

用霍尔效应测量螺线管磁场

用霍尔传感器测量通电螺线管内励磁电流与输出霍尔电压之间关系,证明霍尔电势差与螺线管内磁感应强度成正比;用通电长直通电螺线管轴线上磁感应强度的理论计算值作为标准值来校准或测定霍尔传感器的灵敏度,熟悉霍尔传感器的特性和应用;用该霍尔传感器测量通电螺线管内的磁感应强度与螺线管轴线位置刻度之间的关系,作磁感应强度与位置刻线的关系图,学会用霍尔元件测量磁感应强度的方法。

一、实验目的

1. 了解霍尔效应现象,掌握其测量磁场的原理。
2. 学会用霍尔效应测量长直通电螺线管轴向磁场分布的方法。

二、实验原理

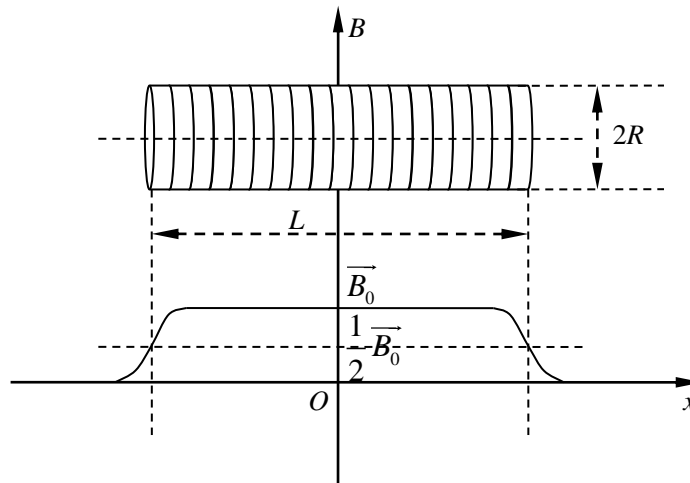


图 1

图 1 所示的是长直螺线管的磁力线分布,有图可知,其内腔中部磁力线是平行于轴线的直线系,渐近两端口时,这些直线变为从两端口离散的曲线,说明其内部的磁场在很大一个范围内是近似均匀的,仅在靠近两端口处磁感应强度才显著下降,呈现明显的不均匀性。根据电磁学毕奥—萨伐尔 (Biot-Savat) 定律,通电长直螺线管线上中心点的磁感应强度为:

$$B_{\text{中心}} = \frac{\mu \cdot N \cdot I_M}{\sqrt{L^2 + D^2}} \quad (1)$$

理论计算可得,长直螺线管轴线上两个端面上的磁感应强度为内腔中部磁感应强度的 $1/2$:

$$B_{\text{端面}} = \frac{1}{2} B_{\text{中心}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu \cdot N \cdot I_M}{\sqrt{L^2 + D^2}} \quad (2)$$

式中, μ 为磁介质的磁导率,真空中的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (\text{T m/A})$, N 为螺线管的总匝数, I_M 为螺线管的励磁电流, L 为螺线管的长度, D 为螺线管的平均直径。

霍尔器件测量磁场的原理

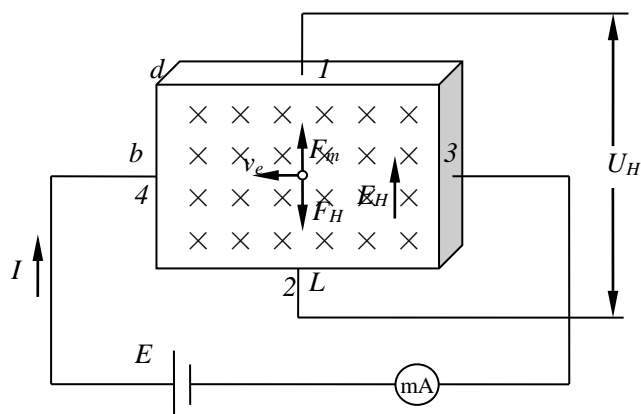


图 2 霍尔效应原理

如图 2 所示，有一 N 型半导体材料制成的霍尔传感器，长为 L ，宽为 b ，厚为 d ，其四个侧面各焊有一个电极 1、2、3、4。将其放在如图所示的垂直磁场中，沿 3、4 两个侧面通以电流 I ，则电子将沿负 I 方向以速度运动，此电子将受到垂直方向磁场 B 的洛仑兹力 $\vec{F}_m = e\vec{v}_e \times \vec{B}$ 作用，造成电子在半导体薄片的 1 侧积累过量的负电荷，2 侧积累过量的正电荷。因此在薄片产生了由 2 侧指向 1 侧的电场 \vec{E}_H ，该电场对电子的作用力 $\vec{F}_H = e\vec{E}_H$ ，与 $\vec{F}_m = e\vec{v}_e \times \vec{B}$ 反向，当两种力相平衡时，便出现稳定状态，1、2 两侧面将建立起稳定的电压 U_H ，此种效应为霍尔效应，由此而产生的电压叫霍尔电压 U_H ，1、2 端输出的霍尔电压可由数显电压表测量并显示出来。

