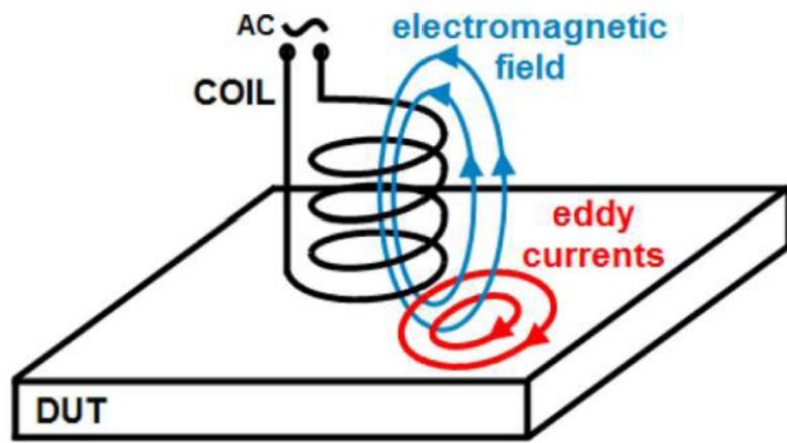


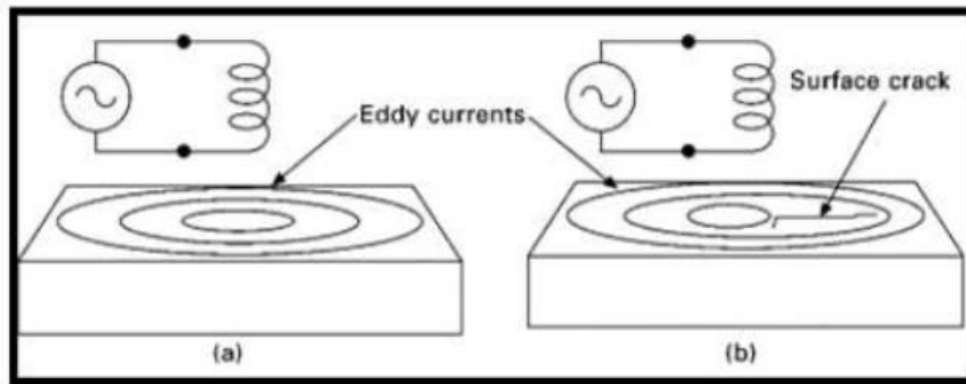
电磁感应

2012APhO实验题

背景: 涡流探伤



涡流：由于金属导体所在位置的磁通量的改变而感应出的环状电流



无缺陷

有缺陷

无损检测方法：把交流线圈放在金属表面附近，测量线圈电阻和电感的变化，可探测金属缺陷

实验原理: 线圈自感系数L和电阻R的测量

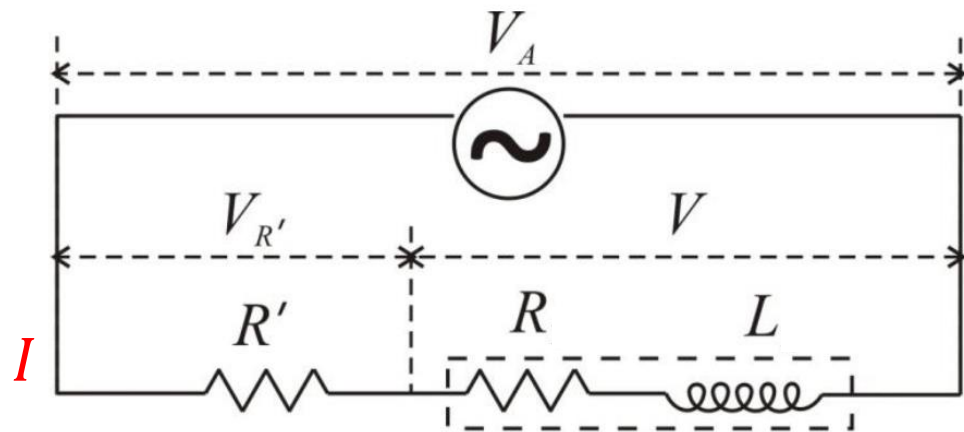
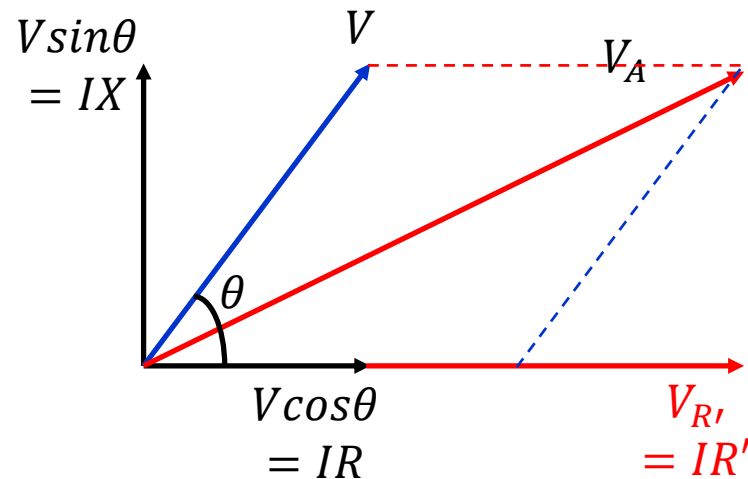


