

一种提升 10 Gb/s 超长距光传输系统入纤光功率的方法

龙 函¹, 朱一峰², 刘丽娜³, 孙淑娟¹, 项 旻^{1*}, 熊 伟¹, 徐泽峰¹

(1. 武汉光迅科技股份有限公司, 武汉 430074; 2. 中国南方电网超高压输电公司, 广州 510623;

3. 中国电力工程顾问集团 中南电力设计院有限公司, 武汉 430071)

摘要:针对 10 Gb/s 超长距光传输系统入纤光功率受限的问题,提出了一种抑制受激布里渊散射(SBS)、提高入纤光功率的方法。该方法将对激光器低频扰动和对信号光进行相位调制这 2 种提高 SBS 阈值的方式进行了有效地结合,并进行了对比实验。实验结果表明:该方法可有效地提高 SBS 阈值,将 10 Gb/s 超长距光传输系统入纤光功率由原来的 12 dBm、17 dBm 提升到 19 dBm,从而进一步延长了系统的无中继传输距离。

关键词:10 Gb/s; 超长距光传输; 受激布里渊散射; 入纤光功率

中图分类号:TN914 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2019)11-0018-03

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.11.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Method of increasing the input power of 10 Gb/s ultra-long distance optical transmission system

LONG Han¹, ZHU Yifeng², LIU Li'na³, SUN Shujuan¹, XIANG Min^{1*}, XIONG Wei¹, XU Zefeng¹

(1. Accelink Technologies Co. Ltd., Wuhan 430074, China; 2. CSG EHV Power Transmission Company, Guangzhou 510623, China;

3. Central Southern China Electric Power Design Institute Co. Ltd., of China Power Engineering Consulting Group, Wuhan 430071, China)

Abstract: Aiming at the problem of limited input power of 10 Gb/s ultra-long distance optical transmission system, a method to suppress stimulated Brillouin scattering (SBS) and improve input power is proposed. This method effectively combines the two ways of improving SBS threshold, which are laser low frequency disturbance and signal light phase modulation, and carries out comparative experiments. The experimental results show that this method can effectively improve the SBS threshold and increase the input power of 10 Gb/s ultra-long distance optical transmission system from 12 dBm and 17 dBm to 19 dBm, thus further extending the system's relay-free transmission distance.

Key words: 10 Gb/s; ultra-long haul optical transmission; stimulated Brillouin scattering; input power

0 引言

无中继传输技术可以在百千米范围内进行大容量数据传输,且段落中间不需要任何有源器件。由于偏远地区和环境恶劣地区(热带森林、沙漠等)的中继站建设困难、维护成本高,因此无中继传输技术对这些地方有非常大的经济效应和实用效应^[1]。

收稿日期:2019-04-28。

作者简介:龙函(1991-),男,硕士,光路设计与组装工艺工程师。主要研究方向为高阶泵浦光放大技术、遥泵光放大技术等超长无中继光传输技术。参与“相干光传输技术在特高压直流工程中的应用研究”、“高阶泵浦光传输技术在特高压直流工程中的应用研究”、“100 G 超长距光传输技术在特高压直流工程的应用研究”等多个国家电网公司科学技术项目。

* 通信作者:项旻(E-mail:min.xiang@accelink.com)。



提高系统的入纤光功率可以提高系统的光功率预算,延长无中继距离。但现阶段,针对单波 10 Gb/s 系统,采用受激布里渊散射(SBS)抑制技术达到的人纤光功率通常不会超过 17 dBm^[2]。本文在原有的相位调制抑制 SBS 效应的基础上,提出一种低频扰动级联相位调制的双级抑制 SBS 效应的方法,实现 19 dBm 的人纤光功率,在不改变原有系统结构的情况下,进一步延长无中继传输距离。

1 SBS 抑制技术

SBS 是由于光纤中传输的光波和声波相互作用而产生的,当输入光功率超过 SBS 的阈值时,大量的输入光会转换成后向散射斯托克斯光,并且后向散射光功率也会急剧地增长,其阈值可以定义为^[3]:

$$P_{th} = 21 \frac{KA_{eff}}{g_B L_{eff}} \left(1 + \frac{\delta\nu}{\delta\nu_B} \right) \quad (1)$$

其中, K 表示偏振因子, A_{eff} 表示光纤的有效面积, g_B 表示布里渊增益的峰值, L_{eff} 表示光纤的有效长度, $\delta\nu$ 表示激光器的线宽, $\delta\nu_B$ 表示受激布里渊带宽。通过式(1)可知,有许多参数都可以影响 SBS 阈值,但多数方法实现较为困难或需要采用特殊的光纤。在实际应用中,主要采用加宽信号频谱宽度的方式来提高 SBS 的阈值^[4],即通过增大 $\delta\nu$ 的方式来提高 SBS 阈值,常用的实现方式有 2 种:对激光器的驱动电流进行低频扰动和对信号光进行相位调制。

激光器低频扰动法是利用一小幅度的调制信号对激光器进行附加强度调制,由于激光的频率啁啾效应,使发射光的光谱 $\delta\nu$ 被展宽,从而提高 SBS 阈值^[5]。

