

激光陀螺抖动控制电路高精度数字化设计

杨 阳^{1,2}, 李锦明^{1,2}, 程 龙^{1,2}, 杜东海^{1,2}

(1. 中北大学 电子测试国家重点实验室, 太原 030051;

2. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051))

摘要: 激光陀螺仪由于存在闭锁效应需要外加抖动偏频来消除; 以往的模拟抖动控制电路存在体积大, 难以进行精确控制等问题; 针对这些问题, 设计了一种基于 DSP 的数字抖动偏频系统, 通过 DSP 对抖动电压进行精确控制, 并注入一种参数可调的锯齿波噪声来消除激光陀螺的动态锁区; 经过实验表明, 抖动偏频控制系统工作稳定, 控制精确, 噪声注入效果良好; 激光陀螺仪静态测试结果表明, 在所设计的抖动偏频系统控制下, 激光陀螺测量精度高。

关键词: 激光陀螺; 机抖偏频; 锯齿波噪声

Design of High Precision Digital Dither Control Circuit on Laser Gyro

Yang Yang^{1,2}, Li Jinming^{1,2}, Cheng Long^{1,2}, Du Donghai^{1,2}

(1. State Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China);

2. Ministerial Key Laboratory of instrumentation Science & Dynamic Measurement, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The ring laser gyro need to add a dither bias to reduce the lock-in effect. Previous analog dither control circuit is very big and difficult to accurately control. In order to solve these problems, this paper designs a digital dither control circuit based on DSP, through the accurate control to dither voltage on DSP, and put forward a new sawtooth noise which parameters can be adjusted. The experimental results shows that, the digital dither control circuit stability, control precision, noise injection effect is good. The laser gyroscope static test results show that the laser gyro had a higher measuring accuracy by the design system in this paper.

Keywords: ring laser gyro; dither bias; sawtooth noise

0 引言

激光陀螺是一种基于 Sagnac 效应的测量器件。由于其测量精度高, 稳定性好, 目前在惯性导航系统中得到了广泛应用。而由于激光陀螺内部存在闭锁效应, 即在输入角速度较小时, 陀螺的频差消失, 因此陀螺将不能敏感低于闭锁阈值的转动角速度。为了很好的消除闭锁效应, 目前最广泛运用的是机抖偏频的方法^[1]。以往的抖动偏频都是采用模拟正弦驱动, 这种电路体积大, 难以进行精确控制且噪声注入难度大。

在抖动偏频数字化方面, 国内大部分都是使用单片机作为控制芯片, 但是由于激光陀螺抖动机构的特性, 单片机无法进行精确控制。并且在注入噪声方面存在缺陷。

由于 DSP 运算速度快, 控制精确且便于进行噪声注入, 易于更改控制参数等优点, 本文采用 TMS320F2812DSP 为主控芯片, 设计一种新型功率放大电路, 实现三态化方波驱动。最后根据实践经验设计了一种周期性锯齿波噪声, 相对于随机噪声, 这种噪声可控性强, 可以调节噪声的频率及噪声的强度。

1 抖动偏频原理

抖动偏频就是对抖动机构加一正负交变的脉冲驱动来消除激光陀螺的锁区。

如图 1 所示, Ω_L 为激光陀螺锁区, Ω_D 为机抖速率, 当无

正负交变的抖动时, 当激光陀螺输入速度 Ω_r 小于 Ω_L 时, 激光陀螺的输出 Δv 为 0, 即激光陀螺无法敏感小于 Ω_L 的外界角速率信号。当有驱动时, 激光陀螺输出克服了激光陀螺 Ω_L 的限制, 小于 Ω_L 时也有角速度输出^[2]。但也引出了一个新问题, 当输入角速率信号在抖动驱动信号速率的整数倍周围时, 输出角速度无变化既动态锁区, 为了解决动态锁区问题, 我们在抖动驱动的整数周期注入一周周期性变化的噪声。由于这种噪声可以通过时域平均进行自行消除, 对激光陀螺输出精度没有影响。

