

文章编号: 0258-7025(2009)11-2873-05

激光陀螺电路系统对其精度影响的实验分析

王国臣¹ 俞洁²

(¹ 国防科技大学光电科学与工程学院, 湖南长沙 410073; ² 92635 部队装备处, 山东青岛 266041)

摘要 在四频激光陀螺高精度数字一体化电路的基础上, 通过控制激光陀螺两臂放电电流差值、两臂电流和值、两对模式的光强差值分别按照预定程序进行精确的改变, 从而得到以上参量与陀螺零漂之间的关系系数。对陀螺进行长时间的测试, 根据实际工作中各参量的精度计算得出电路系统对激光陀螺精度的影响。实验中为保证结论的一般性, 选取两个精度相差较大的激光陀螺进行实验, 结果表明, 在现有方式下工作的高精度数字一体化电路系统对激光陀螺精度的影响在 1% 以内。

关键词 激光技术; 四频激光陀螺; 数字一体化电路; 精度

中图分类号 V241.5⁺58 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093611.2873

Analysis of the Circuit Infection to Laser Gyro

Wang Guochen¹ Yu Jie²

¹ College of Photoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China
² Navy 92635 Army, Qingdao, Shandong 266041, China

Abstract Based on the laser gyro digital integration circuit, the coefficients between the null shift and current discharge difference, current discharge sum, beam intensity difference are got by precision controlling the parameters changing. Through long time tests to laser gyro, the infection, caused by the precision of these parameters, is got by calculating. In order to make the conclusion validly, the two laser gyros which are different in precision are selected to be tested. The results show that the digital integration circuit which is working under now mode infects the precision of laser gyro no more than 1%.

Key words laser technique; four-frequency laser gyro; digital integration circuit; precision

1 引 言

激光陀螺^[1~3]作为中高等精度惯性导航的理想器件已得到广泛的应用。激光陀螺电路对陀螺的影响一直停留在理论分析阶段, 对采用现在电路系统的激光陀螺来说, 确定电路对陀螺性能的影响有多大是十分必要的, 一方面可以为激光陀螺现有电路的进一步完善提供依据和努力方向, 另一方面也会对激光陀螺在现有模式下工作的实际情况有充分的了解, 促进激光陀螺精度的进一步改进。本文在四频激光陀螺高精度数字一体化电路的基础上, 通过控制激光陀螺两臂放电电流差值、两臂电流和值、两对模式的光强差值分别按照预定程序进行精确的改

变, 从而得到以上各控制参量与陀螺零漂之间的比例系数, 然后对陀螺进行长时间的测试, 根据实际工作中各参量的精度计算得出电路对激光陀螺性能的影响。

2 原 理

四频激光陀螺^[1,4]现有工作电路主要原理为: 通过控制两对模式的光强相等来稳定激光陀螺的频率^[5~8]; 通过控制电源的两臂放电电流为常值来稳定增益和减小朗缪尔(Langmuir)零漂^[1,9]。因此, 激光陀螺电路在此工作模式下, 是通过控制两臂放电电流差、两臂放电电流和和两对模式的光强差这

收稿日期: 2008-11-14; 收到修改稿日期: 2009-03-03

作者简介: 王国臣(1980—), 男, 博士研究生, 主要从事激光陀螺及导航应用等方面的研究。

E-mail: wangguochen0912@sina.com, wangguochen0912@yeah.net

3 个参量来工作的，只要能通过实验测出这 3 个参量与零漂的关系系数，即可知道现有激光陀螺工作电路对其性能的影响，这也是本实验的直接依据。

2.1 激光陀螺电源的工作原理

激光陀螺工作在高电压、小电流的条件下。激光陀螺电源^[9]由两部分，即高压起辉及维持部分和稳流部分组成。对电源高压部分，起辉电压需要 -1000~-2000 V，稳定工作时需要 -700 V 左右的维持电压。对电源稳流部分，对于采用单阴极双阳极结构的激光陀螺，为减小陀螺增益不稳定带来的零漂，必须控制两臂的电流稳定地保持恒值；为减小朗缪尔流动造成的零漂必须保证陀螺两臂的电流差值恒定。

