

激光陀螺高压电源的数字化及实现

王国臣¹,胡绍民¹,刘选俊²

(1.国防科技大学光电科学与工程学院,长沙 410073);
(2.重庆通信学院四系,重庆 400035)

摘要:本文在分析激光陀螺高压稳流电源工作原理的基础上,利用 DSP 实现数字 PID 控制算法,对激光陀螺两臂放电电流进行闭环稳定控制,实现了高精度的激光陀螺数字稳流电源。经过长时间的室温测试实验和高低温测试实验,其单臂稳定度已优于 1×10^{-4} ,两臂电流差值的稳定度也已高达 1×10^{-5} 。结果表明其性能已经达到了现有激光陀螺模拟稳流电源的性能。激光陀螺高精度数字稳流电源的实现,对未来激光陀螺工作电路实现高度的数字化、集成化和一体化有十分重要的现实意义。

关键词:激光陀螺;数字稳流;高精度;DSP;PID

中图分类号:U666.1

文献标识码:A

文章编号:0253-2743(2009)04-0056-02

Digitalization for Laser gyro high-voltage power supply

WANG Guo-chen¹, HU Shao-min¹, LIU Xuan-jun²

(1. College of Photoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;)
(2. College of Chongqing Communication, Chongqing 400035, China)

Abstract: Based on analyzing the principle of Laser Gyro high-voltage power supply, using DSP to realize PID algorithm for controlling the current of two arms stability, the high-precision digital current control power supply system for Laser Gyro is accomplished. Though long time tests under room temperature and Hi-Low temperature conditions, the current stability of any arm can reach 1×10^{-4} , the current difference stability of the two arms even can reach 1×10^{-5} . The test results show that the digital current control system is good enough to compare with the analog current control power supply system in the performance. The realization of this digital current control system is very important to accelerate the digitalization, integration and all-in-one for all the Laser Gyro work circuits.

Key words: Laser gyro; digital current control; high precision; DSP; PID

数字电路以其良好的抗干扰性、不易受环境温度的影响、灵活的软件升级等性能在现代的电子产品中中得到非常广泛的应用,可以说只要数字电路能实现的功能现已基本上不再采用模拟电路来完成。激光陀螺工作电路中,光电转换是由 PIN 光电二级管来实现的,其后必须接低噪声的前置放大电路将其放大到一定的幅度再进行计数稳频;激光陀螺数字稳频电路已经得到了较广的应用,然而陀螺电源一般仍采用模拟的稳流电源来实现,不便于集成。本文考虑以数字方法来进行稳流,用 DSP 配以相应的软硬件来实现高精度的激光陀螺数字稳流电源,这样就可以缩小电路体积、减轻重量,便于激光陀螺外围电路的数字化、集成化和一体化。

1 原理

1.1 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。起辉电压需要 -1000V 至 -2000V,稳定工作时需要 -700V 左右的维持电压。

零漂是影响激光陀螺精度最直接也是最难控制的因素,在陀螺的增益介质中,激活原子的数量不同,增益不同,激活介质的折射率也不同,此时零漂也随之改变,因此必须把激活原子的数量稳定下来,即稳定增益。同时,由于介质的朗缪尔流动效应造成了很大的零漂,对于单臂放电的增益管其零漂可达几百赫兹,因此激光陀螺均采用完全对称的双管结构,双臂放电的对称性,使朗缪尔效应造成的零漂比单臂放电时的小很多。但是采用这种结构的增益管,必须控制两臂的电流差稳定地保持恒值。因此,激光陀螺电源必须为陀螺两臂分别提供高稳定度电流,同时保证陀螺两臂的电流差值恒定,以减小朗缪尔流动造成的零漂。实际上,激光陀螺电源应该是保持增益恒定而不是放电电流恒定。

因此,激光陀螺电源将由两部分组成,即高压起辉及维持部分和稳流部分组成。

1.2 数字 PID 控制理论

计算机实现 PID 控制,其基本有位置算法和速率算法。速率算法与位置算法相比,优点是积分饱和和得到改善,系统超调减少。为此采用速率算法。

速率算法调节器输出的是控制量每一步的增量 $\Delta u(k)$,其表达式为:

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d[\Delta e(k) - \Delta e(k-1)]$$

$$= K_p[e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \quad (1)$$

其中, K_p 、 K_i 、 K_d 系数的确定要满足控制系统的稳定条件,一般都是在稳定范围内通过实验摸索,最终将 K_p 、 K_i 、 K_d 确定下来。

对于本实验系统,控制算法的目的就是使两臂放电电流分别稳定在设定的常值上,实际应用中要考虑控制精度和控制速度之间的取舍,本实验系统采用高速控制,即 1ms 为其控制周期。

2 数字电源的软硬件设计

2.1 高压部分

激光陀螺高压电源利用开关电源技术,主回路采用单端反激式变换电路和倍压整流电路,前者完成能量转换,后者完成倍压整流,将 24V 电压经过变换倍压后达到激光陀螺所需的工作电压。起辉、维持 PWM 脉冲由 DSP 的事件管理器 EVA、EVB 分别提供。

