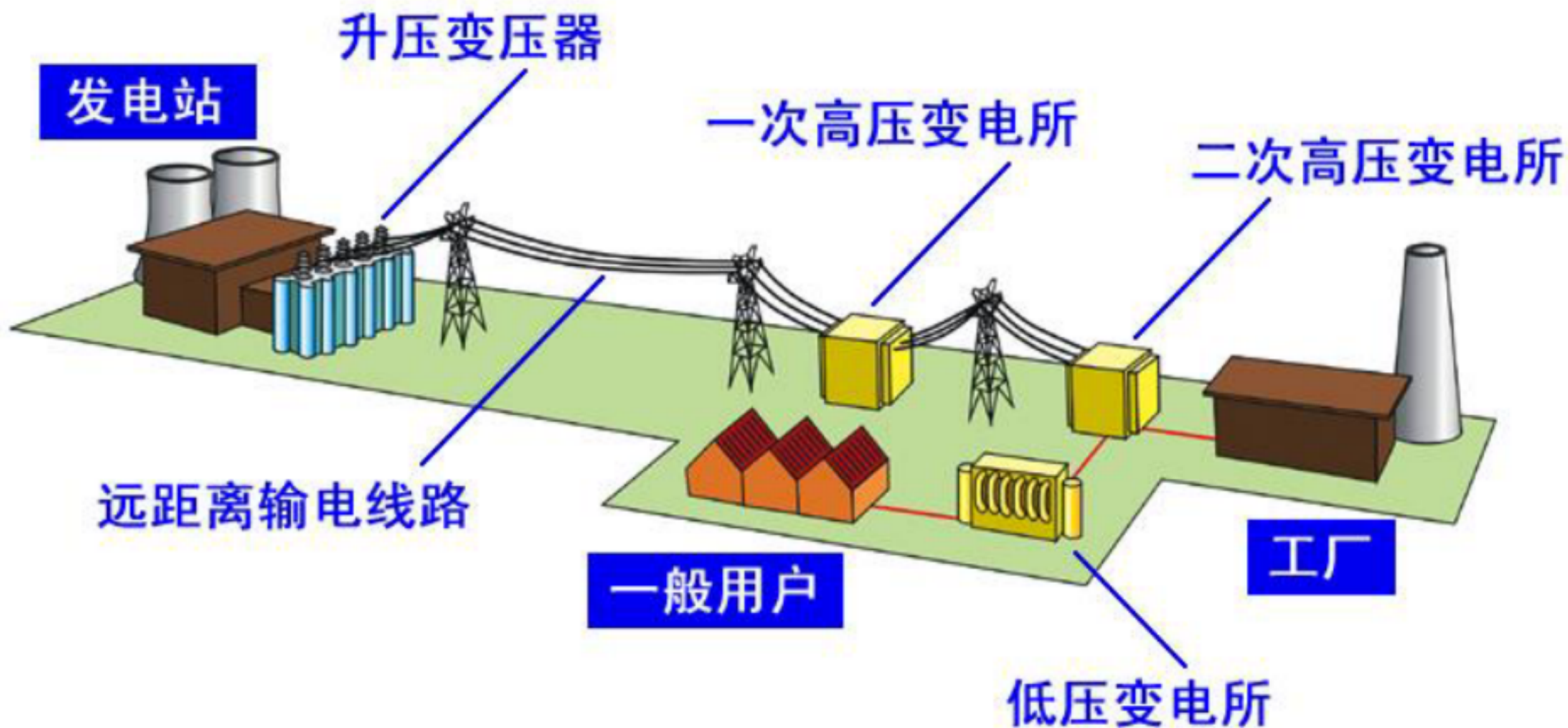


6、变压器



送电过程:



在输电过程中，电压必须进行调整。

生活中需要各种电压

用电器	额定工作电压	用电器	额定工作电压
随身听	3V	机床上的照明灯	36V
扫描仪	12V	防身器	3000V
变压器就是改变交流电压的设备			
录音机	6V 9V 12V	彩色电视机显像管	3~4万伏

