

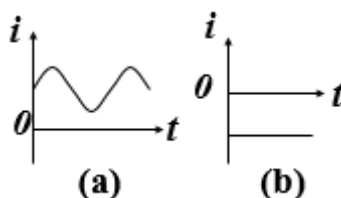
## 第13章 交变电流

### 一、交变电流

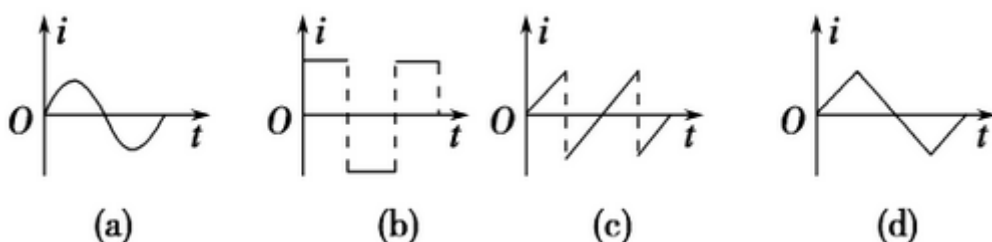
我们知道，打点计时器工作时使用的是交变电流，家庭用电是交变电流，发电厂发出的电还是交变电流。可见，交变电流已经融入了我们的生活和生产。这一章我们就来学习一些交变电流的知识。

#### 1. 交变电流的定义

**直流电** (direct current, DC) : 方向不随时间变化的电流。如图：



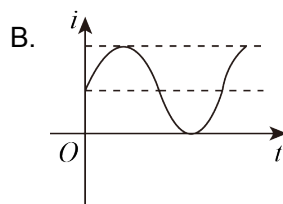
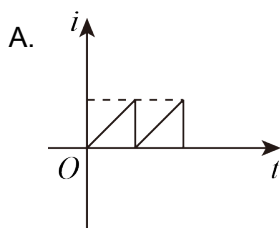
**交变电流** (alternating current, AC) : 大小和方向都随时间做周期性变化的电流。如图：

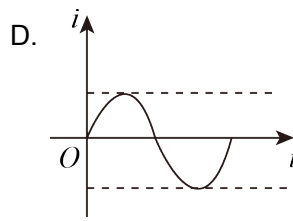
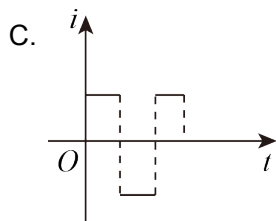


图中所示分别是家庭使用的简谐交变电流、电子计算机使用的矩形交变电流、电子示波器使用的锯齿交变电流、和电子计算机使用的三角形交变电流。

#### 例题精讲

1 如图所示的4种电流随时间变化图中，属于交变电流的是 ( )





答案 CD

解析 略

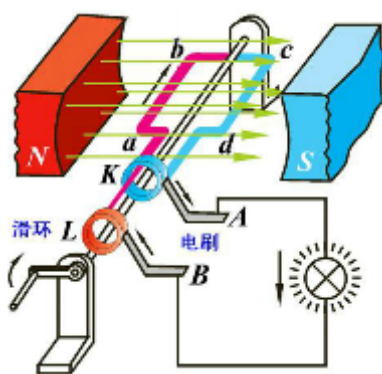
## 2. 交变电流的产生

交变电流的波形多种多样，但最基本、最重要的交变电流是简谐交变电流，它是分析其他交变电流的基础。下面我们探讨产生简谐交变电流的方法。

要产生简谐交变电流，就需要有随时间成正（余）弦变化的电动势。根据法拉第电磁感应定律  $\mathcal{E} = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ ，如果穿过闭合线圈的磁通量随时间成正（余）弦变化，就可得到正（余）弦变化规律的电动势。

我们通常采用下图所示装置输出简谐交变电流。线圈  $a$ 、 $b$  两端分别与  $K$ 、 $L$  两个金属圆环连接，电刷  $A$ 、 $B$  分别与金属圆环保持良好的滑动接触。在矩形线圈绕轴转动时，通过圆环和电刷，线圈与外电路就可以形成闭合回路。当外力使线圈匀速转动时，线圈  $abcd$  就可以对外输出简谐交变电流。

**原理：导线回路切割磁感线，使闭合回路磁通量发生变化，产生感应电流。**



### 交变电流产生的定量分析

线圈匝数为  $N$ ， $ac$  长  $L_1$ ， $ab$  边距转轴  $L_2$ ，线圈面积  $S = L_1 L_2$ ，线圈转动的角速度为  $\omega$ ， $ab$  边切割速度  $v_1 = r_1 \omega$ （ $r_1$  为  $ab$  与转轴间距）， $cd$  边切割速度  $v_2 = r_2 \omega$ （ $r_2$  为  $cd$  与转轴间距）。从中性面开始计时，转过的角度  $\theta = \omega t$ 。

(中性面) 磁通量最大 切割速度为0	磁通量： $\Phi = NBL_1L_2 \cos \theta$  ab边切割速度： $v_{ab} = v_1 \sin \theta$  cd边切割速度： $v_{cd} = v_2 \sin \theta$ ；	磁通量为0  ab边切割速度： $v_{ab} = v_1$ ；  cd边切割速度： $v_{cd} = v_2$ ；	(中性面) 磁通量最大 切割速度为0 电流方向改变
0	$\mathcal{E} = NBL_2(v_{ab} + v_{cd})$ $= NBS\omega \sin \theta$	$\mathcal{E} = NBL_2(v_{ab} + v_{cd})$ $= NBS\omega$	0