Fig.1



$$V \cos \theta = IR \quad (4)$$

$$V \sin \theta = IX = I\omega L \quad (5)$$

$$V_A^2 = V_{R'}^2 + V^2 + 2V_{R'}V \cos \theta \quad (6)$$

3方程、3未知数(X 、 R 、 θ)

$$R = \frac{R'}{2} \left(\frac{V_A^2 - V^2}{V_{R'}^2} - 1 \right) \quad (7)$$

$$I = \frac{V_{R'}}{R'} \quad Z = \frac{V}{I}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1) \rightarrow X = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (1A)$$

实验原理: 耦合回路

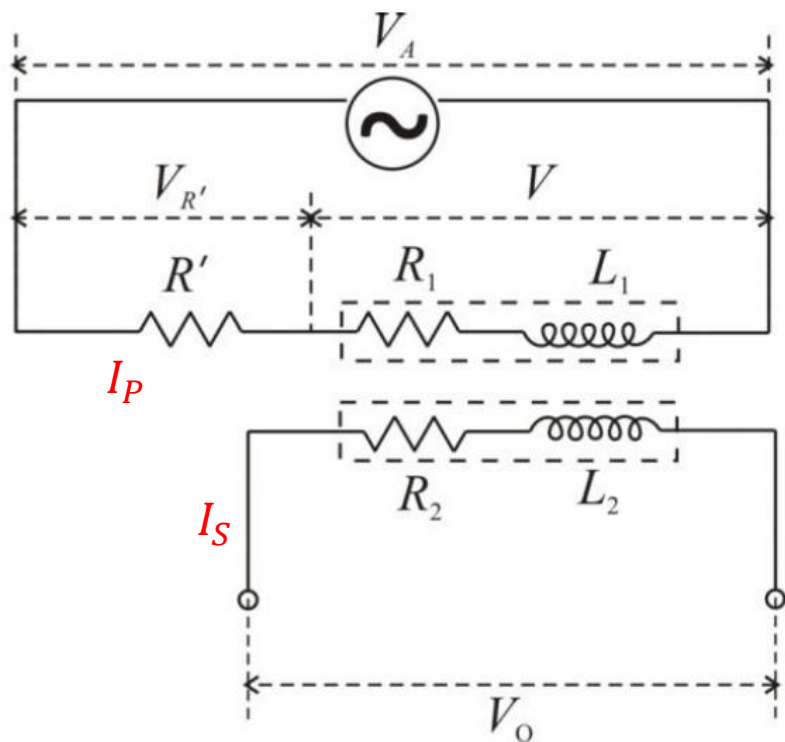


Fig.2

磁通量: $\phi = L_1 i_1 + M_{21} i_2$

互感: $\omega M I_P = I_S Z_S = V_o \quad (10)$

$$M_{12} = M_{21}$$

第一部分(a-d)、 第二部分f: 测量有/无铝芯时线圈的L和R

- 要求: 选择合适的 R' (100Ω 、 10Ω) , 使 $V_{R'}$ 和 V 的值尽量相等
- 提示: 调 R , 使用2个4位半万用表分别测试 $V_{R'}$ 和 V , 用交流电压档
- 信号源设置: 1kHz、 正弦、 偏置=0、 幅度 = 7Vrms
- 测试 $V_{R'}$ 、 V 、 V_A 和 V_O , 计算 R 、 L 、 M ; 测4组: 2线圈、 有/无铝芯

