



一种改变大家认知的 ED 型变压器实验现象

陈江萍 阮传志

(江苏省丹阳高级中学 江苏 镇江 212300)

(收稿日期:2021-04-23)

摘要:通过实验探究,研究“ED型”变压器磁路中的磁通分布,并解释相关现象,阐述了“ED型”变压器的磁通分布不仅与磁路有关,而且与两个输出端外接电路有关.

关键词:ED型变压器 实验探究 磁路 磁阻 磁通

1 一道物理题引发的思考

在高三物理模拟卷中遇到这样一道有关变压器的题目:ED型硅钢铁芯如图1(a)所示,其结构为三相两半拼合形成的闭合磁路,广泛应用于三相变压器、扼流圈、电抗器等电磁原件,用ED型硅钢铁芯绕制变压器,并连接成如图1(b)所示电路,原副线圈绕制匝数分别为 n_1 和 n_2 ,原线圈输入的交流电压为 U_1 ,副线圈的输出电压为 U_2 .现将滑动变阻器滑片向下滑动,下列说法错误的是()

A. $U_1 : U_2 = n_1 : n_2$

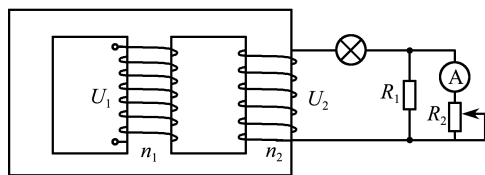
B. 灯泡亮度变暗

C. 电流表示数减小

D. 用相互绝缘的硅钢片叠成ED型铁芯有利于减小涡流



(a)



(b)

图1 题图

题目给出的参考答案是选项 A. 相信多数教师

依据“回字形”理想变压器的相关知识,认可这一结果,这样“照猫画虎”的结论,其实并不可靠! 下面的实验探究会改变大家对这一问题的认知.

2 实验探究

2.1 实验装置

为了探究ED型变压器中磁感应线的分布情况,特制作了相应的实验装置.图2是元器件安装示意图.

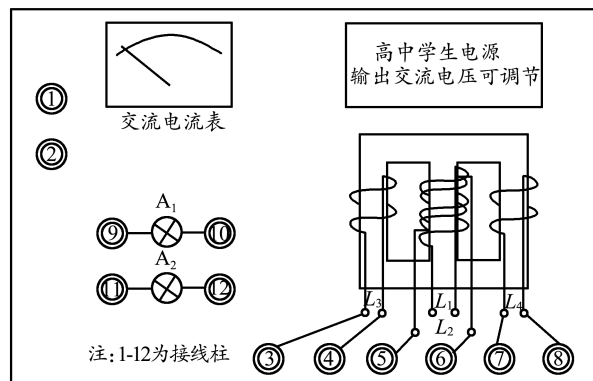


图2 ED型变压器元器件安装示意图

图1中①,②,③,⋯为接线柱, A_1, A_2 是两个额定电压均为3.8V的小灯泡, L_1, L_2, L_3, L_4 为线圈. L_1 :600匝,与①,②相接; L_2 :300匝,与⑤,⑥相接; L_3 :300匝,与③,④相接; L_4 :300匝,与⑦,⑧相接,交流电流表与 L_4 串在一起.

2.2 实验过程及实验结果

将 L_1 作为原线圈接入学生电源交流12V输出

(实测输出电压).

实验 1: L_2, L_3, L_4 均空载, 观察交流电流表读数为零, 用数字万用表交流电压挡测得 L_3 和 L_4 的输出电压 U_3 和 U_4 都是 3.21 V, 在一定的误差范围内满足

$$\frac{U_{3(4)}}{U_1} = \frac{1}{4}$$

实验 2: 将小灯泡 A_1 接入 L_3, L_2 和 L_4 空载, 观察现象, 小灯泡 A_1 不亮, 测得 L_3 两端电压为零, L_4 两端电压 $U'_4 = 6.40$ V, 在一定的误差范围内满足

$$\frac{U'_4}{U_1} = \frac{1}{2}$$

实验 3: 再将小灯泡 A_2 接入 L_4 , 发现两个小灯泡亮度相同, 测量小灯泡两端电压均为 2.32 V.

