



有关变压器的3个问题

吴晓松

(梁平红旗中学校 重庆 405200)

(收稿日期:2016-03-14)

摘要:就变压器或多或少存在着不同程度困惑的3个问题进行分析与讨论.

关键词:变压器 问题 交变电流

交变电流和变压器是中学物理教学中的一个重点和难点内容,特别是在变压器这部分内容的教学中,或多或少存在着不同程度的困惑.笔者在教学过程中整理了其中较为典型的3个问题,以期与同行交流、讨论.

1 一问变压器

我们知道变压器原线圈中的感应电动势是因为电流的交变而引起的,根据法拉第电磁感应定律,感应电动势与磁通量的变化率成正比.而磁通量的变化快慢“应该”与交变电流的频率 f 是有关系的.这样的话若保持输入电压 U_1 的大小(有效值)不变,只提高交变电流的频率 f ,那么变压器原线圈产生的电动势 $E_1 = n_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 就“应该”越大,完全有可能不等于 U_1 甚至超过 U_1 ,这岂不是和原线圈的电动势 E_1 在大小上总等于 U_1 相矛盾了吗?

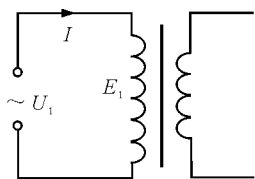


图1

如图1所示,假设变压器副线圈空载,那么原线圈就相当于一个纯电感元件,由于线圈的电感作用,

使得电流 I 的相位比电压 U_1 的相位落后 $\frac{\pi}{2}$. 又因为纯电感的感抗为

$$X_L = 2\pi f L = \omega L$$

设 $U_1 = U_m \cos \omega t$ 借用欧姆定律的形式,且考虑到电流 I 的相位比电压 U_1 的相位落后 $\frac{\pi}{2}$. 得纯电感电路中的电流为

$$I = \frac{U_m \sin \omega t}{2\pi f L} = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t$$

从而感应电动势为

$$E_1 = -L \frac{dI}{dt} = -L \frac{U_m \omega}{\omega L} \cos \omega t = -U_m \cos \omega t = -U_1$$

即变压器原线圈的电动势 E_1 与输入电压 U_1 总是大小相等(负号是由于感应电动势的相位比输入电压的相位落后 π),或者说 E_1 与 U_1 总是等大反相,而与频率 f 无关. 实际上,交变电流的频率 f 越大,电流确实变化得要快一些,但是同时线圈的感抗 $X_L = 2\pi f L$ 也增大了,导致励磁电流 I 减小,从而磁通量 $\Phi = LI$ 减小,结果 $n_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 仍等于 U_1 .

2 二问变压器

既然变压器原线圈的电动势 E_1 与输入电压 U_1 总是等大反相,即 $E_1 = -U_1$. 那么当副线圈空载时,

原线圈是不是就应该没有电流,另一方面从功率来看,空载时副线圈无输出功率,原线圈电流也应为零.但是,在一问变压器中已明确用 $I = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t$ 来表示空载电流,难道空载时,能量不再守恒,输入功率和输出功率不相等了吗?

根据楞次定律,变压器原线圈产生的感应电动势阻碍的是电流的变化,而不是阻碍电流,空载时若原线圈真的是电流为零的话,怎么会产生感应电动势呢?所以空载时,仍然有电流通过原线圈.如图2示,我们可以把原线圈看成一个“电阻”,不过,这个“电阻”的大小与频率有关,频率越大,“电阻”越大.

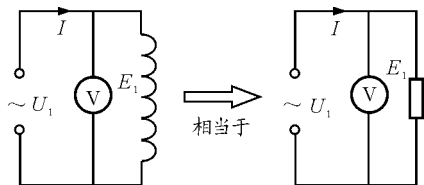


图2

图2中,电压表有示数,且大小为 $E_1 = U_1$,而

$I = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t$ 就是空载电流,也是我们说的励磁电流,只不过理想变压器的 L 一般很大,空载电流 I 很小罢了.

由能量守恒定律可知,输入功率和输出功率总是相等的.空载时,原线圈相当于一个负载,即纯电感.虽然有空载电流,但是它并没有把能量消耗出去,空载电流只是起励磁作用,即它只是把电势能转化为线圈里的磁场能,且周期性的存储和送还.这就相当于把交流电源和电容器连成回路时,电容不断地进行充放电一样,电容器并不消耗能量,只是电势能和电场能之间的不断转换而已.

设

$$U_1 = U_m \cos \omega t$$

则

$$I = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t$$

那么在一个周期 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 内,从电源输入理想变压器

原线圈的能量为

$$W = \int_0^T U_1 I dt = \int_0^T U_m \cos \omega t \cdot \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t dt = \frac{U_m^2}{2\omega L} \int_0^T \sin 2\omega t dt = 0$$

由此可知,在一个周期 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 内,从电源输入理想变压器的平均功率 $P_1 = \frac{W}{T}$ 确实为零.

3 三问变压器

在二问变压器中,我们知道空载时变压器原线圈相当于一个纯电感,且有空载电流 $I = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t$ 我们称之为励磁电流,只不过理想变压器的 L 一般很大,空载电流 I 很小罢了.另外一方面,当变压器副线圈有负载时,原线圈就有了输入功率,且输入功率随负载的增大而增大.若输入电压 U_1 大小一定,那么原线圈回路的输入电流 I 就会增大.问题是为什么有负载时,原线圈回路的电流 I 反而会更大呢?

当变压器副线圈有负载时,如图3所示.

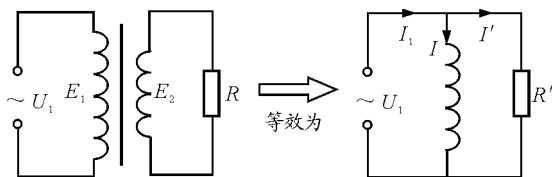


图3

即副线圈有负载电阻 R 时,相当于将这个负载电阻 R 折合为一个等效电阻 R' 并联在原线圈回路上.那么借用纯电阻中串并联电路规律,有

$$I_1 = I + I'$$

所以 $I_1 > I$,但由于空载电流 I 很小,近似有 $I_1 = I'$.利用理想变压器电压转换关系和电流转换关系,还可以求出折合电阻的阻值 R' 与负载电阻 R 的关系 $R' = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R$.