# 第三章 3 变压器

## 问题？

生产生活中有各种变压器，有的把低压升为高压，有的把高压降为低压。变压器是如何改变电压的呢？



## 变压器的原理

变压器（transformer）是由闭合铁芯和绕在铁芯上的两个线圈组成的（图3.3–1）。一个线圈与交流电源连接，叫作原线圈（primary coil），也叫初级线圈；另一个线圈与负载连接，叫作副线圈（secondary coil），也叫次级线圈。

AC

AC

*U*1

*U*2

*n*1

*n*2

铁芯

原线圈

图 3.3–1 变压器的示意图

副线圈

互感现象是变压器工作的基础。电流通过原线圈时在铁芯中激发磁场，由于电流的大小、方向在不断变化，铁芯中的磁场也在不断变化。变化的磁场在副线圈中产生感应电动势，所以尽管两个线圈之间没有导线相连，副线圈也能够输出电流。

在输入的交流电压一定时，原线圈、副线圈取不同的匝数，副线圈输出的电压也不一样，变压器由此得名。变压器原、副线圈两端的电压与线圈匝数之间有什么关系呢？

### 实验

**探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系**

实验思路

根据电磁感应定律，通过分析，你认为线圈两端的电压与线圈的匝数可能有什么关系？请你设计一个方案来验证你的猜想。

实验中要注意控制变量，例如，原线圈输入的电压是一定的，那么副线圈上的电压与线圈匝数之间存在什么样的关系呢？

可以利用教学用的可拆变压器进行探究。可拆变压器能方便地从不同接线柱上选取不同匝数的线圈（图 3.3–2）。

甲 可拆变压器零部件

乙 组装后的变压器



变压器铁芯

线圈

线圈

变压器铁芯

图3.3–2 教学用可拆变压器

保持原线圈输入的电压一定，改变原、副线圈的匝数，测量副线圈上的电压，试着找出它们之间的关系。

物理量的测量

这个实验主要测量和记录的物理量有哪些？怎样设计记录数据的表格？

1．先写出操作步骤，画出电路图。建议先保持原线圈的匝数不变，改变副线圈的匝数，研究其对副线圈电压的影响。然后再保持副线圈的匝数不变，研究原线圈的匝数对副线圈电压的影响。

电路图上要标出两个线圈的匝数、原线圈欲加电压的数值。要事先推测副线圈两端电压的可能数值。操作前要画好记录数据的表格。

2．连接电路后要由同组的几位同学分别独立检查，并经过确认。只有这时才能接通电源。

3．为了保证人身安全，只能使用低压交流电源，所用电压不要超过 12 V；即使这样，通电时也不要用手接触裸露的导线、接线柱。

4．为了保证多用电表的安全，使用交流电压挡测电压时，先用最大量程挡试测，大致确定被测电压后再选用适当的挡位进行测量。

数据分析

1．用表格的形式把原、副线圈的匝数与电压进行比较，寻找它们之间的关系。

2．得出探究的结果后，要力求用准确而精练的语言把它表述出来。如果可能，最好用数学关系式来表述。

从上面实验中我们发现，如果变压器原、副线圈的匝数之比不同，原、副线圈上的电压之比也不一样。那么，原、副线圈上的电压之比是否等于它们的匝数之比呢？数据没有严格遵从这样的规律。为什么呢？

你能推导出理想变压器原、副线圈中电流大小与它们的线圈匝数之间的关系吗？

其实，变压器线圈通过电流时会发热；铁芯在交变磁场的作用下也会发热；此外，交变电流产生的磁场也不可能完全局限在铁芯内。所有这些，使得变压器工作时有能量损失。但有些变压器的能量损失很小，可以忽略。我们把没有能量损失的变压器叫作理想变压器。理想变压器也是一个理想化模型。

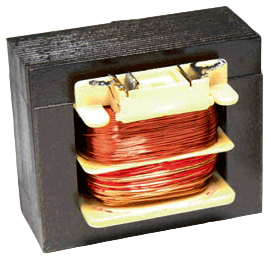
## 电压与匝数的关系

实验和理论分析都表明，理想变压器原、副线圈的电压之比，等于原、副线圈的匝数之比，即

=

变压器的输出功率与输入功率之比，叫作变压器的效率。实际上变压器的效率都是比较高的，特别是电力设备中的巨大变压器，在满负荷工作时效率可以超过95%。所以，在精度要求不太高的情况下可应用上式来计算。

