

doi: 10.7690/bgzdh.2014.05.024

直测式霍尔传感器稳定因素探讨

阳桂蓉, 罗志强, 王进

(绵阳市维博电子有限责任公司传感器技术部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对目前通用霍尔传感器输出温度稳定性差现象, 提出几种可以改善霍尔传感器温度性能的补偿方法。从霍尔器件、驱动方式、磁感应强度 B 、电磁干扰、模具等多角度出发, 分析影响霍尔传感器输出温度稳定的各种因素。针对各种可能因素提出对应补偿措施, 将其应用在实际产品开发中, 产品输出稳定性明显得到改善。该分析可为相关产品开发人员提供技术参考。

关键词: 直测式原理; 霍尔传感器; 稳定因素; 温度补偿

中图分类号: TP212 **文献标志码:** A

Exploring the Stability factors of the Direct Sensing Type Hall Sensor

Yang Guirong, Luo Zhiqiang, Wang Jin

(Department of Sensor Technology, Mianyang Weibo Electronics Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract: Aiming at the output temperature poor stability phenomenon of the normal Hall sensor, put forward kinds of compensation methods to improve the temperature performance of the Hall sensor. Analysis from the Hall device, the drive way, the magnetic induction intensity B , the electromagnetic interference and the mould five angles, to explore the impossible factors that influence the output temperature stability of the Hall sensor. Applying the compensation methods in product development, the obvious improved took place in the product output stability. This analysis can provide technical reference for relevant product development staff.

Keywords: the direct sensing principle; Hall sensor; stability factors; temperature compensation

0 引言

随着人类社会的进步, 自动控制已延伸至各个领域。作为自动控制系统主要的检测环节, 传感器技术得到快速发展。霍尔传感器是比较典型的一款检测设备, 利用磁敏感进行检测, 具有响应时间快、精度高等特点, 特别适合监测大电流信号。霍尔产品的产品输出是否稳定非常重要, 将直接影响到整个监测系统的输出稳定性。目前市面上的霍尔传感器精度普遍都是 1.0 级, 很少达到 0.5 级。影响其精度的主要原因是温度漂移; 因此, 笔者对霍尔传感器输出稳定的影响因素进行研究, 以提高霍尔传感器输出温度稳定性。

1 直测式霍尔传感器原理

1.1 霍尔效应

在半导体薄片两端通以驱动电流 I_C , 并在薄片的垂直方向施加磁感应强度为 B 的匀强磁场, 则在垂直于电流和磁场的方向上, 将产生电势差为 V_H 的霍尔电压^[1]。可以通过测量霍尔电势的大小间接测量载流导体电流的大小, 具体原理如图 1 所示。

其中, 霍尔电势 V_H 的大小与驱动电流 I_C 和磁通密度 B 的乘积成正比, 即

$$V_H = K_H I_C B = \frac{R_H}{d} f(L/l) I_C B \quad (1)$$

式中 K_H 为霍尔材料灵敏度系数。其中: R_H 为霍尔系数, $R_H = \mu\rho$; μ 为材料载流子迁移率; ρ 为材料电阻率。 L 、 l 、 d 为霍尔元件的长、宽、高; $f(L/l)$ 为由霍尔元件长宽比决定的修正系数; I_C 为霍尔器件驱动电流; B 为垂直于霍尔元件表面的磁感应强度。

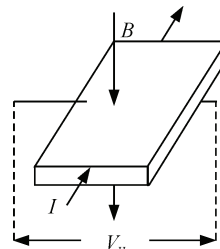


图 1 霍尔效应

1.2 直测式霍尔传感器原理

直测式霍尔电流传感器原理如图 2^[2]所示。将霍尔器件安装在开有气隙的软磁环中, 通以电流 I_0 , 则根据安培环路定理有:

