

文章编号: 1672-8785(2017)08-0027-04

一种功率可调的稳定激光光源的实现方法

刘先龙

(中国电子科技集团公司第四十一研究所, 山东 青岛 266555)

摘 要: 在光纤通信系统测试中, 波长为 850 nm、1310 nm、1490 nm、1550 nm 和 1625 nm 等的红外激光光源作为信号源具有广泛的应用。该光源需要具有稳定的输出光功率。通常采用含有衰减片的光衰减器对其输出光功率进行调节以满足不同场合的测试与校准需求。通过分析激光器输出功率与驱动电流的特征曲线, 提出了一种在电路上采用压控电流的方法, 实现了稳定光源的输出光功率步进可调(调节范围为 30 dB)。该方法可有效减少光衰减器的使用, 缩减测试系统的仪器数量, 提高测试效率, 降低测试成本。

关键词: 稳定光源; 可调光功率; 压控电流

中图分类号: TN212 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.08.006

A Method for Realizing Adjustable and Stable Laser Light Source

LIU Xian-long

(The 41st Research Institute of CETC, Qingdao 266555, China)

Abstract: As signal sources, the infrared laser light sources with wavelengths of 850 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm and 1625 nm have wide applications in the test of optical fiber communication systems. These laser light sources need stable output light power. Usually, to meet the test and correction requirements in different cases, an optical attenuator with optical attenuation slices is used to adjust the output light power of the light source. By analyzing the characteristic curves of laser output power and driving current, a method for using voltage-controlled current on a circuit is proposed. Thus, a stable laser light source with adjustable output light power (the adjusting range is up to 30 dB) is realized. By this method, the use of optical attenuators can be reduced effectively, the number of the instruments to be used can be reduced, the test efficiency can be improved and the test cost can be reduced.

Key words: stable light source; adjustable optical power; voltage-controlled current

0 引言

随着半导体技术的快速发展以及光纤通信

技术测试需求的不断增强, 基于法布里-珀罗干涉原理的小型分布反馈式半导体激光器的稳定红外激光光源已经成为了光纤通信系统中必备

收稿日期: 2017-04-01

作者简介: 刘先龙(1987-), 男, 山东临沂人, 硕士, 主要从事光电测量仪器的研制工作。

E-mail: shannlon@163.com

的信号源。其中, 波长为 1310 nm 和 1550 nm 的光源主要针对单模光纤干线中的信号, 其输出光功率一般在 mW 级, 通常用于光纤通信工程的现场施工、维护以及光纤 CATV 和光纤用户网的测试。为了测量光纤系统的传输距离、传输损耗和插入损耗等指标, 使系统达到应有的技术要求, 需要对光缆及全系统进行一系列的检验和测量。在测量过程中, 通常采用红外激光光源作为输入信号。此外, 激光光源也广泛用于光无源器件损耗测量, 探测器波长响应度测试, 光纤、光缆及光器件环境特性测试。

目前人们大多采用具有固定输出光功率的稳定光源, 并将其与衰减器及功率计组成测试系统联合使用。其中, 含有光衰减片的光衰减器用于对输出光功率进行调节; 使用光功率计才能准确测得光源的输出光功率。具有可衰减功能的光源的内部集成了光衰减器的功能。含有两块衰减片的光衰减器可实现 60 dB 光功率的精确衰减^[1], 它主要用于大范围、精密测试仪器的校准。其使用成本较高, 测试仪器的体积过大, 且衰减精度容易受到振动和外界温度的影响。基于 VOA 的手持式衰减器的衰减范围为 25 dB^[2], 且受温度的影响较大。

本文分析了激光器和探测器的 P-I 特性曲线、参考电压与输出光功率和电流调节大小的关系以及常用半导体激光器的温度特性。通过设计相关的驱动电路实现了具有功率可调功能的稳定红外激光光源。相关测试达到了预期效果, 并应用于相关产品。

1 理论分析

常用的小型同轴激光器的内部由 LD 发光激光二极管以及用于光功率监测的 PD 探测器组成, 其结构形式见图 1。LD 发光激光二极管发出的光线中有一小部分被耦合到 PD 探测器中, 进而实现对输出光功率的监测。PD 探测器是实现输出光功率进行稳定调节的关键。

