

霍尔角位移传感器的磁路设计

刘荣先

(扬州大学 汽车工程实验总厂, 江苏 扬州 225009)

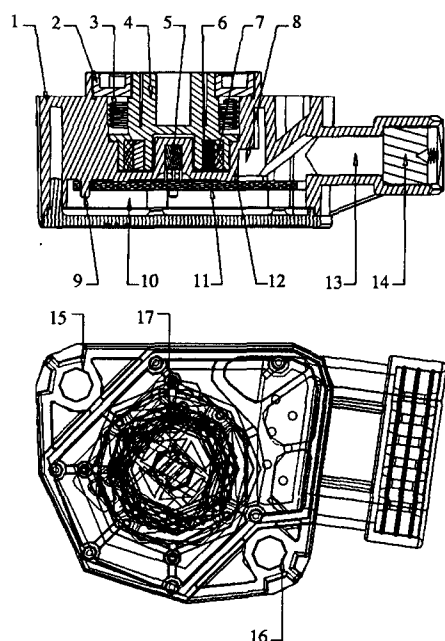
摘要:霍尔角位移传感器主要结构由霍尔元件、永磁体、屏蔽罩、塑料壳体等组成,其核心是霍尔元件和磁路。根据霍尔元件要求设计磁路,从永磁体表中查找出适合的永磁体,再测试出永磁体的退磁曲线、负载线斜率和工作点,和计算数字对比,得出结论。最后通过实际检验,确定磁路设计的最佳方案。

关键词:霍尔元件;角位移传感器;永磁体;磁路设计

中图分类号:TP212 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2012)04-0027-05

霍尔角位移传感器结构主要由:霍尔元件、永磁体、屏蔽罩、塑料壳体等组成(见图1)。霍尔元件是一个基于霍尔效应^[1]的单线性输出通用磁场传感器,它结合旋转或移动磁体来测量角度或距离,并可以通过编程来改变输出电压范围,该霍尔元件具有比率输出特性,其输出电压与磁通量和供电电压成正比。 $V_H = KHIB\cos\theta$ ^[2] (V_H 为霍尔电势, K_H 为霍尔元件灵敏度, I 为控制电流, B 为磁感应强度,)我们将磁体做在一可旋转的转子上,转子和工件联动,只要工件转动,转子相应转动,磁体转动,即改变作用于霍尔元件上的 B ,就可获得相应的 V_H 输出。该输出信号传输给ECU,由ECU结合其它信号加工后发出工作指令。由于该传感器具有体积小、重量轻、结构独特、频率响应宽、动态范围大、寿命长以及无摩擦噪音、工作可靠等优点^[3-4],它已被广泛应用于汽车电子加速踏板、节气门开度位置测量等方面。

要获得高精度的霍尔角位移传感器,除了使用符合要求的霍尔元件外,优化设计机械结构和磁路十分重要。当霍尔元件选定后,机械结构一般根据工件对传感器的要求进行设计,例如电子加速踏板、节气门阀体。而磁路的设计要满足霍尔元件、机械结构、传感器性能等多种要求,本文根据电子加速踏板用霍尔角位移传感器阐述磁路设计方案。



- 1-壳体;2-内壳;3-扭簧;4-转子;5-霍尔元件;
6-磁钢;7-屏蔽铁;8-上腔;9-连接柱;10-下腔;
11-电路板;12-隔板;13-插接口;14-密封圈;
15、16-固定孔;17-连接凹槽

图1 传感器结构图

Fig. 1 The sensor configuration diagram

收稿日期:2012-11-25

基金项目:扬州市-扬州大学科技合作项目(YZ2008088)

作者简介:刘荣先(1954-),男,江苏泰州人,高级工程师,主要研究方向为汽车电子产品设计与开发。

1 磁路设计步骤

根据霍尔元件对磁场的要求,初步选定磁路的大致结构及各部分尺寸、材料类型、性能,再用适当的方法求解,比较与原提出要求差别,修改设计,再行计算,直至达到要求为止。磁路设计方框图如图 2 所示^[5]:

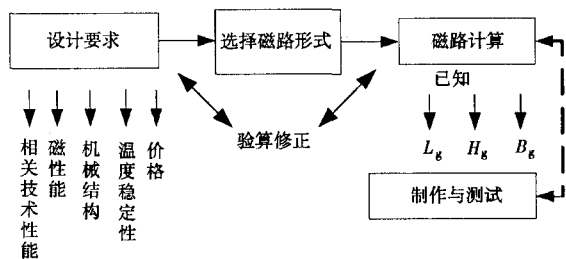


图 2 磁路设计方框图

Fig. 2 Block diagram of the magnetic circuit design

从图 2 可看出,磁路设计的重要问题,是确定磁路结构和选择适当的磁性材料。

2 霍尔元件对磁路的要求

根据霍尔元件的基本工作原理^[2],即霍尔电势的大小正比于控制电流 I 和磁感应强度 B ,当电流一定时,霍尔电势与磁感应强度成正比、输入输出成线性关系。关键是如何使旋转角度与磁感应强度 B 成正比,以及选用合适的导磁材料,既要使霍尔传递磁场,又要使作用于霍尔界面上的磁通量均匀分布并成线性关系。

要保证输出和旋转角度成线性关系,根据霍尔元件的性能、传感器输出的旋转角度,将霍尔元件置于 0 磁通时作为中间点,再根据所需要的角度向两边分,以保证传感器的旋转角度都在磁场的线性范围,见图 3。

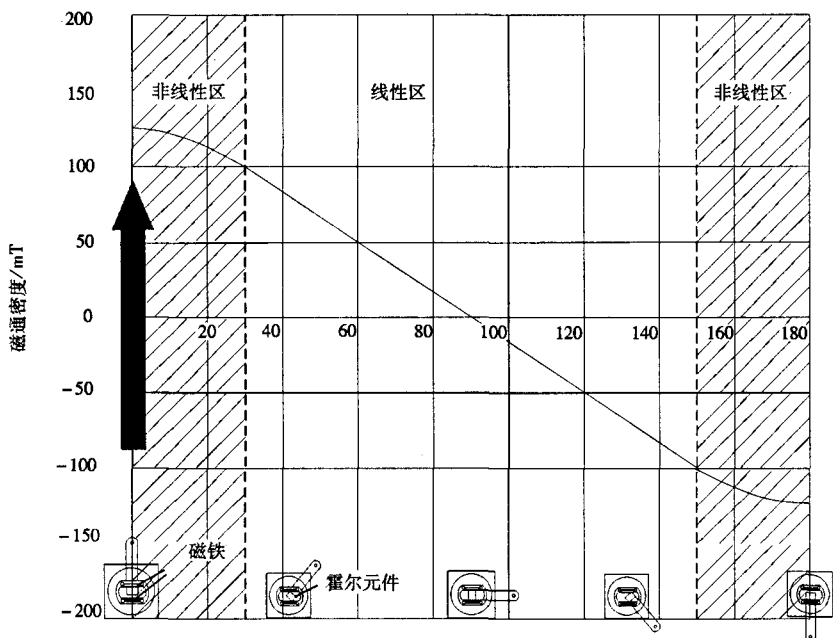


图 3 霍尔旋转角度与磁通密度线性示意图

Fig. 3 Linear schematic diagram of the Hall angle of rotation and the magnetic flux density

霍尔元件选定后,它对磁通的大小有一基本要求,以 MICRONAS 公司的 HAL815 元件为例,如图 4,霍尔元件可在 -200 mT 至 200 mT 的磁通范围内线性输出。

3 磁路结构

根据霍尔元件对磁路的要求,结合作件(例:电子加速踏板)对传感器的要求,我们设计了闭环式磁路结构,见图 4。

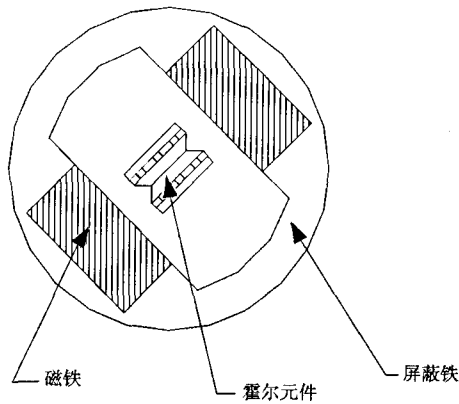


图 4 磁路结构

Fig. 4 The magnetic structure

该结构满足了霍尔元件对磁路的要求,既聚磁,又屏蔽,结构简单,易生产和装配。

4 磁性材料的选择

永磁体有多种型号,如表 1,选择永磁体的要求:一是在某一空间(或空气隙)产生一恒定磁场;二是适合使用要求;三是价格合理^[4]。

例如:AlNiCo 磁体,比较容易加工,但矫顽力低,易脆,所以根据霍尔角位移传感器的要求,选择 NdFeB 磁体较好,最大磁能积(BH_{max})高、矫顽力大,性能满足要求,参数如下:材料牌号 N30EH, Br (剩磁) $=1\ 080\text{ mT}$, H_{CB} (磁感应矫顽