收稿日期: 2014-01-18; 修回日期: 2014-03-21

作者简介: 阳桂蓉(1985—), 女, 四川人, 硕士, 助理工程师, 从事 WB 系列霍尔传感器开发、电气传动及其自动化研究。

$$NI_0 = B \frac{l_1}{\mu_1 \mu_0} + B \frac{l_2}{\mu_0} \quad (2)$$

式中： μ_1 为软磁材料磁导率； l_1 为磁环长度； l_2 为气隙长度； N 为导线匝数。所以有：

$$B = \frac{NI_0}{(l_1 / \mu_1 \mu_0 + l_2 / \mu_0)} \quad (3)$$

式中： $\mu_1 \mu_0$ 为软磁材料的绝对磁导率 ≈ 4000 ，空气磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ；因此， $l_1 / \mu_1 \mu_0 \ll l_2 / \mu_0$ ，即

$$B \approx \frac{NI_0 \mu_0}{l_2} \quad (4)$$

结合式 (1) 和式 (4)，此时霍尔电势 V_H 可表达为

$$V_H \approx K_H I_c \frac{NI_0 \mu_0}{l_2} \quad (5)$$

由于磁路与霍尔器件输出具有良好的线性关系，因此霍尔器件输出的霍尔电势差 V_H 可以间接反映出被测电流 I_0 的大小。

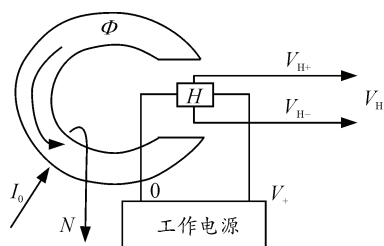


图2 直测式霍尔传感器原理

2 影响直测式霍尔传感器稳定因素

2.1 霍尔传感器输出稳定内容

霍尔传感器输出稳定包括输出随时间和温度变化改变小、输出随输入穿心电流位置变化小、多次测试同一点输出变化小等方面。限于篇幅，笔者主要讨论霍尔传感器由温度变化所引起的输出不稳定因素及其补偿措施。

2.2 输出温度漂移系数(温漂系数)

WB 系列霍尔传感器输出温度漂移系数定义为：在 t_1 (工业级： $-25 \sim 70$ °C) 工作温度内，环境温度每变化 10 °C，传感器输出 V_{t_1} 与常温 25 °C 输出 $V_{25\text{°C}}$ 相对变化率^[3-4]，即输出温度漂移可表示为

$$\delta_t = \frac{10 |V_{t_1} - V_{25\text{°C}}|}{(t_1 - 25\text{°C}) \cdot V_{FS}} \times 100\% \quad (6)$$

式中： t_1 为被测温度； $V_{25\text{°C}}$ 为常温 25 °C 测量的额定输出值； V_{t_1} 为被测试温度点额定输出； V_{FS} 为理论

满量程输出。

2.3 影响霍尔传感器输出稳定因素

由式 (5) 霍尔电势 V_H 表达式可知，影响霍尔电势的主要因素有霍尔器件本身特性 K_H 、霍尔器件的驱动电流 I_c 、输入磁感应强度 B (包括输入电流、磁环影响)。另外，霍尔传感器所采用的模具，即固定磁环及霍尔器件的外壳设计也会给霍尔传感器输出带来影响。

2.3.1 霍尔器件 K_H

霍尔元件可采用多种半导体材料制作，如 Ge (锗)、Si (硅)、InSb (锑化铟)、GaAs (砷化镓)、InAs (砷化铟)、InAsP 以及多层半导体异质结构量子阱材料等。半导体材料都存在一定的温漂系数。其中，N 型锗易加工制造，霍尔系数、温度性能及线性度都较好^[1]；N 型硅线性度最好，霍尔系数即温度特性同 N 型锗；InSb 输出电动势较大^[2]，对温度敏感，尤其低温漂系数大；InAs 霍尔系数较小，温漂系数也较小，输出特性线性度较好；GaAs 能承受 200 °C 高温，材料相对昂贵。目前，多数霍尔器件都是从国外进口，国内设计应用很少。下面以旭化成公司生产的 GaAs 霍尔元件 HG-106A 温度特性给予说明。HG-106A 霍尔电势 V_H 温漂系数为 $-0.06\%/^{\circ}\text{C}$ ，其中，输入电阻 R_{in} 温漂系数为 $0.3\%/^{\circ}\text{C}$ ^[5]。HG-106A 霍尔器件输出霍尔电势 V_H 随环境温度变化曲线如图 3 所示，其中测试条件为： $B=50$ mT，恒流驱动 $I_c=10$ mA 或恒压驱动 $V_c=6$ V。霍尔器件等效输入阻抗 R_{in} 随环境温度变化曲线如图 4 所示。由图 3 和图 4 可知， V_H 呈负漂， R_{in} 呈正漂。

