

教学拓展

疑难问题解析

理想变压器都“理想”了什么*

吴爱兄

(北京市陈经纶中学 北京 100020)

王军

(北京市朝阳区教育研究中心 北京 100000)

(收稿日期:2020-12-25)

摘要:分析了理想变压器,除了没有漏磁,忽略原副线圈的电阻,忽略铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗外还要满足原副线圈感抗无穷大。

关键词:理想变压器 漏磁 能量损耗 空载

理想变压器是为了学习变压器的特点而建立的一个理想模型,在这个理想模型中到底都理想了什么呢?

要想解决这个问题,首先我们应该清晰建立理想变压器模型的目的,我们建立理想变压器模型是对实际问题做的简化处理,为了突出变压器的基本原理^[1]. 变压器的基本原理是什么呢? 变压器原副线圈两端的电压与它们的匝数成正比,原副线圈中通过的电流与它们的匝数成反比. 即 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$; $I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2$ (这里我们仅讨论一个副线圈的变压器),那么我们理想了哪些条件,这两个变比关系才成立呢?

1 原副线圈电动势之比等于匝数之比成立的条件

互感现象是变压器工作的基础,如图1所示.

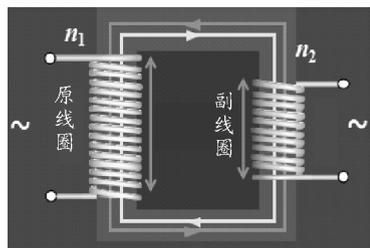


图1 变压器的原理图

当变压器的原线圈加上交变电压时,原线圈中的交变电流在铁芯中激发出交变磁场,进而激发出

交变的磁通量,交变的磁通量穿过原线圈也穿过副线圈. 在原副线圈都产生了感应电动势. 且满足 $\frac{E_1}{E_2} =$

$\frac{n_1}{n_2}$. 依据法拉第电磁感应定律,原线圈的感应电动势

$E_1 = n_1 \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}$, 副线圈的感应电动势 $E_2 = n_2 \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t}$. 那此

时原副线圈的磁通量变化量相等吗? 是不是通过原线圈的磁通量完全都通过了副线圈呢? 显然不是, 当铁芯不闭合时,原线圈产生的磁通量并不完全通过副线圈,这时 $\Delta\Phi_1 \neq \Delta\Phi_2$. 而理想变压器忽略了这种漏磁(通常称为磁损),使得每一匝线圈的磁通量都相等,原副线圈的磁通量变化量相等,磁通量的变化率也相等,由此推导出原副线圈产生的感应电动势之比等于匝数之比^[2,3].

2 原副线圈电动势之比与电压之比是一回事吗

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}, \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

图2是变压器工作时的电路图.

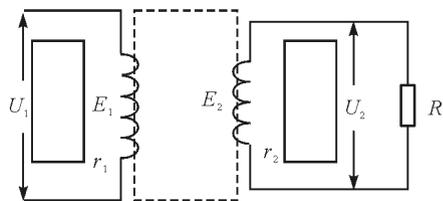


图2 变压器工作电路图

* 北京市物理学会2020-2021年度教育科研立项重点课题“高中生物理阅读能力培养的实践研究”,课题编号:WLXH201007

图中 U_1 指的是变压器原线圈的输入电压, 而 U_2 指的是副线圈的输出电压, 通过图中的电路可以看出 $U_1 \neq E_1, U_2 \neq E_2$.

依据闭合电路欧姆定律, 在原线圈的回路中

$$U_1 - E_1 = I_1 r_1$$

而在副线圈的回路中

$$E_2 = U_2 + I_2 r_2$$

当 r_1 和 r_2 约等于零的时候 $U_1 = E_1, U_2 = E_2$. 理想变压器忽略了原副线圈的电阻(通常称为铜损), 推导出

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

3 原副线圈电流之比与匝数成反比成立的条件

通过前面两点的分析, 可知当忽略了变压器的磁损与铜损时, 其电压与匝数的比值关系才成立, 那

此时电流比值关系 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 成立吗?

电流和匝数成反比是建立在原副线圈功率相等, 且变压器只有一个副线圈时, 由 $U_1 I_1 = U_2 I_2$ 推

导出来的. 而要满足原副线圈的功率相等, 那就需要变压器的原副线圈没有能量损失, 变压器工作时除了有漏磁和电阻生热外还有哪些能量损失呢? 思考这个问题, 我们需要回到变压器的结构上.

如图 3 所示, 变压器除了有原副线圈以外还有一个铁芯, 它是一个导体, 由于电磁感应在大块金属中会形成涡流, 进而会释放出大量的焦耳热, 所以在这里铁芯会有热损失. 实际生活中变压器的铁芯不用整块的软铁, 而是使用厚度为 $0.35 \sim 0.5 \text{ mm}$ 的硅钢片, 硅钢片涂上绝缘漆后叠合而成, 这样使得铁芯的电阻很大, 涡流就会被限制在狭小的范围内, 可以使涡流减小很多, 从而使损失大大降低. 在变压器的铁芯中, 除了涡流损失还有一部分损失叫磁滞损耗, 这是由于铁芯在反复磁化的过程中, 其内部物质微粒因发生内摩擦而造成的损失, 减小磁滞损失的措施是使用磁滞损失较小的材料做成铁芯. 工业中主要使用铁氧体做铁芯, 理想变压器忽略了这一部分损失(通常称为铁损).

