

弹载磁阻式磁强计桥偏硬件补偿方法*

鲍亚琪, 吴 坤, 王晓蓉

(中北大学机电工程学院, 太原 030051)

摘 要:与惯性测量相比,用捷联安装在弹体上的磁阻式磁强计获取弹丸滚转姿态在带宽、体积、抗过载能力等方面都较有优势;不足的是,组成磁阻桥路的玻莫合金带温漂极大,致使传感器温度稳定性差,必须进行动态补偿,文中提出一种硬件补偿方法,仿真和实验均证实了该方法的可行性。

关键词:磁阻式磁强计;偏置补偿;姿态探测;桥路偏置

中图分类号:TJ760.6 **文献标志码:**A

Hardware Correction Method on Bridge Bias of Magnetic Resistance Magnetometer

BAO Yaqi, WU Kun, WANG Xiaorong

(School of Mechatronics Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: Magnetometers are light-weighted, rigid, and reliable detector with high overload tolerance comparing with inertial sensors. A significant drawback in magnetometer application is the temperature drifts. A dynamic hardware correction method is derived in this paper. The simulation and experiments results are carried out. It is proved that the low-cost hardware correction circuit is effective and accurate.

Keywords: magnetic resistance magnetometer; bias correction; attitude detector; bridge bias

0 引言

自从霍尼韦尔公司的磁阻传感器进入中国市场以来,使用磁阻磁强计进行姿态探测、组合导航的研究十分活跃^[1-4]。通过测量地磁场定姿具有误差不累积、全固态、低成本、抗过载的优点,但磁阻传感器温度漂移十分严重,为了提高磁阻磁强计在宽温度动态范围内的稳定性,霍尼韦尔公司通过在芯片上放置电流带对薄膜进行再充磁,即复位、置位磁阻传感器来消除温度漂移的影响,但该技术仅在载体动态范围很低的情况下适用,对具有高动态特征的弹丸而言,不具有现实意义。

工程上,通常通过多点温度标定,将温度关联的补偿系数存放在弹上 EPROM 中,使用时再结合实测温度进行分段线性化内插补偿。为达到足够的精度,标定往往以 5℃ 间隔在军温范围内进行,过程十分繁琐。文中提出一种硬件补偿

桥偏的方法,即通过实时测量环境温度,驱动放大电路偏置电压直接补偿桥偏,仿真和温度实验都证实了该方法的有效性。

1 补偿原理

为不失一般性,文中选用霍尼韦尔公司的双轴磁阻传感器 HMC1052L 进行研究。如图 1 所示,因其内部包含两只独立的桥路,便于硬件分通道独立补偿。桥偏置包含固有桥偏置(由于各桥臂制造误差,阻值不完全相等产生的)和温漂桥偏置,由于对两通道的调整过程相似,故仅分析单通道的情况。

为便于建模,对磁阻传感器进行如下假设:

- 1) 温漂桥偏是近似线性的;
- 2) 固有桥偏系数和桥偏温度系数逐次启动重复性好;
- 3) 器件温度等同于环境温度,仅考虑军温 ($T \in [T_L, T_H]$) 范围内的补偿。

* 收稿日期:2008-03-13

作者简介:鲍亚琪(1980-),男,四川人,博士研究生,研究方向:灵巧弹箭总体技术。

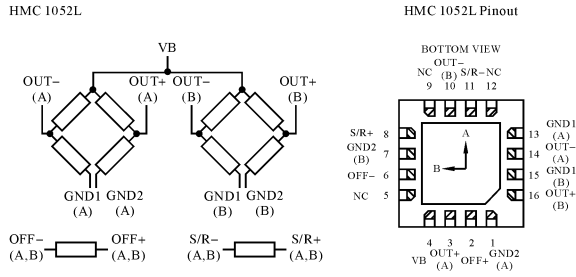


图 1 HMC1052L 原理与结构

则磁传感器原始输 V_{MR} 表示为:

$$V_{MR} = \underbrace{V_b \times K \times H + V_b}_{V_{id}} + \underbrace{V_b + \eta_{ct}}_{V_{ct}} + \underbrace{V_b + \Delta T \times \eta_T + e}_{V_{td}} \quad (1)$$

其中: V_b 为桥压, 这里为传感器供电电压。 V_{id} 为磁感应分量, V_{ct} 为固有桥偏, V_{td} 为温度引起的桥偏, 温升 $\Delta T = T - T_H$, $T_L = -45^\circ\text{C}$, $T_H = 55^\circ\text{C}$ 。因为误差变化的机理一致, 误差系 η_{ct} 、 η_T 总具有相同的符号, e 为噪声, K 为刻度因子, H 为被测磁场强度。