文献[1]中提到，霍尔电势温漂系数主要由不等位电势及不等位电阻引起。另外，也有寄生直流电势、感应电动势影响。不等位电势产生的原因主要有：1) 霍尔电极安装位置不对称，不在同一等电位面上；2) 半导体材料不均匀，导致电阻率不等；3) 激励电极接触不良造成激励电流分配不均匀。当温度变化时，霍尔元件的载流子浓度、迁移率、电阻率及霍尔系数都发生变化。霍尔系数 K_H 的变化可表示为：

$$K_H = K_{H0}(1 + \alpha \Delta T) \quad (7)$$

式中： α 大多数情况下取正值； K_{H0} 为常温 25 °C 霍尔器件的霍尔系数； ΔT 为温度变化。

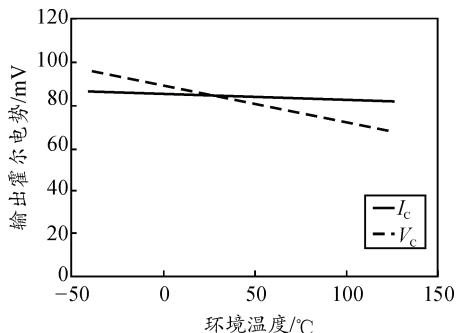


图 3 输出霍尔电势随环境温度变化曲线

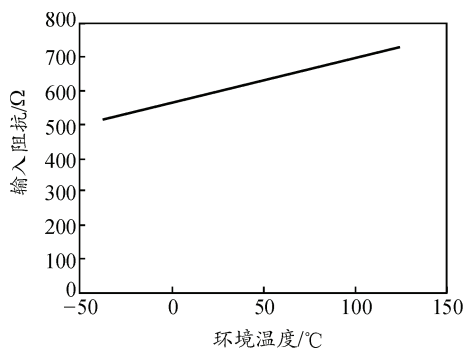


图 4 霍尔输入阻抗随环境温度变化曲线

2.3.2 驱动电流 I_C (驱动电压 V_C)

按照式 (1) 霍尔电势 V_H 的定义，驱动电流 I_C 大小直接影响霍尔电势的输出。若笔者通过在霍尔器件两端外加驱动电压 V_C 实现恒压驱动。从不同材料的霍尔器件技术资料可知，霍尔器件驱动方式的选择会直接影响霍尔电势的温漂性能。以 HG-106A 为例，从图 3 可知，采用恒流驱动的霍尔电势 V_H 相比恒压驱动霍尔电势温度漂移变化小。从图 4 可知，主要影响因素分析可能是霍尔元件的输入电阻 R_{in} 变化导致式 (5) 中的 I_C 变化。

2.3.3 磁感应强度 B

由式 (4) 可知，影响磁感应强度 B 的主要因素有磁环间隙 l_2 及输入电流 I_0 。目前，低频霍尔传感器使用的软磁材料主要有硅钢片、坡莫合金等^[6]。硅钢片具有较高的饱和磁感应强度 B_s 、价格便宜、机械应力影响小等特点。坡莫合金常指铁镍合金，具有高初始磁导率、低矫顽力、低饱和磁感应强度、低铁损及价格高等特点。目前，铁基非晶、铁基超微晶在节能和价格方面有取代部分硅钢/坡莫合金产品的趋势。霍尔传感器的输出稳定首先需保证输入电流 I_0 恒定，否则测量的输出肯定会出现波动。另外，磁芯的选择及处理相对比较重要。低间隙 l_2 意味着霍尔电势灵敏度相对较高^[7]，由电路参数带

