

与电磁感应相关的两易混淆问题研究

张红明

(北京师范大学附属中学 北京 100052)

(收稿日期:2016-09-19)

摘要:电磁感应现象是一种重要的物理现象,法拉第电磁感应定律是用来解决电磁感应现象的重要规律.在运用法拉第电磁感应规律时,有时会产生一些令人困惑的问题.结合自己多年教学的实际,以及和其他物理教师的交流,对电磁感应现象中的关于只改变频率的两个具体问题作了一定的分析与探讨,深入分析了问题产生的原因,透过现象看本质,从物理本质上对这两个问题作了很好的解释.通过本文的研究,相信对同学们的学习和教师们的探讨会有很好的帮助.

关键词:电磁感应 变压器 问题

1 问题的提出

电磁感应现象是一种重要的物理现象,法拉第电磁感应定律是用来解决电磁感应现象的重要规律.在运用法拉第电磁感应规律时,有时会产生一些令人困惑的问题.

问题 1:有关理想变压器的问题,在负载为纯电阻的工作状态下,如果仅改变理想变压器输入电压的频率,问输出端的电压、电流的值如何变化?

分析:由于只改变输入电压的频率,输入电压的值没有变化,根据变压器的变压比,输出电压的值就不会改变,输出电流的值也不会改变.结论是输入电压频率的改变不会引起输出电压和输出电流值的改变.当然输出电压和电流的频率会改变.

问题 2(2012年5月北京市海淀区二模试题):某学生设计了一个验证法拉第电磁感应定律的实验,实验装置如图1所示.在大线圈 I 中放置一个小线圈 II,大线圈 I 与多功能电源连接.多功能电源输入到大线圈 I 的电流 i_1 的周期为 T ,且按图2所示的规律变化,电流 i_1 将在大线圈 I 的内部产生变化的磁场,该磁场磁感应强度 B 与线圈中电流 i 的关系为 $B = ki_1$ (其中 k 为常数).小线圈 II 与电流传感器连接,并可通过计算机处理数据后绘制出小线圈 II 中感应电流 i_2 随时间 t 变化的图像.

若仅将多功能电源输出电流变化的频率适当增大,则4个选项中可能正确反映 $i_2 - t$ 图像变化的是

(图3中分别以实线和虚线表示调整前、后的 $i_2 - t$ 图像)()



图1 验证法拉第电磁感应定律装置

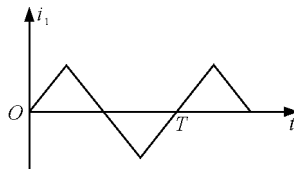


图2 i_1 随 t 的变化规律

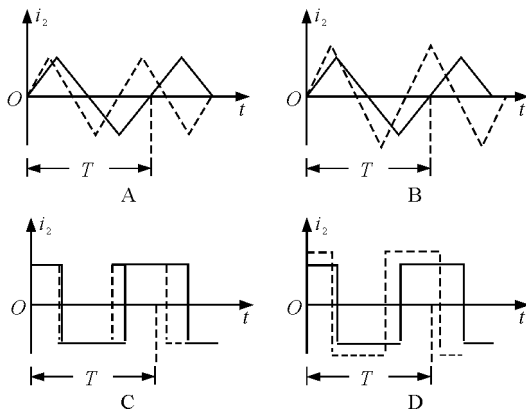


图3 试题的4个选项

分析:由于线圈 I 中的磁场与其中的电流成正比, $B = ki_1$, 所以通过线圈 II 中的磁通量也与线圈 I 中的电流成正比, $i_1 - t$ 图像可以看成是线圈 II 中

的磁通量随时间变化图像.

根据法拉第电磁感应定律,均匀变化的磁场产生恒定的感应电动势(感应电流),且由于 i_1 的频率变大,将使得线圈 II 中感应电流的数值变大而周期减小.故 D 为正确选项.当然本题中线圈 II 中应当连接了一个不变的纯电阻负载,否则电路中只有电动势和电流传感器连接,而电流传感器可视为电阻为零的元件.或者是将题意改成线圈 II 和电压传感器相连,判断电压信号如何变.

通过对上面两个问题的具体分析,令人困惑的地方出现了,同样是改变原线圈的频率,为什么对副线圈的输出产生的影响不一样?

是这两个问题的装置不同造成的吗?仔细分析,这两个装置虽然形式上有所不同,但本质其实是一样的,都是一个线圈中电流的变化在另一个线圈中产生感应电动势和感应电流.

是输入信号的类型不同造成的吗?问题 1 中变压器通常输入的是正弦交流电,问题 2 中给出的线性变化的电流.问题 1 中感应电动势涉及到互感,问题 2 中不涉及互感问题.试想将变压器中的正弦交流电换成线性变化的交流电,根据变压器的工作原理知,变压器的变压比还应当是成立的.对于这一点,可能有不少人不同意.有人会说变压器的工作原理是互感,输入正弦交流电才有互感.这种说法很显然站不住脚,因为变压器在空载的时候同样没有互感,变压比不还是成立吗?根据变压器的工作原理,只要通过原副线圈的磁通量的变化情况相同,变压比就应该是成立.再说根据傅立叶变化,任何一个周期性的函数总可以分解为若干个正弦函数的叠加.根据叠加性原理,变压器的电压比自然对各种形式的交流电都应该是成立的.基于以上分析,可以排除输入信号类型不同这一影响.

