号光功率，方法包括泵浦反射监测及带外 ASE 功率监测等方式。光迅科技在该技术方面有自己的专利技术，采用该技术能够精确上报输入信号光功率。从而实现放大器的无光关系或眼保护功能。光迅科技推出 HYFA 产品能够在输入信号光功率丢失时，500ms 内完成关系泵或眼保护。

超低的偏振相关增益（PDG）

拉曼增益有明显的偏振相关性，信号光与泵浦光偏振态垂直时的拉曼增益要远小于偏振态平行时的增益。为解决该问题，可以采用泵浦偏振态复用或者对泵浦激光器进行退偏等等。泵浦偏振复用会造成拉曼泵浦激光器增多，造成成本增加；在泵浦激光器退偏方面，光迅科技拥有专利技术的产品，退偏后的泵浦光的偏振度小于 5%。整个 HYFA 产品的 PDG 小于 0.3dB。

精确的输入信号检测

在前面也提到，为实现放大器的激光安全等级满足 CLASS 1M，需要精确上报放大器的输入信号光功率。采用光迅科技的专利技术，放大器的输入信号光功率可以精确上报-35dBm。在实际工程中，无光输入告警门限只要设置不低于-35dBm。一旦传输线路出现故障，就会使放大器的无光输入告警，放大器依此就可以实施关系泵或者降低泵浦输出等操作。同时精确上报输入信号光功率，也是对线路情况的监测，有利于通信工程的开通及维护。

4、RFA 自动增益控制

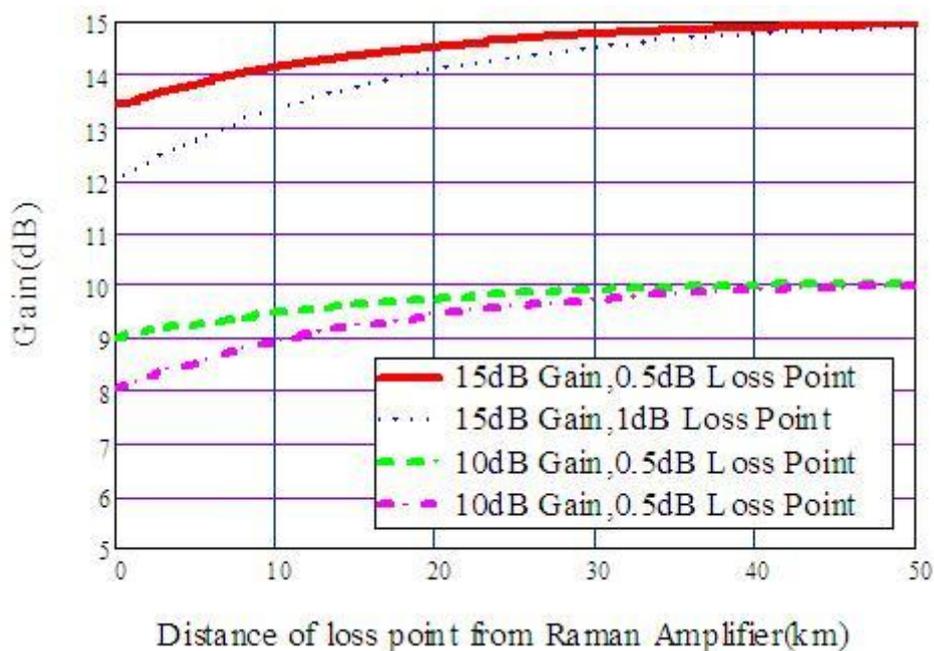
RFA 的增益是指拉曼开-关增益，其定义在拉曼泵浦激光器开启时的 B 点信号光功率（dBm，见图 1）与泵浦激光器关闭时的 A 点信号光功率（dBm，见图 1）之差。拉曼开-关增益与实际应用情况的关系非常密切：

