

霍尔传感器系统及应用

3.1 基本概念

霍尔传感器应用领域广泛,涉及的相关概念需要认真理解掌握。

3.1.1 霍尔传感器

霍尔传感器是以霍尔元器件作为其敏感元器件和转换元器件的传感器。

3.1.2 霍尔元器件

霍尔元器件是根据霍尔效应(Hall Effect)原理利用半导体材料制成的半导体元器件。

3.1.3 霍尔效应

霍尔效应示意图如图 3-1 所示。



霍尔效应

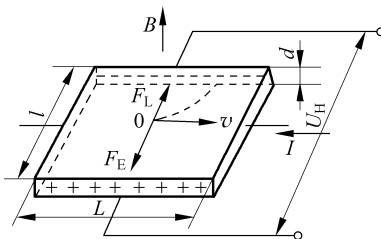


图 3-1 霍尔效应示意图

在垂直于霍尔元器件的半导体薄片平面的方向上,施加磁感应强度为 B 的磁场,在其长度方向上通以电流 I ,则在半导体的另外两边会产生一个大小与控制电流 I 和磁感应强度 B 的乘积(IB)成正比的电势。这种现象称为霍尔效应。

霍尔效应产生的霍尔电势公式为

$$U_H = K_H IB \cos \theta$$

式中, $K_H = \frac{1}{ned}$ (对于 N 型半导体霍尔元器件) 或 $K_H = \frac{1}{npd}$ (对于 P 型半导体霍尔元器件), n 为半导体的电子或空穴密度 (单位为 m^{-3}), d 为霍尔元器件厚度 (单位为 m)。 θ 为磁场方向与霍尔片垂直法线方向的夹角。

3.1.4 线性型霍尔传感器系统检测电路

线性型霍尔传感器系统检测电路如图 3-2 所示。线性型霍尔传感器系统检测电路电压-磁场强度输出特性图如图 3-3 所示。

霍尔式线性传感器用于检测连续变化的磁场强度或与磁场强度相关的电流大小, 其计算公式为 $U_H = K_H IB \cos \theta$ 。



线性型霍尔传感器系统检测电路

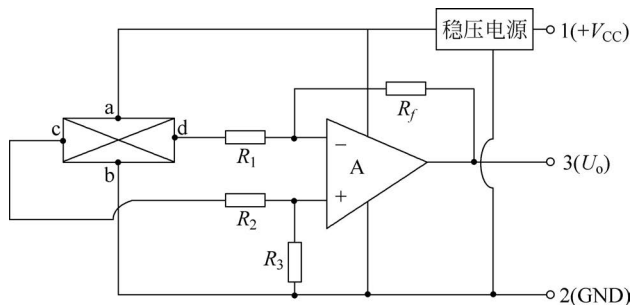


图 3-2 线性型霍尔传感器系统检测电路图 (使用 UGN3501T 芯片)

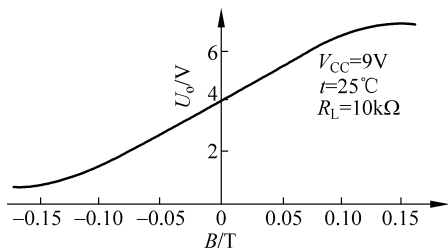


图 3-3 线性型霍尔传感器系统检测电路电压-磁场强度输出特性图

电路电压输出特性分析如下。

电路图中通过霍尔元器件 a、b 两端的电流 I 基本保持不变 (稳压源供电)。当磁场 B 逐渐增大时, 霍尔元器件 c、d 两端的电压 U_H 也逐渐增大 ($U_H = K_H IB \cos \theta$, K_H 为常数, I 不变, 假定磁场与霍尔元器件表面的夹角也不变)。 U_H 经过后端的放大电路放大 (放大倍数为 $-\frac{R_f}{R_1}$) 成 U_o , 得到如图 3-3 所示输出特性图。

