# 第 3 章 交变电流与远距离输电 第 3 节 科学探究：变压器

发电厂发出的电一般需要先把电压升到高压，传输到用电地区后，再降到一定电压供用户使用。怎样才能实现电压的升高与降低呢？本节我们将了解能实现这种要求的设备——变压器。

## 1．变压器的工作原理

变压器（图 3-12）是一种升高或降低交变电流电压的装置。变压器的种类虽然很多，但内部结构基本相似，主要由闭合的铁芯和绕在铁芯上的两个或两个以上的线圈组成（图 3-13）。铁芯由涂有绝缘漆的硅钢片叠合而成，线圈一般用高强度的漆包线绕制，也称绕组。



图 3-13 一种变压器的内部结构



图 3-12 变压器

两绕组变压器的符号如图 3-14 所示。通常把与电源相连的线圈称为原线圈或初级线圈（primary coil），与负载相连的线圈称为副线圈或次级线圈（secondary coil）。原、副线圈的匝数分别用符号 *n*1 和 *n*2 表示。原线圈两端的电压又称为输入电压（input voltage），用符号 *U*1 表示；副线圈两端的电压又称为输出电压（output voltage），用符号 *U*2 表示。

图 3-14 变压器符号

图 3-15 为变压器工作原理示意图。当原线圈两端加上交变电压 *U*1 时，原线圈中就有交变电流 *I*1 通过，并在铁芯中产生交变的磁场，铁芯中的磁通量就发生变化。由于副线圈也绕在同一铁芯上，铁芯中磁通量的变化便会在副线圈上产生感应电动势。如果在副线圈两端连接负载构成闭合回路，副线圈中就会产生交变的感应电流 *I*2。虽然变压器原、副线圈的导线互不相连，却可通过变化的磁场传送电能。对于负载而言，副线圈上的感应电动势相当于电源电动势。如果副线圈的电阻很小，可近似认为这个电动势就等于副线圈两端的电压。



图 3-15 变压器的工作原理示意图

铁芯

磁感线

*U*2

*U*1

原线圈

副线圈

~

~

虽然原、副线圈中电流产生的磁场绝大部分通过铁芯，但也有一些会“漏”到铁芯以外。绕在铁芯上的线圈有电阻，也要消耗能量。此外，变压器的铁芯也会因涡流而消耗能量。如果这些损失可忽略不计，这种变压器就称为理想变压器。在理想变压器中，通过每匝原、副线圈的磁通量变化相同，因此在原、副线圈上，每匝产生的感应电动势相等。

### 拓展一步

**互感现象**

在两绕组变压器中，原线圈中电流的变化会在副线圈中产生感应电动势。这种由一个线圈电流的变化导致相邻线圈的磁通量发生变化，而在该相邻线圈中产生感应电动势的现象，称为互感现象，对应的感应电动势称为互感电动势。利用互感现象可将能量由一个线圈传递到另一个线圈。

互感现象在电工、电子测量技术中应用较多。变压器就是利用互感现象制成的，用电压互感器把高电压变成低电压再连接到交流电压表，就可测量高电压（图 3-16）；用电流互感器把大电流变成较小电流再连接到交流电流表，就可测量大电流（ 图 3-17）。你能用所学的知识解释这两个原理图吗？若现在还不能，没有关系，你可带着这些问题学习下面的内容。

图 3-16 电压互感器原理示意图

V

*n*1

*n*2

A

*n*1

*n*2

图 3-17 电流互感器原理示意图

## 2．探究变压器电压与线圈匝数的关系

利用变压器可升高电压，也可降低电压。其实，影响变压器输出电压的因素很多，那么如何通过调节线圈匝数来改变输出电压？变压器电压与线圈匝数有着怎样的定量关系？我们通过实验进行探究。

