

Research on Restraining Electromagnetic Interference in Half-Strapdown MEMS Inertial Measurement System *

ZHANG Song¹, LI Jie^{1,2*}, ZHU Jingde¹, LIU Jun^{1,2}, CHEN Wei³

(1. North University of China Science and Technology on Electronic Test and Measurement Laboratory, Taiyuan 030051, China;

2. Key Laboratory of Instrumentation Science and Dynamic Measurement (North University of China), Ministry of Education, Taiyuan 030051, China;

3. Shanxi North Hui Feng Mechanical and Electronic Co., Ltd No. 2 Academic Institution, Changzhi Shanxi 046012, China)

Abstract: Aiming at solving the problem of electromagnetic interference in half-strapdown MEMS inertial measurement system, this paper puts forward some practical solutions. Based on introducing the principle and composition of half-strapdown inertial measurement system, this paper analyses the cause of electromagnetic interference, and puts forward some measures such as shielding, electrical grounding and filtering to diminish it. This can raise the measurement and control accuracy and reduce the effect on IMU (Inertial Measurement Unit) counter-rotating platform, upgrading the attitude precision of high rotation ammunition.

Key words: high rotation ammunition; half-strapdown; electromagnetic interference; inertial measurement

EEACC:5230

doi:10.3969/j.issn.1004-1699.2013.10.010

半捷联 MEMS 惯性测量系统电磁干扰抑制技术研究 *

张松¹, 李杰^{1,2*}, 祝敬德¹, 刘俊^{1,2}, 陈伟³

(1. 中北大学电子测试技术国防科技重点实验室, 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;

3. 山西北方惠丰机电有限公司科研设计二所, 山西 长治 046012)

摘要: 针对半捷联 MEMS 惯性测量系统中电磁干扰问题提出了具体抑制措施。在介绍半捷联惯性测量系统工作原理及结构组成的基础上, 分析系统集成后电磁干扰来源, 并通过屏蔽、接地及滤波等技术使得该系统电磁兼容, 从而提高系统的测量及控制精度, 以达到在高速旋转情况下为微惯性测量单元提供稳定减旋环境的目的。

关键词: 高旋弹药; 半捷联; 电磁干扰; 惯性测量

中图分类号: TJ760.6

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2013)10-1370-04

弹药飞行姿态等关键弹道参数测试不仅可以为评定旋转弹药的准确度、机动性和抗干扰能力等主要性能指标提供依据, 而且也是进行故障分析与诊断的可靠资料, 更为重要的是所测得的姿态参数还能被用于旋转弹药的弹道修正与控制系统中, 从而极大地提高弹药打击精度, 对增强弹药的打击效果和常规弹药制导化具有重要实际意义^[1-3]。

针对旋转弹高速自旋的特点, 设计一种引入驱动并具有横滚隔离功能的半捷联 MEMS 惯性测量系统^[4]。半捷联惯性测量系统与被测载体在俯仰与偏航轴捷联, 滚转轴向上不捷联, 通过动力输出使惯性测量系统在滚转轴向上所敏感到的角速率远小于

弹体实际滚转角速率, 有效抑止弹体滚转轴向上高转速对惯性测量系统中滚转角速率测量精度的影响^[5], 实现高分辨率 MEMS 惯性器件在高旋载体中角速率测量的应用^[6]。

1 系统组成结构及工作原理

半捷联惯性测量系统由控制——驱动模块、动力输出模块、IMU 采集存储模块组成。半捷联惯性测量系统组成框图如图 1 所示。大量程陀螺(以下简称大陀螺)安装在弹体的轴向上, 实时测量弹体的旋转角速率, 并传入控制电路, 将采集得到的转速信号实时转化为电机的控制信号 PWM 脉冲, 通过

驱动器控制电机以与弹体相反的角速率旋转,实现减旋的目的。与电机轴捷联的敏感载体姿态信息的微惯性测量单元 MIMU (Micro Inertial Measurement Unit) 处于相对平稳的“减旋”环境中,这样就可以将低量程高精度的 MEMS 陀螺仪应用于惯性测量,提高惯性测量的精度^[7-8]。