在我们使用的各种用电器中，所需的电源电压各不相同。而家庭照明电路的电压是220V，那么如何解决这一问题呢？

需改变电压，以适应各种不同电压的需要。

形形色色的变压器



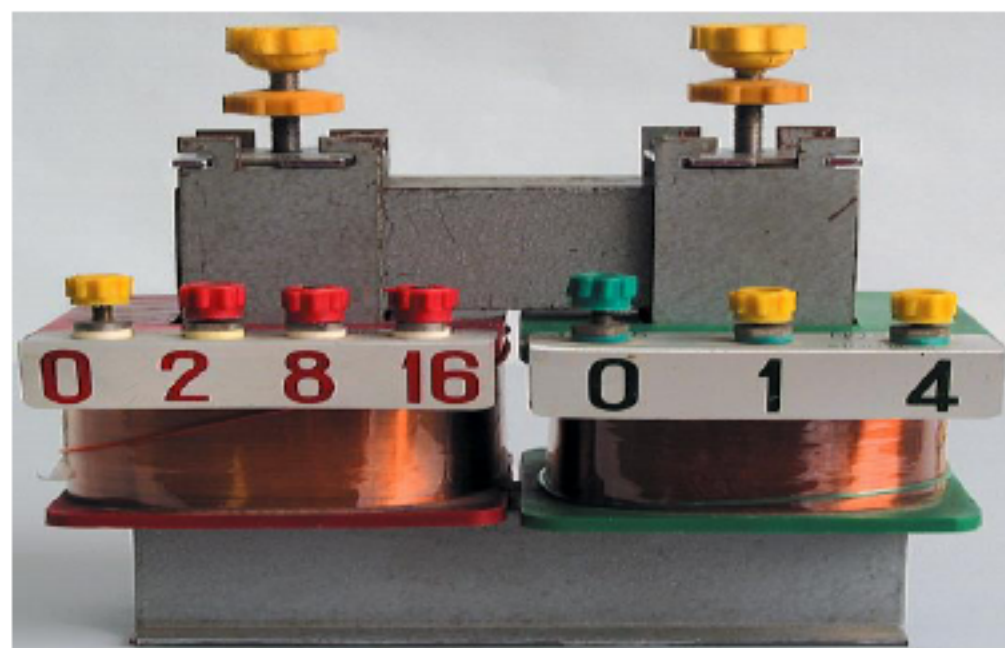
变电站的大型变压器



城乡变压器



各式变压器



可拆式变压器

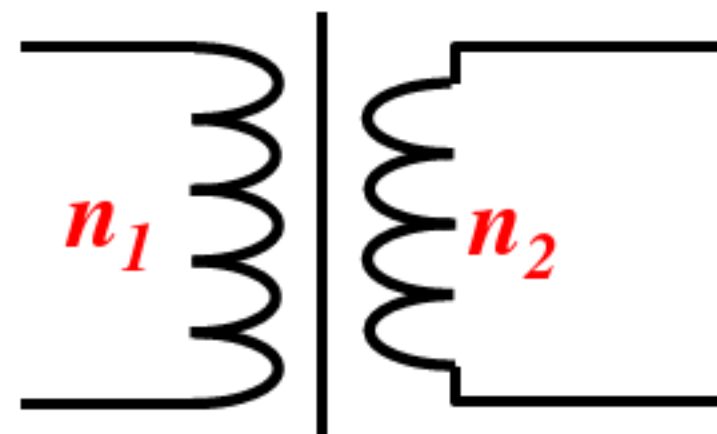
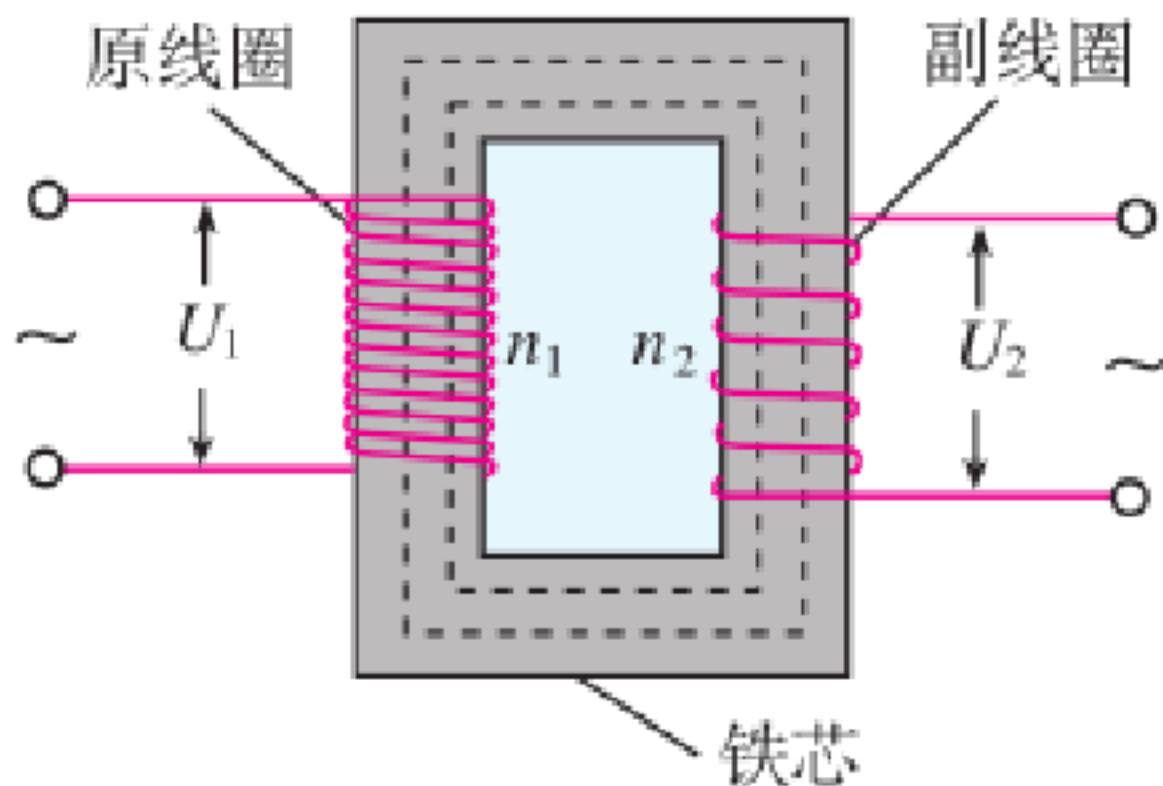
一、变压器的构造

(1) 闭合铁芯 (绝缘硅钢片叠合而成)

(2) 原线圈(初级线圈) :
其匝数用 n_1 表示

(3) 副线圈(次级线圈) :
其匝数用 n_2 表示

(4) 输入电压: U_1
输出电压: U_2



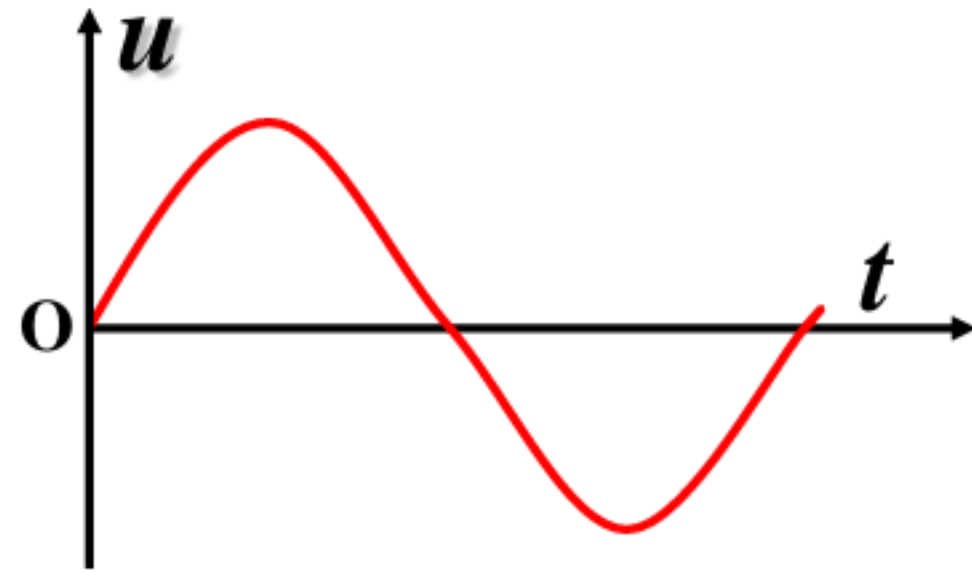
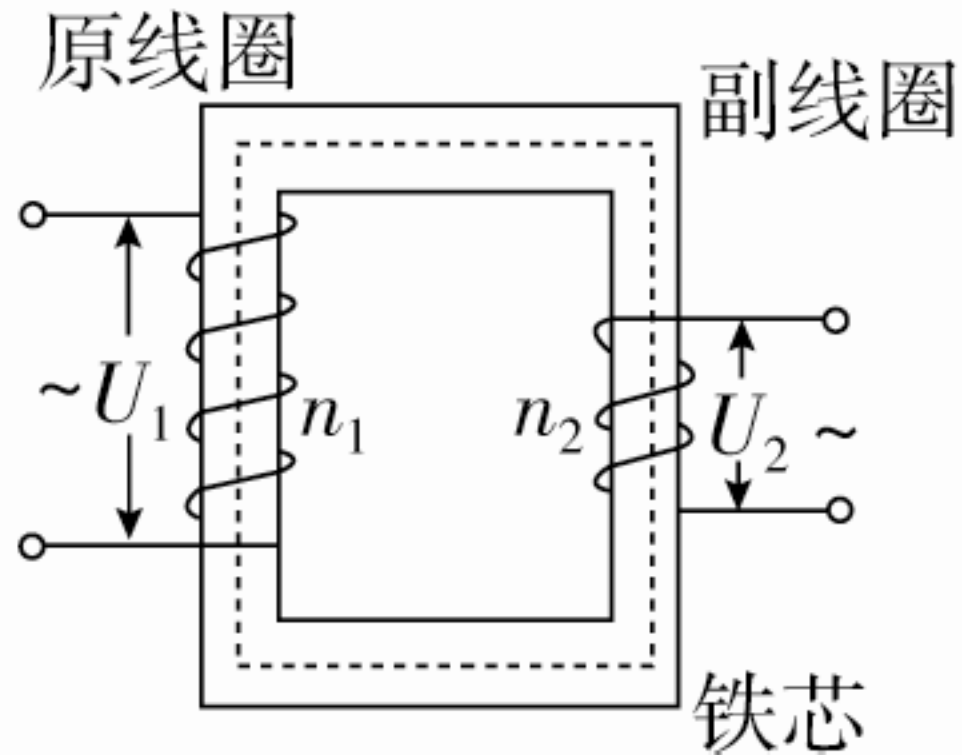
电路图中符号