实验目的

研究变压器电压与线圈匝数间的定量关系。

实验器材

可拆变压器（图 3-18）、低压交流电源、交流电压表、带夹的导线。

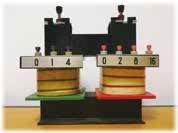


图 3-18 可拆变压器

实验原理与设计

当交流电压接入原线圈时，它所产生的变化的磁场就会在副线圈中产生感应电动势。请根据实验目的和实验器材，设计实验方案。

实验步骤

图 3-19 是某同学设计的实验电路图。请根据这个电路图，设计实验步骤。

*A*

*B*

低压交流电源

400匝

200匝

800匝

1 600匝

0

0

V1

V2

图 3-19 实验电路图

数据分析

请将实验数据填入你设计的表格中，并根据数据分析比值 和 之间的关系。

实验结论

请写出实验结论。

讨论

在上述实验中，慢慢抽出变压器的铁芯，原线圈和副线圈的电压测量结果如何？为什么？

**安全警示**

只能使用低压交流电源，所用电压不超过 12 V。检查电路连接正确后再接通电路。接通后不能用手接触裸露的导线、 接线柱，以避免触电。

测电压时，先用最大量程挡试测，避免损坏交流电压表。

### 素养提升

能分析物理现象，能提出并准确表述可探究的物理问题，能作出有依据的假设；能根据实验目的和实验器材设计实验方案，能根据电路图设计实验步骤，用相关实验器材获得数据，能主动注意安全；能分析数据，形成与实验目的相关的结论，作出解释；能撰写规范的实验报告，在报告中能呈现设计的实验方案、实验步骤、实验表格，以及数据分析过程和实验结论，能根据实验中的问题提出改进措施。

注意提升实验操作能力、分析论证能力，有主动注意安全的行为。

——科学探究

## 3．理想变压器的电压与匝数的关系

由实验可知，变压器原、副线圈电压之比近似等于其匝数之比。

大量研究表明，理想变压器原、副线圈的电压之比等于两个线圈的匝数之比

=

当 *n*2 > *n*1 时，*U*2 > *U*1，这种变压器称为升压变压器；当 *n*2 < *n*1 时，*U*2 < *U*1，这种变压器称为降压变压器。

### 物理聊吧

自耦变压器是只有 1 个绕组的变压器，它的低压线圈是高压线圈的一部分。请观察图 3-20 中的两种自耦变压器，哪种起升压作用，哪种起降压作用？为什么？与同学交流你的看法。

*U*2

*U*1

*n*1

*n*2

*U*1

*n*1

*n*2

*U*2

（a）

（b）

图 3-20 自耦变压器原理示意图

### 例题

如图 3-21 所示，某理想变压器原、副线圈的匝数比为 2∶1，副线圈上接一只“220 V 40 W”的灯泡。原线圈所接电源电压随时间的变化规律如图 3-22 所示。若灯泡的灯丝电阻保持不变，灯泡的实际功率是多少？

~

*U*1

*n*1

*n*2

图 3-21 某理想变压器示意图

*u*/V

*t*/×10−2 s

220

1

2

3

−220

*O*

图3-22 原线圈所接电源电压的变化曲线

分析

通过输入电压的有效值及变压器的匝数比可求出灯泡两端所加实际电压的有效值 *U*，由灯泡的额定电压和额定功率可求得其电阻 *R*，进而可求出灯泡实际消耗的功率 *P* = 。

解

根据电源电压的变化规律，可知原线圈上电压的有效值 *U*1 = 220 V。

根据变压器电压与线圈匝数的关系，可知副线圈上的电压有效值

*U*2 = *U*1 = 110 V

已知 *U*额 = 220 V *P*额 = 40 W

灯泡的电阻 *R* = = 1 210 Ω

所以，灯泡的实际功率 *P*实 = = 10 W

讨论

变压器原、副线圈的匝数比为 2∶1，是降压变压器。电源电压的有效值为 220 V，经变压器降压后，加在灯泡两端的电压低于灯泡额定电压 220 V，灯泡的实际功率小于额定功率，计算结果是合理的。

### 策略提炼

变压器在电路中有改变交流电压、电流及传输电能的作用。因此，在涉及理想变压器的问题中，可运用原、副线圈的电压与匝数关系以及功率关系求解。

### 迁移

在图 3-23 所示的电路中，P 为滑动变阻器的滑片，保持理想变压器的输入电压 *U*1 不变，闭合开关 S，下列说法正确的是

图3-23 电路图

L

*R*0

P

*U*1

*U*2

S

A．P 向下滑动时，灯泡 L 变亮

B．P 向下滑动时，变压器的输出电压 *U*2 不变

C．P 向上滑动时，变压器的输入功率变小

D．P 向上滑动时，变压器的输入功率变大

**【参考解答】**BD

### 拓展一步

**理想变压器电流与匝数的关系**

对于理想变压器，输入功率等于输出功率，即 *U*1 *I*1 = *U*2 *I*2，由 = 可得

=

可见，在变压器工作时，通过原、副线圈的电流与两线圈的匝数成反比。

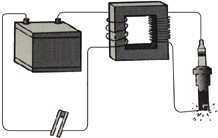
变压器的高压线圈匝数多而通过的电流小，可用较细的导线绕制；低压线圈匝数少而通过的电流大，一般用较粗的导线绕制。

