

低功耗光纤陀螺用光源驱动电路的设计与实现

刘杰¹, 李太和¹, 刘军¹, 赵笑天²

(1. 军械工程学院 光学与电子工程系, 河北 石家庄 050003;

2. 中国人民解放军第 66476 部队, 北京 100041)

摘要:在分析光纤陀螺(FOG)对光源驱动电路基本要求的基础上,设计了高精度的光源控制与功率驱动电路,在降低功耗的同时大大减小了光源驱动电路的散热和体积,实现了光源驱动电路的高精度、低功耗和小型化,最后给出了实际测试数据。

关键词:光纤陀螺; 低功耗; 光源驱动电路; BTL 电路

中图分类号: TN25; TN7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)03-0364-04

Design and realization of FOG source's driving circuit with low power dissipation

LIU Jie¹, LI Tai-he¹, LIU Jun¹, ZHAO Xiao-tian²

(1. Department of Optics and Electronics Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. NO.66476 Unit of PLA, Beijing 100041, China)

Abstract: Based on the request of fiber-optic gyro (FOG) on the driving circuit of light source, the power driving circuit with high precision control is designed. In addition to the power dissipation being saved, the heat radiation and the size of the driving circuit is also reduced greatly. A driving circuit with high precision, low power dissipation and small minimized size is realized. Test results are available.

Key words: FOG; Low power dissipation; Driving circuit of light source; Balanced transformerless circuit

0 引言

近年来光纤陀螺(FOG)在技术和工程化上取得了较大进展,但 FOG 光源驱动电路的低功耗、小型化和集成化一直未能取得重大突破。由于光源驱动温度控制电路效率低以及功放管体积大、功耗大、散热多,难于将其封装于 FOG 内部;大功率泵浦光源的恒流

和制冷也要求光源驱动电路必须能够提供更大的输出功率。以上问题的解决都依赖于降低 FOG 光源驱动电路的功耗和散热、优化光源驱动电路的设计。

1 光纤陀螺及其对光源驱动电路的要求

FOG 基于萨格奈克效应,即当光纤环绕轴旋转

收稿日期:2004-07-29; 修订日期:2004-10-17

作者简介:刘杰(1977-),男,河南邓州人,硕士生,主要从事武器控制系统设计、分析与评估。

时,在其中反向传输的两束光会产生一个正比于旋转速率 Ω 的相位差 $\Delta\phi$,通过光电信号转换和处理即可测量载体的旋转速率。FOG 光探测器输出的干涉光强 I 和所测旋转速率 Ω ^[1]分别为:

$$I = \frac{I_0}{2} (1 + \cos\Delta\phi) \quad (1)$$

$$\Omega = \frac{\lambda c}{2\pi L D} \Delta\phi \quad (2)$$

式中 I_0 为峰值光强; $\Delta\phi$ 为两束光经过 FOG 光纤环后产生的相移; λ 为真空中光的波长; c 为光速; D 为线圈直径; L 为光纤长度。由公式(1)、(2)可以看出,光源功率和波长的稳定性直接影响 FOG 的检测灵敏度和测量精度。

目前 FOG 普遍采用超辐射发光二极管 (SLD) 和半导体激光二极管(LD)作为光源,另外利用掺稀土元素光纤放大的自发辐射(ASE)原理制作的无谐振腔的超荧光光纤光源(SFS)也越来越受到人们重视。SLD 的平均波长有约 400 ppm/K 的温度漂移和 40 ppm/mA 的随驱动电流的漂移^[1];当光源注入电流不变时输出光功率随温度上升而显著减小,从 SLD 的光电特性图(图1)中也明显可以看到光源注入电流对输出光功率的影响。同样,在 LD 和 SFS 中光源的波长和功率也受温度和注入电流的影响。目前,光源驱动电路主要包括恒流源电路、温度控制电路、光功率控制电路和保护电路四部分^[2]。