2 问题的深入研究

仔细分析问题一,仅改变输入电压的频率,言外之意,输入电压的值保持不变.因为

$$U_1 = -\epsilon_1 \quad \epsilon_1 = -N_1 \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

$$\epsilon_2 = -N_2 \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad U_2 = \epsilon_2$$

所以总有

$$\frac{U_1}{U_2} = -\frac{N_1}{N_2}$$

其中负号为相位关系,在分析电压比时经常去掉负号.在负载为纯电阻的情况下,显然输出电流 I_2 不变.或者通过等效负载

$$R' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 R$$

在输入电压值不变的条件下,只改变频率,输入电流 I_1 保持不变,进而输出电流 I_2 不变.

对变压器问题能不能像处理问题 2 一样,通过法拉第电磁感应定律去算一算感应电动势?答案是肯定的,通过这个计算可以帮助我们找到问题的本质.对变压器的感应电动势的计算,可以考虑空载和负载两种情况,而且这两种情况的感应电动势是一样的,因为都等于电源的电压.两种情况下原线圈中的电流是不一样的,空载时叫励磁电流,即为 I_0 .负载时输入电流为 I_1 ,但由于有 I_2 的互感磁通,导致原线圈在空载和负载时的感应电动势是一样的.为了便于计算,我们就考虑空载时原线圈中感应电动势的计算问题,设原线圈中的输入电压复有效值为 \dot{U}_1 ,把原线圈视为纯电感,原线圈中电流复有效值记为 \dot{I}_0 ,由欧姆定律有

$$\dot{U}_1 = j\omega L \dot{I}_0$$

设

$$\dot{U}_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} e^{j\alpha}$$

则

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_1}{j\omega L} = \frac{U_m}{\sqrt{2}\omega L} e^{j(\alpha - \frac{\pi}{2})}$$

所以输入电流的复瞬时值为

$$i_0 = \frac{U_m}{\omega L} e^{j(\omega t + \alpha - \frac{\pi}{2})}$$

根据法拉第电磁感应定律,变压器中原线圈中的感应电动势就是自感电动势,有

$$e_1 = -L \frac{di_0}{dt} = -j\omega L \frac{U_m}{\omega L} e^{j(\omega t + \alpha - \frac{\pi}{2})} =$$

$$-U_m e^{j(\omega t + \alpha)} = -u_1$$

通过公式清楚地发现频率虽然改变,但感应电动势大小不变总等于输入电压.通过这个计算还发现,输入频率改变,原线圈中的励磁电流大小其实发生了改变,但电流的变化率却保持不变,保证了感应电动

两例看力学中两个定理的使用问题

许文龙

(浙江省瑞安中学 浙江温州 325200)

(收稿日期:2016-11-11)

摘要:通过对两个问题的分析,指导学生正确运用动量定理和动能定理求解“连续体”变质量力学问题,强化对此类问题中使用动量定理和动能定理的认识.

关键词:动量定理 动能定理 变质量

表达式 $I = \Delta p$ 和 $W = \Delta E_k$ 是力学中的两个关键定理,也是解决力学相关问题的两个重要工具,能否熟练运用是学生物应试素养的直接反映.笔者

在教学中指导学生运用这两个定理求解“连续体”变质量力学问题时,发现学生不能正确选择这两个定理,并对运用这两个定理求解同一问题所得到的

势的大小不变.

至此,这两个问题的本质差异已经找到.问题一中变压器的前提是输入电压值保持不变只改变电压变化的频率,根据以上计算可知,此时变压器原线圈的空载电流或励磁电流其实已经改变.在变压器负载时,原线圈中的电流在空载电流的基础上又多出了一个反射电流,即

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2$$

证明如下:

空载时,原线圈电流为 i_0 ,副线圈中电流为零.由磁路定律知空载时的主磁通 $\varphi = \text{磁动势} / \text{磁阻} =$

$\frac{Ni_0}{R_m}$,或 $\dot{\varphi} = \frac{N\dot{I}_0}{R_m}$,负载时,磁动势是原、副线圈中电流贡献的代数和.负载时的主磁通

$$\varphi = \frac{N_1 i_1 + N_2 i_2}{R_m}$$

其复有效值为

$$\dot{\varphi} = \frac{N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2}{R_m}$$

无论是空载还是负载,由于感应电动势总等于输入电压不变,所以主磁通应保持不变,所以有

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2$$

由于空载电流很小,通常情况下

$$\dot{I}_0 \ll \frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2$$

故

$$\dot{I}_1 = -\frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2$$

这时我们可以说,在仅改变输入频率的情况下原、副线圈中的电流值是保持不变的.

问题二中涉及到输入电流值保持不变而仅改变电流变化的频率,根据法拉第电磁感应定律,必然会造成感应电动势和感应电流大小发生变化.

3 结论

这两个问题涉及到的电磁感应的本质是一样的,造成问题的差异是由于题目中的前提条件不同造成的.一个是输入电压值保持不变,一个是输入电流值保持不变,但这一点往往容易被忽视.变压器在理想情况下,从闭合电路欧姆定律来看感应电动势总等于输入电压,同时感应电动势是由线圈中电流磁场的变化产生的,可以通过法拉第电磁感应定律直接计算来证明感应电动势总等于输入电压.

参考文献

- 1 梁灿彬,秦光戎,梁竹健.普通物理教程·电磁学(第三版).北京:高等教育出版社,2012.359~364
- 2 赵凯华,陈熙谋.电磁学(下册).北京:高等教育出版社,1985.741~751