### (1) 中性面：

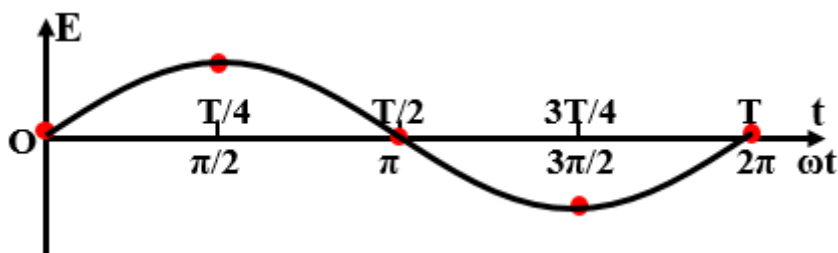
- ①磁通量最大，切割速度为零，感应电动势为零；
- ②线圈经过中性面时，电流方向改变；

### (2) 转过角度为 $\theta$ 时：

- ①磁通量： $\Phi = NBL_1L_2 \cos \theta = NBS \cos \omega t$ ；
- ②电动势： $\mathcal{E} = N \frac{d\Phi}{dt} = NBS\omega \sin \omega t = \mathcal{E}_m \sin \omega t$ ；
- ③电流： $i = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{\mathcal{E}_m \sin \omega t}{R+r} = I_m \sin \omega t$ ；
- ④负载两端电压： $u = U_m \sin \omega t$ 。

以上各式中 $\mathcal{E}_m, I_m, U_m$ 分别为电动势、电流和电压的峰值。而 $\mathcal{E}, u, i$ 则是这几个量的瞬时值。

### (3) 从中性面开始计时，产生的交流电的图像如下：



$$\mathcal{E} = NBS \sin \omega t = \mathcal{E}_m \sin \omega t$$

### 例题精讲

2 矩形线框绕垂直于匀强磁场且在线框平面的轴匀速转动时产生了交变电流，下列说法正确的是（ ）

- A. 当线框位于中性面时，线框中感应电动势最大
- B. 当穿过线框的磁通量为零时，线框中的感应电动势为零
- C. 每当线框经过中性面时，感应电动势或感应电流方向就改变一次
- D. 每当线框垂直中性面时，感应电动势或感应电流方向就改变一次

答案 CD

解析 略

3 交流发电机在工作时的电动势为  $e = E_m \sin \omega t$ ，若将其线框的转速提高到原来的两倍，其他条件不变，则其电动势变为（ ）

- A.  $E_m \sin \frac{\omega t}{2}$
- B.  $2E_m \sin \frac{\omega t}{2}$
- C.  $E_m \sin 2\omega t$
- D.  $2E_m \sin 2\omega t$

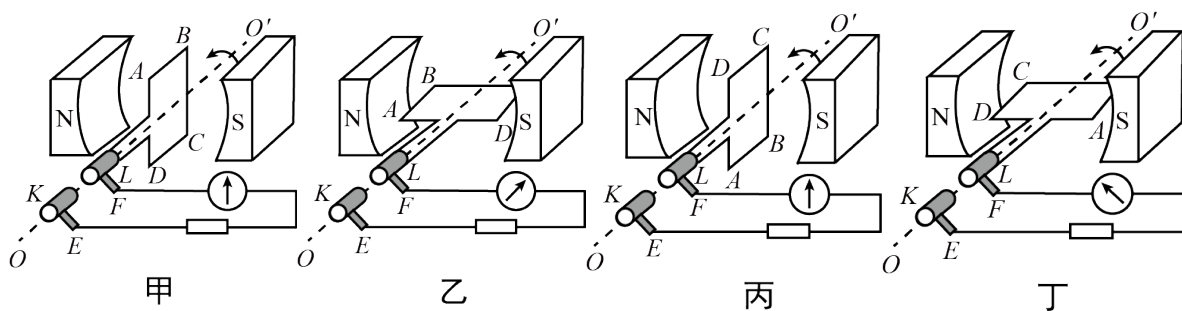
答案 D

解析 略

### 照猫画虎

4 交流发电机发电的示意图如图所示，线圈的  $AB$  边连在金属滑环  $K$  上， $CD$  边连在金属滑环  $L$  上，线圈在转动时可以通过滑环和电刷保持与外电路相连。线圈转动过程中，下列说法中正确的是（ ）

)



- A. 转到图甲位置时，通过线圈的磁通量变化率最大
- B. 转到图乙位置时，线圈中产生的感应电动势为零
- C. 转到图丙位置时，线圈中产生的感应电流最大
- D. 转到图丁位置时， $AB$ 边感应电流方向为 $A \rightarrow B$

答案 D

解析 略

## 二、交变电流的描述

### 1. 角频率、周期、频率、相位

简谐交变电流的数学表达式：

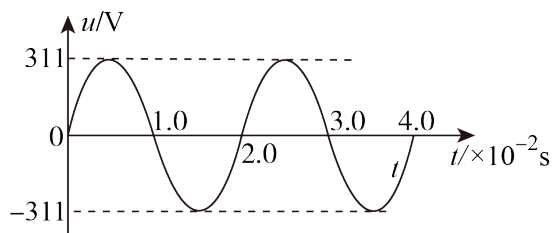
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

其中各个物理量的含义如下：

- (1) **角频率 $\omega$** ：表示交变电流变化快慢，又叫圆频率。
- (2) **周期 $T$** ：交变电流每完成一次周期性变化所需要的时间， $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 。
- (3) **频率 $f$** ：交变电流每秒完成周期性变化的次数， $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ ，频率的单位是赫兹（Hz）。
- (4) **相位 $\varphi$** ：当 $\mathcal{E}_m$ 一定时， $\varphi = \omega t + \varphi_0$ 所表示的角度决定了电动势每一时刻的数值， $\varphi$ 叫做交变电流的相位。相位中的 $\varphi_0$ 是 $t = 0$ 时的相位，叫做初相位。