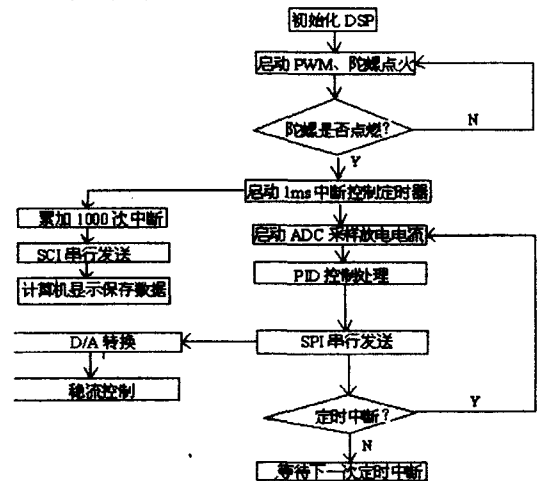


图 1 激光陀螺数字电源软件流程图

2.2 稳流部分

稳流控制采用 PID 闭环控制,采用场效应管作为控制系统的执行机构,通过控制场效应管的栅极电压来改变源极电流,从而达到控制放电电流稳定的目的。

2.3 通信部分

实验过程中,要监测两臂放电电流、两臂电流差的实时值,因此本实验系统通过 SCI 与计算机实时通信,由计算机

收稿日期:2009-04-05

作者简介:王国臣(1980-),男,辽宁昌图人,国防科技大学光电科学与工程学院博士研究生,主要研究方向为激光陀螺及其导航应用。

显示和保存数据。

2.4 软件流程

数字电源采用 DSP 作为 PID 数字控制的处理器,用 DSP 自带的 PWM 波作为开关电源的控制脉冲来产生起辉、维持高压;用其自带的 A/D 功能实现对放电电流的采集,外加一个独立的 D/A 芯片完成数字控制结果的模拟化,以调整电源的放电电流输出。

2.5 系统框图

激光陀螺数字电源由运算处理单元 DSP、单端反激式变换电路、倍压整流电路、稳流控制和通信等部分组成,系统框图如图 2 所示。

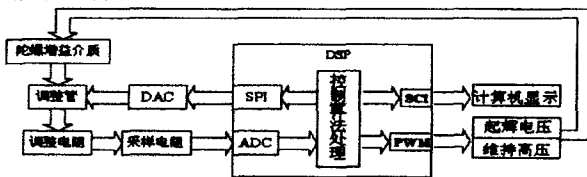


图 2 激光陀螺数字电源系统框图

3 数字电源的实际测试及精度分析

为验证激光陀螺数字稳流电源的性能,分别在室温下和高低温下进行了两次长时间的测试。为全面考查数字稳流电源,测试时激光陀螺处于冷态,陀螺从点燃至结束共测试 65700s,工作电流设定为 0.7mA;其中高低温设定如下:温箱与陀螺同时启动,温箱初始设定为 25℃并保温 4 小时;温箱以 1℃/min 升温至 60℃并保温 6 小时;温箱以 1℃/min 降温至 -40℃并保温 6 小时,关闭陀螺结束测试。

3.1 室温与高低温实测数据

图 3 至图 8 为实验系统的实际测试数据,其左侧纵坐标单位为 mA,右侧纵坐标单位为 ℃,横坐标单位为 s。

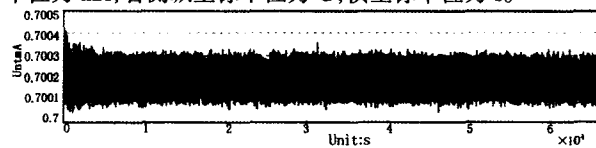


图 3 室温下,激光陀螺数字电源右臂在 0.7mA 时的长期稳流性能

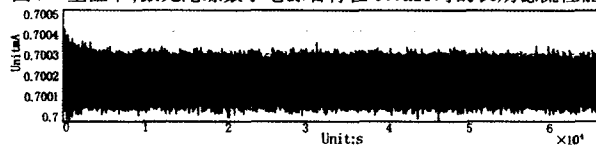


图 4 室温下,激光陀螺数字电源左臂在 0.7mA 时的长期稳流性能

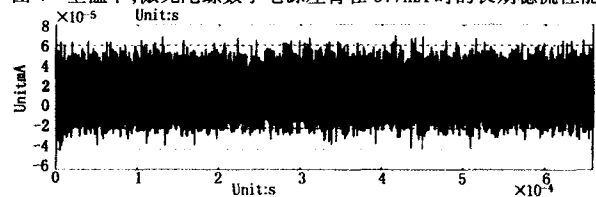


图 5 室温下,激光陀螺数字电源两臂电流差在 0.7mA 时的长期稳流性能

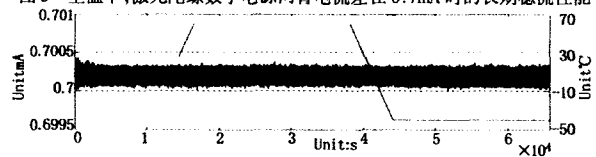


图 6 高低温下,激光陀螺数字电源右臂在 0.7mA 时的长期稳流性能

3.2 精度分析

激光陀螺电源的单臂电流稳定度采用 $\sigma(I)/\bar{I}$ 表征,它反映了单臂放电电流的稳定程度,间接的表征了陀螺的增益情况,是考察陀螺电源优劣的一个重要指标;稳定两臂放电电流的差值是稳流的最终目标,它与陀螺内部的朗缪尔流动直接相关,是评价陀螺电源稳流性能的关键参数,稳定度采