A、不同光纤类型的拉曼增益系数是不同的，如常用的 SMF-28、Leaf、Truwave 等；

光纤的衰减系数对拉曼增益影响非常大，当拉曼开-关增益为 10dB 时，光纤衰减系数每变化 0.01dB/km，实际增益变化约 0.5dB；

当实际系统出现上/下波时，输入光信号功率的差异会引起在相同拉曼泵浦下，拉曼开-关增益略有变化。输入信号光功率较大时，由于拉曼放大的饱和效应，拉曼开-关增益略有降低。

实际线路中焊点的插损及位置对拉曼开-关增益影响也较大，见下图 3。



由于上述不确定因素的存在，所以 RFA 在使用时，还需要在施工现场调试拉曼泵浦功率。更重要的是，线路光纤衰减系数也随着使用时间增加而增大。线路损耗增大，同时拉曼增益还降低，从而导致系统 OSNR 恶化。所以实现 RFA 的自动增益控制是非常必要的。在该技术领域，光迅科技拥有自己的专利技术，采用该技术可以将拉曼增益锁定精度控制在 0.5dB。同时还可以实现拉曼增益可调，如当系统 OSNR 余量较大时，可降低拉曼增益等。

4、光迅科技 HYFA 产品指标

以下为光迅科技推出 HYFA 某一型号的产品技术指标，产品长期可靠稳定，均通过 Telcordia GR-1221-CORE 实验。

参 数	最小值	典型值	最大值	单位
光波长范围 (C 波段 48 波)	1528		1568	nm
Raman 部分				
输入光功率	-35		-3	dB
最大输出光功率@1455 泵浦波长			400	mW
Raman 增益 @ G652 光纤(长度 ≥50km), 衰减系数 ≤0.30dB/km @ EOL			8	dB
增益平坦度 (8dB Raman 增益)			1	dB
NF _{eff} @ G.652 fiber,增益=8dB			0.3	dB
泵浦光在工作功率时的偏振度			5	%
EDFA 部分				
EDFA 信号光增益		9.5		dB
输入信号光功率范围 (Pin)	-30		4.5	dBm
标称输出信号光功率(P _{OUT})			14	dBm
最大噪声指数			6.0	dB
总体				
输入光功率	-35		-1	dBm
增益		17		dB
噪声指数@Raman 增益=8dB			2.4	dB
增益平坦度			1	dB
偏振相关增益变化 PDG			0.3	dB
极化模色散 PMD			0.5	ps
增益锁定功能		有		

参考文献:

[1] Yoshihiro Emori, "Less than 4.7 dB Noise Figure Broadband In-line EDFA with A Raman Amplified -1300 pshm DCF Pumped by Multi-channel WDM Laser Diodes", OSA/OAA 1998, 72~77

[2] 杨滔滔, 印新达, 付成鹏, 何万晖 "放大器(Raman + EDFA)在 10Gbit/s 长距离传输中的应用" 光通信研究, 2004 年第 1 期, 31~32

[3] Hiroji Masuda, "High-performance distributed Raman amplification systems: Practical aspects and field trial results", OSA/OFC 2005

[4] J. -X. Cai, "Long-Haul 40 Gb/s RZ-DPSK Transmission over 4,450 km with 150-km Repeater Spacing using Raman Assisted EDFAs", OSA/OFC 2007

[5] Alan J. Lucero, "Long-Haul Raman-Assisted EDFA Systems with Ultra-Long Spans", OSA/NFOEC 2007

[6] 周昊, 黄丽艳, 张学勇, 刘家胜 "超长距通信技术在电力系统中的应用研究, 烽火科技, 2010年第04期, 10~13

[7] IEC International Standard 60825-2, "safety of laser products - part 2 - Safety of optical fiber transmission systems", 2006

[8] ITU-T International Standard G. 664, "Optical safety procedures and requirements for optical transport systems", 1999

作者: 甘子康、付成鹏