思考：变压器副线圈和原线圈电路是否相通？

不相通，铁芯与线圈互相绝缘

变压器原副线圈不相通，那么在给原线圈接交变电压 U_1 后，副线圈电压 U_2 是怎样产生的？

二、变压器的工作原理——互感现象

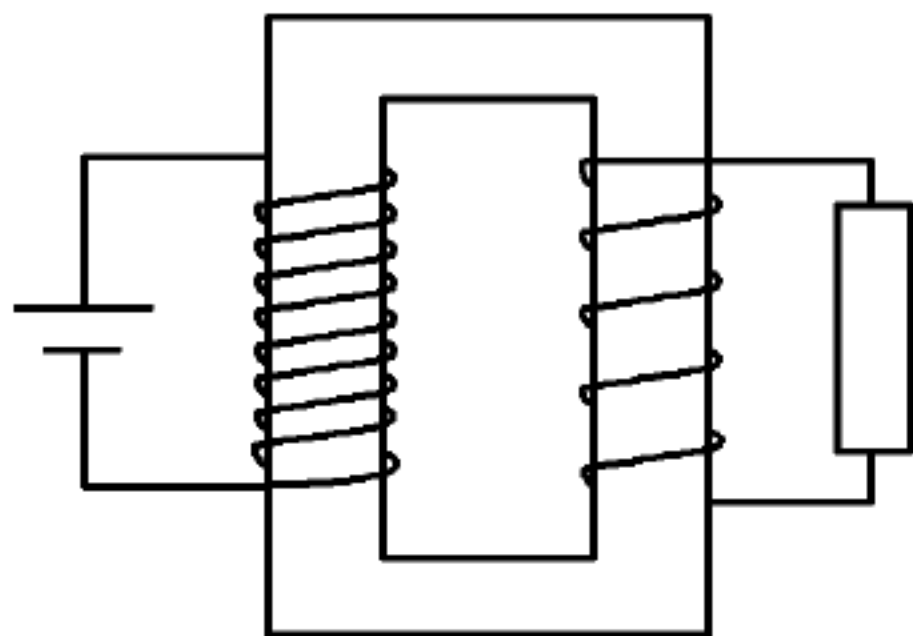


变压器通过闭合铁芯，利用互感现象实现了：



想一想：

如果将变压器的原线圈接到稳恒直流电源上，在副线圈上还能输出电压吗？



提示：不能。变压器的工作原理是互感现象，在原线圈上接稳恒直流电源，在铁芯中不会形成变化的磁场，所以在副线圈上不会有感应电动势产生。

理想变压器

- 1.原、副线圈中的电流产生的磁场均束缚在闭合铁芯内，即**无漏磁**。
- 2.原、副线圈不计电阻，电流通过时**不产生焦耳热**，即**无“铜损”**。
- 3.闭合铁芯中的**涡流为零**，即**无“铁损”**。

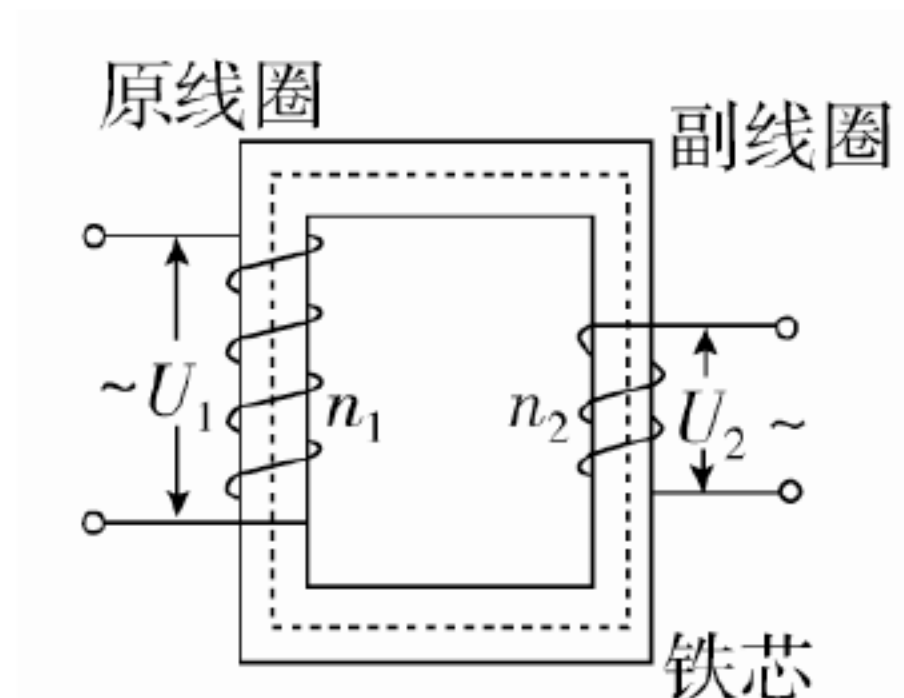
由此可看出，理想变压器**不计一切电磁能量损失**。因此，理想变压器的**输出功率等于输入功率**。

对于实际变压器(特别是大型变压器)，在满负荷工作时效率可以达到97% ~ 99%，所以理论研究时我们把它当成100%（理想变压器）是没有问题的。

理想变压器的变压规律:

$$E_1 = n_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad E_2 = n_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

➡
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}$$



原线圈回路有: $U_1 = E_1 + I_1 r_1$

副线圈回路有: $U_2 = E_2 - I_2 r_2$

若不考虑原副线圈的内阻, 则 $U_1 = E_1; U_2 = E_2$

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

实验和理论分析都表明：理想变压器原副线圈的电压跟它们的匝数成正比。

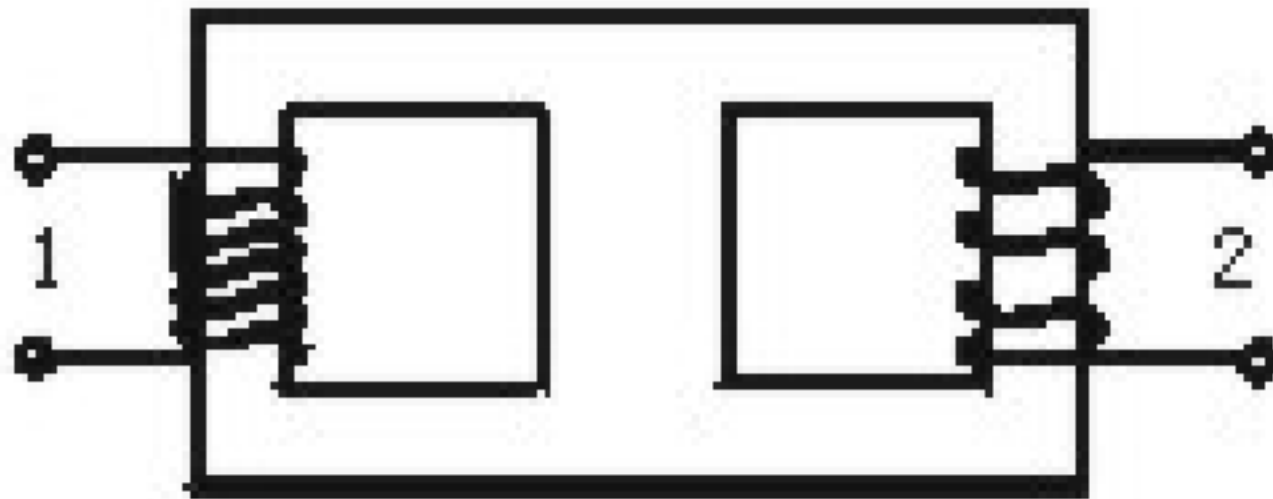
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

1. $n_2 > n_1$ $U_2 > U_1$ ——升压变压器

2. $n_2 < n_1$ $U_2 < U_1$ ——降压变压器

例：如图所示，在绕制变压器时，某人误将两个线圈绕在图示变压器铁芯的左右两个臂上，当通以交流电时，每个线圈产生的磁通量都只有一半通过另一个线圈，另一半通过中间的臂，已知线圈1、2的匝数比为 $N_1:N_2=2:1$ ，在不接负载的情况下（**BD**）

- A.当线圈1输入电压220 V时，线圈2输出电压为110 V
- B.当线圈1输入电压220 V时，线圈2输出电压为55 V
- C.当线圈2输入电压110 V时，线圈1输出电压为220 V
- D.当线圈2输入电压110 V时，线圈1输出电压为110 V