来的影响相对小。由于磁芯本身的加工工艺，低间隙磁芯及霍尔器件本身的配合在实现上相对困难。

2.3.4 其他因素

由于霍尔传感器采用的是电磁感应原理，在电磁波环境下很容易引起输出不稳定。另外，在霍尔传感器产品设计中，需考虑合适的模具来固定磁环和霍尔器件的相对位置，以保证输出信号的稳定。以开启式霍尔传感器模具设计为例，开启式结构本身给霍尔传感器的实际安装使用提供了方便，但输出不稳定的因素也必然存在。磁环与霍尔器件相对位置可能随着温度变化而发生改变。导致这种改变的可能因素有：1) 由于间隙本身随着开启和闭合发生改变；2) 选择的模具材料本身随温度变化其特性发生了变化，如热胀冷缩，最终导致磁环与霍尔器件相对位置发生改变等等。最明显结果就是霍尔传感器额定输出随时间和温度发生变化，影响传感器输出精度。

3 减少霍尔产品输出温漂措施

3.1 霍尔器件不等位电势补偿

霍尔元件与一般半导体元件一样，对温度的变化十分敏感。温度补偿除选用温度系数小的元件、采用恒流源供电等措施外，还可以结合其他补偿电路。从上面的分析可知，霍尔器件的温漂主要由不等位电势引起，对其进行补偿通常采取桥式等效电路法^[1]。如图 5 所示，主要作用是补偿霍尔电桥的不平衡。

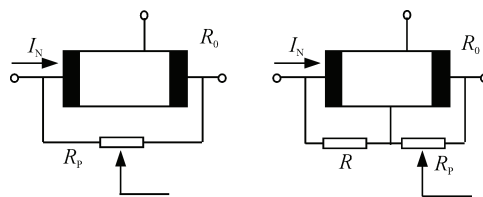


图 5 不等位电势几种补偿方法

采用恒流源供电可以使霍尔电势温度系数稳定，但也只能减小由于输入电阻 R_{in} 随温度变化所引起的激励电流的变化影响。由式 (7) 可知，霍尔元件的灵敏系数 K_H 的温度变化不可忽略。在霍尔电势的表达式中，若能保持 $K_H I_C$ 乘积不变，即让驱动电流相应减小，也就抵消了 K_H 增加的影响。具体补偿原理如图 6^[1]所示。在图 6 中， I 恒定，在控制电流极并联合适的补偿电阻用来补偿霍尔电阻随温度的变化，维持霍尔电势 V_H 不变。即当温度升高

时, 霍尔元件的输入电阻 R_{in} 迅速增加, 旁路分流电阻 r_0 自动增大分流, 减小霍尔元件的驱动电流 I_N , 从而达到补偿目的。分流电阻阻值 r_0 及所需的温度系数 β 由式 (8) 计算得到。

