

文章编号: 1005-5630(2020)02-0070-05

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5630.2020.02.012

# 光纤陀螺用光源恒流驱动电路设计

孙广宇, 鲁 军, 王子豪

(石家庄铁道大学电气与电子工程学院, 河北石家庄 050003)

**摘要:** 光纤陀螺 (FOG) 光源管芯的阻抗特性是非线性的, 为了保证光波长及输出光功率的稳定, 必须控制管芯注入电流保持恒定。通过对超辐射发光二极管 (SLD) 光源管芯的分析研讨, 采用 LM324 为核心器件设计了相应的恒流驱动电路, 并进行了分析测试。实验结果表明, 在环境温度不断变化的情况下, 该恒流驱动电路可满足中、低精度, 低功耗光纤陀螺的性能要求, 其中常温下输出平均电压为 100.242 mA, 相对误差为 0.013 7%。

**关键词:** 光纤陀螺 (FOG); 光波长; 光功率; 超辐射发光二极管 (SLD)

**中图分类号:** TN 212 **文献标志码:** A

## Design of constant current drive circuit for FOG

SUN Guangyu, LU Jun, WANG Zihao

(School of Electrical and Electronic Engineering, Shijiazhuang Tiedao University,  
Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** The impedance characteristics of the fiber-optic gyroscope (FOG) source die are non-linear. In order to ensure the stability of the optical wavelength and output optical power, it is necessary to control the die injection current to be constant. In this paper, after analyzing the super luminescent diode (SLD) light source die, the corresponding constant current driving circuit is designed by using LM324 as the core device, and an experimental test is conducted. The experimental results show that the constant current driving circuit can meet the performance requirements of medium and low precision, low power FOG with the change of the constant environmental temperature. The average output voltage at normal temperature is 100.242 mA, and the relative difference is 0.013 7%.

**Keywords:** fiber-optic gyroscope (FOG); optical wavelength; optical power; super luminescent diode (SLD)

收稿日期: 2019-06-27

基金项目: 河北省自然科学基金项目 (F2016506014)

作者简介: 孙广宇 (1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为光纤传感技术。E-mail: 826810747@qq.com

通信作者: 鲁 军 (1975—), 男, 讲师, 研究方向为光纤传感器技术与雷达信号处理技术。E-mail: 2009lj1975@163.com

## 引言

经过将近 30 年的研究与开发, 光纤陀螺技术在惯性技术领域愈加成熟, 同时已逐步发展成在军用和民用领域广泛应用的主流仪表。光源作为光纤陀螺中唯一的有源光器件, 光源的控制驱动是光纤陀螺研究领域的关键技术之一。

现今的商用宽带光源大多是超辐射发光二极管(SLD), 广泛应用在光纤传感器和光纤探测器中<sup>[1]</sup>。在欧美等发达国家, 半导体光源驱动电源研制技术相对成熟, 技术水平也较高。德国 IC-Haus 公司研制的 IC-WK 系列产品已经得到了广泛应用, 一个小小的芯片便集成了大量常用半导体光源功率调制电路; 美国 ILX Lightwave 公司在半导体激光器的驱动电源研制方面也取得了极大成功。国内 SLD 驱动控制多采用恒流源与制冷电路相结合的方式, 吉林大学、哈尔滨工业大学和浙江大学等高校及中国科学院上海光学精密机械研究所都取得了不错的成果。但是, 国内光源驱动的稳定性和功耗以及精度都有待改善和提高。因此, 本文针对 SLD 管芯注入电流对系统的影响设计了恒流驱动电路并进行了精度测试。

## 1 SLD 特性分析

SLD 是一种特性介于 LED 和 LD 之间的光源<sup>[2]</sup>。在高电流强度下, 二极管的激活区由双异质结构构成, 能够反转粒子数, 所以这种光源能放大光。与一般 LED 相比, SLD 光束功率强, 限定性好, 但是在单色性、定向性和相干性方面仍显不足。

SLD 的内部示意图如图 1 所示。在条形发光区的另一端构成吸收区, 消除激光效应; 同时, 为了降低反向反射光, 将窄条形激光器的端面研磨出合适的斜角, 斜角之间满足折射定律, 使反射光不能耦合回光源中, 而折射光得到全部传输。实际的 SLD 器件典型长度为 300~500 μm, 封装在牢固的壳体内, 并且尾纤在二极管的发射端口前焊接。SLD 发射的是部分偏振光, 有 70%~80% 的功率在平行于半导体结的“水平”偏振中<sup>[3]</sup>。