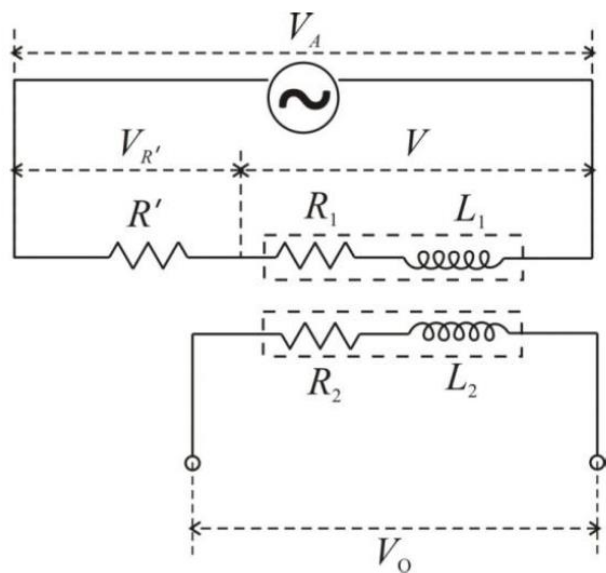
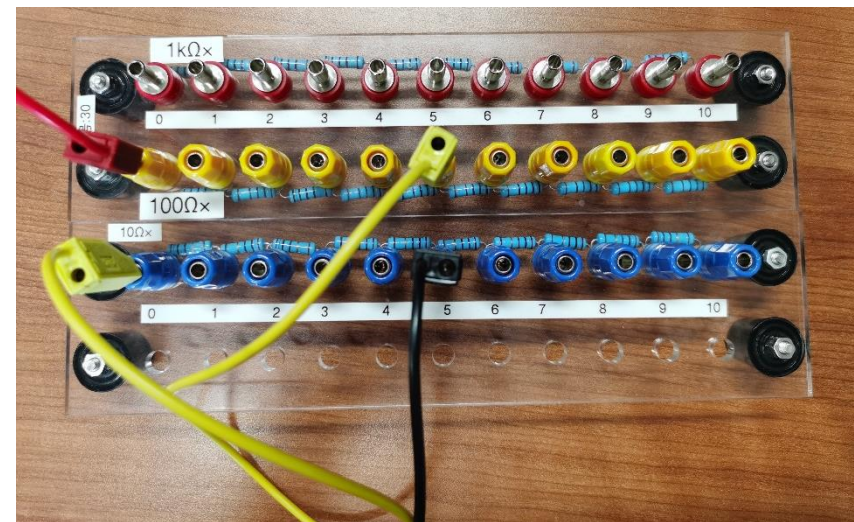
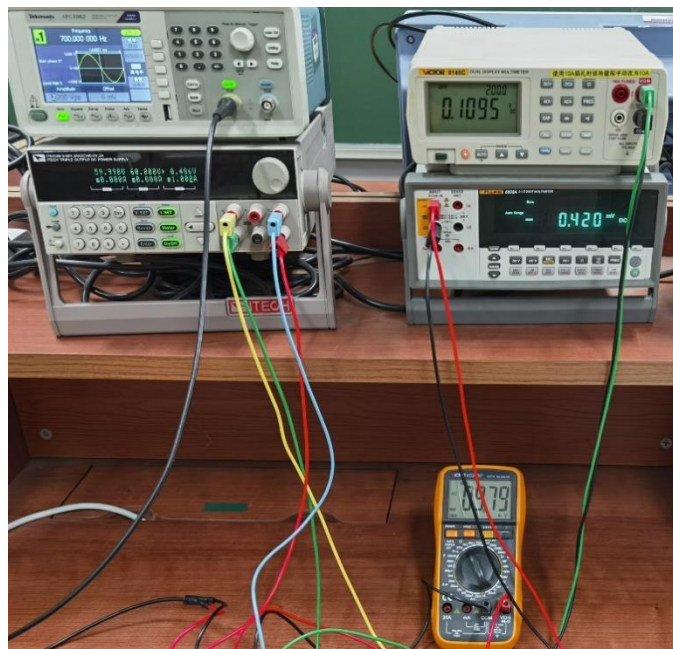