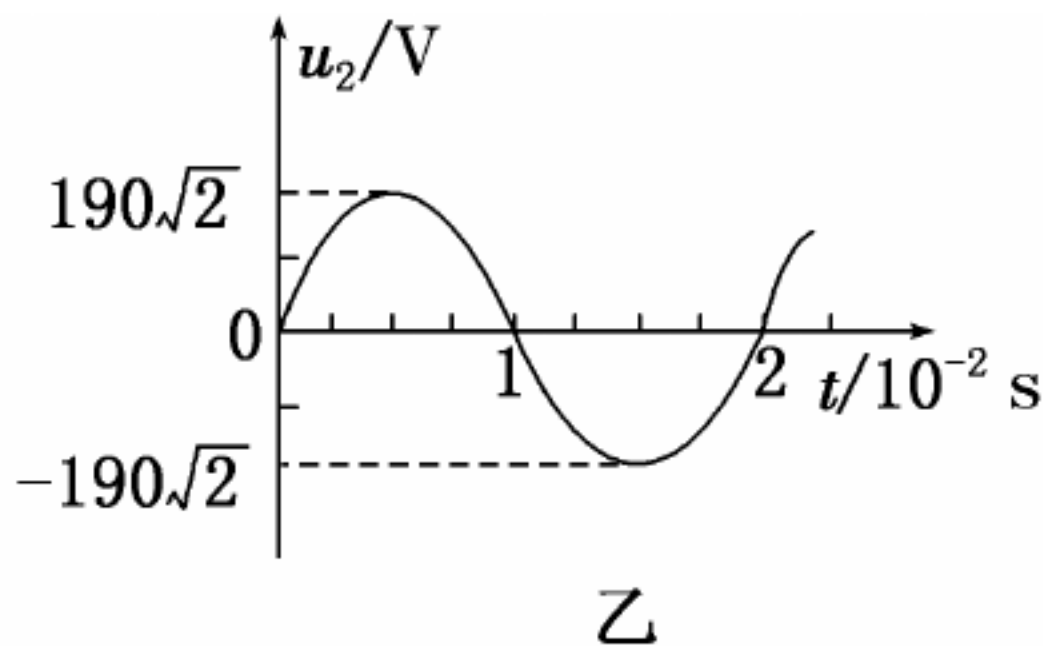
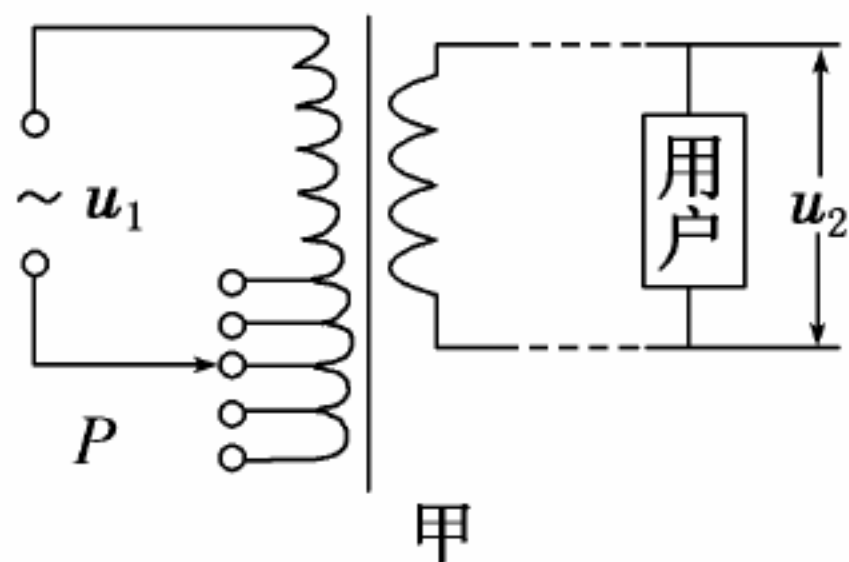
例：(多选)为保证用户电压稳定在 220 V，变电所需适时进行调压，如图甲所示为调压变压器示意图。保持输入电压 u_1 不变，当滑动触头 P 上下移动时可改变输出电压。某次检测得到用户电压 u_2 随时间 t 变化的图线如图乙所示，则以下说法正确的是 **BD**

A. $u_2 = 190\sqrt{2}\sin 50\pi t(\text{V})$

B. $u_2 = 190\sqrt{2}\sin 100\pi t(\text{V})$

C. 为使用户电压稳定在 220 V，应将 P 适当下移

D. 为使用户电压稳定在 220 V，应将 P 适当上移



三、理想变压器规律

理想变压器输入功率等于输出功率

$$P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$$

即:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

理想变压器原副线圈的**电流**跟它们的**匝数**成**反比**:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

此公式只适用于一个副线圈的变压器。

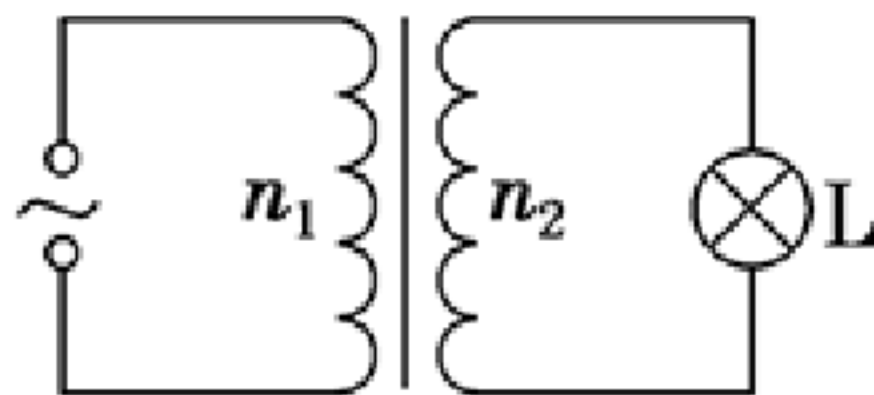
变压器工作时：**高压**线圈匝数多而通过的**电流小**，可用**较细的导线**绕制；**低压**线圈匝数少而通过的**电流大**，应当用**较粗的导线**绕制。这也是判定高压线圈和低压线圈的一种方法。

降压升流， 升压降流。

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

例：(2016·四川高考)如图所示，接在家庭电路上的理想降压变压器给小灯泡 L 供电，如果将原、副线圈减少相同匝数，其他条件不变，则 (**B**)

- A. 小灯泡变亮
- B. 小灯泡变暗
- C. 原、副线圈两端电压的比值不变
- D. 通过原、副线圈电流的比值不变



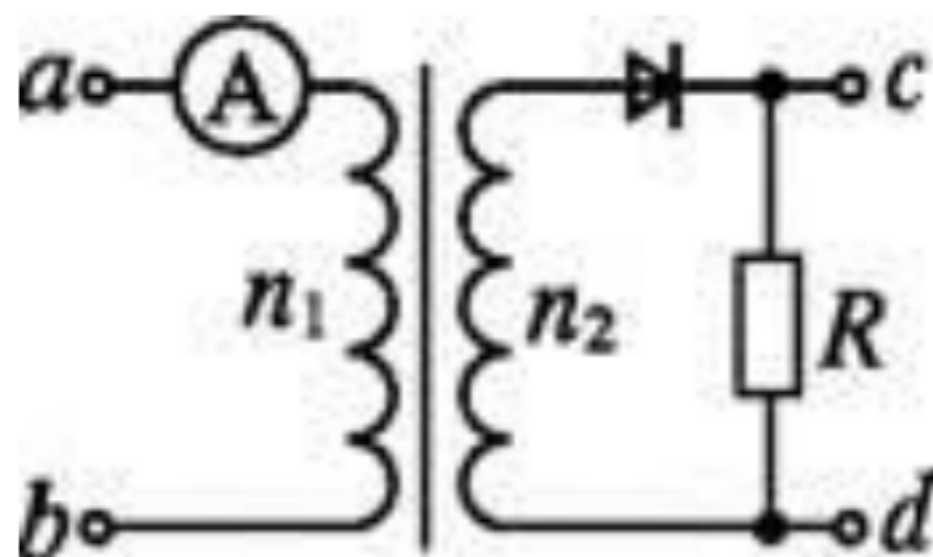
例: (2014年理综新课标卷 II) 如图, 一理想变压器原、副线圈的匝数分别为 n_1 、 n_2 。原线圈通过一理想电流表A接正弦交流电源, 一个二极管和阻值为 R 的负载电阻串联后接到副线圈的两端; 假设该二极管的正向电阻为零, 反向电阻为无穷大; 用交流电压表测得 a 、 b 端和 c 、 d 端的电压分别为 U_{ab} 和 U_{cd} , 则: (**BD**)

