

半导体光放大器自动增益控制的实验研究*

王宏镔 刘雪峰 余思远 黄德修

(华中理工大学光电子工程系, 武汉 430074)

摘 要 从行波半导体光放大器(TW-SLA)的增益特性出发, 对光放大器的自动增益控制(AGC)进行了研究, 设计出一种全电子自动增益控制系统. 自动增益控制系统对光放大器输出功率的波动有明显的改善作用, 能够对由于工作温度、输入偏振态的变化而产生的光放大器增益变化进行自动控制, 并对前级输入光功率的波动进行调节.

关键词 行波半导体光放大器, 自动增益控制.

1 引 言

随着光纤通信事业的迅猛发展, 在长距离光通信系统中采用全光型直接在线光中继器已成为必然. 它不仅可以通过拓长两个再生中继器之间的中继距离, 而且其工作方式与系统调制制式无关, 利于传输容量的增加.

行波半导体光放大器(TW-SLA)是主要的光放大器件之一, 实际应用中, 其增益受很多外界环境因素如输入光的偏振态、功率、波长及放大器工作温度的影响, 增益的随机波动将直接影响系统传输质量, 导致误码率变化. 因此在采用光放大器作为中继器时, 必须对光放大器的增益进行自动控制, 以确保稳定的光输出. 1988年Ellis提出全电子自动增益控制(AGC)技术并很快成为人们关注的焦点^[1,2], 它不仅可以通过调节行波半导体光放大器自身的增益来补偿温度、偏振态对其增益的影响, 而且由于其线性放大作用, 利于系统升级. 自动增益控制技术采用低速电信号而不用增加光器件, 可靠性较高. 英国BTRL于1990年报道了采用自动增益控制的四个级联行波半导体光放大器线性中继器的传输实验^[3], 环境温度变化7°C仅造成0.5dB的增益变化. 本文报道了作者在国产行波半导体光放大器上进行的自动增益控制实验研究.

2 自动增益控制技术的工作原理

由半导体光放大器特性可知, 行波半导体光放大器的结电压与有源层中载流子的浓度有关, 并由此影响器件内的光子浓度. 当光信号注入放大器时, 有源层内载流子浓度下降, 结

* 国家科委 863 高科技资助项目.

收稿日期: 1993年6月8日; 收到修改稿日期: 1993年8月26日

电压随之减小,这一变化可在电流注入端测量出来.以此作为全电子自动增益控制的理论基础,可以在发射机中迭加一个低频($f = 10 \text{ kHz}$)的正弦信号,于是后续放大器的异质结电压将产生相应的变化.从行波半导体光放大器的行波速率方程出发,采用小信号和近行波近似,可以导出输出光功率 P_0 和结电压在频率 ω 处的波动 $V(\omega)$ 间有如下关系^[1]:

$$P_0 = \frac{\Gamma a(I \tau - n_0 e v)}{\Gamma a(I \tau - n_0 e v) - \nu e v} \{C \cdot m(\omega) \cdot V(\omega) \cdot I\} \quad (1)$$

其中, I 为注入电流, $V(\omega)$ 为频率为 ω 处的正弦结电压信号, a 为材料增益常数, e 为电子电荷; n 为透明时的载流子浓度, τ 为载流子寿命, v 为有源区体积, ν 为吸收系数, Γ 为光场限制因子, $m(\omega)$ 为 $V(\omega)$ 相对于数据信号的调制深度, C 为轻微依赖于工作波长和放大器结构分布的常数.