通过上述特性分析得出结论: ①当磁场 B 的角度不变时, 该电路可以检测磁场 B 的大小变化; ②当磁场 B 大小不变时, 可以检测磁场角度的变化。



开关型霍尔传感器
系统检测电路

3.1.5 开关型霍尔传感器系统检测电路

开关型霍尔传感器系统检测电路图如图 3-4 所示。开关型霍尔传感器系统电路电压-磁场输出特性如图 3-5 所示。电路的电压输出特性分析如下。

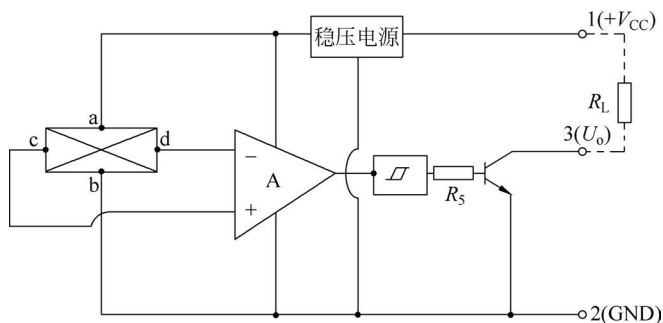


图 3-4 开关型霍尔传感器系统检测电路图(UGN3020)

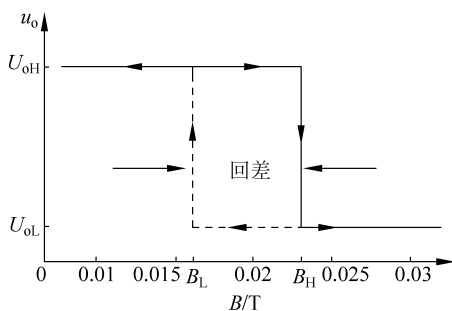


图 3-5 开关型霍尔传感器系统电路电压-磁场输出特性

电路图中通过霍尔元器件 a、b 两端的电流 I 基本保持不变(稳压电源供电)。当磁场 B 逐渐增大时,霍尔元器件 c、d 两端的电压 U_H 也逐渐增大, U_H 经过后端的放大电路进一步放大。放大器输出的放大信号通过施密特电路。施密特电路具有两个作用:一是对电压进行整形,输出的电压为标准的高电平或低电平电压值;二是具有回差特性(如图 3-5 所示)。施密特电路输出的电压值作为三极管的输入电压,三极管具有反相作用,即施密特输入高电平电压时,三极管输出低电平电压 U_{oL} ;施密特电路输出低电平电压时,三极管输出高电平电压 U_{oH} 。整个电路的电压-磁场特性如图 3-5 所示。

3.2 应用项目

项目 3-1: 接近开关实验

1) 实训设备与工具

- (1) 计算机。
- (2) LabVIEW 软件。

(3) ELVIS 实验板。

(4) 万用表。

2) 系统平台启动

操作说明:系统的启动需要打开两个开关,一个是系统总开关,在系统平台的侧面;另一个是原型板的开关,在系统平台正面的右侧。两个开关打开后,系统启动。

(1) 打开系统平台侧面的系统总开关;

(2) 打开系统平台正面右侧原型板上的电路开关,两个开关打开后,系统启动;

(3) 仔细观察 ELVIS 系统板的布局,测试系统板的共地情况,测试电源电压值是否正常。

3) 霍尔传感器介绍及其特性

(1) 实验用霍尔传感器组成及引脚说明

图 3-6 所示为实验用霍尔传感器组成原理图。传感器引脚有三根线:①棕色——电源(15V);②蓝色——地;③黑色——输出信号。霍尔传感器输出端带有一个 NPN 型三极管。

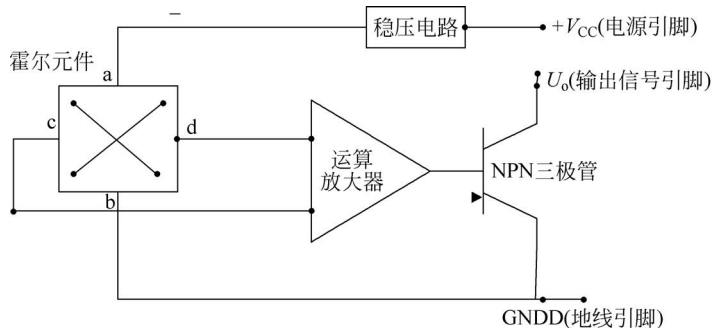


图 3-6 实验用霍尔传感器组成原理图

(2) 霍尔传感器系统特性说明。霍尔传感器在应用中,可以表现出两种不同的特性,一种是开关特性(图 3-7 所示为霍尔传感器系统的开关特性);另一种是线性特性(图 3-8 所示为霍尔传感器系统的线性特性)。