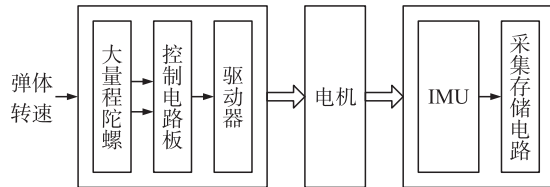


图 1 半捷联惯性测量系统组成框图

2 电磁干扰源分析

将研制的半捷联惯性测量系统夹持在车床旋转主轴,以模拟弹体高速旋转,采集存储器记录的大量程陀螺数据曲线如图 2 所示。从图中可以看出,不同转速下陀螺输出信号峰峰值为 300 mV ~ 400 mV (陀螺正常工作时输出信号宽度约为 10 mV ~ 20 mV),陀螺输出信号宽度过大导致实时解算出的陀螺角速率不准,相应地影响控制电路板产生的 PWM 波,进而导致电机的反相旋转角速率不等于弹体旋转角速率,系统不能实现理想的减旋效果。因此,需分析陀螺的输出影响因素,以便采用技术措施进行改善。

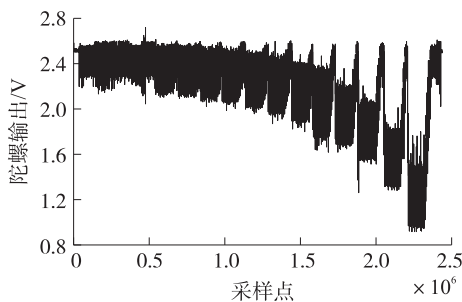


图 2 大量程陀螺数据

MEMS 陀螺能实时敏感轴向的旋转角速率,其输出电压值为: $U_o = \frac{V_{cc}}{2} + \Delta U$,其中, ΔU 为陀螺敏感到的角速率对应的电压变化; V_{cc} 为陀螺的供电电压,由控制电路板提供,控制电路与低压无刷伺服驱动器相连,当驱动器上电后,控制电路输出的 V_{cc} 如图 3、图 4 所示。图 4 为图 3 的局部放大图。从图可以看出,陀螺供电电压 V_{cc} 在 5 V 附近波动,带有很大的噪声。当驱动器断电时,陀螺供电电压波形如图 5 所示。从图中可以看出,陀螺供电电压 V_{cc} 在 5 V 附近波动,毛刺较于驱动器上电时变小。原因是驱动器上电后会产生电磁干扰,影响到控制电路中 V_{cc} 的输出,进而导致陀螺的输出值不准确。

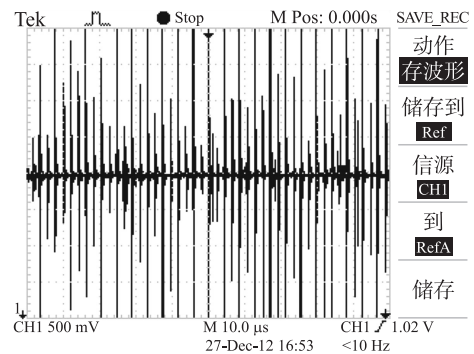


图 3 大陀螺供电电压(1)

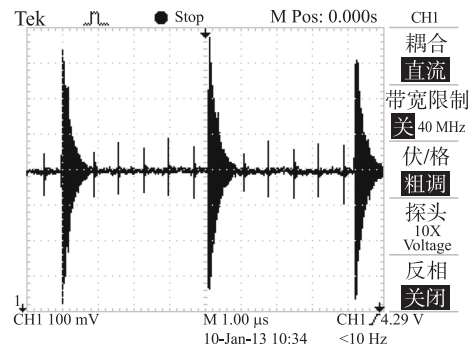


图 4 大陀螺供电电压(2)