A. $U_{ab}:U_{cd}=n_1:n_2$

B. 增大负载电阻的阻值 R , 电流表的读数变小

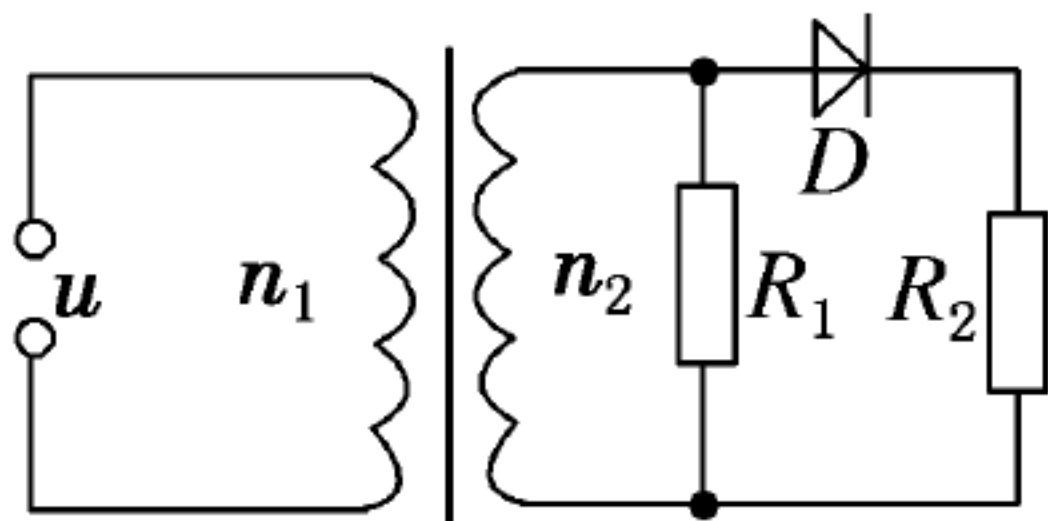
C. 负载电阻的阻值越小, cd 间的电压 U_{cd} 越大

D. 将二极管短路, 电流表的读数加倍



例：如图所示的电路中，理想变压器原、副线圈的匝数比 $n_1 : n_2 = 22 : 5$ ，电阻 $R_1 = R_2 = 25 \, \Omega$ ， D 为理想二极管，原线圈接 $u = 220\sqrt{2} \sin 100\pi t (\text{V})$ 的交流电，则 (**C**)

- A. 交流电的频率为 100 Hz
- B. 通过 R_2 的电流为 1 A
- C. 通过 R_2 的电流为 $\sqrt{2}$ A
- D. 变压器的输入功率为 200 W



多个副线圈

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{U_1}{U_3} = \frac{n_1}{n_3}$$

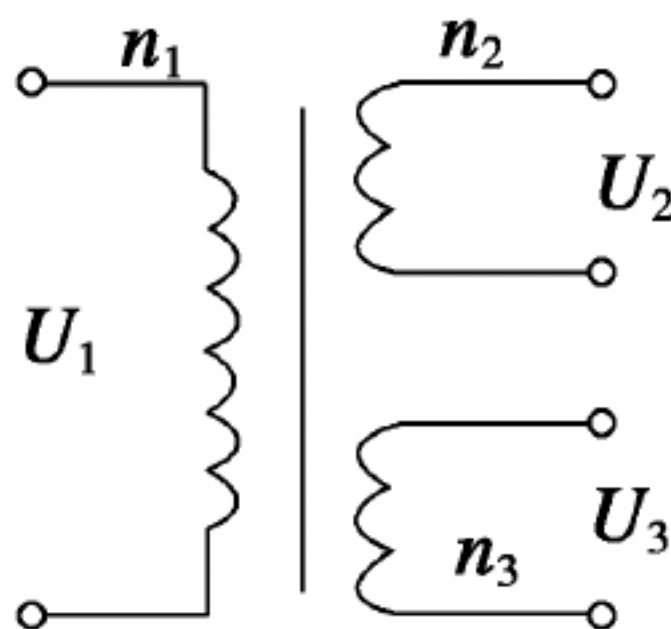
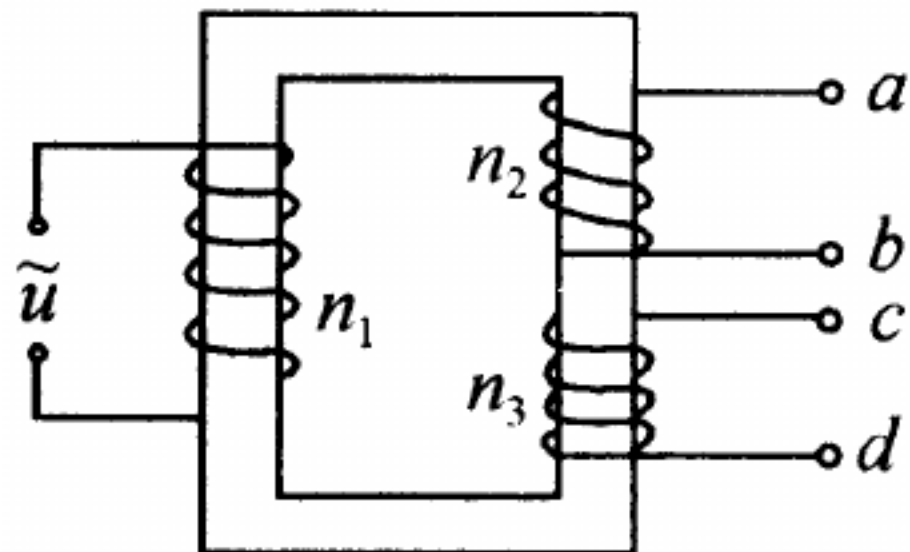
多组副线圈工作: $P_{\text{出}} = P_{\text{入}}$

$$P_{\text{出}} = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots$$

$$P_{\text{入}} = U_1 I_1$$

所以: $U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots$

根据: $\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2} = \frac{U_3}{n_3} = \dots$



$$n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3 + \dots$$

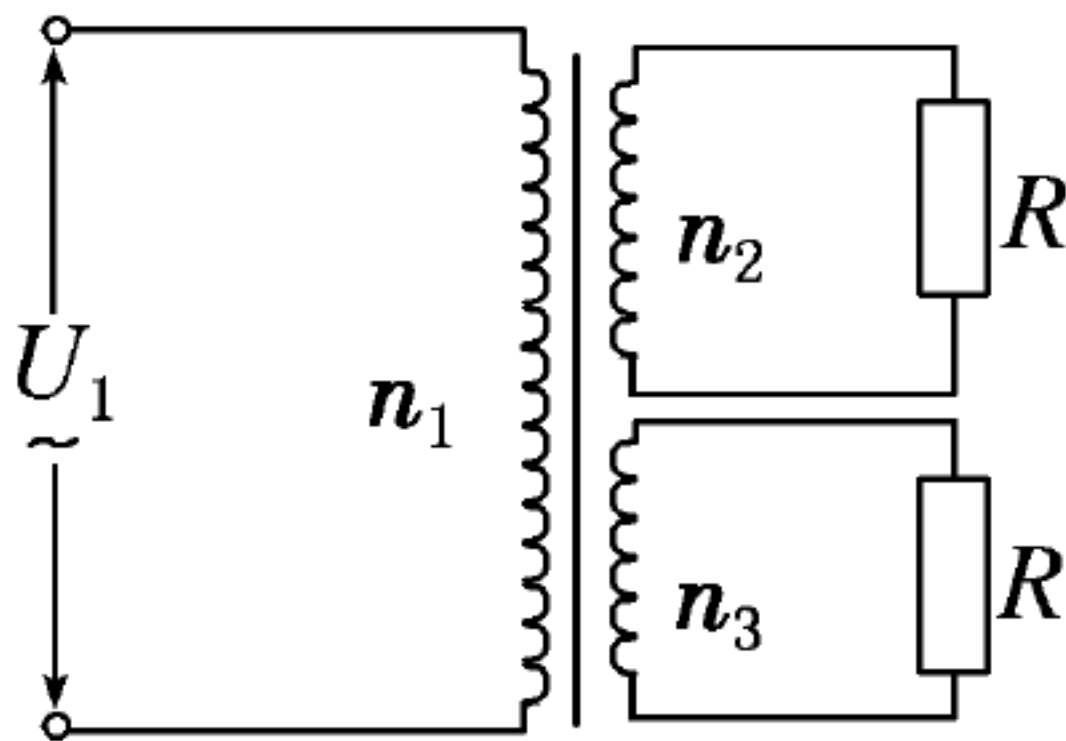
例：如图所示，电路中变压器原线圈匝数 $n_1=1\ 000$ ，两个副线圈匝数分别为 $n_2=500$ 、 $n_3=200$ ，分别接一个 $R=55\ \Omega$ 的电阻，在原线圈上接入 $U_1=220\ \text{V}$ 的交流电源。则两副线圈输出电功率之比 $\frac{P_2}{P_3}$ 和原线圈中的电流 I_1 分别是 (**C**)