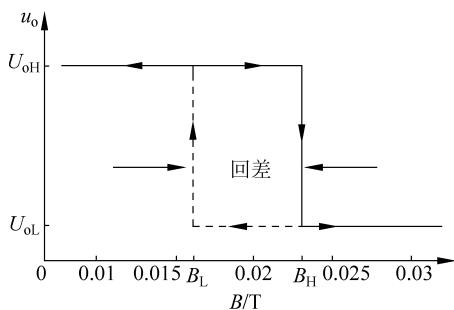


图 3-7 霍尔传感器系统的开关特性

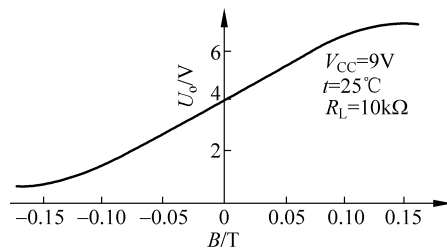


图 3-8 霍尔传感器的线性特性

4) 搭建霍尔传感器系统应用实验电路

图 3-9 所示为霍尔传感器应用实验电路原理图。

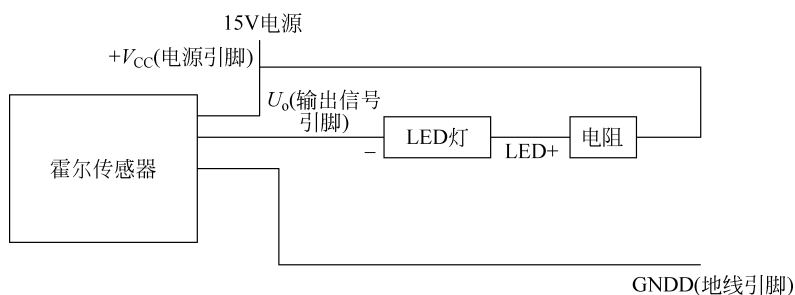


图 3-9 霍尔传感器应用实验电路原理图

霍尔传感器系统应用实验电路搭建步骤如下。

- (1) 关掉系统的电源,避免带电操作。
- (2) 在面包板上放置霍尔传感器,将传感器的三根引线通过插针在面包板上插好,放置一个 LED 灯、一个小于 $1\text{k}\Omega$ 的电阻,并将管脚在面包板上插好。
- (3) 为了保证电路安全,搭电路时一般需要先接地。将霍尔传感器的接地引线脚连到电源地。
- (4) 将霍尔传感器的电源引线连接到 ELVIS 的 $+15\text{V}$ 电源。
- (5) 将 LED 正极与霍尔传感器的信号输出线相连,负极与电阻的一端相连,电阻的另一端与系统电源 $+15\text{V}$ 相连。
- (6) 由于需要将电压输出值输入到计算机中计算显示,所以选择 ELVIS 系统板的 A0 口作为计算机的电压输入口。
- (7) 将 A0—连到地,霍尔传感器的信号输出线连到 A0+。

整个电路搭建完毕。

5) 系统运行结果测试

- (1) 启动系统。在系统平台的侧面打开系统总开关;在系统平台的正面右侧打开原型板开关。两个开关打开后系统启动。
- (2) 将小磁铁从远至近靠近霍尔传感器的探头,观察 LED 灯变化情况并记录到表 3-1 实验结果记录表中。
- (3) 将小磁铁换一个方向,从远至近靠近霍尔传感器的探头,观察 LED 灯的变化情况并记录到实验结果记录表中。

表 3-1 实验结果记录表

磁铁移动方向	LED 状态
左	
从远至近	
右	
从远至近	

实验中的霍尔传感器系统对磁铁的方向有要求。思考一下,为什么?

- (4) 启动 LabVIEW 软件系统。打开帮助,选择查找范例,选择其中的硬件输入输

出,选择 DAQmx,选择模拟输入,选择电压连续输入,最后双击,这个范例程序就被调入系统了。利用这个范例程序可对霍尔传感器输出信号变化进行监控。

(5) 切换到 LabVIEW 的霍尔传感器输出信号监控界面,查看霍尔传感器输出信号的变化情况。

信号监控界面设置如下。

① 进入前面板,将鼠标光标移到显示坐标界面,右击,在弹出的快捷菜单中将自动调整 Y 坐标的 $\surd$ 去掉,固定坐标系的 Y 坐标显示单位不变。

② 单击 Y 坐标的最小值,将该值改为 -0.1 。

③ 将小磁铁从远至近靠近霍尔传感器的探头,可以看到霍尔传感器输出电压逐渐由高到低变化,LED 灯渐渐变亮。

④ 将小磁铁换一个方向,从远至近靠近霍尔传感器的探头,霍尔传感器输出电压保持不变,LED 灯保持灭的状态。

可以看出,当霍尔传感器的输出电压为高电平时,LED 灯灭;当霍尔传感器的输出电压为低电平时,LED 灯亮。思考一下,为什么?