2 抖动系统关键技术

为了更好消除闭锁误差对激光陀螺精确测量的影响, 就要求输出的抖动信号幅值比较大, 且保持抖动偏频量相对稳定状态^[3], 抖动偏频量即抖动角速率最大值, 用公式表示为:

$$g = \omega_d \theta = 2\pi \cdot f_d \cdot K_d \cdot V_d \quad (1)$$

式中, ω_d 为抖动角频率, θ 是抖动幅度, f_d 代表抖动频率, K_d 则是抖动灵敏度, V_d 是抖动激励电压幅度, 抖动频率与抖动灵敏度关系如图 1 所示。

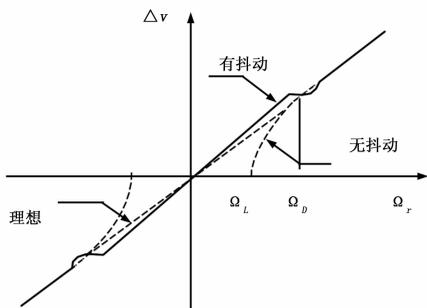
从图 2 可以看出, 为保证得到机抖的最大偏频量, 即灵敏度 K_d 取值为最大, 就要求抖动信号频率与抖动机构谐振频率保持一致^[4]。

经过上述分析抖动机构中对机抖控制电路的关键技术有如下 3 点^[5]:

1) 由于抖动机构是由粘胶剂、压电陶瓷、金属等构成的, 而金属的杨氏模量和粘胶剂的粘性强度等都因温度变化而改变, 因此谐振频率也会随温度变化而改变。这要我们设计的抖

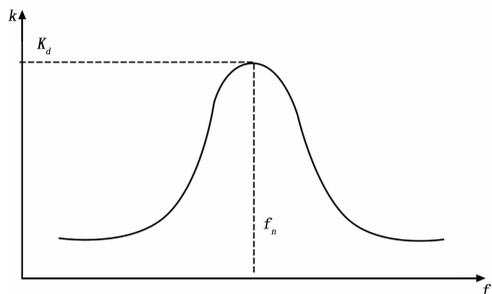
收稿日期: 2014-05-23; 修回日期: 2014-06-30;

作者简介: 杨 阳(1989-), 安徽淮北人, 在读研究生, 主要从事激光陀螺测试系统方向的研究。



(横坐标: 角速率/ (°/h) 纵坐标: 频差/hz)

图 1 抖动偏频激光陀螺输入输出曲线



(横坐标: 频率/hz)

图 2 抖动灵敏度 K_d 与抖动频率 f_n 关系曲线

动信号要有良好的跟踪抖动机构谐振频率。

2) 压电陶瓷的应变效应是跟温度变化的, 从而导致抖动最大灵敏度变化, 即抖动系统的偏频量要足够大。这样抖动系统的抖动幅度就要稳定在一个较高的水平上, 且要有一定的稳定裕度。

3) 通过在驱动信号过零点处添加噪声, 解决抖动驱动过锁区产生的动态锁区问题, 消除动态闭锁误差, 提高精度。

3 机抖偏频控制总体方案

如图 3 所示为机抖偏频数字化系统总体方案, 它主要包括功率放大模块, 信号滤波放大调理模块, 频率跟踪模块和稳幅控制模块, 噪声注入模块。

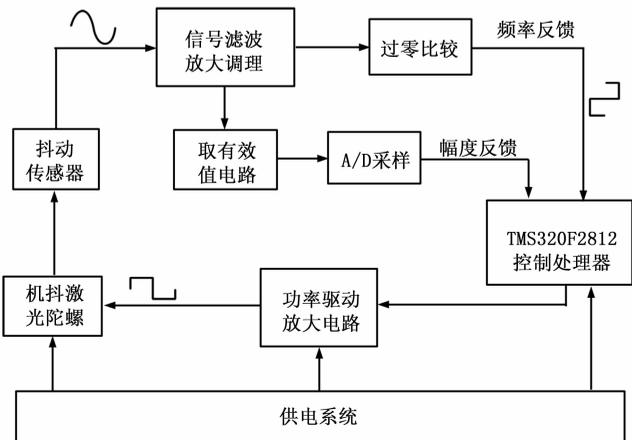


图 3 数字机抖控制总体方案

频率跟踪模块: 不同于单片机检测到抖动传感器过零指示信号输出驱动。DSP 有自己的捕获单元, 可以自主的得到抖动反馈信号过零点的时间, 没有相位延时, 对于抖动机构起到精确控制。DSP 通过捕获上升沿和下降沿输出 4 路信号经过功率放大模块整形为一个正负交变方波驱动。

