

doi: 10.7690/bgzd.2016.01.014

开启式高精度霍尔传感器设计

阳桂蓉, 罗志强

(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: 针对通用型开启式霍尔传感器产品精度低(一般为 1.0 级)的问题, 提出了可提升开启式霍尔传感器精度的系列设计方法。该系列方法涉及产品磁芯设计、霍尔器件选型、结构设计及抗干扰等方面, 将其应用于实际产品开发中, 产品精度可提升为 0.5 级。该系列设计方法可为相关产品开发人员提供技术参考。

关键词: 精度因素; 开启式结构; 霍尔传感器设计; 磁芯结构

中图分类号: TP212 **文献标志码:** A

Design of Open and High Precision Hall Sensor

Yang Guirong, Luo Zhiqiang

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

Abstract: Aiming at the low precision of the general open Hall sensor (generally, it about 1.0), put forward series of methods to increase the Hall sensor precision. These methods involved the magnetic core designing, Hall device electing, product structure designing, anti-interference, and so on, applied them into developing product, the actual product precision could improve with a magnitude of 0.5. These design methods can provide technical reference for relevant product development staff.

Keywords: precision factor; open structure; Hall sensor design; core structure

0 引言

霍尔传感器由于采用电磁感应及霍尔效应原理, 具有高隔离、快速响应和温度稳定性好等优势。开启式霍尔传感器不需拆线即可测试, 受到用户广泛青睐。由于开启式霍尔传感器的特殊结构, 其测量 10~100 A 范围内的小电流精度普遍为 1.0。为了提高产品精度, 使其方便应用于复杂环境, 笔者从此类传感器设计的几个关键因素方面分析了提高其精度的方法。

1 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]。通过测量霍尔电势可间接反映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

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

式中: K_H 为霍尔材料灵敏度系数; 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。

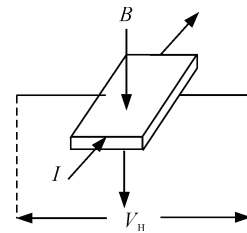


图 1 霍尔效应

1.2 开环霍尔传感器原理

霍尔传感器根据检测原理可划分为开环霍尔传感器和闭环霍尔传感器。开环又称直测式, 闭环又称磁平衡式。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, 原边电流 I_p 产生的磁通量聚集在磁路中, 并由霍尔器件检测出霍尔电压信号 V_H , 电压信号经过放大器放大后精确地反映原边电流大小。根据推导^[3], 当 $l_1/\mu_1\mu_0 \ll l_2/\mu_0$ 时, 霍尔电势 V_H 可等效为

$$V_H \approx K_H I_C \frac{NI_p \mu_0}{l_2}. \quad (2)$$

其中: 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 为输入电流穿心匝数。

收稿日期: 2015-08-24; 修回日期: 2015-09-28

作者简介: 阳桂蓉(1985—), 女, 四川人, 硕士, 工程师, 从事研究霍尔传感器设计研究。

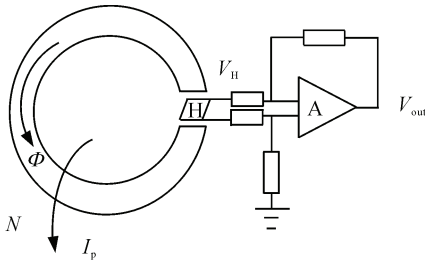


图 2 开环霍尔电流传感器原理

1.3 闭环霍尔传感器原理

闭环霍尔传感器也称“磁平衡式”或“零磁通霍尔传感器”。磁平衡霍尔电流传感器工作原理如图 3 所示。原边线圈 N_1 的电流 I_p 所产生的磁场，通过次级线圈 N_2 的电流 I_s 所产生的磁场进行补偿，使霍尔元件始终处于检测零磁通工作状态。具体原理可用公式表示为