PIN 管探测器对 1310 nm 波长的响应度一般约为 0.85 mA/mW, 对 1550 nm 波长的响应度一

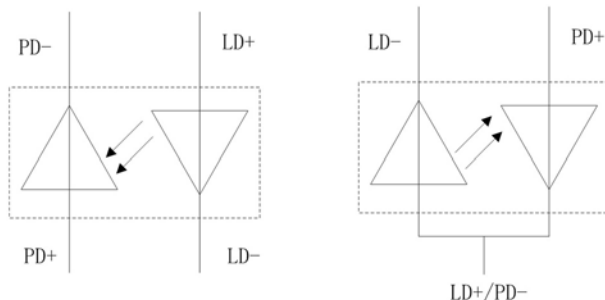


图 1 激光器组件的组成部分

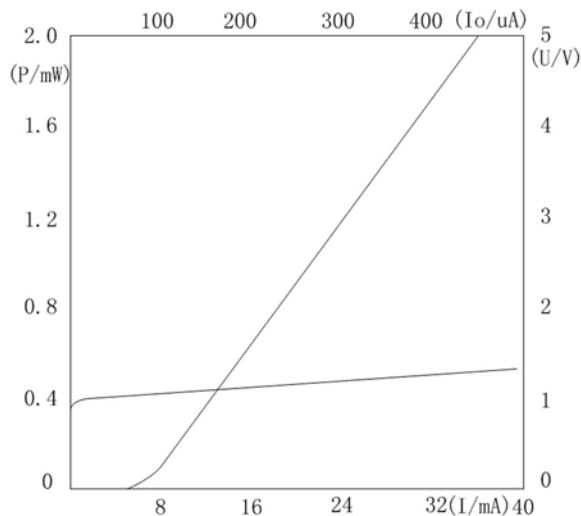


图 2 激光器内部 LD 及 PD 的 P-I 曲线

般约为 0.9 mA/mW。由于耦合到 PD 探测器中的光的比例不同, 为了不影响光源的输出光功率, 封装在激光器中的 PD 探测器的功率电流关系约为几百 $\mu\text{A}/\text{mW}$ 。图 2 所示为实际激光器中 LD 的 P-I 曲线以及内部探测器的 I-P 曲线^[3]。

从图 2 中可以看出, 激光器的 LD 输出光功率与驱动电流之间具有较好的线性关系。由于 PD 探测器的电流响应度在固定波长上恒定不变, 其 I-P 关系也具有较好的线性特性。激光器的 LD 输出光功率、驱动电流与 PD 探测器的监测电流之间的线性关系如下:

$$P_o = kI_{LD} + b \quad (1)$$

$$I_{PD} = nP'_o = mnP_o = mn(kI_{LD} + b) \quad (2)$$

式中, k 用于表征 LD 光功率与驱动电流 I_{LD} 之间的线性关系; m 为输出光被耦合到探测器 LD 的比例; n 为探测器的响应度。由式 (1) 和式 (2) 可知, 激光器的驱动电流与 LD 探测器的监测电流之间具有一定的线性关系。

激光光源的输出光功率 P_{mW} 的对数表达式为

$$P_{dBm} = 10 \log P_{mW} (dBm) \quad (3)$$

假设激光光源的调节步进值 (分辨率) 为 $\Delta P (dBm)$, 即

$$P_{(n)dBm} - P_{(n-1)dBm} = -\Delta P (dBm) \quad (4)$$

$$10 \log P_{(n-1)mW} - 10 \log P_{(n)mW} = 10 \log 10^{-\Delta P/10} \quad (5)$$