相位调制法则是在正常的强度调制器后,让输出的信号光通过 LiNbO₃ 相位调制器,并对信号光引入附加相位调制的方式,将光信号能量分布到大量的光载波上,从而降低光功率谱能量密度,提高 SBS 阈值^[6]。

2 实验系统

本文搭建了测试 SBS 阈值和系统传输性能的实验平台,如图 1 所示。前向纠错(FEC)作为光源的载体,不仅可以集成抑制 SBS 效应的 LiNbO₃ 相位调制器或具有低频扰动功能的线路侧光模块,而且还可以实时监测系统的纠前和纠后误码率;功率放大器(OBA)用于获得不同的信号光入纤光功率;光纤末端的可调光衰减器(VOA)用于调节线路损耗大小;前置放大器(OPA)用于将收端的信号光功率提升到接收机的探测范围内;色散补偿模块 DCM240 则用于对信号光进行 240 km 的色散补偿。实验将 OBA 的输出端连接到环形器的端口 1,则经 OBA 放大的信号光通过环形器后从端口 2 输出;将 300 km G.652D 光纤(平均衰减系数为 0.177 dB/km)连接到端口 2,则反射光会从

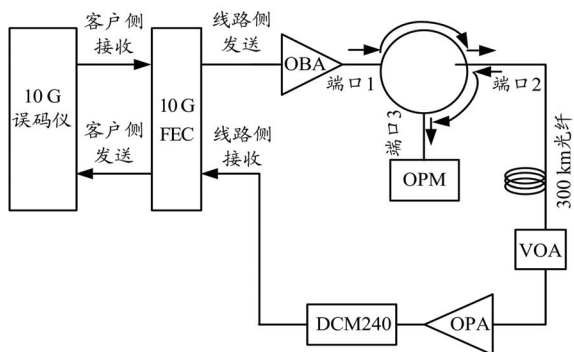


图1 实验平台

环形器的端口 3 输出;将光功率计(OPM)连接到端口 3,用于检测反射光功率。

实验采用 3 种不同的系统配置:

①不采用任何抑制 SBS 的配置;

②采用 LiNbO₃ 相位调制器抑制 SBS 的配置。LiNbO₃ 相位调制器外接 500 MHz 正弦调制信号,来自 FEC 线路侧光模块的信号光经过 LiNbO₃ 调制器外调制输出;

③同时采用 LiNbO₃ 相位调制器和具有低频扰动功能的线路侧光模块的配置。在 FEC 线路侧光模块激光器的驱动电流上叠加一个 20 kHz 的低频扰动信号,经处理的信号光再经过 LiNbO₃ 相位调制器调制后输出。

在 3 种不同的配置下,测试 SBS 的阈值和系统的性能。

3 测试结果与分析

3.1 未采用抑制 SBS 的系统配置测试结果

对于未采用抑制 SBS 的系统配置,在不同入纤光功率下,环形器的端口 3 测得的反射光功率值如图 2 所示。可以看出,当入纤光功率小于 12 dBm 时,反射光功率呈线性变化;当入纤光功率大于 12 dBm 时,反射光功率的增长斜率突然变大,曲线出现拐点,12 dBm 即为 SBS 的阈值。此时,测试系统的性能,即调节 VOA 使得 FEC 前误码率达到极限值(FEC 后误码率始终为零),此时的线路损耗为最大值,测得线路损耗和 FEC 前、后误码率依次为 55.52 dB、 5.23×10^{-5} 和 0。

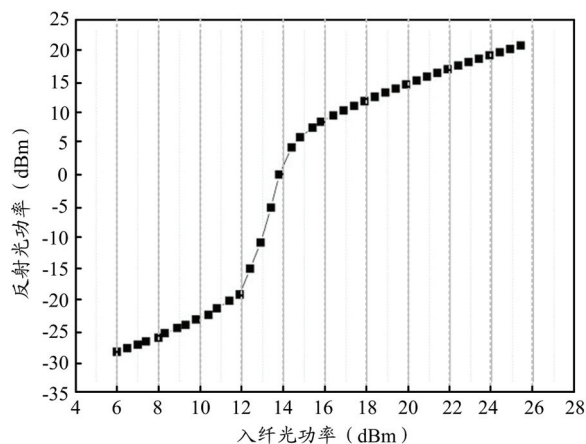


图2 未采用抑制 SBS 的系统配置的不同入纤光功率曲线

3.2 采用 LiNbO₃ 相位调制器的系统配置测试结果

对于采用 LiNbO₃ 相位调制方式抑制 SBS 的系统配置,在不同入纤光功率下,环形器的端口 3 测得的

反射光功率值如图 3 所示。当入纤光功率小于 17 dBm 时,反射光功率呈线性变化;当入纤光功率大于 17 dBm 时,反射光功率的增长斜率突然变大,曲线出现拐点,17 dBm 即为 SBS 的阈值。此时,测试系统的性能,即调节 VOA 使得线路损耗到最大值,测得线路损耗和 FEC 前、后误码率依次为 61.04 dB、 5.12×10^{-3} 和 0。