用 $\sigma(I_R - I_L)/(\bar{I}_R + \bar{I}_L)$ 来表征。激光陀螺电源的单臂电流的绝对变化量 $\Delta I = \max(I) - \min(I)$ 和两臂放电电流的差值绝对变化量 $\Delta(I_R - I_L) = \max(I_R - I_L) - \min(I_R - I_L)$ 表征了放电电流的绝对起伏范围,也是评价陀螺电源的重要指标。

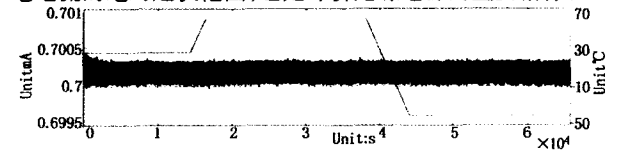


图 7 高低温下,激光陀螺数字电源左臂在 0.7mA 时的长期稳流性能

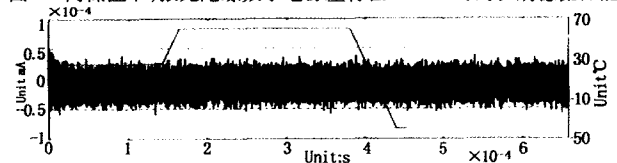


图 8 高低温下,激光陀螺数字电源两臂电流差在 0.7mA 时的长期稳流性能

表 1 激光陀螺数字稳流电源的实测性能

	ΔI_R μA	ΔI_L μA	$\sigma(I_R)/\bar{I}_R$ $\times 10^{-5}$	$\sigma(I_L)/\bar{I}_L$ $\times 10^{-5}$	$\Delta(I_R - I_L)$ μA	$\sigma(I_R - I_L)/(\bar{I}_R + \bar{I}_L)$ $\times 10^{-5}$
Room temperature	0.385	0.423	6.2225	6.9564	0.111	0.92505
Hi-LD temperature	0.425	0.481	7.3799	8.5159	0.147	1.19050

表 1 为根据激光陀螺实际测得室温下和高低温条件下的数据计算出的数字稳流电源各项性能指标,数据显示激光陀螺数字稳流电源单臂电流的绝对变化量在高低温下已优于 0.481 μA ;两臂电流的差值绝对变化量在高低温下已优于 0.147 μA ;单臂电流稳定度在高低温下已优于 1×10^{-4} ;两臂电流的差值稳定度在高低温下已优于 1×10^{-5} 。

4 结论

本文在现有激光陀螺模拟稳流电源的基础上,以 DSP 为控制核心实现了高精度的数字稳流电源,从长时间测得的激光陀螺数字稳流电源数据中,可以看出其性能已非常优越,各项指标几乎已经不受激光陀螺环境温度变化的影响,体现出了数字电源抗外界干扰等方面的优势;其精度也已可与现有的激光陀螺模拟电源相比较。目前,激光陀螺稳频电路已基本数字化,如果将数字稳流电源与数字稳频电路结合在一起,将有力促进国内激光陀螺工作电路的一体化、集成化。

参考文献

- [1] 高伯龙,李树棠编.激光陀螺[M].长沙:国防科技大学,1984.
- [2] 王飞.高稳定度激光陀螺数字稳流电源[D].湖南长沙国防科技大学研究生院,2002.
- [3] 高岚,王景峰,杨苏辉,赵长明.激光二极管抽运单块 ND:YAG 激光电源的研制[J].激光技术,2006,(6):38.
- [4] 蔡健乐,江文杰,施建华.共用一个激励源的多通道高精度稳流激光电源[J].科学技术与工程,2007,7(19):26.
- [5] 庄书琴,于克训,马志源.基于 DSP 的激光电源恒流数字控制[J].通信电源技术,2008,25(4):39.
- [6] 陈黎敏,王全忠,汤明红.基于 PIC16C781 的激光电源的设计[J].光电技术应用,2008,(4):28.
- [7] 徐丽娜.数字控制[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1994.
- [8] McCORMICK, Willis, G. N. E., Redmond. Multiple Ring Laser Gyro Power Supply[P]. WO86/05039, 1986.08.28.
- [9] 杨爱武,于颖韬,孙波.激光电源中印制电路板的抗干扰技术[J].激光与红外,2006,(12):26.
- [10] 盛秋林,张莉.激光电源数字控制系统[J].湖北工业大学学报,2006,(6):30.