2.2 激光陀螺稳频的工作原理

对于激光陀螺而言，为使其达到一定的精度，必

须进行稳频。四频激光陀螺稳频系统应将两个对模频率的平均值稳定在增益曲线最大值处。一般认为，两个对模对称地分布在增益曲线峰值两侧，因此可对四频激光陀螺进行光强差稳频。当光强差为 0 时，等效于把两对模的平均频率稳定在增益最大处。如图 1 所示。图中 I_L 与 ν_L 为左旋对模的光强与平均频率， I_R 与 ν_R 为右旋对模的光强与平均频率，稳频就是要把频率稳定在 $\nu = \frac{1}{2}(\nu_R + \nu_L) = \nu_M$ 处。光强差稳频包括直流稳频和交流稳频。直流稳频直接选取光电管输出经前置放大后的直流信号，交流稳频则选取光电管输出经前置放大再经交流幅度检测后的直流信号。对稳频电路来说，二者除误差信号的选取方式不同外，其它是一致的。

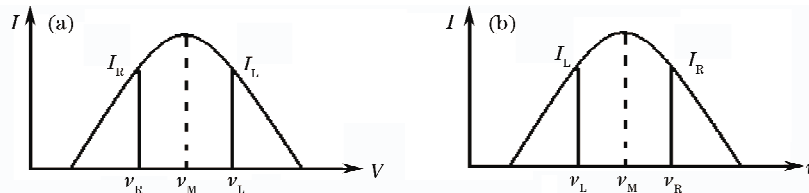


图 1 四频激光陀螺光强增益曲线

Fig. 1 Laser gyro output power versus frequency tuning

2.3 计数处理

激光陀螺光电管输出的信号经前置放大和整形后，采用计数器对两路脉冲信号分别计数，在处理器中求得两路信号的频率差即为激光陀螺的输出。由

于电子计数器存在 ± 1 的量化误差，因此需要采用数字滤波或其它方式来降低量化误差的影响，本文采用数字滤波与脉冲细分相结合的方式^[10~12]。

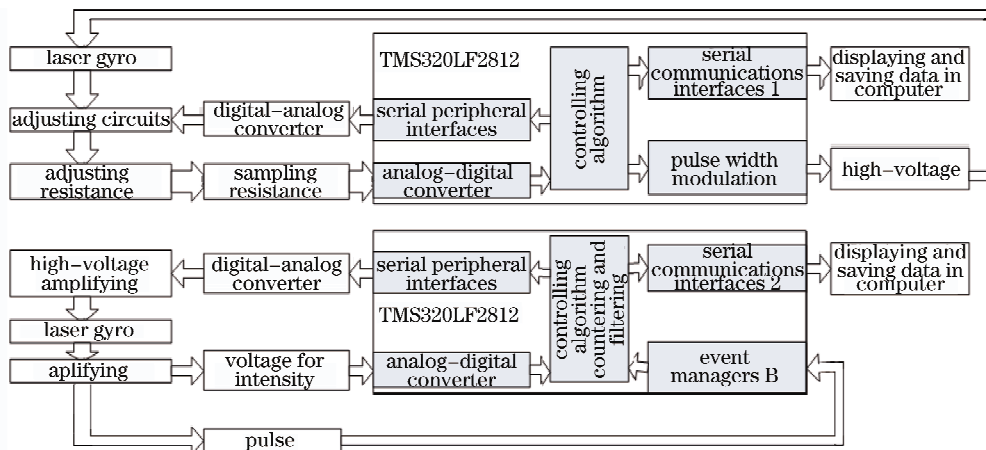


图 2 激光陀螺数字一体化电路系统框图

Fig. 2 Laser gyro digital integration circuit system

3 数字一体化电路的设计

精确控制四频激光陀螺可控参量光强差、放电电流，使之按照一定规律改变是本实验的关键所在。

然而现在使用的电路基本上都有模拟电路在其中，这就很难实现对全部参量的精确控制。因此，在激光陀螺目前采用的电路基础上，设计了基于

TMS320LF2812^[13]的激光陀螺高精度数字一体化电路。高压电源、稳频、计数均集成在一体化电路中,稳频方式采用直流稳频,控制方式采用数字比例积分微分(PID)控制^[14]。这就为实验的进行提供了硬件上的支持。

激光陀螺数字一体化电路由运算处理单元 TMS320LF2812,单端反激式变换电路,倍压整流电路,稳流控制电路^[15],稳频控制(腔长控制)电路,整形计数及滤波处理和通信等部分组成,系统框图如图 2 所示(注:图 2 中的 TMS320LF2812, Digital-Analog Converter 在电路中为共用的,为了更清楚地说明系统的组成而分开表示)。