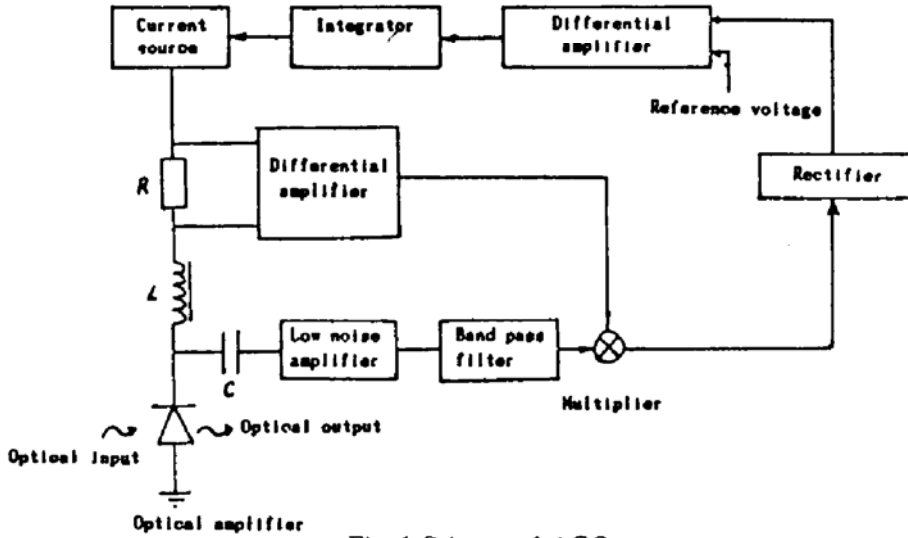


Fig. 1 Scheme of AGC

在整个工作电流范围内, (1) 式中大括号前的因子近似为常数, 这说明, 对于给定的调制深度 $m(\omega)$, 一个能保证 $V(\omega)I$ 不变的反馈控制技术就可以保证放大器的稳定光功率输出, 即通过调节注入电流 I , 改变光放大器自身的增益, 补偿温度和输入光偏振态引起的增益波动, 维持其稳定, 以保证输出光功率的稳定. 以此作为理论依据, 设计并制作了半导体行波光放大器的自动增益控制系统. 系统框图如图 1 所示, 装置的 Q 值为 200, 稳定性良好, 稳态工作时, 输出电流波动小于 0.05 mA, 时间常数为 0.01 sec.

3 实验结果

对采用了自动增益控制装置的行波半导体光放大器的性能进行了测试. 光源采用迭加了 10 kHz 正弦调制信号的 $1.3 \mu\text{m}$ 半导体激光器, 调制度为 6%; 光放大器采用在平面埋层异质结激光器芯片两端镀以剩余反射率 $< 10^{-3}$ 的增透膜而制成; 光纤与光放大器的耦合, 采用了在光纤末端拉锥并点以高折射率半椭球微透镜的方法; 10 kHz 基频信号在光放大器注入电流的引线端提取.

在有控制环和无控制环的条件下进行了放大器性能的比较实验, 在分别改变放大器工作温度、输入光功率和输入光偏振态的条件下得到了光放大器的增益特性. 所有测试中, 输入直流光功率均为 -20 dBm .

光放大器输出功率对环境温度的变化较为灵敏, 这不仅因为光放大器的增益系数随温度

升高而减小导致增益下降, 而且因为光放大器的中心波长随温度变化发生漂移. 由图 2 可以看到, 工作温度在 $15^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间变化时, 无控制环时光放大器增益波动 1.57 dB , 采用自动增益控制环后, 增益波动减小到 0.36 dB .

在光放大器输入端采用偏振控制器使输入光的偏振态在 TE 和 TM 偏振态之间连续变化, 无控制环时的光放大器增益波动为 1.8 dB , 采用控制环后, 增益波动减小到 0.9 dB .

当输入光信号衰减 6 dB 时, 自动增益控制装置的电流调节量达 11.3 mA , 输出光功率仅衰减了 1.68 dB . 如图 3 所示.