例题精讲

- 5 一正弦交流电的电压随时间变化的规律如图所示．由图可知该交流电电压瞬时值的表达式为 ( )



- A.  $u = 311 \sin 100\pi t(\text{V})$       B.  $u = 220 \sin 100\pi t(\text{V})$   
C.  $u = 311 \sin 50\pi t(\text{V})$       D.  $u = 220 \sin 50\pi t(\text{V})$

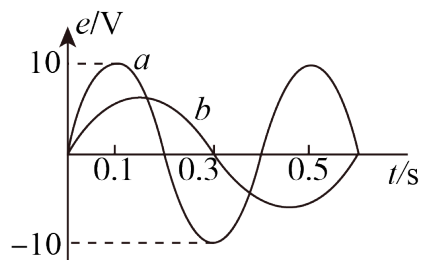
答案 A

解析 方法一：从中性面开始计时，交流电电压的瞬时表达式为  $u = U_m \sin \omega t$ ，根据图象求出峰值和  $\omega$  的大小．

方法二：电压峰值  $u_m = 311\text{V}$ ，周期为  $0.02\text{s}$ ，则角速度  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 100\pi$ ，则电压瞬时值的表达式为： $u = 311 \sin 100\pi t(\text{V})$ ，A对．

故选A．

- 6 如图所示，图线a是线圈在匀强磁场中匀速转动时产生感应电动势的图象，当调整线圈转速后，所产生感应电动势的图象如图线b所示，以下关于这两个交变电流的说法中，正确的是 ( )



- A. 在图中  $t = 0$  时刻穿过线圈的磁通量均为零      B. 感应电动势a的瞬时值为  $e = 10 \sin 5\pi t(\text{V})$   
C. 线圈先后两次的转速之比为  $3:2$       D. 感应电动势b的最大值为  $5\text{V}$

答案 BC

解析 A选项： $t = 0$ 时刻感应电动势最小，线圈恰好处在中性面位置，此时穿过线圈的磁通量最大，A错；

B选项：从图线可以看出交流电 $a$ 的最大值为 $10\text{V}$ ， $\omega_a = \frac{2\pi}{T} = 5\pi$ ，故瞬时值表达式

$e_a = 10 \sin 5\pi t (\text{V})$ ，B正确；

C选项：从图线还可以看出周期之比 $T_a : T_b = 2 : 3$ ，故 $\omega_1 : \omega_2 = 3 : 2$ ，所以转速之比

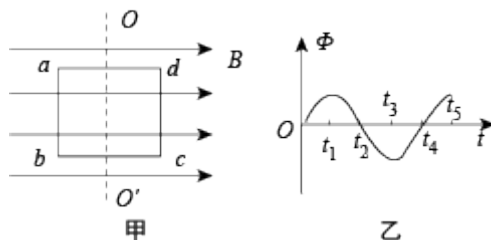
$n_a : n_b = 3 : 2$ ，C正确；

D选项：最大值 $E_a : E_b = nBS\omega_a : nBS\omega_b = 3 : 2$ ，得 $E_b = \frac{20}{3}\text{V}$ ，D错。

故选BC。

### 照猫画虎

- 7 一闭合矩形线圈 $abcd$ 绕垂直于磁感线的固定轴 $OO'$ 匀速转动，线圈平面位于如图甲所示的匀强磁场中。通过线圈的磁通量 $\Phi$ 随时间 $t$ 的变化规律如图乙所示，下列说法正确的是（ ）



- A.  $t_1, t_3$ 时刻通过线圈的磁通量变化率最大  
B.  $t_1, t_3$ 时刻线圈中感应电流方向改变  
C.  $t_2, t_4$ 时刻线圈中磁通量最大  
D.  $t_2, t_4$ 时刻线圈中感应电动势最小

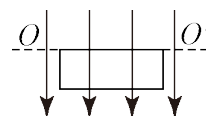
答案 B

解析  $t_1, t_3$ 时刻通过线圈的磁通量 $\Phi$ 最大，磁通量变化 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$ ，此时感应电动势、感应电流均为零，线圈中感应电流方向改变，A错误，B正确；

$t_2, t_4$ 时刻线圈中磁通量为零，磁通量的变化率最大，即感应电动势最大，C、D错误。

故选B。

- 8 线框长为 $a$ ，宽为 $b$ 在磁感强度为 $B$ 的匀强磁场中由图所示位置起绕 $OO'$ 轴以角速度 $\omega$ 匀速转动，则 $t$ 时刻感应电动势为（ ）



- A.  $Bab\omega \cos \omega t$   
B.  $Bab\omega \sin \omega t$   
C.  $2Bab\omega \sin \omega t$   
D.  $2Bab\omega \cos \omega t$

答案 A

解析 以 $OO'$ 轴以角速度 $\omega$ 匀速转动，则长为 $a$ 的边切割磁感线，其速度为：

$v = b\omega$ ，设转过一定角度 $\theta = \omega t$ ，则产生的感应电动势为：

$$E = Bav \cos \theta = Bab\omega \cdot \cos \omega t .$$

故选A .