$$N_1 I_p \approx N_2 I_s \quad (3)$$

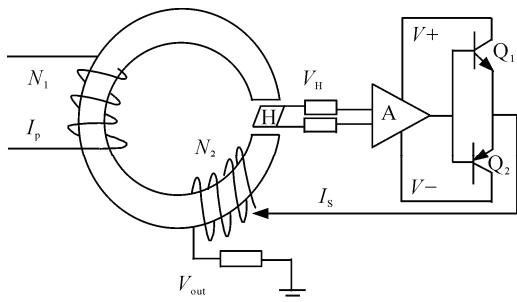


图 3 闭环霍尔电流传感器原理

1.4 开启式霍尔传感器原理

开启式霍尔传感器与一般霍尔传感器都具有开环与闭环 2 种原理，主要区别在于所采用的磁芯和外壳结构，常见磁芯结构对比如图 4 所示。

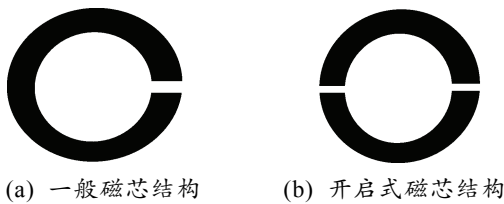


图 4 磁芯结构对比

2 影响霍尔传感器精度分析

2.1 开环霍尔传感器精度因素

影响开环霍尔传感器精度的因素主要有^[3-6]霍尔元件本身精度、寄生直流电势、不等位电势、温度影响及磁干扰等。文献[7]介绍了不等位电势产生的原因，主要由霍尔器件本身材料、制造材料及结构特点决定。文献[8]改进了霍尔器件结构，器件本身影响降低。另外，磁芯作为聚磁作用的主要元件，

其本身的稳定性及结构设计对开环霍尔传感器的精度指标影响尤其重要。如何保证检测的霍尔电势精度符合设计要求，磁芯设计因素不可忽略。

文献[9]介绍了利用二极管进行霍尔驱动电流补偿。该方法补偿了霍尔器件霍尔电势系数带来的误差，补偿效果主要取决于霍尔器件与半导体器件漂移的一致性。文献[10]提出了消除 GaAs 霍尔元件不等位电势的方法，通过霍尔元件并联和自旋电流的方法，对 GaAs 霍尔元件的不等位电势进行静态和动态调制。实验结果表明，可以将不等位电势引起的偏差控制在可忽略范围内。

2.2 闭环霍尔传感器精度因素

文献[11-12]提出影响闭环霍尔传感器精度的主要因素，由传感器本身性能所能达到的线性度叠加漂移参数决定。通过推导计算可知，影响闭环霍尔电流传感器精度的主要参数为迟滞漂移、霍尔元件不等位电势漂移及地磁带来的输出误差等。

2.3 开启式霍尔传感器精度因素

开启式霍尔传感器采用开环或闭环原理设计，影响开启式霍尔传感器的主要因素有霍尔器件失调、霍尔器件灵敏度、磁芯材料、温度影响及地磁干扰等。另外，由于开启式原理的特殊结构，磁芯及外壳的综合设计是影响开启式霍尔传感器位置及精度误差的另一因素。

3 高精度开启式霍尔传感器设计

按照上述分析，影响霍尔传感器精度的主要因素有磁芯磁滞误差(零点误差)、穿心线位置误差、霍尔器件温度漂移及磁场干扰等。磁平衡霍尔传感器由于采用反馈机制，传感器增益更加恒定，输出线性度更高。另外，导致输出漂移的相关参数更少，更容易实现高精度及高稳定的电流传感器产品。下面仅以闭环开启式霍尔电流传感器设计为例，简单介绍提高其精度的几种方法。

3.1 霍尔器件选择

由公式 (2) 可知，影响霍尔器件灵敏度的主要因素有霍尔材料灵敏度、驱动电流、输入电流及磁芯开口。为了提高霍尔电势灵敏度，应选择失调漂移小、灵敏度高的霍尔器件。

3.1.1 霍尔器件失调及漂移

对于闭环霍尔传感器，由于始终是检测零磁通状态，由霍尔器件失调导致的输出偏差是影响霍尔传感器零点输出误差及输出漂移的主要原因。图 5

是某 InSb 霍尔器件的失调漂移曲线^[13]，从图中可知：采用电流驱动时，低温部分失调漂移很大；采用恒压驱动时，失调漂移也接近 2 mV(-50~+50℃)。因此，设计电路应选择失调小的恒压驱动方案，此时的霍尔器件失调漂移变化小，输出稳定性高。