近年来 FOG 在技术和工程化上取得了较大进展,某些关键技术已经得到解决,但还存在一些技术难点有待进一步突破。例如,随着 FOG 不断向高精度、低功耗、小型化、集成化发展,首先必须要求光源驱动电路实现高精度、低功耗、小型化和集成化。FOG 的大部分电源功率消耗在光源驱动电路上,而温度控制电路又是光源驱动电路耗电的主要部分,降低光源驱动电路的功耗,就能降低 FOG 的功耗。温度控制电路功率放大管的体积和散热问题一直是 FOG 的一个技术难点,由于功放电路效率低以及功放管体积大、功耗大、散热多,难于将其封装于 FOG 内部。另外,随着 SFS 越来越引起人们的重视^[3,4],大功率泵浦光源的恒流和制冷要求光源驱动电路能够提供更大功率,如果不能解决功耗和散热等问题,就会影响 FOG 的

进一步发展。本文以降低温度控制电路的功耗为着眼点,通过应用高效率的 BTL 电路、选用饱和压降低的功放管、优化电路设计,实现了光源驱动电路的小型化和低功耗,功放管的散热问题也得到有效解决,整个光源驱动电路完全可以封装在 FOG 内部。

2 低功耗光源驱动电路的设计与实现

FOG 用低功耗光源驱动电路原理如图2所示。虚线框内为光源的基本组成部分,一般包括:发光管管芯、用于光监视的光电探测器(PIN)、热敏电阻和半导体制冷器四部分。

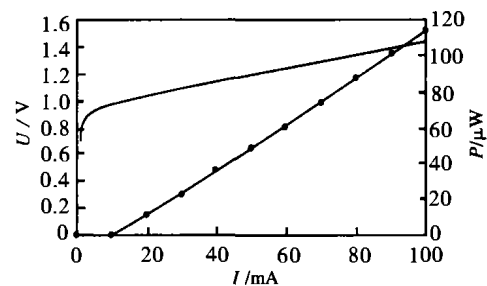


图1 SLD 的光电特性

Fig.1 Photoelectric characteristic of SLD

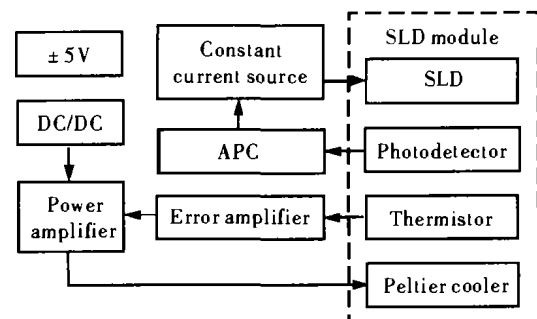


图2 低功耗光源驱动电路原理图

Fig.2 Diagram of FOG source's driving circuit with low power dissipation

2.1 恒流源电路

恒流源为光源提供恒定的注入电流,以稳定光源输出功率、降低噪声和减小漂移。恒流源电路原理如图3所示: D 为光源管芯, T 为扩流三极管, R 为取样电阻。电流 $I = V_m/R$, 当 I 恒定时,恒流源输出电流 I_d 即恒定。恒流精度由恒压源决定,采用低温度系数的电阻可改善恒流源的温度特性^[5]。

2.2 自动温度控制(ATC)电路

自动温度控制电路根据光源热敏电阻的变化来

驱动制冷器工作,保证光源管芯的温度不变,使光源输出功率稳定。热敏电阻和珀耳帖半导体制冷器及热沉封装于一个组件内,采用桥式电路实现温度信号的

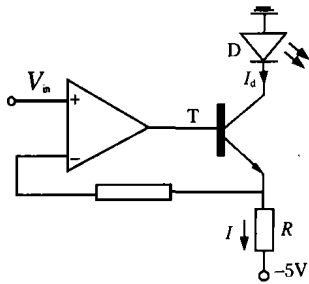


图 3 恒流源电路

Fig.3 Circuit of constant-current source

提取和转换。热敏电阻的阻值在室温 25 °C 下为 10 kW, 温度系数为 -500 W/°C。功率放大采用 BTL 电路,如图 4 所示。图中 P 表示珀耳帖半导体制冷器,当电流由正极流向负极时,起制冷作用,由负极流向正极时,起加热作用;制冷器制冷(加热)量与电流的大小成正比。 T_1 、 T_3 为相同型号的 NPN 三极管, T_2 、 T_4 为相同型号的 PNP 三极管。当 T_1 管在制冷器的一端“推”时, T_4 管则在制冷器的另一端“挽”;而当 T_2 管对制冷器的一端“挽”时, T_3 管在制冷器的另一端“推”。与原来所采用的 OCL 电路^[6](如图 5 所示)相比,BTL 电路只用一组电源, 这比需要正负两组电源的 OCL 电路更为优越;同时,在同样的电压和负载下,BTL 电路的实际输出功率可达到 OCL 电路的 2~3 倍。