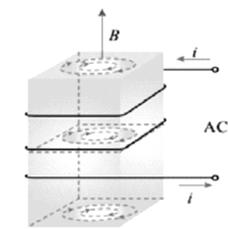


图 2.3-2 导体中产生涡流

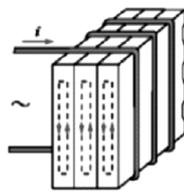


图 1-7-2 片状铁芯

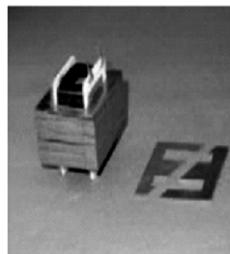


图 2.3-5 用硅钢片做变压器的铁芯

图 3 变压器的内部结构图

当忽略了铜损、铁损、磁损时变压器的电压变比关系成立, 此时电流的变比关系恒成立吗?

下面我们一起来思考这样一个特例, 如图 4 所示变压器原线圈接在交变电源上, 如果副线圈不接负载, 那么通过原线圈的电流是否为零呢?

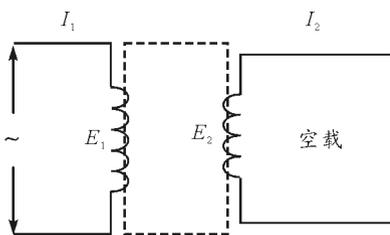


图 4 空载变压器电路图

此时变压器的原线圈相当于一个纯电感 L , 把一个纯电感接入电路, 它的感抗 x_L 满足这样的关系 $x_L = 2\pi f L$, 式中 f 为接入交流电压的频率, 如果其

两端的电压为 U , 则通过它的电流 $I_1 = \frac{U}{x_L}$, 它并不为零, 而此时副线圈由于是空载所以电流 $I_2 = 0$, 这时电流的关系不成立, 通过这个分析, 我们可以知道, 副线圈空载的变压器也不是理想变压器, 而当线圈的感抗趋于无穷大时, 副线圈空载时, 原线圈内的电流可以近似为零.

4 结论

从上述推导过程可以看出, 同时满足下列 4 个条件的变压器, 可以定义为理想变压器:

(1) 没有漏磁, 即通过原、副线圈的每一匝的磁通量都一样;

(2) 原、副线圈没有电阻, 即忽略线圈导线中的焦耳损耗(铜损);

(下转第 98 页)

- 3 欧阳建明,彭刚,何焰兰,等.线上线下混合式大学物理实验教学设计——以示波器使用实验为例[J].大学物理实验,2020(4):38~41
- 4 蒋逢春,吴杰,王海燕,等.大学物理实验及仿真翻转课堂的实践[J].物理通报,2019(3):80~90
- 5 蒋逢春,吴杰,张艳萍,等.“停课不停学”背景下大学物理实验及仿真在线开放课程的实践与拓展[J].物理实验,2020(4):42~46
- 6 蒋逢春,吴杰,石开,等.大学物理实验及仿真在线课程建设的实践[J].物理与工程,2017(S1):150~153

Experimental Teaching Design of Gravity Acceleration Measured by Single Pendulum

Jiang Fengchun Wu Jie Chen Jing

(School of Physics and Electronic Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002)

Zhang Yanping

(Teaching Quality Monitoring Center, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract: Teaching design is based on the teaching objectives, in order to improve the teaching effect for the purpose of optimizing the teaching content, so as to form a teaching program process, is also a key link in a good lesson. Taking the experiment of measuring acceleration of gravity with pendulum as an example, this paper discusses how to carry out teaching design.

Key words: college physics simulation experiment; teaching design; teaching objectives; teaching objectives and ideological and political education

(上接第91页)

(3) 铁芯中没有铁损,即忽略铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗;

(4) 原、副线圈的感抗均趋于无穷大,从而空载电流趋于零(在上面的讨论中,只直接涉及原线圈的电感无穷大.但在许多情况下,两个线圈中任一个作为原线圈都是可以的,所以要求两线圈电感均趋于无穷大).

可见,理想变压器理想了以上因素.

参考文献

- 1 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心.普通高中课程标准实验教科书物理·选修3-2教师教学用书[M].北京:人民教育出版社,2017
- 2 赵凯华.张维善.新概念高中物理读本第二册从三维课程目标到物理核心素养[M].北京:人民教育出版社,2008
- 3 赵凯华.电磁学[M].北京:高等教育出版社,2002

What Does Ideal Transformer Idealize

Wu Aixiong

(Beijing Chenjinglun Middle School, Beijing 100020)

Wang Jun

(Education Research Center, Chaoyang District of Beijing, Beijing 100000)

Abstract: This paper analyzes the ideal transformer, in addition to no magnetic leakage, ignoring the primary and secondary coils, ignoring the hysteresis loss and eddy current loss in the electric core, but also to meet the inductive reactance of the primary and secondary coils infinite.

Key words: ideal transformer; magnetic flux leakage; energy loss; no load