4 实际测试与分析

为验证数字一体化电路对激光陀螺精度的影

响,在室温下使两臂放电电流差值、两臂电流和值、两对模式的光强差值分别按照预定程序进行精确的改变,然后得到以上参量与陀螺零漂之间的比例系数,最后对陀螺进行长时间的测试,根据实际工作中各参量的精度计算出电路对激光陀螺性能的影响。实验中为使所得结论具有普适性,实际测试了两个精度相差较大的四频激光陀螺。

4.1 各控制参量与零漂的实验曲线

实验中控制两个激光陀螺的各参量按照完全相同的方式改变。测试数据如图 3 所示。图中,左侧为陀螺 A 的数据,右侧为陀螺 B 的数据;从上到下依次为两对模式的光强差(用光电转换后再经过直流差分放大器放大的电压差表示;下同)、两臂放电电流的电流差、两臂放电电流的电流和与零漂的实验关系曲线。

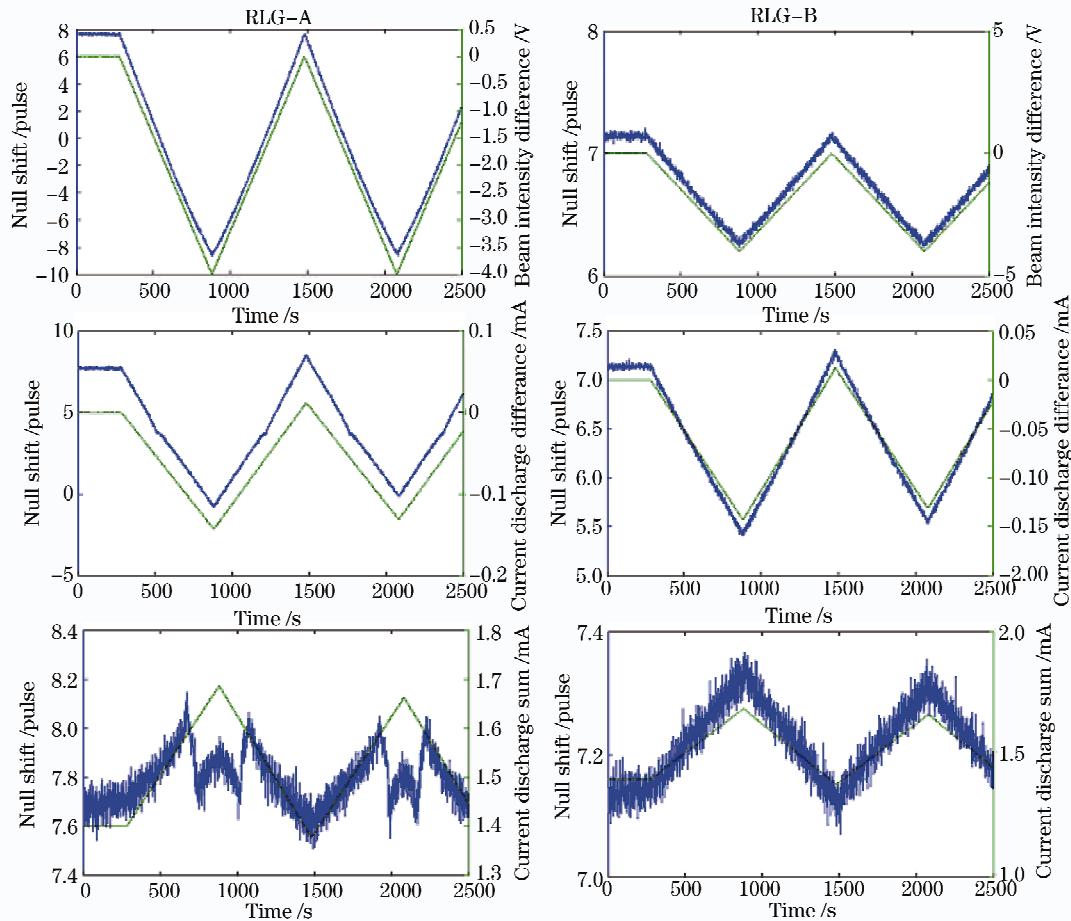


图 3 各控制参量与激光陀螺零漂的关系曲线

Fig. 3 Curve laser gyro digital integration circuit system

4.2 激光陀螺及电路的长期测试性能

室温环境下,对两个四频激光陀螺进行长时间的测试,测试时间为 65700 s。测试的同时监测激光陀螺高精度数字一体化电路系统的 3 个控制量:两

臂放电电流差值、两臂放电电流和值、两对模式的光强差值。计算零漂和控制量的稳定度,以百秒方差计,数据如表 1 所示。

表 1 激光陀螺零漂及数字一体化电路控制参量的实测性能
Table 1 Performance of laser gyro and the circuit control parameters