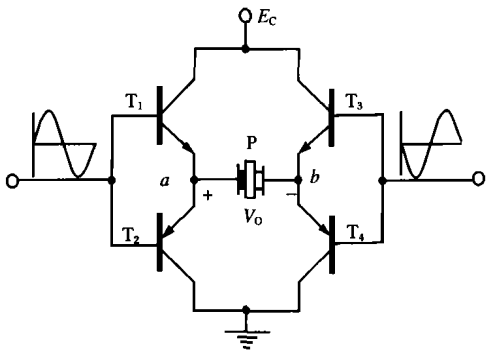


图 4 BTL 电路原理图

Fig.4 Schematic diagram for BTL circuit

由于开关型直流稳压器(DC-DC 变换器)具有效率高、稳定范围宽、发热小、体积小等优点,光源驱动电路采用 DC-DC 变换将 +5 V 直流电压变换为 +2.5 V 电源作为功放管的电源。

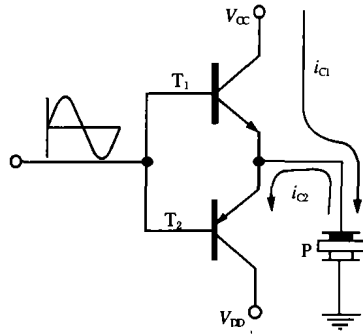


图 5 OCL 电路原理图

Fig.5 Schematic diagram for OCL circuit

由于采用 BTL 电路,通过降低功放管的电源电压 E_c 值,减小了功放管的功耗,降低了热辐射,提高了光源驱动电路的效率,从而使光源驱动电路实现了大功率和小型化的目标。

2.3 光功率自动控制(APC)电路

高精度恒流源和精密温度控制电路可保证光源发光恒定,但当发光面与光纤纤芯的耦合由于温度的变化以及其他各种环境因素的变化导致出纤光功率不稳定的时候,在高精度 FOG 中就需要采用光功率自动控制(光控)技术来予以克服。理论上,直接光控能够克服任何因素引起的出纤功率不稳定。对于 LD 可以采用探测背向光进行反馈控制。由于 SLD 背向散射的光极其微弱,无法获得足够的信号来进行光反馈控制,需要在 FOG 光路上选取合适点进行取样控制。

3 测试结果

利用传统的光源驱动电路及改进设计的低功耗光源驱动电路对同一支光源进行了测试。图 6、图 7 分别为采用 OCL 电路和 BTL 电路时光源驱动电路的效率和耗散功率与误差电压的关系曲线。由两图可看出,采用 BTL 电路后,电路效率明显得到提高,最高效率达 94%(OCL 电路为 83%),功放管最大耗散功率为 0.79 W(OCL 电路为 1.24 W),减小了 36.3%;而且 BTL 电路用单电源,与 OCL 电路相比减少了一组电源。

图 8~图 11 为利用低功耗光源驱动电路对同一只 ASE 光源在不同温度下的测试曲线,恒温下有效测试时间为 1 h。图 8 为 -40 °C 时光源注入电流变化曲线,标准差为 0.0129,平均值为 164.9983 mA,相对

差为 0.00783%。图 9 为 -40 ℃时光源输出光功率变化曲线,标准差为 0.556,平均值为 380.7333 μW,相对差为 0.146%。图 10 为 60 ℃时光源注入电流变化曲线,标准差为 0.0595,平均值为 164.2675 mA,相对差为 0.03624%。图 11 为 60 ℃时光源输出光功率变化曲线,标准差为 0.99985,平均值为 369.6833 μW,相对差为 0.27%。