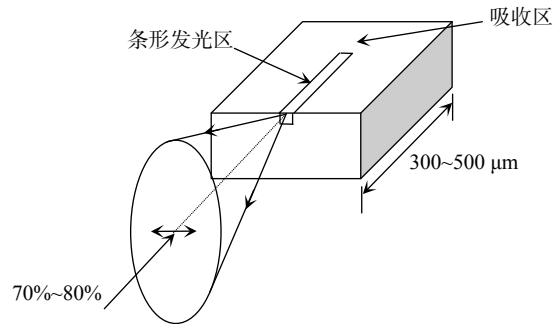


图 1 SLD 内部示意图

Fig. 1 SLD internal schematic

根据 SLD 的工作原理可知, 当管芯温度或者输入电流发生变化时, SLD 的输出功率也会发生改变。SLD 的工作区大致可分为三部分: 当电流较小时, SLD 自发辐射, 随着电流线性增加, SLD 的输出功率会随之加大; 随着注入电流的继续增大, 光功率呈指数关系增大; 当增益达到饱和状态时, 输出光功率呈线性变化。另外, SLD 的光谱特性也与注入电流和管芯温度有关, 随着注入电流的增大和温度升高, SLD 的半最大值全宽(FWHM)将变小。

SLD 光电特性如图 2 所示。光源是电流驱动设备, 光源的出纤光功率  $P$  受驱动电流  $I$ 、工作点温度  $T$ 、发光面  $S$  以及光源与光纤的耦合效率  $\eta$  等参数的影响<sup>[4]</sup>, 可表示为:

$$P = f(I, T, S, \eta) \quad (1)$$

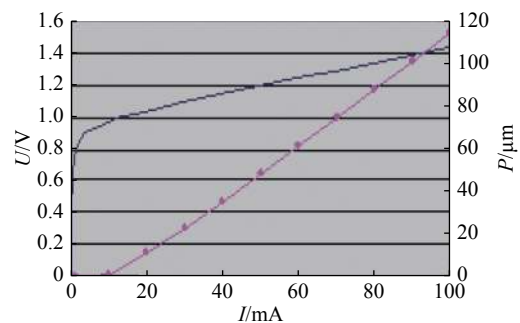


图 2 SLD 光电特性图

Fig. 2 Photoelectric characteristics

光源在出厂前, 其发光面  $S$  以及光源与光纤的耦合效率  $\eta$  已经固定, 除环境因素稍有影响外, 用户不能再人为控制。所以在光源驱动电路中, 只能从管芯工作点温度  $T$ 、驱动电流  $I$  和输出光信号这三方面进行控制。本文主要研究驱动电流  $I$  对光纤陀螺性能指标的影响, 设计了高精

度、低功耗的恒流驱动电路，使光源管芯的注入电流满足系统的要求。

## 2 恒流驱动电路设计

通过对恒流驱动电路的优化设计，可以使恒流值系列化。光纤陀螺(FOG)光源易损且价格昂贵，即使是微秒级的过载驱动脉冲都会击穿光源<sup>[5]</sup>。目前，从 10 mA 到 1 A 均可提供相应的恒流源，用来满足不同使用条件、不同设备对恒流源输出电流的要求。所以，此恒流源电路除了能满足不同 FOG 对光源驱动的不同要求外，还具有非常广泛的通用性。

恒流驱动电路主要用来给非线性负载(光源管芯)提供恒定的驱动电流<sup>[6]</sup>，这是通过使特定电阻两侧的电压差不变来实现的。电路有很多实现方法，不同的实现方法有不同的恒流精度，往往相差很大。

SLD 恒流驱动电路如图 3 所示。图中 D1 为 SLD 光源管芯，其负端接地，作为恒流源负载；使用 LM324 作为电路的集成运算放大器；Q1 是硅 PNP 外延平面晶体管(BD136)；D2 为稳压管，用来产生输入端的基准电压信号；C1 为电容器，提供无功电流，减小了电路的无功损耗，提高功率因数；电路的输入电压为 5 V。