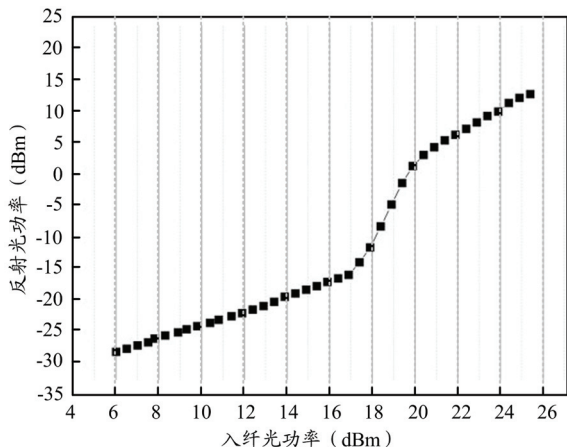


图 3 采用相位调制方式抑制 SBS 的系统配置的不同入纤光功率曲线

3.3 同时采用 LiNbO₃ 相位调制器和低频扰动功能光模块的系统配置测试结果

对于采用 LiNbO₃ 相位调制和低频扰动方式抑制 SBS 的系统配置,在不同入纤光功率下,环形器的端口 3 测得的反射光功率值如图 4 所示。当入纤光功率小于 22 dBm 时,反射光功率呈线性变化;当入纤光功率大于 22 dBm 时,反射光功率的增长斜率略有增大,反射光功率的增长不再呈线性趋势变化,则 22 dBm 即为 SBS 的阈值。但通过实验发现,在保证接收端 OPA 接

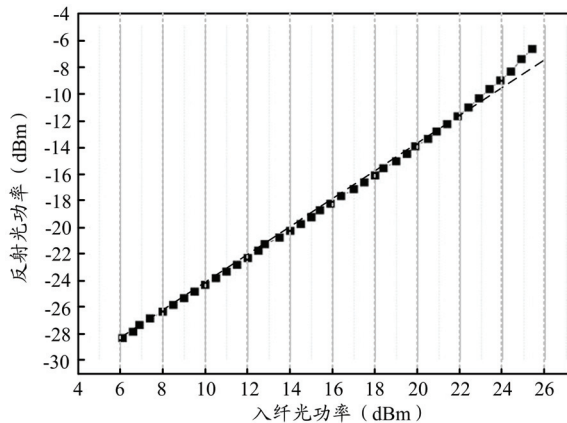


图 4 采用相位调制和低频扰动方式抑制 SBS 的系统配置的不同入纤光功率曲线

收灵敏度不变(无通道代价)的情况下,系统的最佳入纤光功率为 19 dBm,即入纤光功率大于 19 dBm 时会产生其它的效应。由于相位调制和低频扰动 2 种方式均是加宽信号频谱宽度,因此主要考虑此时的入纤光功率是受限于自相位调制(SPM),具体原因有待进一步研究。测试此时系统的性能,即线路损耗达到最大值,测得线路损耗和 FEC 前、后误码率依次为 63 dB、 5.33×10^{-3} 和 0。

本文通过 3 组实验对比发现:未采用抑制 SBS 效应的方法时,系统支持的入纤光功率只能到 12 dBm;当采用相位调制方式抑制 SBS 后,入纤光功率可以提升 5 dB,达到 17 dBm;当采用相位调制和低频扰动结合的方式抑制 SBS,入纤光功率可以进一步提升 2 dB,达到 19 dBm。在系统的 FEC 前误码率基本保持一致的条件下,采用相位调制和低频扰动结合的方式,系统传输的线路损耗可以由原来的 55.52 dB 提升到 63 dB。

4 结束语

本文提出了一种提高 10 Gb/s 超长距光传输系统入纤光功率的方法,通过采用对激光器进行低频扰动和对信号光进行相位调制的级联方式,有效地抑制了光纤中的 SBS 效应,提高了 SBS 阈值门限,且入纤光功率相比原有的 SBS 抑制技术进一步提升了 2 dB,这对延长 10 Gb/s 超长距光传输系统的无中继传输距离具有非常重要的意义。此外,是何种效应限制了入纤功率小于 19 dBm,以及如何抑制该效应成为进一步提高入纤光功率的又一个研究方向。

参考文献:

- [1] 项旻,王伟,张瑞强,等. 遥泵系统无中继超长跨距传输的研究[J]. 光通信技术,2016,40(5):19-21.
- [2] 周昊,黄丽艳,张学勇,等. 超长距通信技术在电力系统中的应用[J]. 电力系统通信,2010,31(6):5-8.
- [3] SHIMIZU T, NAKAJIMA K, SHIRAKI K, et al. Evaluation methods and requirements for the stimulated Brillouin scattering threshold in a single-mode fiber[J]. Optical Fiber Technology, 2008, 14(1): 10-15.
- [4] 李长春. 超长距离光传输技术基础及其应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2008.
- [5] 董振华. 超长跨距无中继光传输新型技术的研究与试验[D]. 武汉:武汉邮电科学研究院,2011.
- [6] 谢淑平,许国良. 基于相位调制法的光纤受激布里渊散射抑制[J]. 光学学报,2013,33(2):32-36.