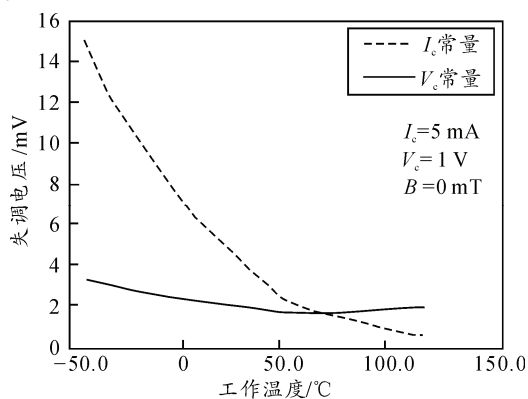


图5 霍尔器件失调漂移曲线

3.1.2 霍尔器件灵敏度及漂移

通过文献[11]推导可知，对于高精度闭环霍尔电流传感器来说，应选择灵敏度较高的霍尔器件。在高灵敏度条件下，霍尔器件失调漂移所占比例小。表1是某 InSb 霍尔器件霍尔电势的灵敏度等级分布情况^[13]。从表中可知：档位越高，霍尔电势越大，但同时器件的成本也会增加，设计时应当综合考虑。

表1 霍尔器件霍尔电势 V_H 等级分类 mV

| 等级 | 霍尔电势 V_H | 测试条件 |
|----|------------|----------------------------|
| A | 122~150 | B=50 mT, $V_c=1$ V 恒压驱动 |
| B | 144~174 | |
| C | 168~204 | |
| D | 196~236 | |
| E | 228~274 | |

3.1.3 霍尔器件封装

由式(1)可知，霍尔器件的厚度 d 越薄，霍尔材料灵敏度系数 K_H 越高；因此，选择高灵敏度霍尔器件对应的霍尔器件就越薄。对于这类的霍尔器件来说，安装是影响其寄生电势的主要原因，设计时应当给予重视。寄生直流电势是由于霍尔电极的不完全欧姆接触造成的整流效应以及焊点的大小不一致产生的温差所形成的，它会导致零位误差，对霍尔电势产生直接影响；因此，在元件的制作和安装时，应尽量改善电极的欧姆接触和散热条件。

3.2 磁芯材料设计

磁芯作为霍尔传感器的主要聚磁器件，直接影响霍尔传感器检测的精度。由式(2)可知，为了获

得较高的磁感应强度 B ，要求磁芯：磁导率 μ_1 较高、截面积 S 较大、磁路 l_1 短及开口气隙 l_2 小。对于开启式小电流霍尔传感器，还应选择精度高的磁芯厂家，这对后期产品品质保证至关重要。

3.2.1 磁芯材料选择

选择高导磁材料坡莫合金或者超微晶材料，此时磁滞误差最小。当磁芯 l_1/μ_1 (磁路与磁导率之比) \ll 气隙 l_2/μ_0 ，可忽略散磁，减小产品输出位置误差对输出精度的影响。

3.2.2 磁芯结构设计

磁芯大体尺寸由穿心线孔径及成本决定，为了提高霍尔电势灵敏度，选择的磁芯结构需满足：1) 开口气隙 l_2 为磁芯截面积 S 的 5% 以下，此时可忽略气隙处漏磁对检测精度的影响。这就要求磁芯开口小，主要由霍尔器件封装体积决定。2) 磁芯磁路越短越好，前提是需满足条件 1) 的要求。开启式霍尔传感器产品要求配对的磁芯尺寸尽量接近(如图 4(b))，避免散磁。上下半磁芯接触处的缝隙尽量减少，尤其是没放霍尔器件的一端尽量无缝，这是减少输入电流穿心线位置及零点输出误差的主要原因。

3.3 开启式外壳结构设计

由于磁芯的特殊结构要求，固定磁芯的外壳也需保证如图 4(b) 的磁芯在传感器闭合状态时开口气隙最小。这是开启式传感器与普通传感器在除原理设计外的最大区别。另外，应用于特殊环境的传感器在外壳选材上需满足特殊环境要求。

3.4 干扰消除技术

文献[14]介绍了辐射对半导体磁敏器件性能影响的研究，文中提出对霍尔器件进行辐射会不同程度地影响器件电磁性能。为了减少传感器测试干扰误差，需减少干扰对产品的影响。产品设计需考虑：1) PCB 设计避免回路走线；2) 考虑适当屏蔽、接地及滤波技术；3) 减少传感器内部引线长度；4) 适当增加 EMC 防护技术等。

3.5 设计案例

综合上述设计方法，绵阳市维博电子有限责任公司开发了一款适合 PCB 安装的开启式霍尔电流传感器产品，外形如图 6 所示。

该款传感器测试的额定电流为 DC 10 A，主要用于铁路转辙机动作电流的监测。对于该款传感器来说，要求传感器在 DC 0.75 A，具有较高的检测精度，能反映道岔转辙机动作状态。(下转第 57 页)