实验 4: 取下小灯泡接 A_2 , 并将交流电流表短暂接入 L_4 , 此交流电流表读数为 250 mA, 与 L_3 连接的小灯泡 A_1 比实验 3 亮, 两端电压为 3.64 V (远大于实验 3).

下面将 L_4 作为原线圈接入学生电源交流 8 V 输出 (实测输出电压 8.58 V), 重复以上实验.

实验 5: L_2 和 L_3 空载时输出电压分别是 5.88 V 和 2.53 V; 将 A_1 接入 L_2, A_1 不亮, 如果将 A_2 同样接入 L_3 , 则两灯泡一样亮, 测得两灯泡两端电压都为 4.21 V.

2.3 实验现象分析

由电磁学的知识可知: 磁和电一样也会“挤近路”, 磁阻越小, 导磁性越好^[1]. 磁阻

$$R_m = \oint \frac{1}{\mu} \frac{dl}{S} \quad (1)$$

其中 μ 是材料的磁导率, S 为磁路截面积, l 为磁路长度.

在上述实验 1 中, 原线圈中产生的总磁通, 在左右两个磁回路磁阻相同, 则两磁路分得的磁通也时刻相等 (不计漏磁), 即

$$\Phi_3 = \Phi_4 = \frac{\Phi_1}{2}$$

铁芯中形成的磁通路如图 3 所示. 同样磁通的变化率也满足

$$\frac{\Delta\Phi_3}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi_4}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}$$

由法拉第电磁感应定律

$$U_3 : U_4 : U_1 = n_3 \frac{\Delta\Phi_3}{\Delta t} : n_4 \frac{\Delta\Phi_4}{\Delta t} : n_1 \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}$$

代入数值得

$$U_3 : U_4 : U_1 = 1 : 1 : 4$$

所以 L_3 和 L_4 两端的输出电压为 L_1 两端电压的 $\frac{1}{4}$.

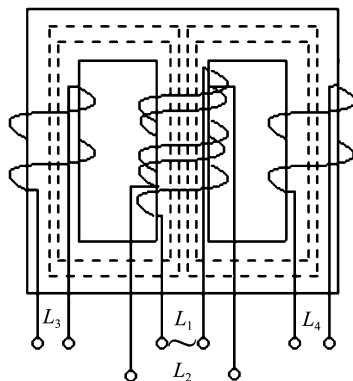


图 3 L_1 作为原线圈的磁通路

实验 2 中, 由于 A_1 接入, L_3 形成回路, 小灯泡中一个 10 mA 的感应电流产生反向交变磁通将原交变磁通几乎都排斥到了 L_4 一侧, 即

$$\Phi_3 \approx 0$$

$$\Phi_4 = \Phi_1 \left(\frac{\Delta\Phi_4}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t} \right)$$

铁芯中的磁通分布如图 4 所示.

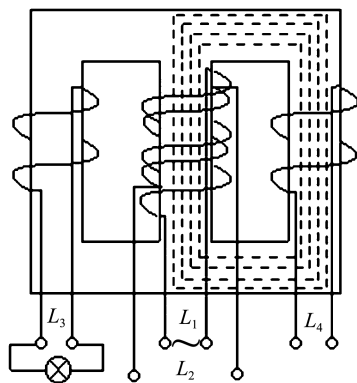


图 4 L_3 接负载后的磁通路

由于 $\Phi_3 \approx 0, L_3$ 两端电压几近为零, 所以小灯泡不亮, L_4 两端电压 U'_4 满足

$$\frac{U'_4}{U_1} = \frac{n_4 \frac{\Delta\Phi_4}{\Delta t}}{n_1 \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}} = \frac{n_4}{n_1} = \frac{1}{2}$$