则光源输出光功率 P_{mW} 的变化可表征为

$$P_{(n-1)mW} = P_{(n)mW} 10^{-\Delta P/10} \quad (6)$$

当激光器的输出光功率与驱动电流在线性区间内时, 激光器驱动电流的关系可表征为

$$KI_{n-1} + b = (KI_n + b)10^{-\Delta P/10} \quad (7)$$

综上所述, 通过改变激光器的驱动电流可以实现对其输出光功率的调节。在确定激光器的调节步进值后, 即可对激光器的输出光功率进行精确调节。

2 硬件设计

2.1 硬件电路的设计

半导体激光器的输出光功率最容易受到外界温度及其自身发热的影响。半导体激光器内部多为法布里-珀罗干涉仪、分布反馈或者垂直腔面发射激光器结构。温度会影响激光器内部结构的尺寸和量子效率, 且对出射光功率和中心波长均有影响。自动功率反馈控制和自动温度反馈控制是在激光器驱动电路中实现稳定输出的两种方式^[4]。自动温度控制电路通过热敏电阻监测半导体激光器的温度, 并采用 PID 控制算法反馈控制半导体制冷器的制冷量来调节半导体激光器的温度, 使其恒温工作; 自动功率反馈控制电路通过集成在激光器内部的探测器监测输出光功率的变化, 并调节激光器的驱动电流, 使其稳定输出。

图 3 为硬件电路的原理框图。该电路由可调恒流驱动电路、CPU 控制电路、供电电路、按键检测与液晶显示等五部分组成。其中, CPU 控制

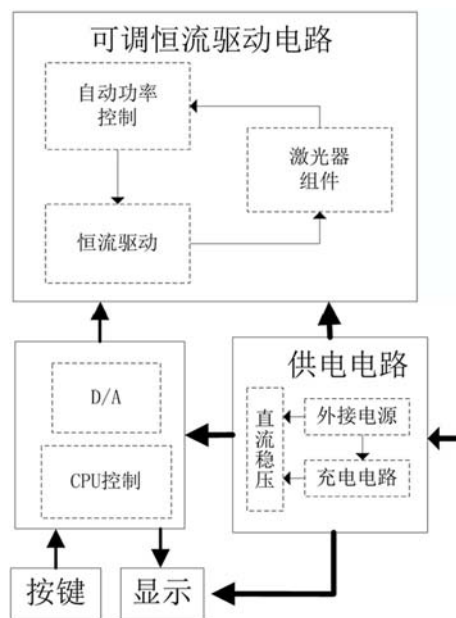


图 3 硬件电路的原理框图

芯片选用 STM32103VCT6 单片机, 利用其内部的 12 位 DAC 产生可调参考电压。DAC 的基准电压为 3 V。同时 CPU 实时检测外部按键操作, 控制激光器的工作模式并显示相关的工作状态。供电电路由外接电源、充电电路和直流稳压电路组成, 为整个电路提供稳定的工作电源。可调恒流驱动电路由恒流驱动模块、激光器组件以及自动光功率反馈控制模块组成, 用于确保光源输出光功率的稳定。

2.2 可调恒流驱动电路的设计

可调恒流驱动电路是实现激光器稳定输出及功率调节的核心电路 (见图 4)。该电路由激光器组件、I/V 转换电路、比例积分电路和线性恒流电路组成, 是激光器输出稳定光功率时的反馈控制电路。

激光器输出的部分后向光经其内部光电探测器 PIN 检测后被转换成与之成正比的光电流。在 I/V 转换后, 该电流与直流参考信号进行比较并被加到激光器驱动电路上。输出光功率会随环境条件的变化而变化。由于所产生的误差信号被加到驱动电路上, 通过改变驱动电流可以使激光器的输出光功率趋于稳定。控制电路通过 D/A 调节参考电压 U_n 可实现对输出光功率的调节。DAC 数据经过校准后, 保存校准参数, 用于对输出光功率进行精确调节。激光器的