项目 3-2: 基于 LabVIEW 系统平台的模拟仿真实验

1) 霍尔效应仿真实验

(1) 霍尔效应仿真系统程序框图,如图 3-10 所示。

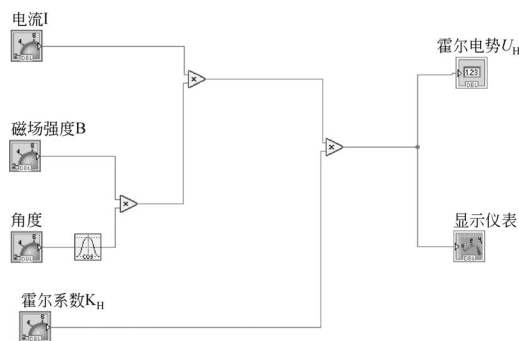


图 3-10 霍尔效应仿真系统程序框图

(2) 霍尔效应仿真系统面板界面,如图 3-11 所示。

2) 线性型霍尔传感器仿真系统

(1) 线性型霍尔传感器仿真系统程序框图,如图 3-12 所示。

(2) 线性型霍尔传感器仿真系统前面板,如图 3-13 所示。

3) 开关型霍尔传感器仿真系统

开关型霍尔传感器仿真系统实验是对接近开关实验过程的模拟(参考 3.1 节接近开关实验)。

(1) 开关型霍尔传感器仿真系统程序框图,如图 3-14 所示。

(2) 开关型霍尔传感器仿真系统面板界面,如图 3-15 所示。

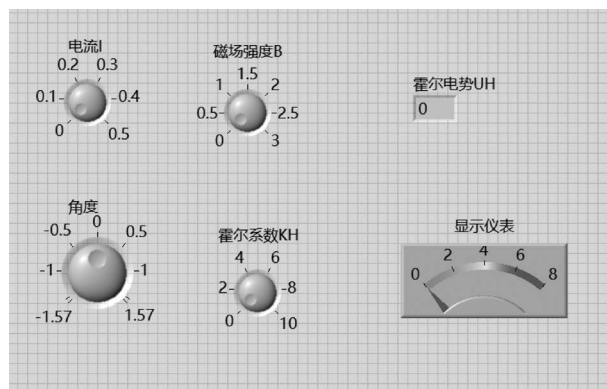


图 3-11 霍尔效应仿真系统面板界面

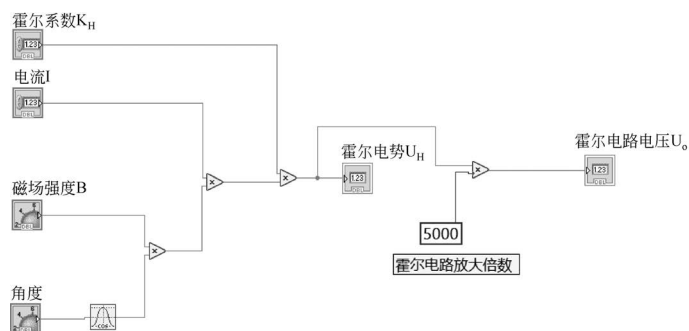


图 3-12 线性型霍尔传感器仿真系统程序框图

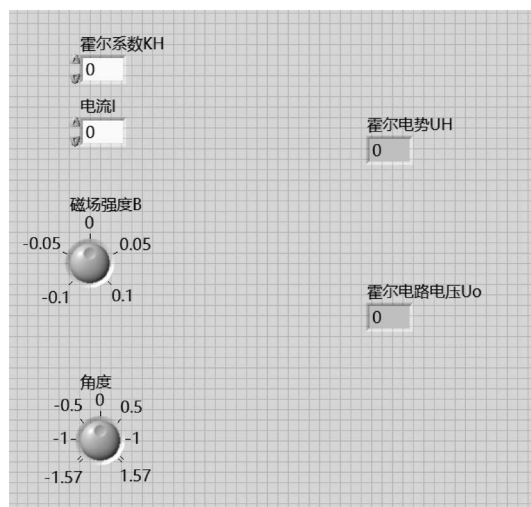


图 3-13 线性型霍尔传感器仿真系统前面板

3.3.2 电动机转速测试

如图 3-17 所示为电动机齿轮工作示意图。



图 3-16 霍尔磁感应强度测试仪

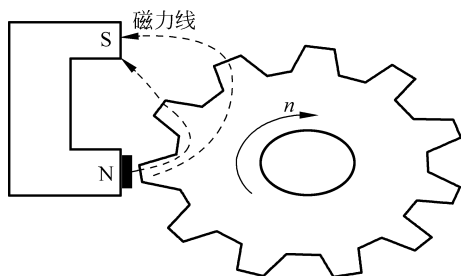


图 3-17 电动机齿轮工作示意图

由公式 $U_H = K_H IB \cos \theta$ 可知,霍尔电势 U_H 与磁感应强度 B 成正比。当电动机磁铁的金属齿轮转动时,齿轮的凸起齿不断接近和离开磁铁的磁极。由于空气的磁阻远大于金属的磁阻,当齿轮的凸起接近磁铁的磁极时,通过磁极上的霍尔传感器就可以感受到较大的磁场强度,因此输出较大的霍尔电势;当齿轮的凸起离开磁铁的磁极时,通过磁极上的霍尔传感器就可以感受到较小的磁场强度,因此输出很小或为 0 的霍尔电势。综上所述,通过分析霍尔传感器输出的方波信号就可以得出一定时间内通过磁铁磁极的齿轮数,由此可以计算出电动机齿轮的转速。

3.3.3 霍尔接近开关

图 3-18 所示为霍尔接近开关工作示意图。

