

## 第六节 霍尔传感器

### 一、霍尔元件的基本工作原理

#### (一) 霍尔效应

图 2-32 所示的半导体薄片，若在它的两端通以控制电流  $I$ ，在薄片的垂直方向上施加磁感应强度为  $B$  的磁场，则在薄片的另两侧会产生一个大小与控制电流  $I$  和磁感应强度  $B$  的乘积成比例的电动势  $U_H$ ，这个电动势称为霍尔电势。这一现象称为霍尔效应。该半导体薄片称为霍尔元件。

#### (二) 基本原理

霍尔效应的产生是由于运动电荷受磁场中洛伦兹力作用的结果。假设在 N 型半导体薄

片上通以电流  $I$ ，如图 2-32 所示，则半导体中的载流子（电子）沿着和电流相反的方向运动（电子速度为  $v$ ），由于在垂直于半导体薄片平面的方向上施加磁感应强度为  $B$  的磁场，所以电子受到洛伦兹力  $f_L$  的作用，向一边偏转（见图 2-32 中虚线方向），并使该边形成电子积累，而另一边则为正电荷积累，于是形成电场。该电场阻止运动电子的继续偏转。当电场作用在运动电子上的力  $f_E$  与洛伦兹力  $f_L$  相等时，电子的积累便达到动态平衡。在薄片两横断面之间建立电场，相应的电势称为霍尔电势  $U_H$ ，其大小可用下式表示：

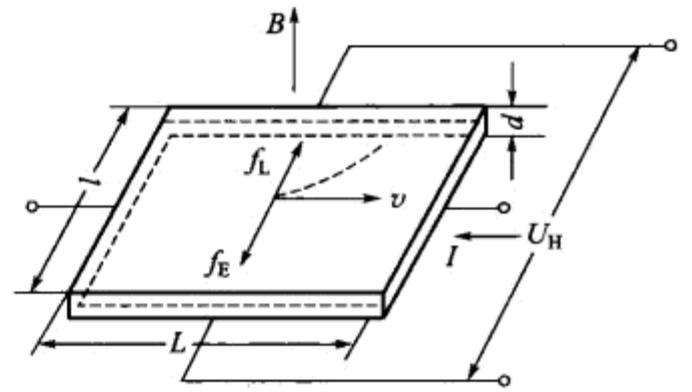


图 2-32 霍尔效应原理

$$U_H = \frac{R_H I B}{d} \quad (\text{V}) \quad (2-47)$$

式中  $R_H$ ——霍尔系数， $\text{m}^3/\text{C}$ ；  
 $I$ ——控制电流，A；  
 $B$ ——磁感应强度，T；  
 $d$ ——霍尔元件厚度，m。

霍尔系数为

$$R_H = \rho \mu$$

式中  $\rho$ ——载流体的电阻率；  
 $\mu$ ——载流体的迁移率。

令  $K_H = \frac{R_H}{d}$ ，称  $K_H$  为霍尔元件的灵敏度，则

$$U_H = K_H I B \quad (2-48)$$

如果磁感应强度  $B$  和元件平面法线成一定角度  $\theta$ ，则作用在元件上的有效磁场是其法线方向的分量，即  $B \cos \theta$ ，这时

$$U_H = K_H I B \cos \theta \quad (2-49)$$

当控制电流的方向或磁场的方向改变时，输出电势的方向也将改变。但当磁场与电流同时改变时，霍尔电势极性不变。

综上所述，霍尔电势的大小正比于控制电流  $I$  和磁感应强度  $B$ 。灵敏度  $K_H$  表示在单位磁感应强度和单位控制电流时输出霍尔电势的大小，一般要求它越大越好。此外，元件的厚度  $d$  越小， $K_H$  越高，所以霍尔元件的厚度一般都比较薄。

### (三) 基本电路

在电路中，霍尔元件可用两种符号表示，如图 2-33 所示。霍尔元件的基本电路如图 2-34 所示。控制电流  $I$  由电源  $E$  供给， $R$  为调节电阻，调节控制电流的大小。

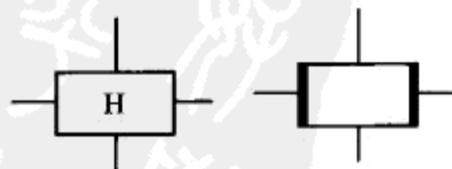


图 2-33 霍尔元件的符号

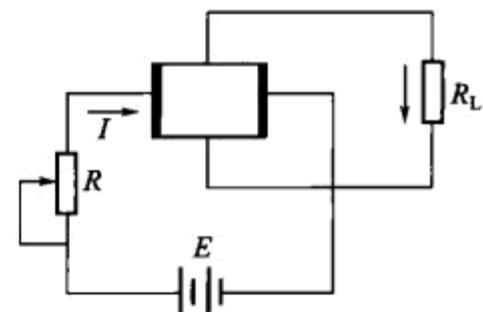


图 2-34 霍尔元件的基本电路

## 二、霍尔片的材料和主要参数

### (一) 霍尔片的材料

只有半导体（尤其是N型半导体）才适合于制造霍尔元件。因为霍尔电势  $U_H = R_H IB/d$ ，而霍尔系数  $R_H = \rho\mu$ ，可见，欲使霍尔效应强，霍尔系数大，就要求制造霍尔片材料的电阻率  $\rho$  和电子迁移率  $\mu$  均高才行。一般金属的电子迁移率较高，但电阻率低，而绝缘体的电阻率很高，但电子迁移率又极低。因此两者均不适合制造霍尔元件。