### 科学书屋

**火花塞如何点火**

汽车内燃机利用火花塞产生的电火花来点燃气缸中的燃料空气混合物。要使火花塞产生电火花，两电极间必须要有几千伏的高压，而某种汽车蓄电池的电压只有12 V，这就要用到变压装置。

火花塞点火原理如图 3-24 所示。当开关由闭合变为断开的瞬间，图中含电池的回路中电流急剧减小，变压器铁芯中磁通量急剧变化，因副线圈的匝数大大超过原线圈，副线圈就会感应产生几千伏甚至上万伏的高压，火花塞立即产生电火花。



12 V

蓄电池

开关

火花塞

变压器

图 3-24 火花塞点火原理示意图

## 节练习

1．请撰写“探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系”的实验报告。注意在报告中呈现设计的实验方案、实验步骤、实验表格，以及数据分析过程和实验结论，并针对实验中的问题提出改进措施。

**【参考解答】**略

2．某同学在探究变压器电压与匝数关系时，发现缺少电源，于是就用一个蓄电池代替。他能在实验中观察到什么现象？为什么？

**【参考解答】**根据变压器的工作原理，首先是在原线圈上加上交变电压，才会有交变电流，然后交变电流在铁芯中产生交变的磁通量，磁通量既穿过原线圈，又穿过副线圈，最后变化的磁通量在副线圈中产生感应电动势，副线圈与负载形成闭合回路时，形成交变电流。但是蓄电池是直流电源，所以副线圈中不会产生感应电动势，其所在的回路也不会形成交变电流。

3．一理想变压器原、副线圈匝数比 *n*1∶*n*2 = 11∶5，原线圈与正弦交流电源连接，其输入电压 *u* 如图所示。若副线圈仅接入一个 10 Ω 的电阻，则

*u*/V

*t*/×10−2 s

220

1

2

3

−220

*O*

A．流过电阻的电流是 20 A

B．与电阻并联的电压表的示数是 100V

C．经过 1 min，电阻产生的热量是 6×103 J

D．变压器的输入功率是 1×103 W

**【参考解答】**D

4．某机床上用的照明灯电压为 36 V。如果要用 380 V 的电压降压得到，机床上变压器的原线圈是 1 440 匝，那么副线圈应该是多少匝？

**【参考解答】**136 匝

5．调压变压器是一种自耦变压器，它的构造如图所示。线圈 AB 绕在一个圆环形的铁芯上，AB 间加上正弦交流电压 *u*，移动滑动触头 P，就可调节输出电压。在输出端连接了滑动变阻器 *R* 和理想交流电流表，变阻器的滑动触头为 Q。

A

*u*

A

B

P

*R*

Q

（1）保持 P 的位置不动，将 Q 向下移动时，电流表的读数如何变化？为什么？

（2）保持 Q 的位置不动，将 P 沿逆时针方向移动时，电流表的读数如何变化？为什么？

**【参考解答】**（1）电流表的读数变小。保持 P 的位置不动，即保持变压器的原、副线圈的匝数比不变，即滑动变阻器 *R* 两端的电压不变。当将 Q 向下移动时，连入电路的电阻阻值变大，所以电流表读数变小。

（2）电流表读数变大，保持 Q 的位置不动，即保持滑动变阻器 *R* 连入电路的阻值不变，将 P 沿逆时针方向移动时，变阻器的原线圈的匝数不变，副线圈的匝数增多，滑动变阻器 *R* 两端的电压将增大，所以电流表的读数变大。

6．将一只输入电压为 220 V、输出电压为 30 V 的变压器，改绕成输入电压为 220 V、输出电压为 5 V 的变压器。拆下变压器时得知副线圈的匝数是 180 匝，若保持原线圈匝数不变，则改绕时副线圈应绕多少匝？

**【参考解答】**30 匝