得

$$U'_4 = \frac{1}{2}U_1 = 6.45 \text{ V}$$

在一定的误差范围内与测量值 6.40 V 相等。

实验 3 中, L_3 和 L_4 两回路相同, 感应电流对磁通的影响相同, 则磁通分布情况和实验 1 中 L_3 和 L_4 都开路时一样, 铁芯中形成的磁通分布如图 5 所示。两个小灯泡同样亮, 且两端电压都约为 L_1 两端电压的 $\frac{1}{4}$ (因线圈有内阻, 较空载的 3.21 V 略小)。

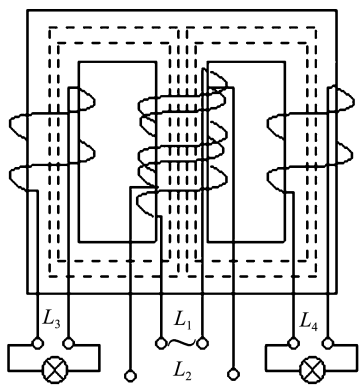


图 5 L_3 和 L_4 都接负载后的磁通路

实验 4 中将 L_4 两端用交流电流表短接后, L_4 中有 250 mA 电流产生的反向磁通远比回路 L_3 要大, 会将原交变磁通的一部分排斥到 L_3 所在磁路一侧, L_1 形成的交变磁通的大部分从 L_3 一侧的铁芯通过, 如图 6 所示。所以小灯泡变亮了 (电压从原来的 2.32 V 升至 3.64 V)。

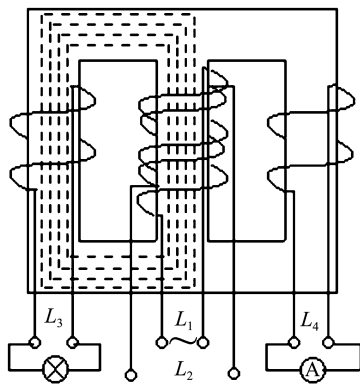


图 6 L_3 接负载、 L_4 短路后的磁通路

在实验 5 中由于原线圈位置变化, 使得磁路发生改变, 两个磁支路不再对称, 测得 L_2 和 L_3 的输出电压分别是 5.88 V 和 2.53 V, 并不相等, L_2 所

在磁路短, 由式(1)知, 其磁阻小、磁通大, 线圈电压高。磁通分布如图 7 所示。

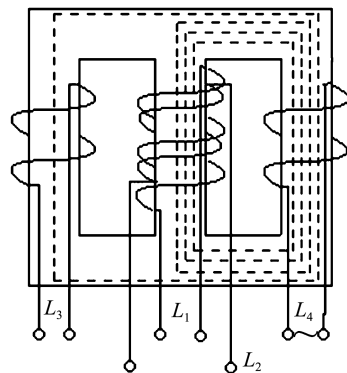


图 7 L_4 作为原线圈的磁通路

将 L_2 与 A_1 相接, A_1 不亮, 同样将 L_3 与小灯泡 A_2 相接, 则两灯泡一样亮, L_2 和 L_3 上的输出电压相等, 测量值都为 4.21 V ($\approx \frac{1}{2} \times 8.58 \text{ V}$), 表明小灯泡所在回路中感应电流产生的反向交变磁通对原交变磁通的阻碍作用要远远大于磁路中磁阻的阻碍作用, 如图 8 所示。

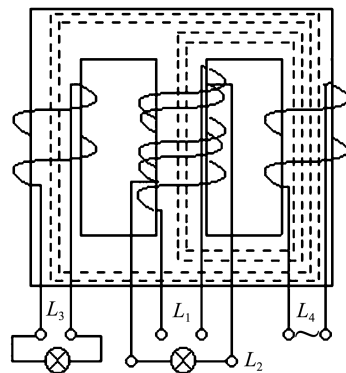


图 8 L_2 和 L_3 都接负载后的磁通路

3 题目回顾

本文开始提到的选择题的题设情境类似实验 2, 小灯泡不会亮起来, 更不会逐渐变暗; 电流表也不会有电流变小的过程, 它的电流几乎为“0”。所以题目中 3 个选项 A, B, C 都是错的。

参考文献

1 梁灿彬, 秦光戎, 梁竹健. 电磁学(第 3 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2016. 312~316