	Null shift stability / [°/h]	Beam intensity difference /V	Current discharge difference /mA	Current discharge sum /mA
Laser gyro A	0.04083	0.00003672	0.00000112	0.00000789
Laser gyro B	0.00428	0.00001851	0.00000151	0.00001507

4.3 精度影响的定量分析

4.3.1 零漂与控制参量的关系

通过测试曲线可以看出,各参量的变化与零漂的

变化大致呈线性关系,因此采用控制参量方差与零漂方差之间的比值作为关系系数,这样计算带来的误差不会有量级上的差别。各关系系数如表 2 所示。

表 2 激光陀螺零漂与控制参量的关系系数

Table 2 Coefficients between null shift and control parameters

	Coefficient of beam intensity difference / (pulse /V)	Coefficient of current discharge difference / (pulse /mA)	Coefficient of current discharge sum / (pulse /mA)
Laser gyro A	4.1169	59	1.23
Laser gyro B	0.2205	12	0.69

4.3.2 控制参量对零漂的实际影响

实际计算中,3 个控制参量对激光陀螺的影响

假定为相互独立的,这样可能会使电路对陀螺的影响加大,但足以说明问题。具体计算如下:

对 A 陀螺:

$$\delta_A = \sqrt{(3.672 \times 4.1169)^2 + (0.112 \times 59)^2 + (0.789 \times 1.23)^2} \times 10^{-5} \times 1.49 = 2.463 \times 10^{-4} (^{\circ})/h$$

$$\eta_A = 0.0002463 / 0.04083 = 0.6\%, \quad (1a)$$

对 B 陀螺:

$$\delta_B = \sqrt{(1.851 \times 0.22)^2 + (0.115 \times 12)^2 + (1.507 \times 0.69)^2} \times 10^{-5} \times 1.49 = 2.65 \times 10^{-5} (^{\circ})/h$$

$$\eta_B = 0.0000265 / 0.00428 = 0.6\%, \quad (1b)$$

综合本实验所得数据,通过计算可以看出电路对激光陀螺性能的影响在 1% 以内。并且对于激光陀螺高精度数字一体化电路来说,其对陀螺的影响因陀螺自身的性能而异,认为“激光陀螺精度越高,电路对其精度的影响所占比例越大”是一个误区。这是因为电路的控制精度对不同的陀螺来说差异是不大的,然而不同激光陀螺对电路所控制参量的敏感性是不同的,如本文中两个激光陀螺对两路光强差、两臂放电电流差的敏感性差异就非常的大,因此同一电路对不同陀螺精度影响所占的比重差别并不大。室温环境下,温度的变化对本文所采用的四频激光陀螺精度的影响较小,因此对本文所得结论也就不会有大的影响。

5 结 论

在激光陀螺高精度数字一体化电路的基础上,通过实验的方法,详细分析了工作在现有模式下的电路对陀螺性能的实际影响,得出电路对激光陀螺性能的影响在 1% 以内的结论,为研究电路对激光

陀螺的影响提供了新的思路;同时也指出“激光陀螺精度越高,电路对其精度的影响所占比例越大”是一个误区。当然,如果激光陀螺电路的工作方式有所改变,通过电路使激光陀螺的精度有较大提高也是很有可能的。