## 2. 有效值

在 $\mathcal{E}(t) = \mathcal{E}_m \sin \omega t$ 中， $\mathcal{E}_m$ 是电动势的最大值，即峰值，可以用来表示电动势的强弱。

交变电流是随时间不断变化的，它在电路中产生的实时效果并不等于最大值产生的效果，必须用瞬时值 $\mathcal{E}(t)$ 、 $i(t)$ 和 $u(t)$ 来表示。

有时候，我们需要研究某段时间内，交变电流做功的相关问题。例如，计算交变电流通过一个电炉，在某段时间内产生的热量是多少，这时，如果用瞬时值、最大值表示不是很方便，那应该怎么办呢？

这里，我们可以在 $t$ 时刻取无限小的时间间隔 $dt$ ，在 $dt$ 内产生的热量 $dQ = i^2(t)Rdt$ ，而一个周期 $T$ 内产生的热量

$$Q = \int_0^T dQ = \int_0^T i^2(t)Rdt = \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t Rdt = \frac{I_m^2}{2} RT$$

不难发现，如果用 $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 恒定电流去替换简谐交变电流 $i(t) = I_m \sin \omega t$ ，在每个周期内产生的热量是“等效”的。我们把 $I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 称为交变电流 $i(t) = I_m \sin \omega t$ 的**有效值**。

有效值的快速求法：

①对于按正（余）弦规律变化的电流，可先根据 $\mathcal{E}_m = BS\omega$ 求出其最大值，然后根据 $\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{2}}$ 求出其有效值，则有关电功，电功率的计算，各种交流仪表读数等相应得到解决。

②当电流是非正(余)弦规律时，必须根据电流的热效应求解，且时间一般取一个周期。其具体做法是：假设交变电流通过电阻 $R$ ，计算交流电在一个周期内产生的热量 $Q$ （可分段计算），其中热量 $Q$ 用相应的物理量的有效值表示（如 $Q = I^2 Rt$ ， $Q = U^2 t/R$ ），进而求出相应的有效值。

交变电流的有效值是根据电流的热效应定义的。我们在生活中经常用有效值来描述交变电流，通常说居民用电的电压为220V，就是指它的有效值。计算交变电流做功、功率及电能转化等物理量通常用有效值，如交变电流做功的功率为 $P = UI$ ，发热的功率为 $P = I^2 Rt$ 等，另外，交流电流表和交流电压表的读数也都是有效值。



几种典型的交变电流的有效值（了解）

名称	电压图像	有效值
正弦式半波交变电流		$U = \frac{U_m}{2}$
正弦单向脉冲电流		$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$
矩形脉冲电流		$U = \sqrt{\frac{t_1}{T}} U_m$
非对称交变电流		$U = \sqrt{\frac{1}{2}(U_1^2 + U_2^2)}$

例题精讲

9 下列选项中不是指有效值的是（ ）

- A. 交流电压表读数    B. 保险丝熔断电流    C. 电容器击穿电压    D. 220V交流电压

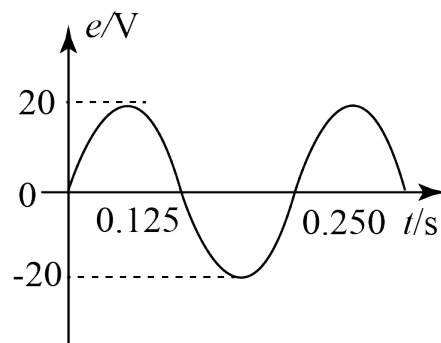
答案 C

解析 交流电表读数测的是交流电的有效值；保险丝断是因为电阻发热，计算电阻发热时用的是电流的有效值；220V交流电压值也是指有效值。

电容器击穿电压，指的是电容器某瞬间受到的电压高于击穿电压，而这个时候我们要用的是交流电压最大值。

故选C。

- 10 小型交流发电机中，矩形金属线圈在匀强磁场中匀速运动，产生的感应电动势与时间呈正弦函数关系，如图所示，此线圈与一个  $R = 10\Omega$  的电阻构成闭合电路。不计电路的其它电阻，下列说法正确的是（ ）

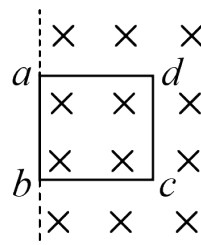


- A. 交变电流的周期为  $0.125\text{s}$       B. 交变电流的频率为  $8\text{Hz}$   
C. 交变电流的有效值为  $\sqrt{2}\text{A}$       D. 交变电流的最大值为  $4\text{A}$

答案 C

解析 A. 由图可得，周期  $T = 0.500\text{s}$ ，故A错误；  
B. 根据  $f = \frac{1}{T} = 2\text{Hz}$ ，故B错误；  
C. 根据  $I = \frac{U_m}{\sqrt{2}R} = \frac{20}{\sqrt{2} \times 10} = \sqrt{2}\text{A}$ ，故C正确；  
D.  $I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{20}{10}$ ，故D错误。  
故选C。

- 11 如图所示，正方形线圈原来静止在匀强磁场中， $ab$ 边与磁场的边界线重合，线圈面与磁场方向垂直，第一次用时间  $t$  把线圈匀速向左从磁场中拉出，在此过程中外力做功  $W_1$ ；第二次用时间  $t$  把线圈以  $ab$  为轴匀速转过  $90^\circ$  离开磁场，外力做功为  $W_2$ ，则  $W_1 : W_2$  为（ ）