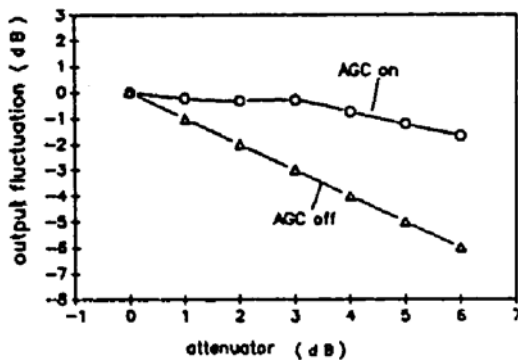


Fig. 3 Experiment results of TW-SLA output vs. attenuator α

图中 $\alpha = 3 \text{ dB}$ 时输出开始下降, 这是因为此时光放大器已工作于图 4 中的拐点处 (A 点), 注入电流的继续增加无法带来更大的净增益, 从而导致自动增益控制无法保持输出稳定. 拐点的产生是由于芯片质量不够理想而致; 如果光放大器的线性区足够大, 自动增益控制系统将能实现无差控制.

4 结 论

实验结果表明, 自动增益控制装置对光放大器增益波动有一定的改善作用, 由于放大器工作温度、输入光偏振态和输入光功率的变化均属秒级的慢变化, 而自动增益控制装置的时间常数为 0.01 sec , 所以能够跟踪光放大器的增益波动并进行调节. 这一效果可用于控制光放大器的稳定输出, 并可对前级输出功率的波动进行调节. 由于全部采用电子技术而未增加光学器件, 因而系统的可靠性较高, 不失为实际传输系统中改善行波半导体光放大器增益波动的一种可取方法.

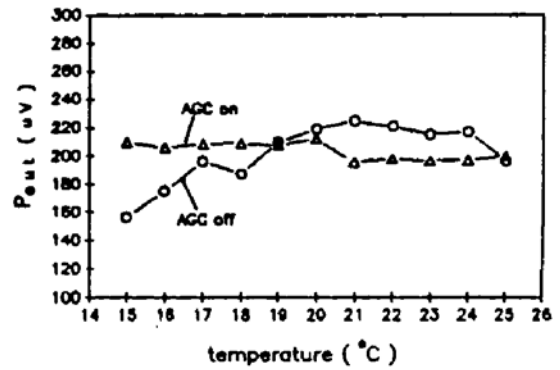


Fig. 2 Experimental results of TW-SLA vs. temperature

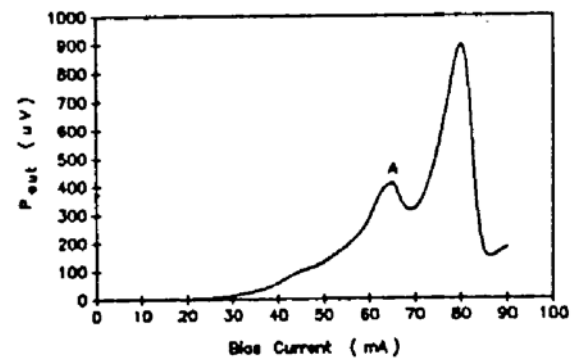


Fig. 4 TW-SLA output power vs. bias current

参 考 文 献

- [1] A. Ellis, D. Malyon, W. Stallard, A novel all electrical scheme for laser amplifier gain control. *Proc. ECOC' 88*, Brighton, September 1988, 487~490

- [2] A. Ellis, W. Stallard, D. Malyon, Supervisory system for cascaded semiconductor laser amplifier repeaters. *Electron. Lett.*, 1989, **25**(5) : 309~310
- [3] A. Ellis, J. Cox, D. Bird *et al.*, 565 Mbit/s 219 km transmission experiment using four gain controlled packaged semiconductor laser amplifiers. *Electron. Lett.*, 1990, **26**(6) : 385~386

Experiment Study of Traveling-Wave Semiconductor laser Amplifier Automatic Gain Control

Wang Honge Liu Xuefeng Yu Siyuan Huang Dexiu

(*Optoelectronic Engineering Department Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074*)

(Received 8 June 1993; revised 26 August 1993)

Abstract This paper studies the traveling-wave semiconductor laser amplifier (TW-SLA) automatic gain control (AGC) technique which provides compensation for variations in amplifier gain caused by the environmental effects and changes in system variables. Theoretical basis of the technique is discussed along with possible practical implementation. Satisfactory results has been achieved.

Key words traveling-wave semiconductor laser amplifier, automatic gain control.