Fig.2



第二部分(g): 测量

- 左右调换线圈，测线圈1；取下铝芯；
 R' 改为300 Ω 定值电阻
- 将次级线圈与可变电阻 R_L 相连，测每个 R_L (100~1000 Ω , 间隔100 Ω) 时的 V_A 、 $V_{R'}$ 、 V_P 、 V_O (2个表测)

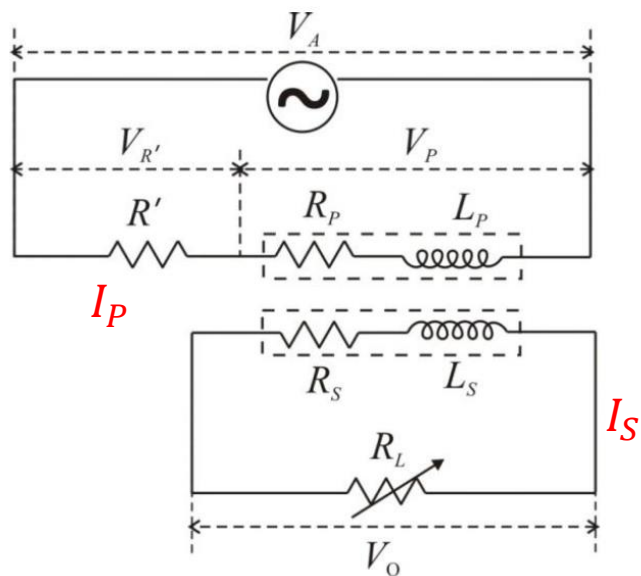


Fig.3

(h,i): 数据处理

$$\omega M I_P = I_S Z_S \quad (10)$$

提示:

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1) \\ &= \sqrt{(R_S + R_L)^2 + (X_S)^2} \end{aligned}$$

$$X_S = \omega L_S$$

R_L 、 R_S (Coil 2) 已知, I_P 、 I_S 可求, 直线拟合求 M 和 X_S

第三部分(k): 求初级线圈

(l): 求反射电阻 R_R , 反射电抗 X_R

等效电阻 R_{PE} 和等效感抗 X_{PE}

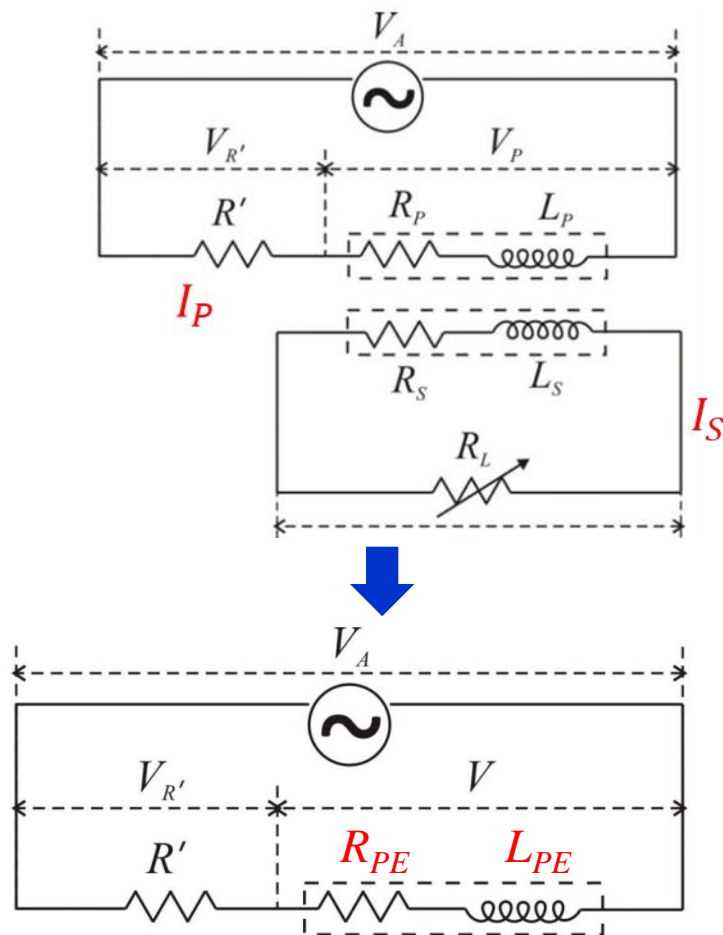
初级线圈中反射电阻消耗的平均功率等于次级回路中电阻消耗功率:

$$I_P^2 R_R = I_S^2 (R_S + R_L)$$

类似地: $\frac{1}{2} L_R I_P^2 = \frac{1}{2} L_S I_S^2$

(m): 作图, 直线拟合求 X_{PE} 与 X_R 关系表达式 [(o)已告知(?): $R_{PE} = R_P + R_R$]