表 1 磁体特性

Table 1 The magnetic properties

材料名	剩磁 /mT	磁感应 矫顽力 /(kA·m ⁻¹)	内禀矫 顽力 /(kA·m ⁻¹)	最大磁 能积 /(kJ·m ⁻¹)	稳定性		机械性能		价格
					温度系数 %/℃	老化 退磁	韧性	挠性	
AlNiCo	高	低	低	中	低	差	差	差	中
SmCo	高	高	高	中	高	好	差	差	低
FeCrCo	中	中	中	中	低	差	好	好	中
RCO ₅	高	高	高	高	中	好	差	差	高
R2(CoTM)17	中	中	中	高	低	好	差	差	高
NdFeB	高	高	高	高	低	好	差	差	中
PtCo	中	中	中	中	好	好	好	好	特高
CuFeNi	低	低	低	低	低	差	好	好	中

力) $=835\text{ kA/m}$,内禀矫顽力(H_{cj}) $=2\ 387\text{ kA/m}$, $BH_{max}=240\text{ kJ/m}^3$,工作温度(TW) $=200\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度系数(aBr) $=-0.12\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

5 磁路计算

根据设计的磁路结构,结合霍尔元件对磁通量的要求初步确定磁体尺寸为 $(7.5\times10^{-3})\text{ m}\times(5\times10^{-3})\text{ m}\times(3.75\times10^{-3})\text{ m}$,磁极相反,对面放置,霍尔元件放置在 N-S 磁场中心位置,(霍尔敏感点放置于中心点)。由于采用了外屏蔽聚磁式磁路,既屏蔽,又起到聚磁作用,而内部采用空气传导,结构简单、实用、漏磁小、内阻小,没有工作点分散,永磁体的磁通基本全部导入气隙中,这时,

