

测量螺线管的磁场

本实验的目的是学习测量交变磁场的一种方法,加深理解磁场的一些特性及电磁感应定律。

实验原理

1.有限长载流直螺线管的磁场

图 1 是一个长为 $2l$, 匝数为 N 的单层密绕的直螺线管产生的磁场。当导线中流过电流 I 时, 由毕奥-萨伐尔定律可以计算出在轴线上某一点 P 的磁感应强度为

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} \left\{ \frac{x+l}{[R^2 + (x+l)^2]^{\frac{1}{2}}} - \frac{x-l}{[R^2 + (x-l)^2]^{\frac{1}{2}}} \right\} \quad (1)$$

式中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $n = \frac{N}{2l}$ 为单位长度上的线圈匝数, R 为螺线管半径, x 为 P 点到螺线管中心处的距离。在 SI 单位制中, B 的单位为特斯拉 (T)。图 1 同时给出 B 随 x 的分布曲线。由曲线显示, 在螺线管内部磁场近于均匀, 只在端点附近磁感应强度才显著下降。当 $l \gg R$ 时, $B = \mu_0 n I$ 与场点的坐标 x 无关, 而在螺线管两端 $B = \frac{1}{2} \mu_0 n I$ 为内部 B 值的一半。无限长密绕直螺线管是实验室中经常使用到的产生均匀磁场的理想装置。

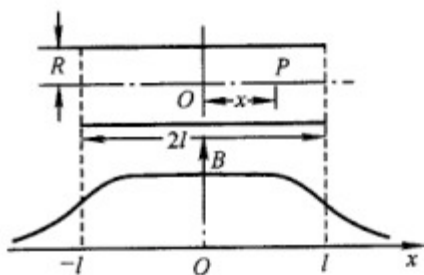


图 1 螺线管的磁场

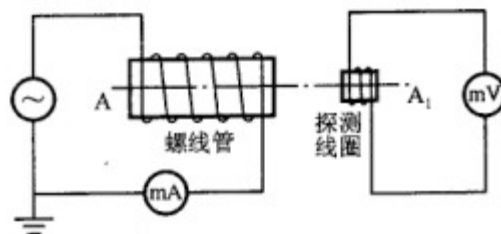


图 2 探测螺线管磁场的原理

2.探测线圈法测量磁场

本实验采用电磁感应原理测量直螺线管中产生的交变磁场。图 2 是实验装置的示意图。当螺线管 A 中通过一个低频的交流电流 $i(t) = I_0 \sin \omega t$ 时, 感应电动势有效值 V 和

$$\text{磁感应强度 } B(t) \text{ 有效值为 } B, \text{ 满足如下关系: } B = \frac{V}{2\pi^2 N_1 r_1^2 f} \quad (2)$$

其中 r_1 是探测线圈的半径, f 是交变电源的频率。在测量过程中如始终保持 A 和 A_1 在同一轴线上。

课堂重复使用、保持整洁、请勿带走

实验内容

1. 研究螺线管中磁感应强度 B 与电流 I 和感生电动势 V 之间的关系，测量螺线管中的磁感应强度。

(1) 记录参数：螺线管 A 的半径 R 、长度 $2l$ 、总匝数 N ，探测线圈 A_1 的半径 r_1 和总匝数 N_1 （参数由实验仪器面板给出）。

(2) 按图 2 接好线路。需要注意的是，本实验螺线管串联 1 欧姆的电阻，通过探测电阻两端电压，可以得到输出电流。

(3) A 和 A_1 两个中心点的距离代表磁场场点坐标 x ，其值由装置中的直尺读出。

取 $x=0$ （中心位置），低频信号发生器频率分别选取为 $f=4000\text{Hz}$ 、 2000Hz 、 1000Hz ，调节信号输出使输出电流从 10.0mA 至 40.0mA ，每隔 5.0mA 记录相应的感生电动势 V 。

	10.0mA	15.0mA	20.0mA	25.0mA	30.0mA	35.0mA	40.0mA
4000 Hz							
2000 Hz							
1000 Hz							

在同一张坐标纸上做出不同频率的 V - I 曲线进行比较，并对结果进行分析讨论。

(4) 取 $x=l$ （管口位置），频率和电流分别取三组数值： $f=4000\text{Hz}$ 、 $I=10.0\text{mA}$ ； $f=2000\text{Hz}$ 、 $I=20.0\text{mA}$ ； $f=1000\text{Hz}$ 、 $I=40.0\text{mA}$ ，测出对应的 V 值。从测量结果中可以得出什么结论？

(5) 从以上测量数据中取出 $x=0$ ， $f=1000\text{Hz}$ ， $I=40.0\text{mA}$ 和对应的 V 值，再取 $x=l$ ， $f=1000\text{Hz}$ ， $I=40.0\text{mA}$ 和对应的 V 值。分别用公式 (1) 和 (2) 计算出 B 值，并对得出的 B 值进行比较和讨论。

2. 测量直螺线管轴线上的磁场分布

(1) 仍按图 2 接线。取 $f=2000\text{Hz}$ ，输出电流可设定为 20.0mA ，当 $x=0$ （中心位置）时，记录下此时的 V 值。

(2) 向外侧移动探测线圈 A_1 ，每隔 1.0cm 记录对应的 V ，其间注意记下 $x=l$ （管口位置）时的 V 值。测量直至 $x=21.0\text{cm}$ 为止，此时探测线圈中心移出螺线管。

(3) 作出 $V(x)$ - x 曲线，它是否就是相应的 $B(x)$ - x 曲线？对曲线进行分析讨论。

(4) 计算 $\frac{V_{x=l}}{V_{x=0}}$ 是否等于 $1/2$ ，为什么？

思考题：

本实验可进行哪些方面的改进，以减小测量误差？