- A.  $1:1$       B.  $1:2$       C.  $1:\pi^2$       D.  $8:\pi^2$

答案 D

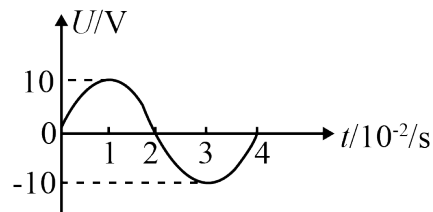
解析

设线圈边长为  $L$ ，则第一次速度  $v = \frac{L}{t}$ ，所以  $W_1 = FL = BIL^2 = \frac{B^2 L^2 v}{R} L = \frac{B^2 L^4}{Rt}$ 。第二次角速度为  $\omega = \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2t}$ ，感应电流的最大值  $I_m = \frac{E_m}{R} = \frac{BL^2 \omega}{R} = \frac{BL^2 \pi}{2tR}$ ，所以  $W_2 = W = Q = I^2 Rt = \left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 Rt = \frac{\left(\frac{BL^2 \pi}{2tR}\right)^2}{2} Rt = \frac{B^2 L^4 \pi^2}{8tR}$ 。由上可得  $W_1 : W_2 = 8 : \pi^2$ 。

故选D。

照猫画虎

12 阻值为  $10\Omega$  的电阻接到电压如图所示的交流电源上，以下说法中正确的是（ ）



A. 电压的有效值为10V

B. 通过电阻的电流有效值为  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  A

C. 电阻消耗电功率为15W

D. 电阻每秒种产生的热量为10J

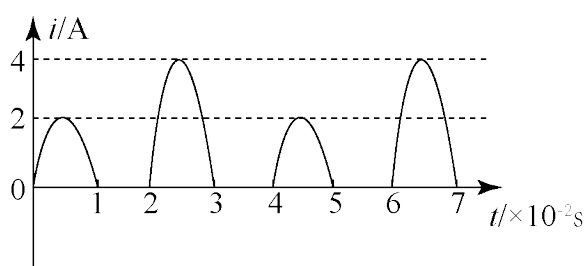
答案

B

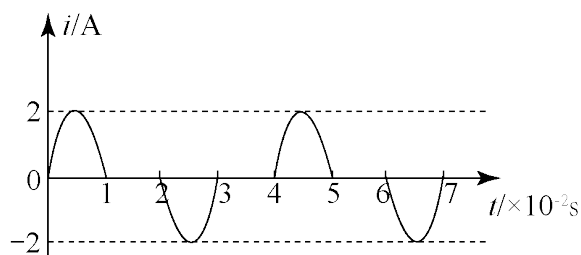
解析

略

13 图甲、图乙为两种由正弦函数组成的电流波形，下列说法正确的是（ ）



图甲



图乙

A. 图甲、图乙均表示交流电

B. 图甲所示电流的有效值约为1.58A

C. 图乙所示电的有效值约为0.72A

D. 若图乙为流经某电阻的电流，则0.1s内通过该电阻的电荷量为0

答案

B

解析

A. 由图象可知, 甲电流大小变化, 但方向没有变化, 因此这是直流电, 故A错误;

B. 根据电流的热效应,  $\left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)^2 Rt + \left(\frac{4}{\sqrt{2}}\right)^2 Rt = I^2 R 4t$ , 计算图甲电流的有效值为1.58A, 故B正确;

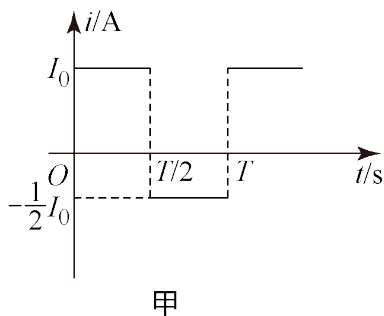
C. 根据电流的热效应, 计算图乙电流的有效值为1A, 故C错误;

D. 根据  $Q = It$  可算的, 0.1s内通过电阻的电荷量为  $\frac{1}{25\pi} C$ , 故D错误.

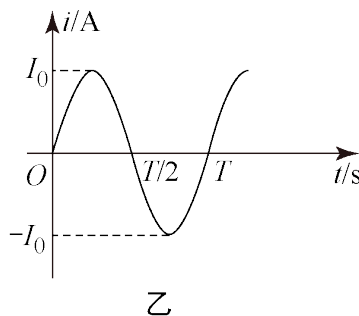
故选B.

### 进阶拓展

- 14 A、B是两个完全相同的电热器, A通以图甲所示的方波交变电流, B通以图乙所示的正弦交变电流, 则两电热器的电功率之比  $P_A : P_B$  等于 ( )



甲



乙

A. 5 : 4

B. 3 : 2

C.  $\sqrt{2} : 1$

D. 2 : 1

答案

A

解析

根据有效值的定义, 则有:

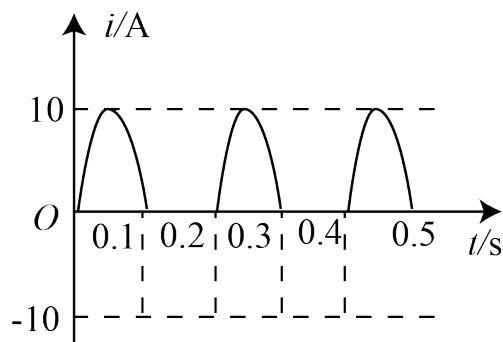
方波,  $I_0^2 R \frac{T}{2} + \left(\frac{I_0}{2}\right)^2 R \frac{T}{2} = I_{\text{甲}}^2 R T$ , 解得: 有效值  $I_{\text{甲}} = \sqrt{\frac{5}{8}} I_0$

正弦交流电的电流有效值  $I_{\text{乙}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ ;

根据功率公式  $P = I^2 R$  得到  $P_{\text{甲}} : P_{\text{乙}} = 5 : 4$ .

故选A.