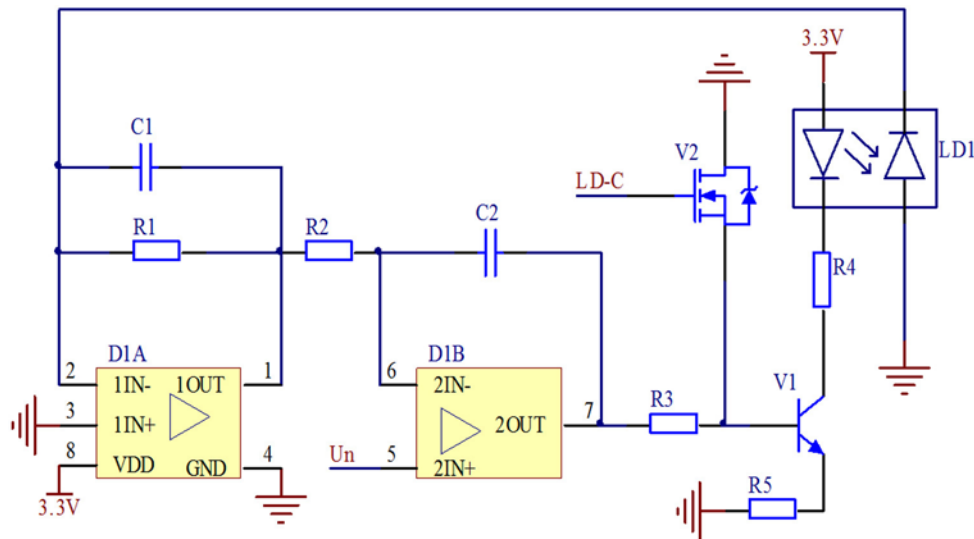


图 4 可调恒流驱动电路

输出光功率、驱动电流、PD 探测器的监测电流、I/V 转换电路、比例电路、线性恒流可调电路均有线性变化关系，所以可得出：

$$P_n \rightarrow I_n \rightarrow K_1 \cdot K_2 (U_n - R \cdot I_{LD}) \rightarrow U_n \quad (8)$$

$$U_n \approx R_1 \cdot I_{LD} \quad (9)$$

式中， K_1 为比例电路系数； K_2 为线性恒流控制的系数； R 为 I/V 转换电路的电阻。光源的输出光功率与参考电压 U_n 之间具有一定的线性关系。

由 CPU 控制电路及 DAC 产生的参考电压 U_n 是实现输出光功率调节的关键。当输出光功率的步进调节值 ΔP 为 1 dB 时，

$$U_{n-1} \approx U_n 10^{-\Delta P/10}$$

$$U_{n-1} \approx 0.7944 U_n \quad (10)$$

驱动电路选用稳定的 3.3 V 电压进行供电。其中， R_1 为 I/V 转换电阻，用于将探测器中的电流转换为电压。该电压作为反馈信号与 DAC 产生的可调参考电压 U_n 进行比较，用于控制恒流电路，从而调节激光器的输出光功率并使其达到稳定； R_4 为激光器的限流电阻，用于设置激光器的最大工作电流，从而对激光器进行保护；LD-C 作为控制信号可选择激光器的 CW/270 Hz/1 kHz/2 kHz 工作模式。

3 测试结果与分析

对图 4 所示的激光器可调恒流驱动电路进行了测试。结果表明，DAC 的实际参考电压 V_{REF} 为 2.92 V，反馈电阻 R_1 为 11.1 k Ω ，线性恒流控制电阻 R_3 为 3 k Ω ，限流电阻 R_4 为 50 Ω 。然后对 1310 nm 波长光源的输出光功率进行了测试（结果见表 1）。

表 1 调节电压与输出光功率之间的测试关系

调节电压 U_n (V)	DAC 数值	驱动电流 I_n (mA)	光功率 P_n (dBm)
2.881	4032	22.38	-0.03
2.319	3248	19.50	-1.00
1.854	2592	17.28	-1.98
1.490	2080	15.42	-2.98
1.197	1664	14.06	-3.98
0.948	1312	12.90	-4.97
0.311	432	9.88	-9.99
0.111	160	8.94	-14.96
0.046	74	8.50	-20.02
0.028	46	8.14	-25.01
0.016	32	6.08	-30.85

表 1 中，调节电压 U_n 是调节 DAC 数值的实测值；激光器的驱动电流 I_n 是流过限流电阻 R_4 的实测电流；光功率 P_n 是光功率计的实测值。

（下转第 36 页）