如果副线圈的电压比原线圈的电压低，这样的变压器叫作降压变压器，反之则叫升压变压器。实际应用中需要改变交流电压的情况是很多的。大型发电机发出的交流电压为几万伏，而远距离输电却需要几十万伏以上的电压。各种用电设备所需的电压也不相同。电灯、电饭锅、洗衣机等家用电器需要 220 V 的电压，机床上的照明灯需要 36 V 或 24 V 的安全电压。手机的锂电池电压一般为 3.7 V，而老式电视机显像管却需要 10 kV 以上的高电压。由于有了变压器，交流的电压容易改变，所以交流得到了广泛的应用。



甲 变电站中的大型变压器

乙 小家电中的变压器

图 3.3–3 变压器

### 思考与讨论

我们知道导线可以输送电能，变压器上的原、副线圈之间并没有导线直接连接，却将电能从原线圈的电路输送到副线圈的电路。在变压器中能量是如何转化的？

变压器能输送电能是利用了电磁感应。在原线圈上由变化的电流激发了一个变化的磁场，即电场的能量转变成磁场的能量；通过铁芯使这个变化的磁场几乎全部穿过了副线圈，于是在副线圈上产生了感应电流，磁场的能量转化成了电场的能量。

## 科学漫步

**无线充电技术**

我们知道，变压器能通过电磁感应输送电能。当原线圈中由变化的电流激发了一个变化的磁场，电场的能量就转变成磁场的能量；当这个变化的磁场在副线圈上产生感应电流，磁场的能量就转化成了电场的能量，这样电能就从原线圈不必经过导线直接连接就转移到了副线圈。

无线充电是近年发展起来的新技术，其中一种就是基于这样的道理而产生的，只不过变压器磁场的回路是铁芯，而无线充电装置磁场的回路是空气。无线充电技术通过分别安装在充电基座和接收能量的装置上的线圈，利用产生的磁场传递能量。如果移动电话中有无线充电装置，那么把移动电话直接放在充电基座上就可以充电（图3.3–4）。对于一个没有无线充电功能的移动电话，也可以通过在移动电话端连接一个无线充电接收器，将接收器放在无线充电基座上来进行充电。打开无线充电接收器，就可以看到其内部有一个接收线圈（图3.3–5）。



图3.3–4 对移动电话进行无线充电



图 3.3–5 无线充电接收器中的线圈

目前已经有移动电话、数字照相机、电动牙刷等电子产品采用无线充电技术。随着新能源汽车的快速发展，无线充电技术在电动汽车中也将会有广泛的应用。

相比有线输电技术，无线充电器与用电装置之间不用电线连接，因而具有使用方便、减少触电危险、不易老化磨损等优点。但目前无线充电技术也存在着传输距离短、成本高、能量损耗大等不足。因此，无线充电技术还需不断地改进、发展。

## 练习与应用

本节共设置 5 道习题。其中第 1、4 题分别考查了理想变压器的工作原理和实际变压器的热损，进一步加深了学生对理想变压器的认识。第 2、3 题考查的是变压器电压与匝数的关系。第 5 题是把实际生活中的变压器供电问题抽象成一个理想变压器，把理想变压器的特点与闭合电路欧姆定律有机地结合起来，帮助学生学会分析实际问题的思路与方法。

1．变压器为什么不能改变恒定电流的电压？

**参考答案**：恒定电流的电压加在变压器的原线圈上时，通过原线圈的电流是恒定电流，即电流的大小和方向都不变，它产生的磁场通过副线圈的磁通量不变。因此，在副线圈中不会产生感应电动势，副线圈两端也就没有电压，所以变压器不能改变恒定电流的电压。

2．有些机床（图3.3–6）为了安全，照明电灯用的电压是 36 V，这个电压是把 380 V 的电压降压后得到的。如果变压器的原线圈是 1 440 匝，副线圈是多少匝？在某次实际工作时输入电压只有 220 V，则输出电压是多少？

图 3.3–6



**参考答案**：136 匝，20.8 V

3．当变压器的一个线圈的匝数已知时，可以用下面的方法测量其他线圈的匝数：把被测线圈作为原线圈，用匝数已知的线圈作为副线圈，通入交变电流，测出两线圈的电压，就可以求出被测线圈的匝数。已知副线圈有 400 匝，把原线圈接到 220 V 的交流电路中，测得副线圈的电压是55 V，求原线圈的匝数。