(n): 作 $R_R \sim R_L$ 图, 求 R_R 最大时 R_L 值



P: Primary; S: secondary; PE: Primary Effective; R: Reflective

第四部分(o): 铝芯中涡流所感受到的电感与电阻的比值

提示: 通过分析第三部分的数据, 可以使用一种模型来估算带电线圈中的铝芯的涡流感受到的电感和电阻的比值。

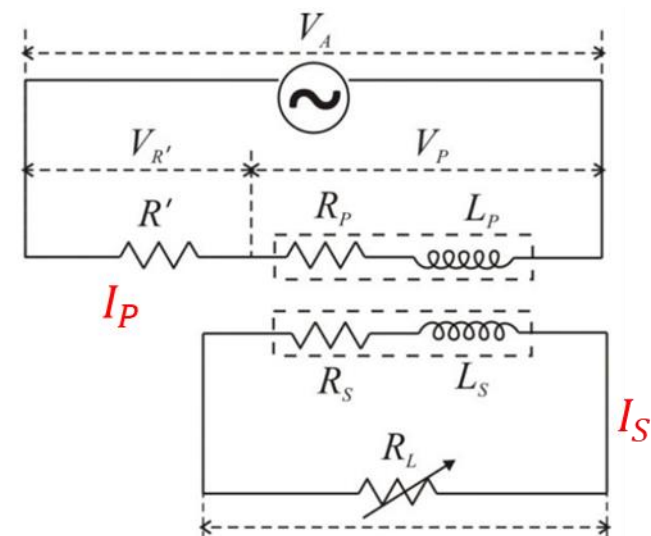
- (o)已告知 $R_{PE} = R_P + R_R$
- X_{PE} 与 X_R 的关系由(m)题求得
- 利用第一部分的数据, 求加入铝芯前后

$$\frac{L_{\text{芯}}}{R_{\text{芯}}} = \frac{\text{等效电感的变化}}{\text{等效电阻的变化}}$$

等效: PE, Primary Effective

(p): 铝芯的功率损耗

$$\Delta P = I_P^2 R_{PE} - I_P^2 R_P - I_S^2 (R_S + R_L)$$



数据记录表格（供参考）

电磁感应数据表格，2023秋，6B703												
Part 1												
f (kHz):	1											
	R' (Ω)	V _A (V)	V (V)	V _{R'} (V)	V _O (V)	I (A)	Z (Ω)	R (Ω)	X (Ω)	L (mH)	ωM	M (mH)
a) 测线圈1，无铝芯												
c) 测线圈1，放入铝芯(有铝芯)												
b) 左右调换线圈，测线圈2，取下铝芯(无铝芯)												
d) 测线圈2，放入铝芯(有铝芯)												
Part2 (g): 左右调换线圈，测线圈 1；取下铝芯(无铝芯)； R'改为300Ω定值电阻; 改变RL测试												
R _L (Ω)	R' (Ω)	V _A (V)	V (V)	V _{R'} (V)	V _{RL} (V)	I _p (A)	Z _p (Ω)	R _{PE} (Ω)	X _{PE} (Ω)	X _R (Ω)	I _s (A)	R _R (Ω)
100	300											
200	300											
300	300											
400	300											
500	300											
600	300											
700	300											
800	300											
900	300											
1000	300											
Part4 (p): 放入铝芯(有铝芯)，测线圈1; R' = 300Ω定制电阻； RL = 1kΩ												
R _L (Ω)	R' (Ω)	V _A (V)	V (V)	V _{R'} (V)	V _O (V)	I _p (A)	Z _p (Ω)	R _{PE} (Ω)	X _{PE} (Ω)	I _s (A)	ΔP (W)	
1000	300											

小结

1. 原理与内容: 不一定熟悉, 但讲义都给出了
2. 目的之一: 使实验者理解(了解)原理
3. 仪器简单
4. 测试和计算量大
5. 数据可前后验证
6. 对准确度要求高
7. 作图 (3副图: 2直线拟合、1曲线)
8. 物理概念要清楚

完整报告, 最好1周内交, 1个pdf文件



PPT&数据表格