功率放大模块: 如图 4 所示为本文所设计的功率放大电路。DSP 通过 4 个引脚输出的 4 路信号 OUTH, OUTL, MUTE1, MUTE2 以一定的时序经过放大模块后合成一路三态方波信号, DSP 可以控制 4 路信号的时序从而精确控制方波驱动的占空比、相位以及一些附加情况。

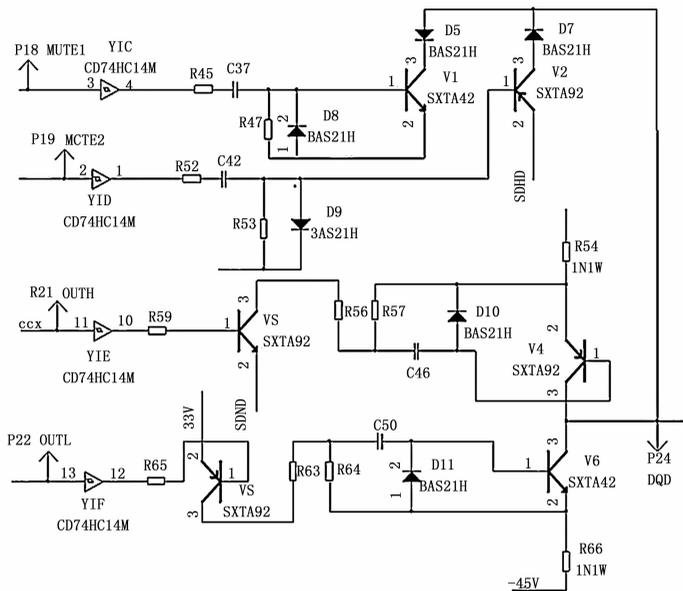


图 4 机抖输出功率放大模块

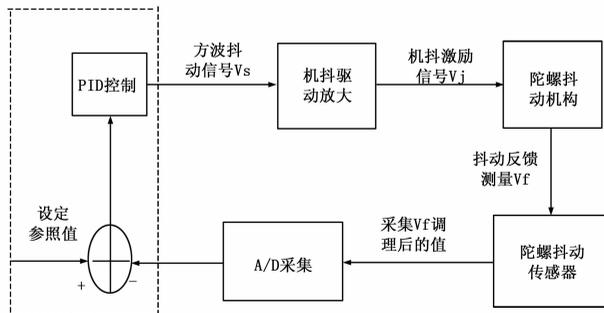


图 5 稳幅控制模块

稳幅控制模块: 如图所示为稳幅控制模块框图, 由于 DSP 运算速度快且自带 ADC 模块, 在自动增益中可以对抖动机构的抖幅进行实时跟踪, 且进行实时调整。这样可以保证激光陀螺在受到不明情况导致抖幅变化较大时, 能够快速反映, 迅速的调整回设定的幅值范围, 提高了激光陀螺的可靠性。

噪声注入模块: 噪声注入是提高激光陀螺精度的一个重要方法。国内大多采用随机噪声注入, 但工程中我们发现, 由于随机噪声主要是伪随机噪声周期时间长, 其高频成分无法通过时域平均消除, 在激光陀螺输出滤波时需要加入低通滤波器进行消除。且噪声强度无法人为控制和改变使得整个控制系统精