**参考答案**：1600

4．变压器线圈中的电流越大，所用的导线应当越粗。街头见到的变压器是降压变压器，假设它只有一个原线圈和一个副线圈，哪个线圈应该使用较粗的导线？为什么？

**参考答案**：降压变压器的副线圈应当用较粗的导线。根据能量守恒定律，理想变压器的输出功率等于输入功率，即 *I*1*U*1 = *I*2*U*2，降压变压器的 *U*2 < *U*1。因而，它的 *I*2 > *I*1，即副线圈的电流大原线圈的电流。所以，相比之下，为了减少热损，副线圈应用较粗的导线。

5．图 3.3–7 是街头变压器通过降压给用户供电的示意图。变压器的输入电压是市区电网的电压，负载变化时输入电压不会有大的波动。输出电压通过输电线输送给用户，两条输电线的总电阻用 *R*0 表示，变阻器 *R* 代表用户用电器的总电阻，当用电器增加时，相当于 *R* 的值减小（滑动片向下移）。如果变压器上的能量损失可以忽略，当用户的用电器增加时，图中各表的读数如何变化？

图 3.3–7

A1

V1

V3

V2

A2

*R*0

*R*

AC

**参考答案**：将该街头变压器视为理想变压器，通常原线圈输入的电压 *U*1 恒定，V1 示数不变：由于匝数比不变，所以副线圈输出电压 *U*2 不变、V2 示数不变；当用户的用电器增加时，相当于 *R* 减小，所以 A2 示数增大：因为 *U*2、*R*0 不变，*I*2 增大，所以 *R*0 上的电压增大，导致 V2 示数减小；理想变压器输入功率等于输出功率，有 *U*1*I*1 = *U*2*I*2，由于 *U*1、*U*2 的值不变，*I*2 增大，所以 *I*1 增大，A1 示数增大。

# 第 3 节 变压器 教学建议

## 1．教学目标

（1）知道变压器的工作原理和理想变压器原、副线圈电压与匝数的关系，会推导理想变压器原、副线圈电流与匝数的关系，会用能量的观点理解变压器的工作原理。

（2）知道理想变压器是忽略了能量损失的一种理想模型，进一步体会建立理想模型这种思维方法。

（3）经历探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系的过程，提高科学探究的能力。

（4）在实验中要养成避免触电和安全使用电表的习惯，养成尊重实验数据的严谨科学态度。

## 2．教材分析与教学建议

变压器是继交变电流之后，电磁感应在生产生活中的又一重要的实际应用。变压器的工作原理和理想变压器的变压规律是本节的重点和难点。对于变压器的工作原理，教学中可以在互感现象的基础上，给学生解释为什么原、副线圈之间没有导线的连接，副线圈中还可以输出电流。对于变压器的变压规律，课程标准提出了“通过实验．探究并了解变压器原、副线圈电压与匝数的关系”的要求，教材也相应编写了“实验”栏目，通过探究实验得出结论。教学中要指导学生结合实验探究，再经过理论推导得出原、副线圈电压、电流与匝数的关系，并能从能量的传递与转化的角度进一步强化对变压器的认识。这样有利于重点的突出和难点的突破，使学生再次体会交变电流与恒定电流的区别，以及交变电流的优点。同时，体会实验、理想化模型等方法的应用，拓展学生思维。

变压器是一种交变电路中常见的电气设备，是远距离输送交变电流不可缺少的设备。生活中各种用电设备所需的电压各不相同，都要由变压器改变电压，以适应不同的需要，教学中可以根据实际情况采用不同的形式进行介绍，例如挂图、照片、视频资料、实物或实地参观等，以开阔学生眼界。特别是要注意引导学生了解变压器在现代实际生活中的应用，再次感受交变电流与生产生活联系的广泛性，体会基础科学的重大发现在-工业革命和社会发展中的作用。

### （1）问题引入

教材从”问题”栏目直入主题，提出”变压器是如何改变电压的呢？”引发学生对变压器结构的思考，应用电磁感应的相关知识分析变压器的原理，明确变压器就是改变电压的设备，生活中需要用到变压器的用电器非常广泛。此时，在课堂上可以由教师提供各种变压器，也可以由学生在课前收集整理各类变压器（升压变压器、降压变压器、自耦变压器、电压互感器、电流互感器等），并让学生从各类变压器的整理中归纳变压器的结构特点，回答以下问题：“变压器由哪些部件组成？两个线圈分别叫什么？怎样区分原线圈和副线圈？变压器的示意图怎么画？在电路中的符号是怎样的？”从而激发学生的学习兴趣，同时为下一步分析变压器的原理做好准备。