参 考 文 献

- 1 Gao Bolong, Li Shutang. Ring Laser Gyroscopes [M]. Changsha: National University of Defense Technology, 1984
高伯龙,李树棠编. 激光陀螺[M]. 长沙:国防科技大学,1984
- 2 Gao Yukai, Lin Yurong, Deng Zhenglong. A method for improving the performance of ring laser gyro by injecting the multi-cycles step noise with white noise[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(4): 481~484
高玉凯,林玉荣,邓正隆. 改善激光陀螺输出特性的随机噪声注入方法[J]. 中国激光,2007, **34**(4): 481~484
- 3 Jin Shilong, Long Xingwu, Wang Fei et al.. Technology research for ring laser gyro to overcome the environmental temperature variation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(3): 409~414
金世龙,龙兴武,王飞等. 激光陀螺克服高、低温冲击的技术研究[J]. 光学学报,2006, **26**(3): 409~414
- 4 Wang Guochen, Hui Shaomin, Luo Hui et al.. The novel ring laser gyroscope[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, **33**(10): 101~104
王国臣,胡绍民,罗晖等. 一种新型激光陀螺的检测方法[J].

- 光电工程, 2006, 33(10): 101~104
- 5 Xu Guangming, Zhang Bin, Jiang Anguo *et al.*. Laser frequency stabilization for differential ring lasers[J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2000, 11(1): 49~53
- 许光明, 张斌, 蒋安国等. 四频差动激光陀螺中的激光稳频[J]. 光电子·激光, 2000, 11(1): 49~53
- 6 Yuan Jie, Huang Yun, Han Shengjie *et al.*. The null shift of the differential laser gyro caused by the asymmetry of the left and right gyro's SFC[J]. *Laser Journal*, 2002, 23(3): 22~24
- 袁杰, 黄云, 韩生节等. 四频差动激光陀螺由于稳频精度局限等引入的零漂[J]. 激光杂志, 2002, 23(3): 22~24
- 7 Jin Shilong, Long Xingwu, Li Xiaohong *et al.*. Research on new type control mirror of light path and optical path length for ring laser gyroscope[J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 26(4): 562~566
- 金世龙, 龙兴武, 李晓红等. 激光陀螺新型光路程长控制镜的研制[J]. 光学学报, 2006, 26(4): 562~566
- 8 Wang Zhiguo, Long Xingwu, Wang Fei *et al.*. Choice of operating point for the four-mode differential laser gyros[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(2): 301~304
- 汪之国, 龙兴武, 王飞等. 四频差动激光陀螺工作点的选择[J]. 光学学报, 2008, 28(2): 301~304
- 9 Wang Fei. High stability digital power supply for RLG[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2002
- 王飞. 高稳定度激光陀螺数字稳流电源[D]. 长沙: 国防科技大学研究生院, 2002
- 10 Wang Xingshu, Huang Zongsheng, Zhou Pu *et al.*. Comparative study on digital filtering on the random drift of laser gyro[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, 33(11): 1547~1551
- 王省书, 黄宗升, 周朴等. 激光陀螺随机漂移的数字滤波方法比较[J]. 中国激光, 2006, 33(11): 1547~1551
- 11 Huang Zongsheng, Wang Xingshu, Qin Shiqiao *et al.*. Pulse subdivision technique for differential ring laser gyro[J]. *Laser Journal*, 2007, 28(3): 33~34
- 黄宗升, 王省书, 秦石乔等. 四频激光陀螺脉冲细分技术[J]. 激光杂志, 2007, 28(3): 33~34
- 12 Wang Guochen. Design of the rate stability apparatus for swivel dais based on four-mode laser gyroscopes[J]. *Chinese J. Sensors and Actuators*, 2008, 21(9): 1524~1527
- 王国臣. 基于四频激光陀螺的转台速率稳定性测试仪的设计[J]. 传感技术学报, 2008, 21(9): 1524~1527
- 13 TMS320F2810, TMS320F2811, TMS320F2812, TMS320C2810, TMS320C2811, TMS320C2812 Digital Signal Processors Data Manual. Texas Instruments Incorporated, 2004, 6
- 14 Katsuhiko Ogata. Modern Control Engineering (Fourth Edition) [M]. Lu Bojing, Yu Haixun Transl. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. 633~653
- 尾形克彦. 现代控制工程(第四版)[M]. 卢伯英, 于海勋译. 北京: 电子工业出版社, 2003. 633~653
- 15 Zhuang Shuqin, Yu Kexuan, Ma Zhiyuan. Development of constant current charging laser power supply based on DSP[J]. *Telecom Power Technologies*, 2008, 25(4): 1~2, 8
- 庄书琴, 于克训, 马志源. 基于 DSP 的激光电流恒数字控制[J]. 通信电源技术, 2008, 25(4): 1~2, 8