- 15 如图所示交变电流图象为某一正弦交变电流更换负值后的  $i-t$  图象, 求该交变电流的有效值.



**答案** 8.7 A

**解析** 根据交变电流有效值的定义取一个周期 $T$  .  $I^2 RT = \left(\frac{10}{\sqrt{2}}\right)^2 R \cdot \frac{T}{2} + 10^2 R \cdot \frac{T}{2}$  ,  $T = 0.2\text{ s}$  , 即

$$2I^2 = \frac{100}{2} + 100, \text{ 所以有效值 } I = \sqrt{75} \text{ A} = 8.7 \text{ A} .$$

### 3. 平均值

显然，一个周期流过的电荷量不等于交变电流的有效值乘以通电时间 $T$ ，这说明，计算交变电流一段时间的电荷量时，不能用交变电流的有效值，我们需要引入另外一个描述电流的物理量来求解电荷量，称这一物理量为交变电流的**平均值**。

所谓交变电流在一段时间 $t$ 内的平均值是指：交变电流在这段时间内流过某导线的电荷量，如果和某恒定电流在相同的时间 $t$ 内流过导线的电荷量相同，则该恒定电流就叫做该交变电流在时间 $t$ 内的平均值。

$$\bar{I} = \frac{1}{t} \int_0^t i(t) dt$$

如上所述，在一个周期 $T$ 内，简谐交变电流流过某导线的电荷量为0，所以简谐交变电流在一个周期内的平均值为0。

交变电流的图象中，图线与横轴( $t$ 轴)所围的面积跟时间的比值表示交变电流的平均值。如果我们从电路的角度进行分析，运用闭合电路欧姆定律和电磁感应定律，可以得到： $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$  ,  $\mathcal{E} = n \frac{d\Phi}{dt}$ 。

当需要求某段时间内通过某一面积的电量时，考虑利用微分关系 $dq = I \cdot dt$ ，联立上述两式，可以求得瞬时电流

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = n \frac{d\Phi}{R \cdot dt}$$

对左右两边同时积分后可以得到

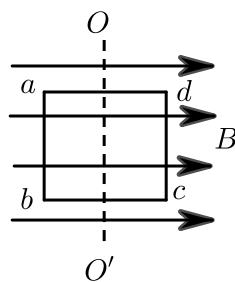
$$q = \int I \cdot dt = n \frac{\Delta\Phi}{R}$$

求 $\Delta\Phi$ 是比较容易的, 可以先求 $\Phi_m$ , 由于 $E_m = NBS\omega$ , 则 $\Phi_m = BS = \frac{E_m}{N\omega}$ , 然后根据 $\Phi = \Phi_m \cos \omega t$ 很容易求出线圈转过某一角度时磁通量的变化量。

**思考:** 在0到 $T/2$ 的半个周期内, 简谐交变电流 $i(t) = I_m \sin \omega t$ 的平均值为多少?

### 例题精讲

- 16 如图所示, 匀强磁场的磁感应强度 $B = 0.1\text{T}$ , 矩形线圈的匝数 $N = 100$ , 边长 $ab = 0.2\text{m}$ ,  $bc = 0.5\text{m}$ , 以角速度 $\omega = 100\pi\text{rad/s}$ 绕 $OO'$ 轴匀速转动, 当线圈平面通过中性面时开始计时, 试求:



- (1) 线圈中感应电动势的大小;
- (2) 由 $t = 0$ 到 $t = \frac{T}{4}$ 过程中的平均电动势.

### 答案

- (1)  $e = 314 \sin 100\pi t$  (V)
- (2) 200 V

### 解析

- (1) 线圈经过时间 $t$ 转过角度 $\theta = \omega t$ , 这时 $ab$ 、 $cd$ 边切割磁感线产生的感应电动势为

$$e_{cd} = e_{ab} = NBabv \sin \omega t, \quad v = \omega \frac{ad}{2} = \omega \frac{bc}{2}, \quad \text{所以 } e = e_{cd} + e_{ab} = 2e_{cd} = NBS\omega \sin \omega t.$$

$$E_m = NBS\omega = 100 \times 0.1 \times 0.1 \times 100\pi \text{ V} = 314 \text{ V}.$$

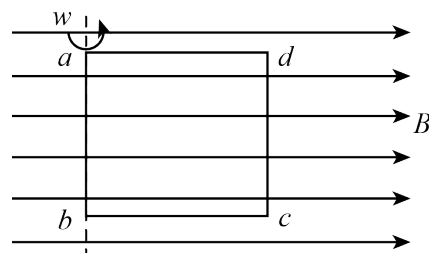
$$\text{因此 } e = 314 \sin 100\pi t \text{ (V)}.$$

- (2) 用 $E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 求 $t = 0$ 至 $t = \frac{T}{4}$ 的平均电动势.

$$E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = N \frac{|\Phi_{\frac{T}{4}} - \Phi_0|}{\frac{T}{4} - 0} = N \frac{BS}{\frac{T}{4}} = \frac{4NBS}{\frac{2\pi}{\omega}} = \frac{2NBS\omega}{\pi} = 200 \text{ V}.$$

### 照猫画虎

- 17 如图所示的矩形线圈围绕 $ab$ 轴从图示位置开始匀速转动, 已知从图示位置转过 $\frac{\pi}{6}$ 时, 线圈中电动势的大小为5V, 线圈电阻为 $1\Omega$ , 求线圈转过 $90^\circ$ 的过程中通过线圈横截面的电荷量 $q$ .