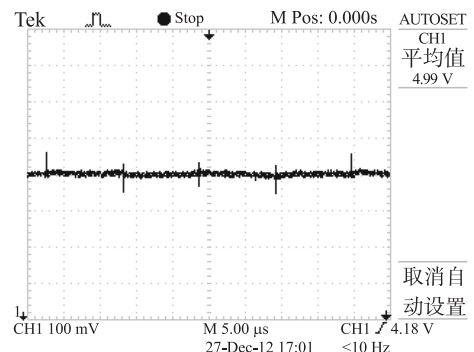


图 5 大陀螺供电电压(3)

3 电磁干扰抑制方法

电磁干扰 EMI (Electromagnetic Interference), 按传播途径分为传导干扰和辐射干扰两类,其中传导干扰是指通过导电介质把一个电网络上的信号耦合到另一个电网络。辐射干扰是指干扰源通过空间将其信号耦合到另一个电网络^[9-10]。

针对陀螺的电磁干扰现象,采取电磁屏蔽、接地及滤波 3 种技术以减小电磁干扰。

①屏蔽技术

针对辐射干扰,采用密闭金属腔将干扰源与被干扰源隔离开来。在控制——驱动电路安装仓中设计一个铝制隔离板,将控制电路与驱动器分别置于隔离板的两侧,待安装盖装配后,隔离板两侧就形成近似密闭的空间,起到屏蔽作用^[11]。

②接地技术

针对传导干扰,将控制电路与驱动器的地线连接到隔离板上。由于隔离板是一种良导体,使整个系统有一个公共的零电位基准面,并给高频干扰提供低阻抗通路,达到抑制电磁干扰、保证系统稳定的目的^[12]。

③滤波技术

滤波技术是抑制电气、电子设备传导电磁干扰,提高电气、电子设备传导抗扰度水平的主要手段,也是保证设备整体或局部屏蔽效能的重要辅助措施。

即使一个经过很好设计并且具有正确的屏蔽壳接地措施的产品,仍然会有电磁干扰通过发射或传导进入设备。滤波是压缩信号回路干扰频谱的一种方法^[13-14]。

通过图 4 可以看出, V_{cc} 由不同频率的信号组成,相当于在直流信号的基础上叠加不同频段的干扰信号,滤波器的作用是允许工作信号通过,而对非工作信号(电磁骚扰)有很大的衰减作用,使产生干扰的机会减为最小,因此可以采用滤波器将无用的干扰滤除。

在采用屏蔽和接地技术后,控制电路中的还有小的毛刺。为进一步得到稳定的输出电压 V_{cc} ,将控制电路输出的 V_{cc} 通过低通滤波器以达到滤除小毛刺的目的。采用 AD824 搭建二阶有源低通滤波器,它能毫无衰减地将直流或低频电源功率传送到设备上去,且大大衰减经电源传入的干扰信号,保证大陀螺供电稳定。其电路原理图如图 6 所示。其中,二阶有源低通滤波器的截止频率为:

$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$, 根据图中 R, C 参数计算得 $f_p = 44 \text{ Hz}$ 。该滤波器能够保证有效滤除高频成分,最终得到 +5 V 稳定直流电压信号。该滤波器的特点是尺寸小,重量轻,功率大,有效抑制频带宽。

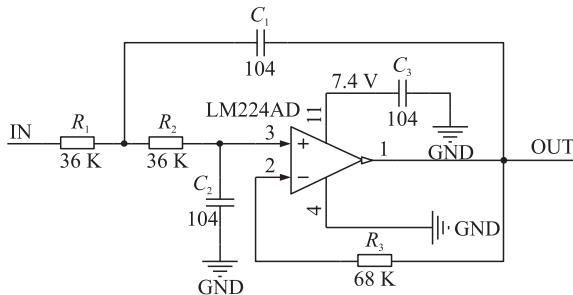


图 6 电源滤波电路原理图

4 实验结果

采用上述措施削弱电磁干扰,得到控制板提供的 5 V 电源信号波形如图 7 所示。从图中可以看

出,控制板输出的 5 V 直流电压的波动在 20 mV 范围内,这样可以保证大陀螺的供电电源稳定。并在此基础上测量得到实时角速率曲线如图 8 所示。从图中可以看出,在不同的固定转速下,大陀螺的电压输出波动在 20 mV 范围内,可以准确反映陀螺敏感到的角速率的实时变化,为下一步通过大陀螺角速率控制电机反旋提供依据。