目前制造霍尔元件的半导体材料有锗、硅、砷化镓、镓化铟等。

### (二) 霍尔片的主要参数

- ① 额定控制电流  $I_H$ 。
- ② 输入电阻  $R_i$  与输出电阻  $R_o$ 。
- ③ 不等位电势  $U_o$  和不等位电阻  $r_o$ 。
- ④ 灵敏度  $K_H$ 。

## 三、霍尔片不等位电势及温度误差的补偿

### (一) 不等位电势 $U_o$ 及其补偿

霍尔片是在一块半导体矩形薄片上焊上两对电极，如图 2-35 所示。霍尔电势是从 A、B 两点引出的，由于在工艺上很难保证霍尔电极 A、B 完全焊在同一等电位面上，因此当控制电流  $I$  流过元件时，即使不加磁场，A、B 两点间也存在一个电势  $U_o$ ，这就是不等位电势。

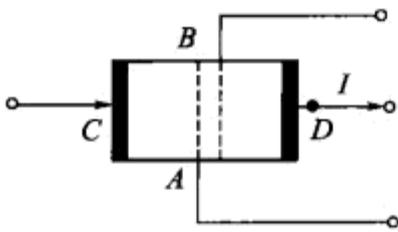


图 2-35 不等位电势示意图

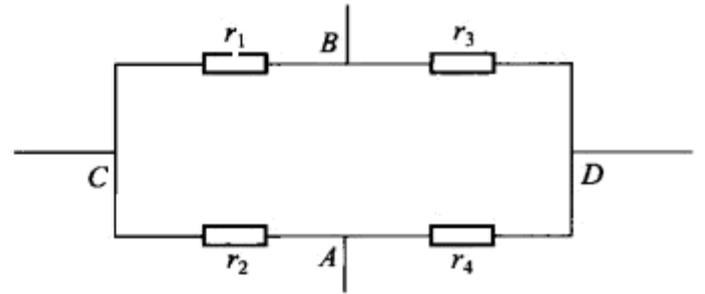


图 2-36 霍尔元件的等效电路

在分析不等位电势时，可以把霍尔元件等效为一个电桥，如图 2-36 所示。当两个霍尔电极 A、B 处在同一等位面上时，电桥平衡，不等位电势  $U_o$  等于零。当两个霍尔电极不在同一等位面上时，电桥不平衡，不等位电势不等于零。此时可根据 A、B 两点电位的高低，判断应在某一桥臂上并联一定的电阻，使电桥达到平衡，从而使不等位电势为零。

### (二) 温度误差及其补偿

霍尔元件与一般半导体器件一样，对温度的变化是很敏感的，会给测量带来较大的误差。这是因为半导体材料的电阻率、电子迁移率和载流子浓度等都随温度变化的缘故。因此，霍尔元件的性能参数，如内阻、霍尔电势等也将随温度变化。

为了减小霍尔元件的温度误差，可以采取：选用温度系数小的元件；利用恒温措施；用恒流源供电；在控制极并联一个合适的补偿电阻  $r_P$ ，如图 2-37 所示。

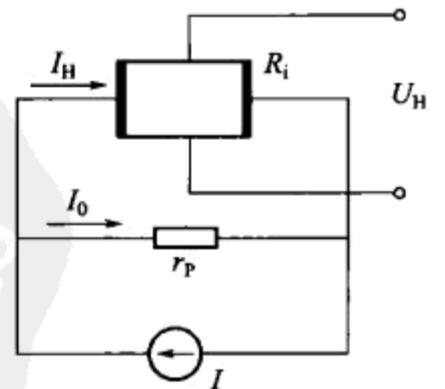


图 2-37 温度补偿线路

#### 四、传感器的应用

利用霍尔元件输出正比于控制电流和磁感应强度乘积的关系，可分别使其中一个量保持不变，另一个量作为变量，或者两者都作为变量，因此，霍尔元件大致可分为以上三种类型的应用。例如，当保持元件的控制电流恒定，元件的输出就正比于磁感应强度，可用作测量恒定和交变磁场的高斯计等。当元件的控制电流和磁感应强度都作为变量时，元件的输出与两者乘积成正比，可用作乘法器、功率计等。