$$r_0 = \frac{(\delta - \beta - \alpha) R_{in}}{\alpha} \quad (8)$$

式中: R_{in} 为霍尔器件输入电阻, 其温漂系数为 δ , 霍尔电势温漂系数为 α 。

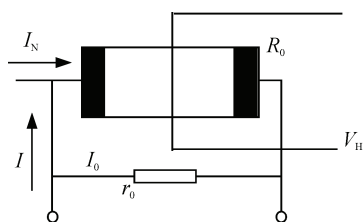


图6 恒流温度补偿电路

另外, 也可采用其他具有温度特性的电子元器件进行电路温度补偿, 如二极管、三极管等。通过温度实验测试可知, 二极管 PN 结电压温度漂移平均值约为 $-1.73 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, 三极管 BE 极结电压温度漂移平均值约为 $-1.93 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 。针对笔者公司霍尔产品开发, 采用二极管和三极管对霍尔器件的输出漂移进行补偿。即: 一方面利用二极管结电压的负向温度特性补偿霍尔器件失调电压的正向温度漂移; 另一方面利用三极管 BE 极的结电压负向特性提高驱动电流, 最终补偿霍尔电势负向温度漂移。通过电路补偿, 最终产品输出零点及额定值温度稳定性得到明显改善。相比不补偿前的同款霍尔产品温度指标, 补偿后的产品额定输出温漂系数严格控制在每 10°C 变化 0.4% (测试环境温度范围为 -25°C 到 70°C)。补偿后输出温度漂移系数典型值 $200 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, 远远优于未补偿前 $800 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 。

3.2 不同霍尔器件驱动方式选择

文献[8]具体研究了 InSb 霍尔传感器的输出电压温度特性。从研究结果可知, 恒压驱动的 InSb 霍尔传感器的输出电压随温度的变化比恒流驱动时小得多。相反, GaAs 霍尔元件 HG-106A 采用恒流驱动比恒压驱动输出温漂影响小。这也进一步说明, 不同材料的霍尔器件应选择适合的驱动方式, 这是减小其输出温漂的主要方面。

3.3 减少电磁波干扰

减少电磁波干扰的主要方法有接地、屏蔽、滤

波, 具体实现方法见文献[9]。另外, 霍尔传感器在有强电磁干扰的环境中使用, 需注意输入线的屏蔽, 输出信号线应尽可能短。集中安装时, 最小安装间隔不应小于 10 mm 。多只传感器可以共用一组电源, 共用的电源线应尽量短, 最好由各传感器单独向辅助电源引导线。为了减少外界环境对霍尔产品带来的电磁干扰影响, 这些措施在霍尔产品使用过程中尤其应该注意。

3.4 模具

模具作为承载产品的外壳, 美观是一方面, 但更应注重环保和实用。对霍尔传感器产品而言, 稳定性显得尤其重要。因此, 设计的外壳应全面考虑: 1) 方便霍尔器件及磁环安装; 2) 保证霍尔安装位置位于磁芯开口中央; 3) 减少由外壳温度变化带来的 V_H 漂移等因素影响, 以保证设计的模具对产品输出温度变化影响最小。这主要涉及到外壳材料的选材和模具的设计, 在此笔者不作详细描述。

4 结束语

笔者探讨了可能影响霍尔传感器输出温度稳定的一些因素及其补偿措施, 可为相关人员提供技术参考。其实, 影响霍尔产品输出稳定的潜在因素还有很多, 输出温度稳定只是其中一个方面。下一步, 笔者将不断进行完善, 以实现产品的高精度。

参考文献:

- [1] 郁有文, 常健, 程继红. 传感器原理及工程应用[M]. 2版. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003: 119-124.
- [2] 卢文科, 朱长纯, 方建安. 霍尔元件与电子检测应用电路[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005: 23-30.
- [3] 绵阳市维博电子有限责任公司. Q/WBJ0324.03-2011 霍尔传感器试行[S]. 绵阳: 绵阳市维博电子有限责任公司, 2011: 7-9.
- [4] 段武堂, 熊正明. WB 系列霍尔电流传感器/变送器[J]. 兵工自动化, 2002, 21(3): 21-23.
- [5] 刘畅生, 寇宝明, 钟龙. 霍尔传感器实用手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009: 79-81.
- [6] 赵修科. 开关电源中磁性元器件[M]. 南京: 南京航空航天大学出版社, 2004: 45-50.
- [7] 张维荣. 霍尔原理直流大电流互感器研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2000: 28-37.
- [8] 缪慧洁, 李晶, 陆申龙. InSb 霍尔传感器输出电压温度特性的研究[J]. 物理实验, 2011, 21(8): 46-48.
- [9] 高茜. 提高霍尔传感器精确度的研究[J]. 沈阳电力高等专科学校学报, 2002, 4(1): 1-2.