精度降低。所以我们采用一种周期性的锯齿波噪声注入, 并用软件实现。

4 抖动偏频系统测试

针对抖动偏频需要解决的 3 个关键技术, 我们对机抖系统做了性能测试。

1) 稳幅测试: 如图 6 所示为激光陀螺反馈幅值信息, 图上激光陀螺抖动反馈信号的幅值随时间变化后维持在 1.5 附近说明本文抖动偏频系统稳幅性能良好。

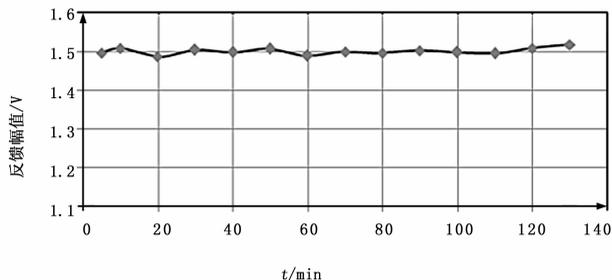


图 6 反馈信号电压有效值随时间变化关系

2) 加噪效果测试: 如图 7 所示为示波器显示机抖反馈信号包络图, 由图 7 可知抖动系统锯齿波噪声注入效果良好。

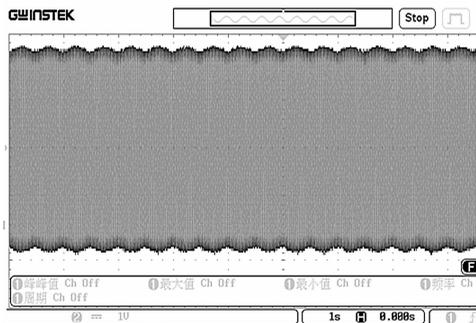


图 7 机抖反馈信号包络图

3) 频率跟踪测试: 图 8 为机抖偏频系统频率跟踪测试图, 如图所示机抖驱动频率能够很好地跟踪机抖反馈频率 (400 HzL 左右) 并且频率波动范围小。

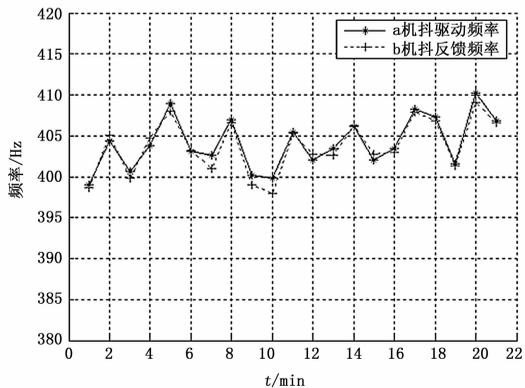


图 8 频率跟踪测试图

5 激光陀螺测试

激光陀螺的主要性能指标有零偏及随机游走误差。以下是两种指标的测试结果。

1) 零偏测试: 在静态情况下将激光陀螺垂直于地面, 正面向东, 陀螺敏感单元无法感知地球自转, 输出结果即为陀螺零漂。在陀螺启动后的 0.5 h 记录精度, 实验数据如表 1 所示。

表 1 零偏平均值与 100 s 平均方差

序号	零偏输出个数 (N)	100 s 标准差
1	0.15	0.0134
2	0.15	0.0139
3	0.14	0.0151

从表中数据可以看出, 零偏均值约为 0.15。100 s 标准差均值约为 0.0033, 可以看出零偏效果达到了中高精度标准且重复性较好。

2) 随机游走误差测试: 表 2 为静态陀螺仪测试台上位机数据表, 使用本文所使用抖动偏频系统后, 激光陀螺输出 100 s 和 300 s 标准差均在千分之二左右, 波动平缓, 说明激光陀螺随机游走误差较小, 陀螺测量精度高。

表 2 激光陀螺仪静态测试数据

测试时间	100 s 标准差	300 s 标准差
10 min	0.0012	0.0007
20 min	0.0015	0.0009
30 min	0.0017	0.0012
6 0min	0.0022	0.0015

6 结论

本文基于抖动偏频对抖动控制系统的要求, 设计了一种基于 TMS320F2812 DSP 的数字机抖控制系统, 实现了方波信号的噪声注入, 有效地克服了激光陀螺静态锁区和动态锁区。经过实验测试, 表明该系统稳定性高, 体积小, 陀螺测量精度高, 已经成功运用于激光陀螺测试系统的抖动偏频模块。

参考文献:

[1] 温 锋, 李锦明, 杨 阳, 等. 一种新型高效的激光陀螺抖动信号剔除技术研究及实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 20 (1): 207-209.

[2] 张伦东. 机抖激光陀螺控制电路的研究与优化 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2005.

[3] 许开鑫, 张英敏, 蒋军彪. 激光陀螺全数字抖动控制方法研究 [J]. 火箭与制导学报, 2008, 28 (5): 54-56.

[4] 潘献飞, 江明明, 李长虹, 等. 激光陀螺数字抖动控制方法与特性 [J]. 国防科技大学学报, 2006, 28 (5): 99-103.

[5] 张娟娟. 激光陀螺数字抖动偏频及加解噪技术研究 [D]. 西安: 西安石油大学, 2009.