磁阻传感器信号经放大、偏置补偿后, 组件的输出可写为:

$$V'_o = (V_{MR} \times G) + [(V_{REF} \times \delta) + (G_T \times V_T)] \quad (2)$$

式中: V_{REF} 为补偿电路基准电压, G_T 为补偿回路增益, δ 为补偿回路偏置调整系数。 V_T 为当温度为 T 时, 温度传感器输出电压, 值得注意的是, 如系统仅提供单电源供电, 则补偿回路只能提供非负的补偿量, 故需对式(2)进行如下限定:

$$V_{REF} \times \delta + G_T \times V_T \geq 0$$

为确保信号完整, 将增益 G 分配到两级放大电路中实现, 第一级完成桥偏置的动态补偿, 增益为 G_1 ; 第二级为反向放大电路, 不调整偏置, 增益为 G_2 。因为补偿在第一级放大电路中完成, 由式(2), 第一级放大电路的输出 V_{AO1} 可写为:

$$V_{AO1} = (V_{MR} \times G_1) + \underbrace{(V_{REF} \times \delta) + (G_T \times V_T)}_{V_{comp}} \quad (3)$$

其中: V_{comp} 为补偿回路输出; 温度传感器输出 V_T 写为:

$$V_T = K_T \times \Delta T + V_{TH} \quad (4)$$

则补偿回路偏置调整参数 δ 为:

$$\begin{cases} \delta = \delta_{cl} + \delta_{Tcl} \\ \delta_{cl} = [V_{REF} - (\eta_{ct} \times V_b \times G_1 / 1000)] / V_{REF} \\ \delta_{Tcl} = [(V_b \times \eta_T \times G_1) / K_T] \times (T_H \times K_T) / V_{REF} \end{cases} \quad (5)$$

补偿回路增益 G_T 为:

$$G_T = -(V_b \times \eta_T \times G_1) / K_T \quad (6)$$

通过实验获得 η_{ct} 、 η_T 后, 由式(5)、式(6) 计算好补偿回路调整参数 δ 及 G_T , 即可选配合适的电阻进行装配, 补偿桥偏。记第二级放大电路虚地电压为 V'_{REF} , 则组件总输出(二级放大输出) V_{AO2} 为:

$$V_{AO2} = -V_{AO1} \times G_2 + \frac{(G_2 + 1)}{K} V'_{REF} \quad (7)$$

需要指出的两点是: 1) 两级放大确保了输出波形的完整性; 2) 将补偿参考温度取为 55°C , 并将补偿回路参考电压取得较高, 以确保军温范围内的补偿能力。

2 仿真分析

假设空间存在固定频率交变磁场, 依据上述原理建立仿真模型, 考察当磁阻传感器误差系数取极限值的情况下, 补偿回路是否具有充分的补偿能力, 验证方案的可行性。

仿真参数设定:

温升过程: 温度从 -45°C 按斜坡上升到 55°C ;

最大磁场模量: $6.22 \times 10^{-5} \text{T}$

桥压: 5000mV ;

参考 HMC1052L 技术手册, 磁阻传感器参数取极限值:

刻度因子: $1.2 \times 10^{-4} \text{mV/V/T}$;

固有桥偏系数: $\pm 1.0 \text{mV/V}$;

桥偏置温度系数: $\pm 10.0 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}$;

基准温度: $T_{REF} = 55^\circ\text{C}$;

温度传感器参数按 DS60 数据手册设定;

补偿回路参考电压: 5000mV ;

第一级放大电路目标基线: 250mV ;

第一、二级放大电路增益: $G_1 = 50$ 、 $G_2 = 10$ 。

仿真结果如图 2 所示, 显然, 温度变化使传感器输出偏置漂移, 经过硬件补偿后, 第一级放大电路的输出表明, 偏置漂移得到了可靠补偿,

在军温范围内,第二级放大电路输出信号只体现交变的磁场变化规律。

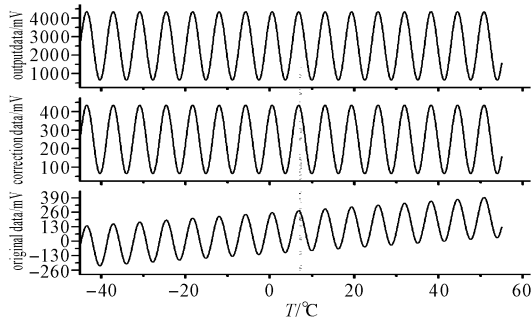


图 2 正误差系数时,放大器输出

在军温范围内,磁组件的输出基线总是稳定的,即补偿回路能有效补偿固有桥偏置、温漂桥偏置。在磁组件工作过程中,仅需定时置位、复位磁阻传感器,保证传感器工作状态固定即可。