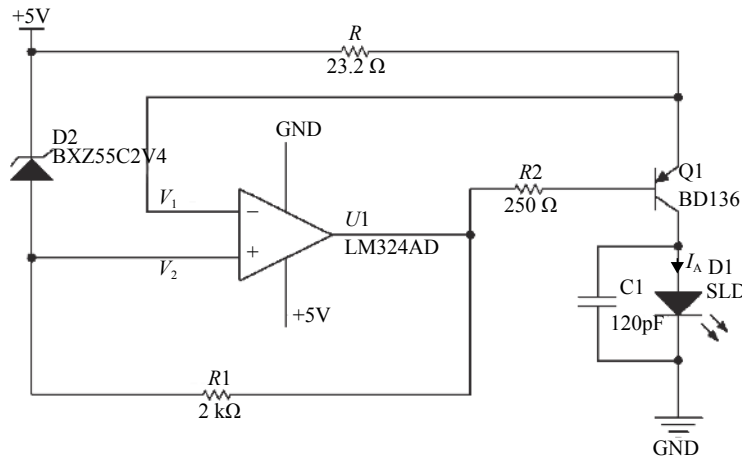


图 3 恒流驱动电路

Fig. 3 Constant current drive circuit

根据运放输入端的“虚短”性质得，LM324 输入端有：

$$V_1 = V_2 \quad (2)$$

由此可得精密电阻  $R$  两端的电压值即为稳压管 D2 两端的电压值  $U_{ref}$ ，计算可得电路输出电流  $I_A$ ：

$$I_A = \frac{U_{ref}}{R} \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (3)$$

式中： $U_{ref}$  为稳压管产生的基准电压； $\beta$  为功放管 BD136 的放大系数。若  $\beta$  足够大，则有

$$I_A \approx \frac{U_{ref}}{R} \quad (4)$$

由上式可知，流过 SLD 光源管芯 D1 的电流  $I_A$  与电源电压无关，电路保证了输出电流只

与基准电压  $U_{ref}$  和电阻  $R$  有关。如果  $U_{ref}$  足够稳定、 $R$  温度系数很小，电路提供的输出电流就能达到很高的精度。

当光源管芯由于外界干扰产生波动时，输出电压会随之发生变化，通过负载调整率可以衡量电路稳压性能。负载调整率=(空载时输出电压-满载时输出电压)/(额定负载时输出电压)\*100%，表示输入电压不变的情况下，在一定范围内改变负载时，输出电压的最大相对变化量。

取输入电压为  $U_E$ ，当输出电流达到电路的性能指标  $I_A=100$  mA 时，输出电压为  $U_A$ 。接通电路，稳定光源管芯电流使其在规定范围内，测量电路空载及满载时的输出电压，记为  $U_{A1}$  和  $U_{A2}$ ，则  $\Delta U_A=0.003$  6V， $U_A=2.5$  V 时，整理得：

$$S = \frac{\Delta U_A}{U_A} = 1.44 \times 10^{-3} \quad (5)$$

### 3 恒流精度测试

#### 3.1 误差分析

该恒流源电路解决了由电压源波动而引起的影响。但是, 由于 FOG 内部空间狭小, 所有电路共用同一 5 V 电压源, 不同电路同时工作时由于共地, 各部分会相互影响, 这些也可能会降低恒流精度。因此, 在实际应用中必须保证不同电路之间的影响尽可能小, 要实现这一要求, 目前依然有一定的难度。

根据式(4)可知, 光源注入电流  $I_A$  与电阻  $R$  呈线性关系。由于电流通过电阻时会使其温度升高, 而温度的变化也会使电阻阻值波动, 所以电阻  $R$  的温度系数应该尽可能小而且稳定<sup>[7]</sup>。另外, 运算放大器的“虚短”是基于运放的深度负反馈原理, 而其“虚断”是由于运算放大器的输入电阻很高。所以, 它们是近似的两输入端“虚假短接”和“虚假断路”, 因此式(3)会引入误差。为了减小运放引入的误差, 本设计选用的运算放大器必须保证输入失调电压、输入偏置电流和温漂都小<sup>[8]</sup>。同时, 晶体管 Q1 的放大系数同样会在计算中带来一定误差, 在进行精度计算以及对恒流源电路分析时也必须考虑到这一点。