**答案** 电荷量 $q$ 为 $\frac{\sqrt{3}}{30}\text{C}$

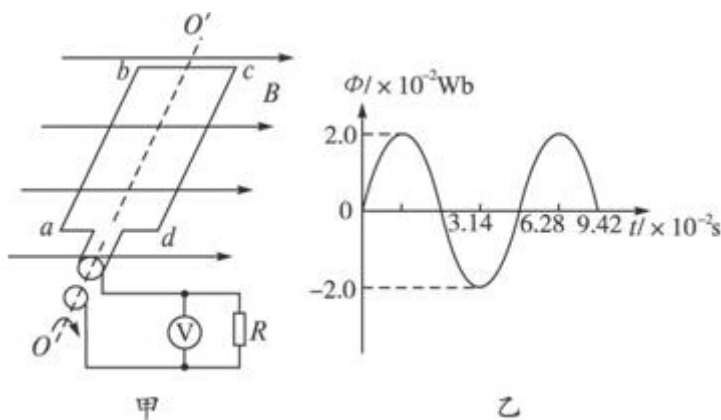
**解析** 略

#### 4. 总结

	含义	关系	适用情况
<b>瞬时值</b>	某时刻的值	$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t$	线圈某时刻的受力情况
<b>峰值</b>	最大的瞬间值	$\mathcal{E}_m = NBS\omega$ $I_m = \frac{NBS\omega}{R+r}$	电容器的击穿电压
<b>有效值</b>	跟交流电流的热效应等效的恒定电流	对正弦交流电： $\mathcal{E}_e = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{2}}$ $I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	①与电流热效应有关的量 ②电压表、电流表读数 ③电器“铭牌”上示数 ④保险丝的熔断电流
<b>平均值</b>	交变电流图像中图线与时 间轴所夹面积与时间的比 值	$\bar{\mathcal{E}} = BL\bar{v}$ $\bar{\mathcal{E}} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\bar{I} = \frac{\bar{\mathcal{E}}}{r+R}$	通过电路横截面的电荷量

#### 例题精讲

- 18 图（甲）为小型旋转电枢式交流发电机原理图，其矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场方向的固定轴 $OO'$ 匀速转动，线圈的匝数 $n = 100$ ，电阻 $r = 10\Omega$ ，线圈的两端经集流环与电阻 $R$ 连接，电阻 $R = 90\Omega$ ，与 $R$ 并联的交流电压表为理想电表，在 $t = 0$ 时刻，线圈平面与磁场方向平行，穿过每匝线圈的磁通量 $\Phi$ 随时间 $t$ 按图（乙）所示正弦规律变化．求：



- (1) 交流发电机产生的感应电动势的最大值；
- (2) 电路中交流电压表的示数；
- (3) 从开始计时到线圈转过 $90^\circ$ 这段时间通过电阻 $R$ 的电量；
- (4) 电阻 $R$ 的发热功率。

答案

- (1)  $E_m = 200\text{V}$
- (2)  $90\sqrt{2}\text{V}$
- (3)  $2 \times 10^{-2}\text{C}$
- (4)  $P = 180\text{W}$

解析

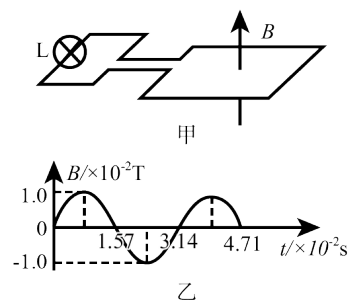
- (1) 交流发电机产生感应电动势的最大值 $E_m = nB\omega S$ ,  $\Phi_m = BS$ ,  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , 则 $E_m = \frac{2n\pi\Phi_m}{T}$ , 由 $\Phi - t$ 图线可知:  $\Phi_m = 2.0 \times 10^2\text{Wb}$ ,  $T = 6.28 \times 10^2\text{s}$ , 解得 $E_m = 200\text{V}$ .
- (2) 感应电动势的有效值 $E = E_m/\sqrt{2} = 100\sqrt{2}\text{V}$ , 由闭合电路欧姆定律得, 电路中电流的有效值为 $I = \frac{E}{R+r} = \sqrt{2}\text{A}$ , 电压表的示数为 $U = IR = 90\sqrt{2}\text{V}$ .
- (3) 由题可知, 这段时间内的平均电动势 $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ , 则通过的电量 $q = \bar{I}\Delta t = \frac{\bar{E}}{R+r}\Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R+r}$ , 代入数据得 $q = \frac{n\Phi_m}{r+R} = \frac{100 \times 2.0 \times 10^{-2}}{90+10} = 2 \times 10^{-2}\text{C}$ .
- (4) 根据 $P = \frac{U^2}{R}$ , 代入数据得 $P = \frac{(90\sqrt{2})^2}{90} = 180\text{W}$ .

照猫画虎

- 19 如图甲所示, 一固定的矩形导体线圈水平放置, 线圈的两端接有一只小灯泡, 在线圈所在空间内存在着与线圈平面垂直的均匀分布的磁场. 已知线圈的匝数 $n = 100$ , 电阻 $r = 1\Omega$ , 所围成矩形的面积 $S = 0.04\text{m}^2$ , 小灯泡的电阻 $R = 9\Omega$ , 磁场的磁感应强度随图乙所示的规律变化, 线圈中产生



的感应电动势瞬时值的表达式为  $e = nB_m S \frac{2\pi}{T} \cos \frac{2\pi}{T} t$ ，其中  $B_m$  为磁感应强度的最大值， $T$  为磁场变化的周期。不计灯丝电阻随温度的变化。求：



- (1) 线圈中产生感应电动势的最大值。
- (2) 小灯泡消耗的电功率。
- (3) 在磁感应强度变化的  $0 - \frac{T}{4}$  时间内，通过小灯泡的电荷量。