A. $\frac{P_2}{P_3}=\frac{5}{2}$, $I_1=2.8\ \text{A}$

B. $\frac{P_2}{P_3}=\frac{2}{5}$, $I_1=2.8\ \text{A}$

C. $\frac{P_2}{P_3}=\frac{25}{4}$, $I_1=1.16\ \text{A}$

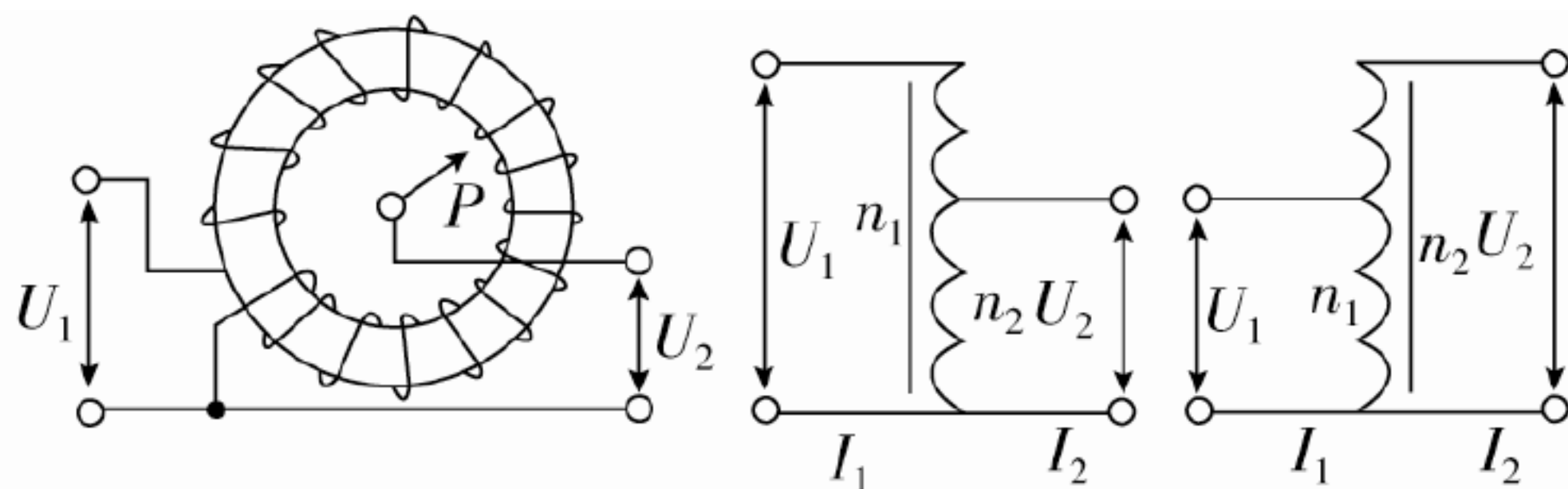
D. $\frac{P_2}{P_3}=\frac{4}{25}$, $I_1=1.16\ \text{A}$



四、几种常见变压器

1. 自耦变压器

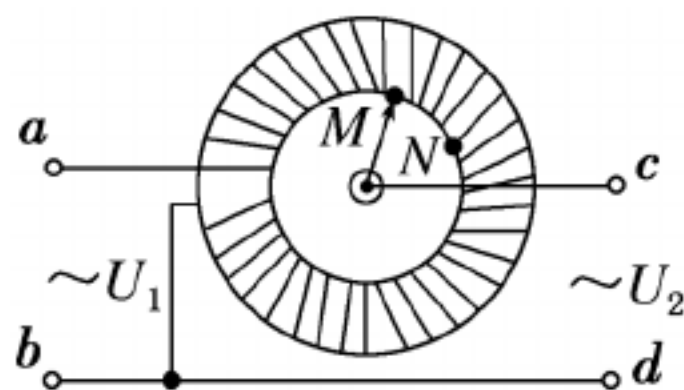
如图所示：铁芯上只绕一个线圈(原副线圈共用一个线圈)，副线圈是原线圈的一部分，既可以作为升压变压器使用，也可以作为降压变压器使用。



规律: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$

例： (2016·江苏高考)一自耦变压器如图所示，

环形铁芯上只绕有一个线圈，将其接在 a 、 b 间作为原线圈。通过滑动触头取该线圈的一部分，



接在 c 、 d 间作为副线圈。在 a 、 b 间输入电压为 U_1 的交变电流时， c 、 d 间的输出电压为 U_2 。在将滑动触头从 M 点顺时针旋转到 N 点的过程中 (**C**)