3 温度实验

首先,为了获得补偿回路调整参数,包括:补偿回路偏置调整参数及补偿回路增益参数 G_T , 需补充高低温实验获取固有桥偏系数 η_{ct} 、 η_T , 试验按如下三步进行。

1) 获取固有桥偏置

将待测试组件放置在 $T_H = 55^\circ\text{C}$ 的高温箱中保温两小时后,取出迅速放入磁屏蔽筒中测出组件输出 V_{TH} ,并按下式计算 η_{ct} :

$$\eta_{ct} = (V_{TH} - V_{REF})/G/V_b \times 1000 \quad (8)$$

2) 获取桥偏置温度系数

将组件置入低温箱中 $T_L = -25^\circ\text{C}$,保温两小时后,测试组件输出 V_{TL} ,并按下式计算 η_T :

$$\eta_T = [(V_{TL} - V_{REF})/G - (\eta_{ct} \times V_b/1000)]/[V_b \times (T_{REF} - T_L)] \quad (9)$$

3) 获取补偿回路调整参数

依据实验获取的 η_{ct} 、 η_T ,按式(5)、式(6)计算补偿回路偏置调整参数 δ 及补偿回路增益参数 G_T 。

对比实验分无补偿、加补偿两种情况进行,在温度区间 $[20^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}]$ 内,以 3°C 为间隔测量桥路偏置,无补偿情况下,仍用上述组件进行实验,硬件补偿情况下,则按高低温实验获取的调整参数选取适当电阻配置补偿回路,一组测量结果如图 3 所示。

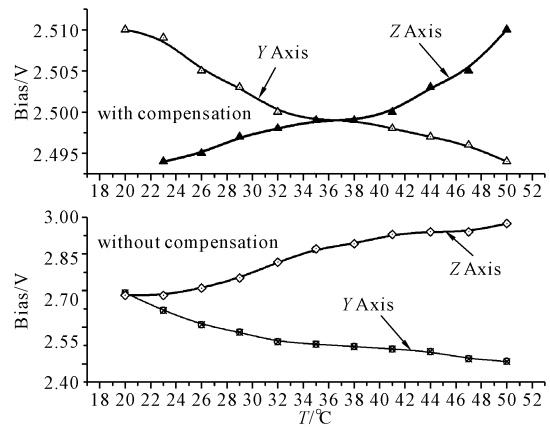


图 3 磁强计补偿前后的偏置漂移

由图 3 可见,安装补偿电路前,磁组件两轴偏置随温度升高迅速互相远离,幅度较大,增加补偿电路后,虽然偏置仍有随温度变化的趋势,但幅度大大减小,仅约为补偿前的 1/30,可以认为补偿是有效的。另外,两轴偏置总是稳定在 2500mV 附近,这也是未加补偿的电路所不能实现的。

4 结论

文中采用硬件补偿磁阻传感器的桥偏,一方面,只需增加数只 1% 精度低温漂电阻和两只通用运放就能获得满意的补偿效果,成本低;另一方面,仅需各进行一次高、低温试验,与软件补偿方法相比,大大简化了磁阻传感器温度定标过程。另外,弹上计算系统无需存储校正系数,无计算负担,使以低成本单片机实现简单测控系统成为可能。该方案增强了磁探测组件的独立性和标准化程度,特别适合弹道修正引信等低成本应用。

参考文献:

[1] 曹红松. 磁探测确定弹体滚转姿态时的使用域分析[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(2): 66-68.

[2] 史连艳, 张夏庆, 张成. 基于地磁传感器的点火脉冲选择策略分析[J]. 探测与控制学报, 2006, 28(5): 16-18.

[3] Zhao Minhua, Peng Qinke. Adaptive orbital navigation algorithm using magnetometers[J]. Intelligent Control and Automation, 2004, 6: 5487-5490.

[4] 杨晓洁. 磁信号测姿技术在弹道修正引信中的应用[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.