$$B_d A_m = B_g A_g, B_g = \frac{B_d A_m}{A_g}$$

式中 B_d 为永磁体工作点的磁通密度; A_m 为永磁体的极面积; B_g 为空气隙的磁通密度; A_g 为空气

隙面积。

同时还根据磁路第 2 定律

$$H_d L_m = H_g L_g$$

$$H_g = \frac{H_d L_m}{L_g}$$

H_d 为永磁体工作点 B_d 对应的磁场强度; L_m 为永磁在充磁方向的长度; H_g 为气隙磁场强度; L_g 为气隙长度

在空气中

$$B_g = H_g$$

$$B_g = \mu H_g \quad \mu = 1$$

$$B_g H_g = \frac{B_d H_d V_m L_m}{A_g L_g}$$

$$B_g^2 = \frac{B_d H_d V_m L_m}{V}$$

式中 V_m 为永磁体体积; V_g 为气隙体积。

由此式可见,永磁体磁能转化为空气隙磁能

$$\frac{B_d}{H_d} = \frac{B_g A_g L_m}{H_g L_g A_m}$$

图5是永磁体NdFeB的退磁曲线, $\frac{B_d}{H_d} = \tan \theta$,

即负载线OP的斜率,P点是负载线与退磁曲线交点,称永磁体工作点^[5-6]。

在实际中,总存在漏磁和磁阻,引入漏磁系数 K_l 和磁阻系数 K_r 。

$$K_l = \frac{\phi_m}{\phi_g}$$

即 K_l 为总磁通与气隙磁通之比。

磁阻系数 K_r 定义为

$$K_r = \frac{R_l}{R_g}$$

式中 R_l 为总磁阻, R_g 为工作气隙磁阻。

$$B_d A_m = K_l B_g A_g$$

$$H_d L_m = K_r H_g L_g$$

$$\frac{B_d}{H_d} = \frac{K_l A_g L_m}{K_r L_g A_m}$$

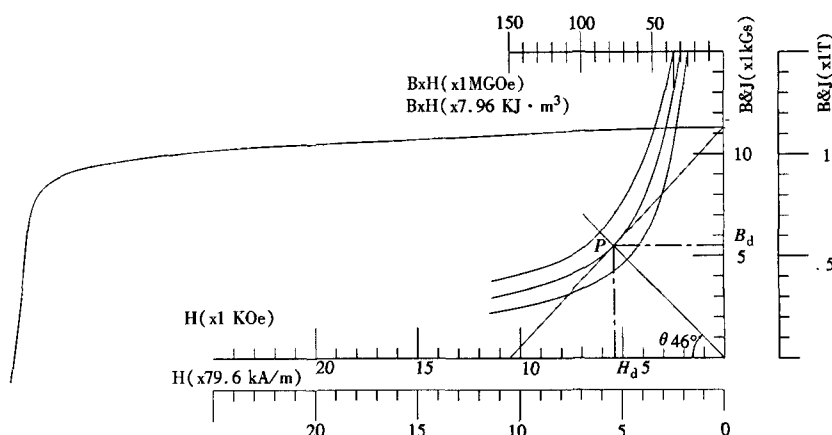


图5 NdFeB退磁曲线

Fig.5 Demagnetization curve of NdFeB

在理想磁路中, $K_l = 1, K_r = 1$,实际中做不到理想磁路,对于永磁体,根据经验得: $K_l = 1, K_r = 1.1 \sim 1.5$,取1.1。

$$A_g = (7.5 \times 10^{-3}) \times (5 \times 10^{-3})$$

$$L_m = 3.75 \times 2 \times 10^{-3} = 7.5 \times 10^{-3}$$

$$L_g = 7 \times 10^{-3}$$

$$A_m = (7.5 \times 10^{-3}) \times (5 \times 10^{-3})$$

计算得:

$$\frac{B_d}{H_d} \approx 0.909$$

又

$$\frac{B_d}{H_d} = \tan \theta$$

经测试,钕铁硼的退磁曲线图中的负载线OP的斜率 $\tan \theta = \tan 46^\circ = 1.0355$,和所算数字相近,设计可行。

6 验证

根据以上磁路结构,设计出霍尔角位移传感器,由于使用了HAL815霍尔元件,将传感器装

配到工件上,按要求进行编程。

编程后用传感器综合测试仪测试,图6为电子加速踏板双信号传感器输出特性曲线,输出信号电压值、线性度、同步度等性能参数符合设计要求,磁路设计成功。

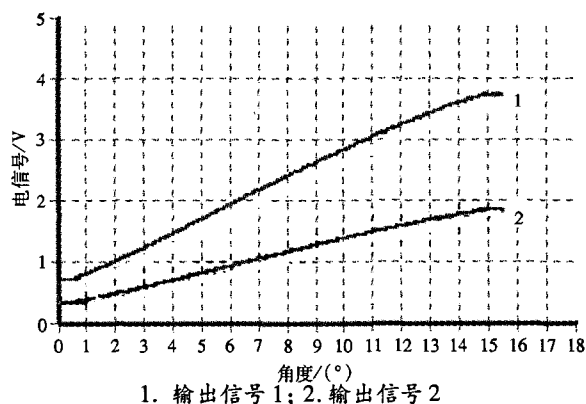


图6 电子加速踏板双信号传感器输出曲线

Fig.6 Double signal sensor output curve of electronic accelerator pedal

参考文献:

- [1] 武新军,康宜华,卢文祥,等. 非接触式霍尔位移传感器的研制及应用[J]. 华中理工大学学报,1998,26(2):53-54.
- [2] 上海电子专科学校编. 霍尔元件及其应用[M]. 上海:人民出版社,1974.
- [3] 吴民. 霍尔器件在汽车上的应用[J]. 新疆职业大学学报,2007,15(3):96-98.
- [4] 张劲松,冯国华,方军庆. 霍尔式位移传感器的研究[J]. 仪表技术与传感器,1997(3):11-13.
- [5] 王以真. 实用磁路设计[M]. 天津:科学技术出版社,1992.
- [6] 季汉川,杨文焕. 一种新型霍尔角度传感器的分析与设计[J]. 仪表技术与传感器,2012(8):9-11.

Circuit Design for a Hall Angular Displacement Sensor

LIU Rong-Xian

(Automotive Engineering Experimental Plant, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu 225009, China)

Abstract: The main components of a Hall Angular Displacement Sensor are the Hall element, a permanent magnet, a shield and a plastic housing. At its core is the Hall element and the magnetic circuit. The magnetic circuit is designed according to the Hall element in order to find a suitable permanent magnet from a permanent magnet tabulation, and then test the demagnetization curve of the selected permanent magnet, the slope of the load line and operating point. The results are compared with the calculated ones, so as to determine which kind of permanent magnet is to be chosen. Finally, the optimum solution of the magnetic circuit design is determined Through an actual test.

Keywords: Hall element; angular displacement sensor; permanent magnets; magnetic circuit design

(责任编辑:张英健)