#### 3.2 实验测试

根据 SLD 光源管芯注入电流的要求, 稳压管 D1 选取 BXZ55C2V4, 基准电压为 2.338 V, 取电阻  $R$  为 23.2  $\Omega$ , 测试电路如图 4 所示红线框部分。实验平台如图 5 所示, 将低功耗、高精度

的光源驱动电路置于恒温箱内, 连接 SLD 光源模块, 检查电路接口连线。通电预热 30 min, 使恒温箱稳定在室温 25  $^{\circ}\text{C}$  保持 30 min; 然后缓慢降温至 -40  $^{\circ}\text{C}$  保持 30 min; 接着缓慢升温至 60  $^{\circ}\text{C}$ , 保持恒温 30 min; 再缓慢降温至室温 25  $^{\circ}\text{C}$ , 结束实验。实验平台如图 5 所示, 测量 SLD 光源管芯的注入电流, 每隔 1 min 记录一组数据, 恒流精度测试结果如表 1 所示。

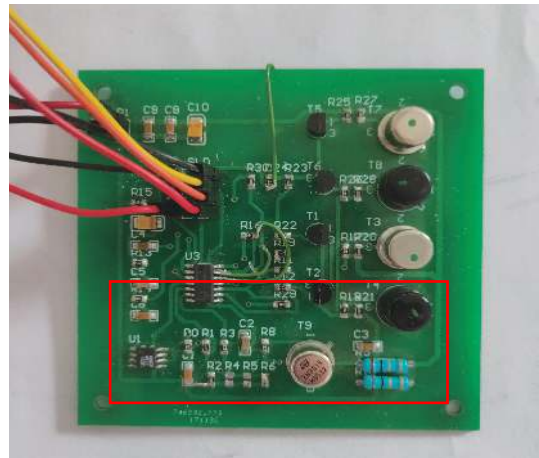


图 4 测试电路

Fig. 4 Test circuit



图 5 实验平台

Fig. 5 Experimental platform

表 1 恒流精度测试结果

Tab. 1 Constant current accuracy test results

温度/ $^{\circ}\text{C}$	$I_A/\text{mA}$			标准差	相对差/%
	最大值	最小值	平均值		
25	100.263	100.220	100.242	0.013 7	0.013 7
-40	101.844	101.757	101.809	0.020 7	0.020 3
60	101.793	101.721	101.759	0.023 2	0.022 8

实验结果表明：在环境温度(-40~60℃)不断变化的条件下，该低功耗、高精度光源恒流驱动电路可保证输出电流稳定，SLD光源管芯正常工作，使系统实现高精度、高稳定性的性能指标。

## 4 结 论

本文通过对 SLD 光源工作原理的分析论证，结合中、低精度，低功耗光纤陀螺的性能需求，完成了对传统恒流源驱动电路的优化设计。经测试，电路满足 SLD 光源管芯注入电流的精度要求，同时保证了系统的性能需求，为光纤陀螺光源驱动技术的进一步研究与应用提供了参考。

### 参考文献：

- [1] 郭小东, 乔学光, 贾振安, 等. 一种 C+L 波段高功率掺铒光纤宽带光源 [J]. *中国激光*, 2005, 32(5): 609 – 612.
- [2] ZHAO M, TAN M Q, WU X M, et al. The effect of proton radiation on a superluminescent diode (SLD)[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2007, 260(2): 623 – 627.
- [3] 魏晓珺, 李艳, 齐同斌. 光纤陀螺 SLD 光源的特性研究 [J]. *仪表技术*, 2013(10): 36 – 38, 44.
- [4] 张晞, 王妍, 张春熹, 等. 光纤陀螺光源驱动技术 [J]. *北京航空航天大学学报*, 2002, 28(3): 298 – 300.
- [5] 尹世刚. 超辐射发光二极管的数字化稳定控制技术研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2004: 39 – 40.
- [6] 邹燕, 张春熹, 刘军, 等. 低功耗小型化光纤陀螺 SLD 驱动电路的设计 [J]. *传感器技术*, 2005, 24(10): 57 – 58, 61.
- [7] 王立辉. 光纤陀螺光电信号的分析与采集 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005: 34 – 36.
- [8] 田正武, 熊俊俏, 裴建华, 等. 微弱信号检测与锁定放大电路 [J]. *化工自动化及仪表*, 2014, 41(5): 509 – 512.

(编辑: 张 磊)