A. $U_2 > U_1$, U_2 降低

B. $U_2 > U_1$, U_2 升高

C. $U_2 < U_1$, U_2 降低

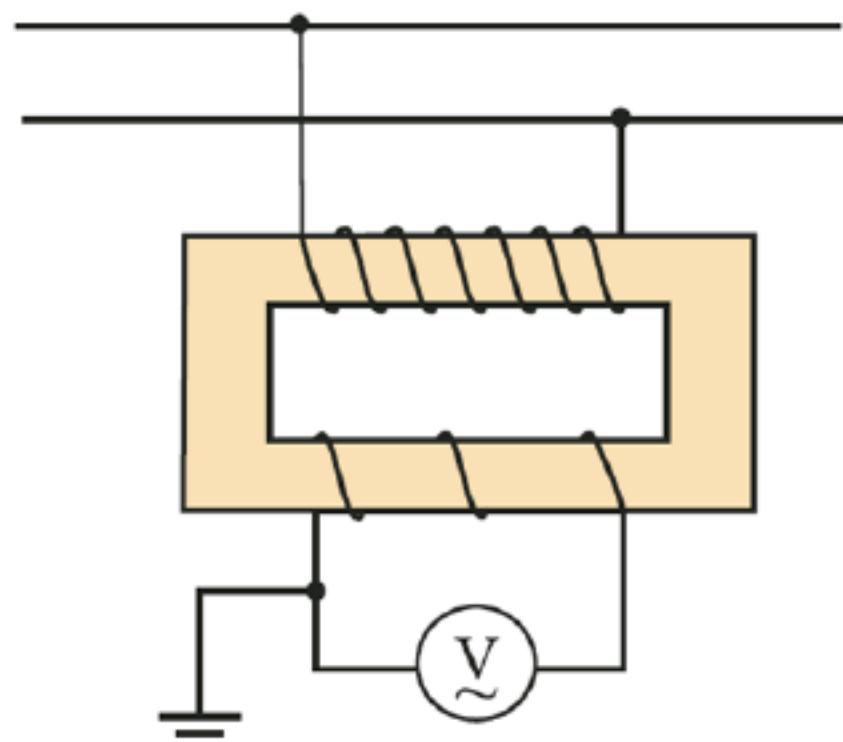
D. $U_2 < U_1$, U_2 升高

2. 电压互感器

(1)接法：原线圈**并联**在高压电路中，副线圈接**电压表**；为了安全，**外壳和副线圈应接地**。

(2)作用：将**高电压变为低电压**，通过测量低电压，计算出高压电路的电压。

(3) 不允许次级线圈**短路**接入电路，因为在次级会感应出**很高的电流**，可能发生危险。

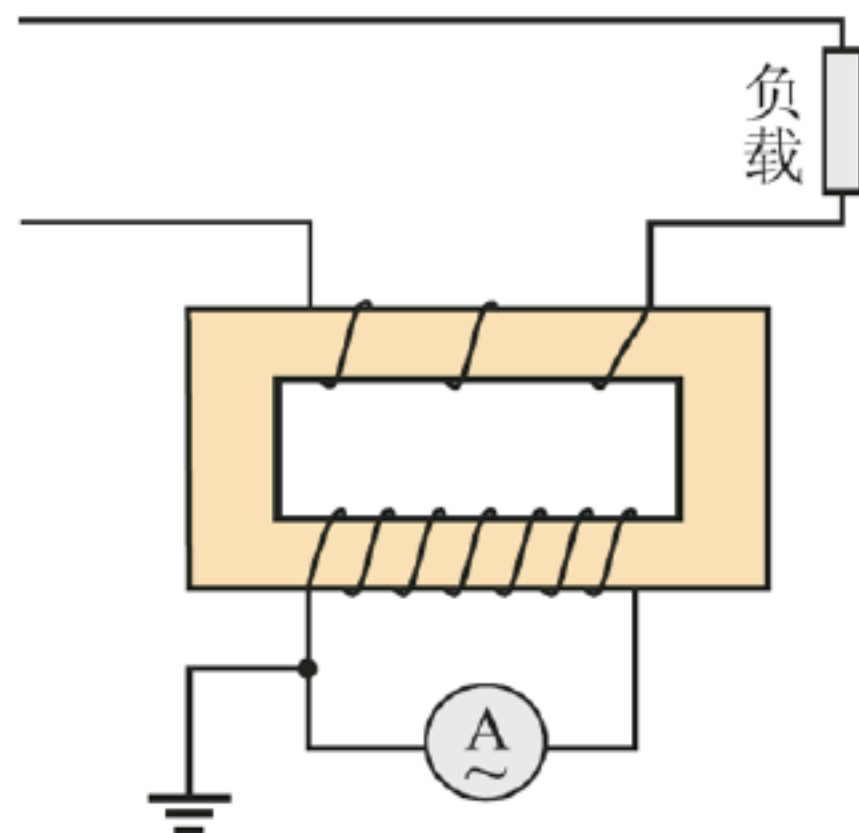


本质：降压变压器

降压升流

3. 电流互感器

- (1)接法：原线圈**串联**在被测电路中，副线圈接**电流表**，为了安全，**外壳和副线圈应接地**。
- (2)作用：将**大电流**变成**小电流**，通过测量小电流，计算出被测电路中的大电流。
- (3) 不允许次级线圈**开路**接入电路,因为在次级会感应出**很高的电压**，可能发生危险。



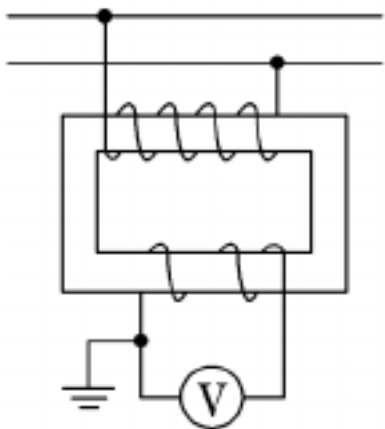
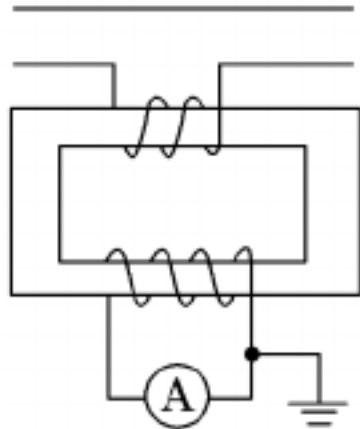
本质：升压变压器
降流升压

电流互感器测量电流时要把**电路断开**，把电流表**串联**到电路中，很不方便。有一种钳形电流表的结构和外形如图所示，请说明它的工作原理。



原理：按下手柄，它的铁芯可以分开，把被测的载流导线放入后，松开手柄，铁芯闭合。导线中的交流电在铁芯中产生交变磁场，电流表与套在铁芯上的线圈相连，可以间接得知导线中的电流。**被测导线、铁芯、线圈构成了一个电流互感器。**只不过原线圈匝数**只有1匝**！该表使用方便，但是测量准确度较差，多用于大电流的估测。

分为电压互感器和电流互感器，比较如下：

	电压互感器	电流互感器
原理图		
原线圈的连接	并联在高压电路中	串联在交流电路中
副线圈的连接	连接电压表	连接电流表
互感器的作用	将高电压变为低电压	将大电流变成小电流
利用的公式	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$	$I_1 n_1 = I_2 n_2$

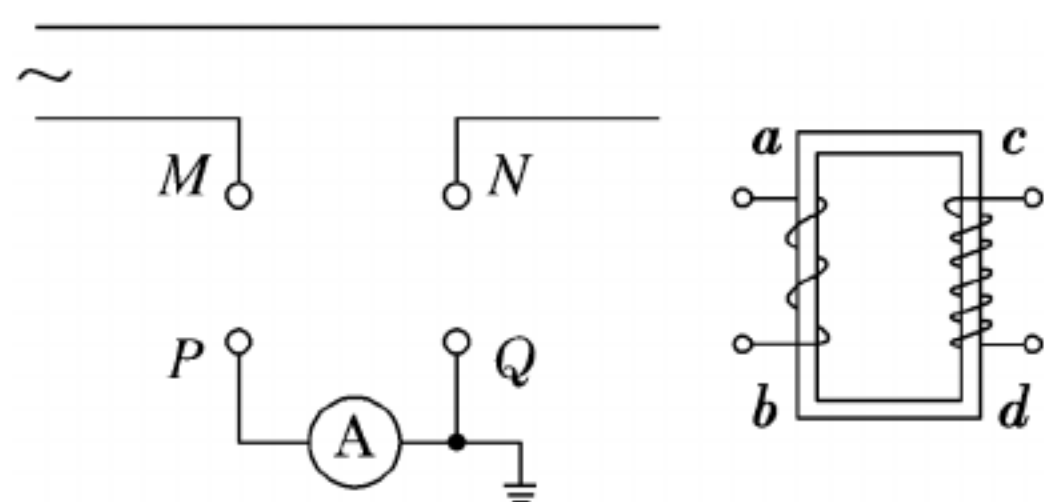
例： (2013·天津高考)普通的交流电流表不能直接接在高压输电线路路上测量电流，通常要通过电流互感器来连接，图中电流互感器 ab 一侧线圈的匝数较少，工作时电流为 I_{ab} ， cd 一侧线圈的匝数较多，工作时电流为 I_{cd} ，为了使电流表能正常工作，则 (**B**)

A. ab 接 MN 、 cd 接 PQ ， $I_{ab} < I_{cd}$

B. ab 接 MN 、 cd 接 PQ ， $I_{ab} > I_{cd}$

C. ab 接 PQ 、 cd 接 MN ， $I_{ab} < I_{cd}$

D. ab 接 PQ 、 cd 接 MN ， $I_{ab} > I_{cd}$



五：电压、电流、功率的制约关系

(1) **电压制约**：当变压器原、副线圈的匝数比 $\frac{n_1}{n_2}$ 一定时，**输入**

电压 U_1 决定输出电压 U_2 ，即 $U_2 = \frac{n_2 U_1}{n_1}$ 。

(2) **功率制约**： $P_{\text{出}}$ 决定 $P_{\text{入}}$ 。 $P_{\text{出}}$ 增大， $P_{\text{入}}$ 增大； $P_{\text{出}}$ 减小， $P_{\text{入}}$ 减小； $P_{\text{出}}$ 为0， $P_{\text{入}}$ 为0。