当带磁铁的夹具靠近或离开霍尔传感器时,霍尔传感器便产生高低变化的霍尔电势,由此可以判断夹具的位置和状态。

3.3.4 霍尔电流传感器

如图 3-19 所示为霍尔电流传感器工作示意图。

在导体中有电流通过,由电流产生磁场,磁场强度与电流大小成正比。霍尔传感器的霍尔电势与磁场强度也成正比。根据霍尔电势可以计算出电流产生的磁场强度,再根据磁场强度即可计算出导体电流的大小。

【思政讲堂】 世界是普遍联系的,只要能找到事物中的相关联系,便能通过这些联系解决一些实际问题。

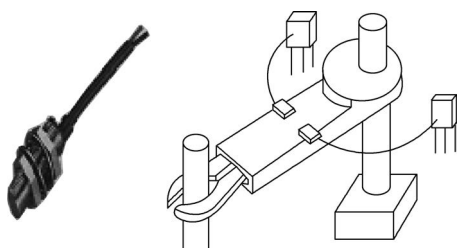


图 3-18 霍尔接近开关工作示意图

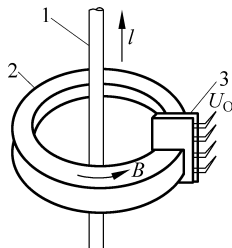


图 3-19 霍尔电流传感器工作示意图

1—被测电流；2—环形磁体；
3—霍尔传感器元器件

思考题

- (1) 霍尔元器件是四端元器件,为什么霍尔传感器芯片只有三个管脚?
- (2) 霍尔传感器可以检测连续变化的量,也可以测量开关量,两者的检测原理和组成电路有什么不同?
- (3) 霍尔传感器可以应用于什么工作场景?
- (4) 实验中霍尔传感器具备什么应用特性?从传感器组成电路的角度,简要解释为什么需要具备这种特性?
- (5) 为什么霍尔传感器对磁铁具有方向性选择?可以应用于什么实际工作场景?

习题

1. 单项选择题

- (1) 属于四端元器件的是_____。
A. 应变片 B. 压电晶片 C. 霍尔元器件 D. 热敏电阻
- (2) 公式 $U_H = K_H IB \cos \theta$ 中的 θ 是指_____。
A. 磁力线与霍尔薄片平面之间的夹角
B. 磁力线与霍尔薄片的垂线之间的夹角
C. 磁力线与霍尔元器件内部电流方向的夹角
D. 磁力线与霍尔薄片的垂线之间的夹角
E. 霍尔元器件平面与地球磁场的夹角
- (3) 磁场垂直于霍尔薄片,磁感应强度为 B ,但磁场方向相反($\theta = 180^\circ$),霍尔电势_____,因此霍尔元器件可用于测量交变磁场。
A. 绝对值相同,符号相反 B. 绝对值相同,符号相同
C. 绝对值相反,符号相反 D. 绝对值相反,符号相同
- (4) 霍尔元器件采用恒流源激励是为了_____。
A. 提高灵敏度 B. 减少温漂 C. 减少不等位电势