### （2）变压器的原理

在讲解变压器的原理时，要引导学生应用电磁感应的相关知识进行分析。例如，原线圈上加交变电压，就会产生交变电流，铁芯中的磁通量就会变化，副线圈中就会产生感应电动势，副线圈就可以给外界负载供电。

通过对变压器实物的拆解，帮助学生理解各部件的作用及变压器的工作原理，以及会画变压器的示意图和它在电路图中的符号。

互感现象是变压器工作的基础。只有在学习了电磁感应的基础上，才能更好地通过互感现象理解变压器的工作原理。因为原线圈和副线圈有共同的铁芯，穿过它们的磁通量和磁通量的变化时刻都相同，所以其中的感应电动势之比只与匝数有关。这样，原、副线圈的匝数不同，就可以改变电压了。

### （3）实验：探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系

教材通过“实验”栏目，让学生在探究变压器线圈两端的电压与匝数的关系的过程中，感悟科学探究的方法，激发学习兴趣。要引导学生在探究过程中对实验现象进行仔细观察、分类与归纳，概括实验结果的本质特征，提升分析与总结实验结果的能力。教学中应结合法拉第电磁感应定律解释、推导、理解新问题，强化对变压器工作原理的理解，同时也培养学生的实验能力和理论分析能力。

①实验思路

引导学生根据变压器的工作原理，通过分析，猜测原、副线圈的电压会与什么因素有关。学生由法拉第电磁感应定律可知，感应电动势与线圈匝数有关，由此设计科学探究的实验方案。

②物理量的测量

组织学生进行分组实验：保持原线圈电压和匝数不变，改变副线圈匝数，研究副线圈匝数对副线圈电压的影响；保持原线圈电压和副线圈匝数不变，改变原线圈匝数，研究原线圈匝数对副线圈电压的影响。在实验过程中注意引导学生正确操作实验器材，获得可靠的实验数据。

③分析数据、归纳结论

引导学生通过分析数据、发现规律，进而归纳形成具有普遍意义的结论。认识到原线圈电压和匝数不变时，副线圈匝数越多，电压越高；原线圈电压和副线圈匝数不变时，原线圈匝数越少，副线圈电压越高。

### （4）理想变压器

在前面的实验中要注意引导学生分析实验中存在的误差，判断误差的来源。进而从能量的观点体会变压器的工作过程，以能量的转化和传输为核心，通过分析变压器在实际工作中有哪些能量损失，建立能量守恒观念下的理想变压器模型。

有的学生会认为原、副线圈之间并未直接用导线连接，而是靠线圈中的磁通量的变化传输能量，因此，能量在传输过程中不会有损失。对于这种认识，教师应该在学生进行分析与讨论后指出：会有一小部分磁通量漏失在铁芯之外，磁通量的变化会在铁芯中产生涡流，要损失一定的能量使铁芯发热，在导线上也会有热损耗，所以，能量在传输过程中仍会有损失。

教学中，还要使学生明确，理想化是科学研究中一种常用的重要方法，在前面的学习中，学生通过这种方法得到了许多重要的物理模型（如质点、匀变速直线运动等）。变压器原线圈中的电流产生的磁通量，绝大部分通过铁芯，只有一小部分漏失到铁芯之外，在通常的计算中可以忽略漏掉的磁通量，认为穿过这两个线圈的磁通量是相等的。这些内容对初学者来说是有难度的。可以通过下述的教学片段突破这个教学难点。

**教学片段**

**体会闭合铁芯的功能**

演示：将无铁芯的线圈 1、2 并排摆放，线圈 1 接交流电源，线圈 2 接交流电压表，接通电源（图 3–4），学生观测到电压表的示数很小，几乎发现不了变化。这说明了什么？

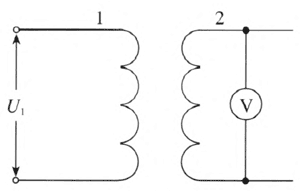
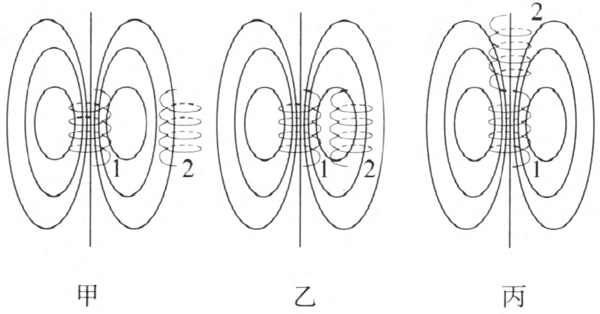
 