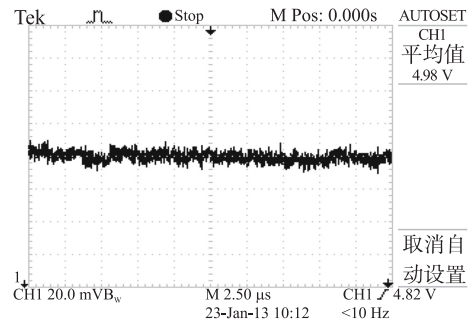


图 7 控制板 5 V 输出(滤波后)

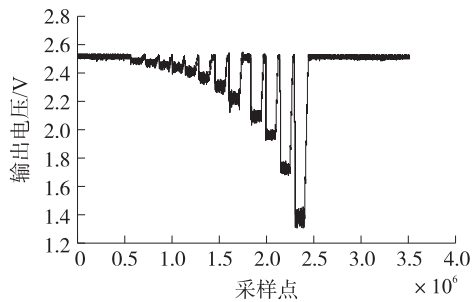


图 8 大量程陀螺数据

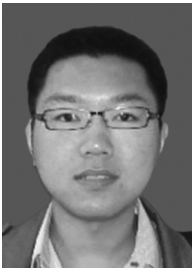
5 结束语

主动式半捷联系统中减旋装置采用的低压无刷伺服驱动器在工作的情况下,会对控制模块产生电磁干扰,本文通过接地、屏蔽、滤波三种措施,可以有效减小驱动器对控制模块的干扰,得到准确的大陀螺敏感到的角速率,为惯性敏感单元提供稳定的减旋环境,以便进一步解算弹体的姿态和位移。该措施可以广泛应用于电磁干扰环境中抑制电磁干扰。

参考文献:

- [1] 柴永利. 捷联惯导系统误差调制技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [2] 李杰, 马幸, 刘俊. 小型惯导系统数据实时采集处理与存储设计[J]. 中国惯性技术学报, 2008, 16(3): 274-277.
- [3] 李杰, 刘俊, 张文栋. 微型惯性测量装置[J]. 仪器仪表学报. 2006(27): 1450-1451, 1462.
- [4] 刘俊, 石云波, 李杰. 微惯性技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 210-211.
- [5] 李杰, 洪惠惠, 张文栋. MEMS 微惯性测量组合标定技术研究[J]. 传感技术学报, 2008(21): 1169-1173.

- [6] 岳凤英,高松山. MEMS 惯性测量组合在无人机飞行参数测量中的应用[J]. 火力与指挥控制,2009(34):174-176.
- [7] 胡士峰,马建仓. 基于 MEMS 陀螺和加计的微惯性测量单元研制[J]. 航空计算技术,2008(36):115-118.
- [8] 张岚,宋贺,赵桂瑾. 直流电机的电磁干扰问题及其抑制[J]. 科技资讯,2010(6):131-133.
- [9] 杨克俊. 电磁兼容原理与设计技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2004:53-57.
- [10] 陈伟化. 电磁兼容实用手册[M]. 北京:机械工业出版社,2000:121-122.
- [11] 白云同. 电磁兼容设计[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2001:45-47.
- [12] 林国荣编著. 张友德改编. 电磁干扰及控制[M]. 北京:电子工业出版社,2003:76-78.
- [13] 陈淑凤. 电磁兼容实验技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2001:107-110.
- [14] 高攸纲. 电磁兼容总论[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2001:33-36.



张 松(1987-)男,辽宁省丹东市人,现为中北大学在读硕士研究生,主要研究方向为微系统集成及自动控制, song_2999@126.com;



李 杰(1976-)男,山西省岚县人,博士,硕士生导师,200 院,获导航、制导与控制专业工学博士学位 5 年 3 月毕业于北京理工大学信息科学技术学学位,目前的主要研究方向为微系统集成理论与技术、惯性感知与控制技术、组合导航理论、计算几何及智能信息处理等,lijie@nuc.edu.cn。