如果半导体中电流 I 是稳定而均匀的，可以推导出 U_H 满足：

$$U_H = R_H \cdot \frac{IB}{d} = K_H \cdot IB \quad (3)$$

式中， R_H 为霍尔系数，通常定义 $K_H = R_H / d$ ， K_H 称为灵敏度。

由 R_H 和 K_H 的定义可知，对于一给定的霍尔传感器， R_H 和 K_H 有唯一确定的值，在电流 I 不变的情况下，与 B 有一一对应关系。

虽然从理论上说在无磁场作用 ($B=0$) 时， $U_H=0$ ，但在实际上往往能测得 $U_H \neq 0$ ，这是由于伴随着霍尔效应产生的各种副效应，以及电极安装的不对称，半导体材料结晶不均匀等引起的电势差。该电势差 U_0 称为剩余电压。在实际应

用中，一般是采用电压补偿法消除剩余电压 U_0 ，如图 3 所示。

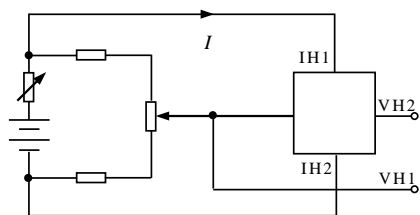


图 3 剩余电压补偿电路

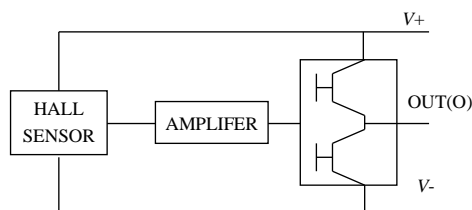


图 4 95A 型集成霍尔传感器

集成化(IC)高灵敏度 95A 型集成霍尔传感器的结构如图 4，由霍尔元件、放大器和薄膜电阻剩余电压补偿器组成。该传感器测量时输出信号大；不必考虑剩余电压的影响；在标准状态下(磁感应强度为零时，调节电源电压 V_+-V_- ，使输出电压为 2.500 伏)，传感器的输出电压 U 与磁感应强度 B 的关系如图 4 所示。该关系可表示为：

$$B = \frac{(U - 2.500)}{K_H I_S} = \frac{U'}{K_H I_S} \quad (4)$$

其中， U 为霍尔传感器输出电压， U' 是用 2.500V 外接电压补偿后的输出值。

三、实验仪器

霍尔效应实验仪； 双通道直流稳压电源；万用表；电位器；电阻

四、实验内容和步骤

1. 测量集成霍尔传感器的输出电压 U 与 I_M 的关系。
 - 1) 根据图 3，正确连接螺线管电路，霍尔传感器工作电路，霍尔电压补偿电路。
 - 2) 霍尔元件置于螺线管中央，改变励磁电流 I_M (0-500mA)，测量 $U'-I_M$ 关系 (每次变化 25mA，测 20 组数据)，作 $U-I_M$ 曲线并求斜率 U/I_M 。从实验结果说明磁感应强度 B 与霍尔元件产生的霍尔电势差 U_H 间的关系。
 - 3) 求得 U/I_M ，以通电螺线管中心点磁感应强度 B 的理论值校准该霍尔传感器的灵敏度 K 。对有限长螺线管， B 的理论值为：

$$B = \mu_0 \frac{N}{\sqrt{L^2 + D^2}} I_M, \text{ 故}$$

$$K = \frac{\Delta U}{\Delta B} = \frac{\Delta U}{\Delta I} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta B} = \frac{\sqrt{L^2 + D^2}}{\mu_0 N} \frac{\Delta U}{\Delta I_M}$$

2. 测量通电螺线管内磁感应强度分布
 - 1) 保持励磁电流不变(250mA)，改变霍尔元件位置(0~30.0cm，每 0.2 cm 取一个数据)，测量螺线管轴线上各点的霍尔电压，并利用上面已测定的灵敏度计算各点的磁感应强度 (注意：两端的磁场变化快而中间变化慢，测量点在两边应比中间取得密一些)。
 - 2) 用测得的轴线上各点的磁感应强度，绘制螺线管轴线上磁场的分布曲线。

五、数据处理

表1 测量霍尔电压(已放大)与励磁电流 I_M 的关系 (霍尔传感器处于螺线管中央位置, 即 $X=$ cm 处)

I_M/mA	0	25	50	100	150	...	400	425	450	475	500
U/mV											

表2: 螺线管内磁感应强度 B 与位置 X 的关系

X/cm	U'/mV	B/mT
1.00		
1.20		
...		

六、思考题

- 1、 $I_M=0$ 时, 由于地磁场的存在, U_H 不一定为 0, 怎样消除地磁场的影响?
- 2、自行设计实验, 测量地磁场, 计算当地的磁倾角。