图 3–4 图 3–5

分析：说明线圈 2 中产生的感应电动势很小，根据法拉第电磁感应定律可知，线圈 2 中的磁通量变化率很小。那么，在不改变电源电压、频率、线圈匝数的情况下，采用哪些方法可以使线圈 2 中产生的感应电动势增大？

方法一：将线圈 2 向线圈 1 靠拢，或将线圈 2 叠在线圈 1 的正上方（图 3–5）。接通电源时，电压表的示数增加。

感悟：上述做法可以使穿过线圈 2 的磁通量增加，从而也就增加了线圈 2 中磁通量的变化率，所以线圈中产生的感应电动势也就增大。

方法二：两线圈间距不变，把线圈 1、2 套在铁芯上，不闭合铁芯，接通电源时，电压表的示数增加。把铁芯闭合，电压表的示数增加得更大。

感悟：线圈中加入铁芯，线圈产生磁场的磁感应强度被加强，穿过线圈的磁通量也被加强。当铁芯闭合时，磁感线绝大部分沿铁芯闭合，线圈 2 中磁通量的变化率增加，产生的感应电动势也就显著增大。

### （5）电压与匝数的关系

采用控制变量的方法，学生通过实验探究，得出变压器原、副线圈的电压与匝数的关系。教学中建议教师根据能量守恒定律，通过原、副线圈磁通量变化相同以及电压与匝数的关系，推导原、副线圈的功率、电流和匝数的关系，帮助学生理解变压器不能改变交变电流频率的原因。

在此基础上，逐可以进一步推导功率、电压、电流之间的各种制约关系，提高学生分析、概括、推理的能力。还可以通过所学知识分析自耦变压器、电压互感器、电流互感器的工作原理、装置特点、接入电路特点及其作用，让学生体会物理知识从生活到理论、再从理论回馈社会的过程。

### （6）科学漫步无线充电技术

教材加强了对知识实际应用的介绍，不仅在正文中增加了交变电流的应用性内容，还特别结合了现代技术的发展，在“科学漫步”栏目中介绍了无线充电技术。当前无线充电技术发展很快，越来越普及，而其原理对学生来说并不难理解，教学中可以让学生自主学习。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共设置 5 道习题。其中第 1、4 题分别考查了理想变压器的工作原理和实际变压器的热损，进一步加深了学生对理想变压器的认识。第 2、3 题考查的是变压器电压与匝数的关系。第 5 题是把实际生活中的变压器供电问题抽象成一个理想变压器，把理想变压器的特点与闭合电路欧姆定律有机地结合起来，帮助学生学会分析实际问题的思路与方法。

1．恒定电流的电压加在变压器的原线圈上时，通过原线圈的电流是恒定电流，即电流的大小和方向都不变，它产生的磁场通过副线圈的磁通量不变。因此，在副线圈中不会产生感应电动势，副线圈两端也就没有电压，所以变压器不能改变恒定电流的电压。

2．136 匝，20.8 V

提示：根据题目条件可知，*U*1 = 380 V、*U*2 = 36 V、*n*1 = 1 440。由于 = ，可求得 *n*2 = 136。若输入电压为 220 V，则代入数据可得输出电压为 20.8 V。

3．1 600

提示：根据题目可知，*n*2 = 400，*U*1 = 220 V，*U*2 = 55 V，则 *n*1 = *n*2，代入数据得 *n*1 = 1 600。

4．降压变压器的副线圈应当用较粗的导线。根据能量守恒定律，理想变压器的输出功率等于输入功率，即 *I*1*U*1 = *I*2*U*2，降压变压器的 *U*2 < *U*1。因而，它的 *I*2 > *I*1，即副线圈的电流大于原线圈的电流。所以，相比之下，为了减少热损，副线圈应用较粗的导线。

5．将该街头变压器视为理想变压器，通常原线圈输入的电压 *U*1 恒定，V1 示数不变；由于匝数比不变，所以副线圈输出电压 *U*2 不变，V2 示数不变；当用户的用电器增加时，相当于 *R* 减小，所以 A2 示数增大；因为 *U*2、*R*2 不变，*I*2 增大，所以 *R*0 上的电压增大，导致 V3 示数减小；理想变压器输入功率等于输出功率，有 *U*1*I*1 = *U*2*I*2，由于 *U*1、*U*2 的值不变，*I*2 增大，所以 *I*1 增大，A1 示数增大。