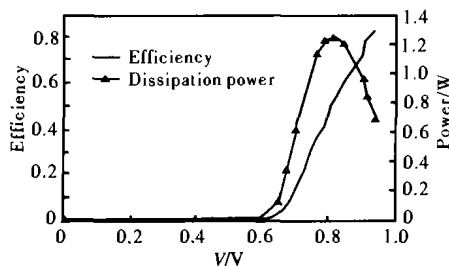


图 6 OCL 电路效率和耗散功率曲线

Fig.6 Curves of OCL's efficiency,dissipation power vs.voltage

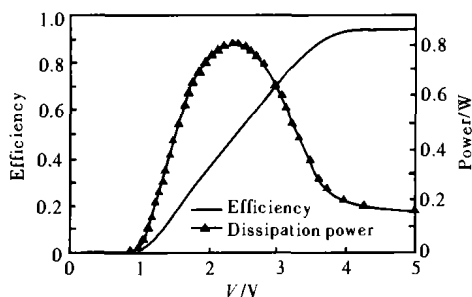


图 7 BTL 电路效率和耗散功率曲线

Fig.7 Curves of BTL's efficiency,dissipation power vs.voltage

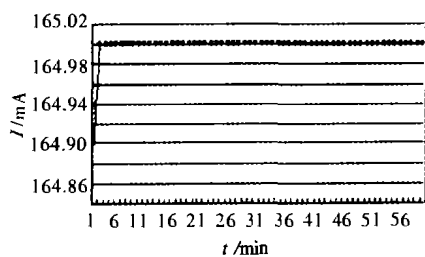


图 8 -40 ℃时 ASE 光源注入电流变化曲线

Fig.8 Curve of ASE's input current at -40 ℃

由测试数据可知,新设计的低功耗光源驱动电路效率高、耗散功率小、热辐射低,采用小体积、不用加装散热器的功放管就可以实现大功率输出;同时具有较高的恒流精度、温控精度,光源输出光功率在长时间、全温范围内也比较稳定。该电路已经得到实际运用,并制成仪表。该驱动电路不仅适合 FOG 用光源的驱动,还可广泛应用于其他半导体激光器的驱动。

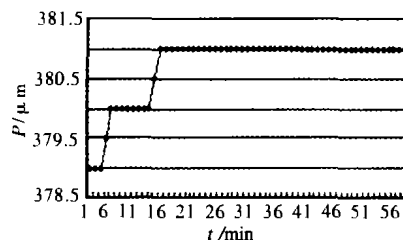


图 9 -40 ℃时 ASE 光源输出光功率变化曲线

Fig.9 Curve of ASE's output light power at -40 ℃

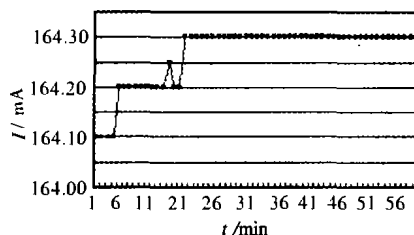


图 10 60 ℃时 ASE 光源注入电流变化曲线

Fig.10 Curve of ASE's input current at 60 ℃

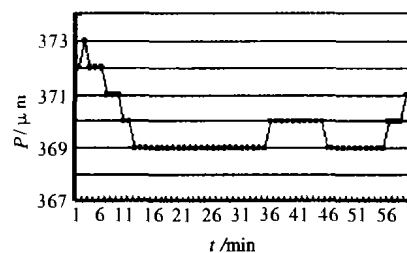


图 11 60 ℃时 ASE 光源输出光功率变化曲线

Fig.11 Curve of ASE's output light power at 60 ℃

参考文献:

- [1] Lefèvre H C;张桂才,王巍.光纤陀螺仪[M].北京:国防工业出版社,2002.135-138.
- [2] 叶炜,周柯江,王涛,等.光纤陀螺光源稳定性研究[J].红外与激光工程,1997,26(1):40-44.
- [3] Hall D C,Burns W K.Wavelength stability optimization in Er³⁺-doped superfluorescent fibre sources [J].Electronics Letter,1994,30 (8):653-654.
- [4] Spammer S J, Swart P L.Open-loop fiber-optic gyroscope with wide dynamic range and source variation insensitivity[A].SPIE[C].1991,1585.215-225.
- [5] 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.
- [6] 康华光.电子技术基础:模拟部分.第四版[M].北京:高等教育出版社,1999.168-169.