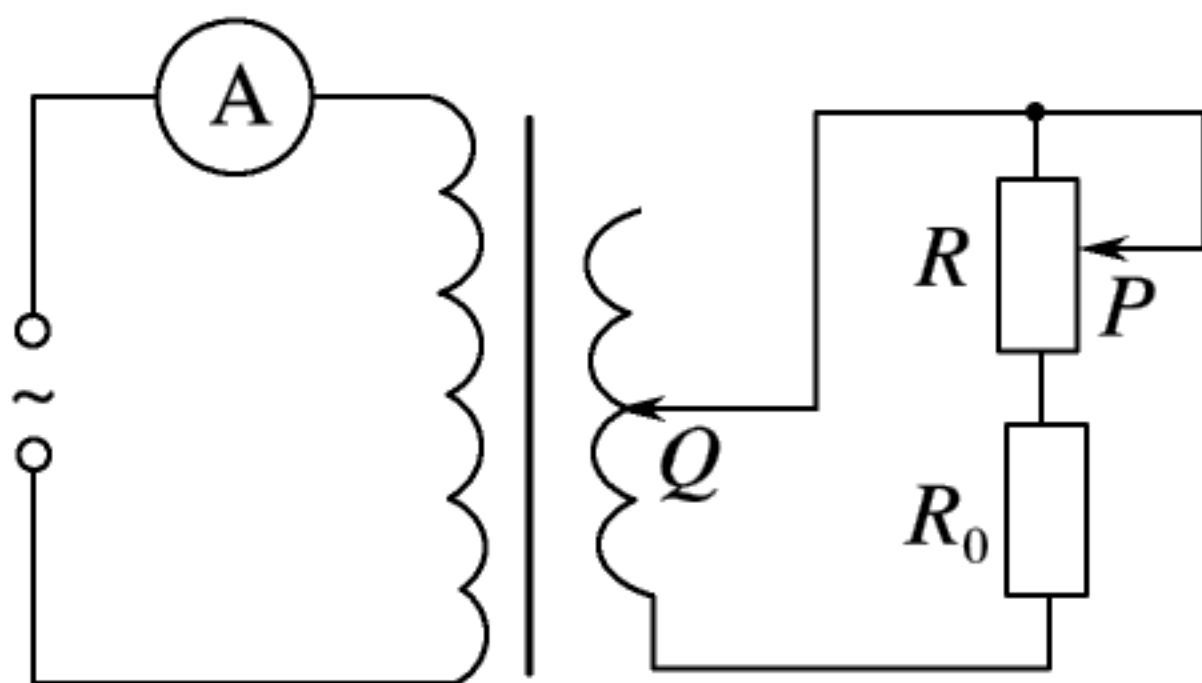
(3) **电流制约**：当变压器原、副线圈的匝数比 $\frac{n_1}{n_2}$ 一定，
且输入电压 U_1 确定时，**副线圈中的输出电流** I_2 决定
原线圈中的电流 I_1 ，即 $I_1 = \frac{n_2 I_2}{n_1}$ (只有一个副线圈时)。

六、变压器动态分析

- (1) **原、副线圈匝数比不变**，分析各物理量随负载电阻变化而变化的情况，进行动态分析的顺序是 $R \rightarrow I_2 \rightarrow P_{\text{出}} \rightarrow P_{\text{入}} \rightarrow I_1$ 。
- (2) **负载电阻不变**，分析各物理量随匝数比的变化而变化的情况，进行动态分析的顺序是 $n_1、n_2 \rightarrow U_2 \rightarrow I_2 \rightarrow P_{\text{出}} \rightarrow P_{\text{入}} \rightarrow I_1$ 。

例：(多选)理想变压器的原线圈连接一只理想电流表，副线圈接入电路的匝数可以通过滑动触头 Q 调节，如图8所示，在副线圈上连接了定值电阻 R_0 和滑动变阻器 R ， P 为滑动变阻器的滑片.原线圈两端接在电压为 U 的交流电源上.则(**AC**)

- A.保持 Q 的位置不动，将 P 向上滑动，电流表的读数变小
- B.保持 Q 的位置不动，将 P 向上滑动，电流表的读数变大
- C.保持 P 的位置不动，将 Q 向上滑动，电流表的读数变大
- D.保持 P 的位置不动，将 Q 向上滑动，电流表的读数变小



变压器的基本关系

基本关系	功率关系	$P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$
	电压关系	原、副线圈的电压比等于匝数比: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$
	电流关系	只有一个副线圈时, 电流和匝数成反比: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$
	频率关系	原、副线圈中电流的频率相等
制约关系	电压	原线圈电压 U_1 和匝数比决定副线圈电压 U_2
	功率	副线圈的输出功率 $P_{\text{出}}$ 决定原线圈的输入功率 $P_{\text{入}}$
	电流	副线圈电流 I_2 和匝数比决定原线圈电流 I_1

变压器不能改变: 频率 f 和功率 P

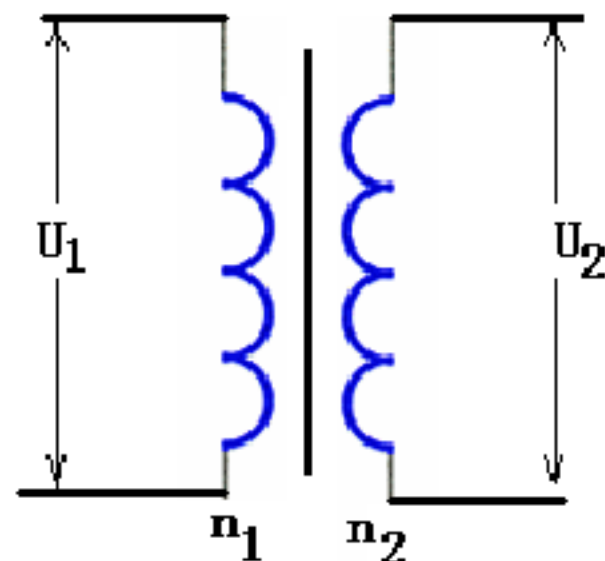
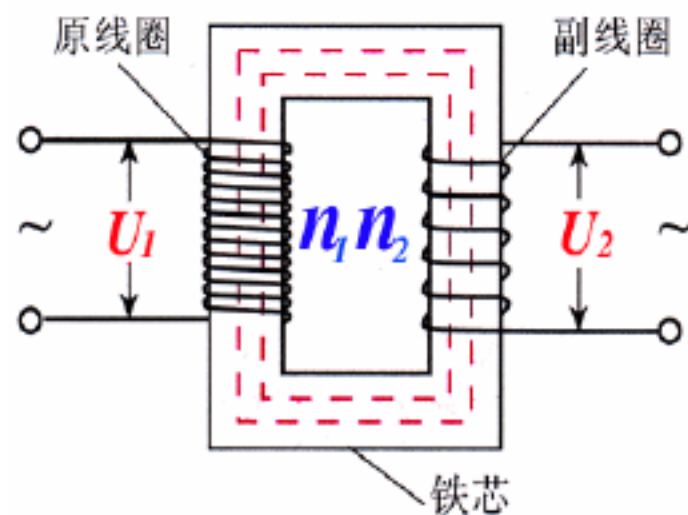
小结:

一、变压器的构造

1. 示意图

2. 电路图中符号

3. 构造:



变压器示意图

二、变压器的工作原理:

1. 互感现象: 原、副线圈中由于有交变电流而发生的互相感应现象

2. 能量转化: 电能 → 磁场能 → 电能

3. 理想变压器 $P_{入} = P_{出}$

三、理想变压器的变压规律

$$U_1/U_2 = n_1/n_2$$

四、理想变压器的变流规律:

$$I_1/I_2 = n_2/n_1$$

五、常用变压器