答案

- (1) 8V
- (2) 2.88W
- (3)  $4 \times 10^{-3} \text{C}$

解析

(1) 由题意可知： $E_m = nB_m S \frac{2\pi}{T} = 8\text{V}$

(2) 感应电动势的有效值  $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$

电流有效值  $I = \frac{E}{R+r}$

小灯泡的消耗的电功率为  $P = I^2 R$

联立解得  $P = 2.88\text{W}$

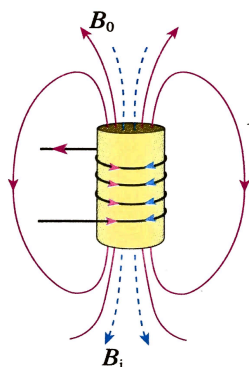
(3) 通过灯泡的电荷量  $q = \bar{I} t = \frac{\bar{E}}{R+r} t = \frac{n \frac{\Delta \Phi}{t}}{R+r} t = n \frac{\Delta \Phi}{R+r} = n \frac{\Delta B S}{R+r}$

解得  $q = 4 \times 10^{-3} \text{C}$

## 三、自感现象

### 1. 自感

当一个线圈中的电流变化时，它产生的变化的磁场不仅在邻近的电路中激发出感应电动势，同样也在它本身激发出感应电动势。这种现象称为**自感**，由于自感而产生的感应电动势叫做**自感电动势**。



## 自感现象实验

	通电自感	断电自感
电路图		
器材要求	$A_1$ 、 $A_2$ 同规格, $R = R_L$ , $L$ 较大	$L$ 很大 (有铁芯)
现象	在S闭合瞬间, $A_2$ 立即亮起来, $A_1$ 灯逐渐变亮, 最终一样亮	在开关S断开时, A灯渐渐熄灭
原因	由于开关闭合时, 流过电感线圈的电流迅速增大, 使线圈产生自感电动势。根据楞次定律, 感应电动势会阻碍电流的增大, 使流过 $A_1$ 灯的电流比流过 $A_2$ 灯的电流增加得慢	断开开关S时, 流过线圈 $L$ 的电流减小, 产生自感电动势, 阻碍了电流的减小, 使电流继续存在一段时间, 在S断开后, 通过 $L$ 的电流反向通过灯A, A灯不会立即熄灭, 若 $R_L < R_A$ , 原来的 $I_L > I_A$ , 则A灯熄前要闪亮一下, 若 $R_L \geq R_A$ , 原来的电流 $I_L \leq I_A$ , 则A灯逐渐熄灭, 不再闪亮一下
能量转化情况	电能转化为磁场能	磁场能转化为电能

## 分析自感现象的方法

①明确通过自感线圈的电流的变化情况 (增大还是减小)。

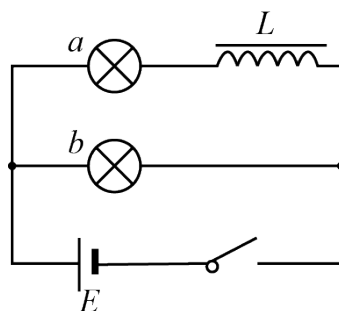
②判断自感电动势方向, 电流增强时(如通电), 自感电动势方向与电流方向相反; 电流减弱时 (如断电), 自感电动势方向与电流方向相同。

③分析线图中电流方向情况，电流增强时（如通电），由于自感电动势方向与原电流方向相反，阻碍增加，电流逐渐增大；电流减小时（如断电），由于自感电动势方向与原电流方向相同，阻碍减小，线圈中电流方向不变，电流逐渐减小。

④明确电路中元件与线圈中电流有相同的变化规律；若元件与自感线圈串联，元件上的电压与线圈上的电压有相同的变化规律；若元件与自感线圈构成临时回路，元件成为自感线圈的临时外电路，元件中的电流大小与线圈中电流大小有相同的变化规律。

### 例题精讲

- 20 在如图所示的电路中， $a$ 、 $b$ 为两个完全相同的灯泡， $L$ 为自感线圈， $E$ 为电源， $S$ 为开关。关于两灯泡点亮和熄灭的先后次序，下列说法正确的是（ ）



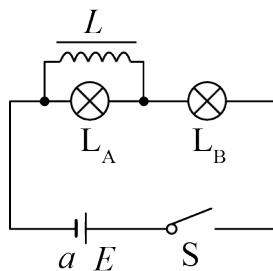
- A. 合上开关， $a$ 先亮， $b$ 后亮；断开开关， $a$ 、 $b$ 同时熄灭
- B. 合上开关， $b$ 先亮， $a$ 后亮；断开开关， $a$ 先熄灭， $b$ 后熄灭
- C. 合上开关， $b$ 先亮， $a$ 后亮；断开开关， $a$ 、 $b$ 同时熄灭
- D. 合上开关， $a$ 、 $b$ 同时亮；断开开关， $b$ 熄灭， $a$ 后熄灭

答案 C

**解析** 由图可以看出， $a$ 、 $b$ 灯泡在两个不同的支路中，对于纯电阻电路，不发生电磁感应，通电后用电器立即开始正常工作，断电后停止工作，但对于含电感线圈的电路，在通电时，线圈产生自感电动势，对电流的增大具有阻碍作用，使 $a$ 灯后亮，则合上开关， $b$ 先亮， $a$ 后亮，当断开电键时，线圈中产生自感电动势，由 $a$ 、 $b$ 及电感线圈组成一个回路，两灯同时逐渐熄灭，所以C正确。

故选C。

- 21 如图所示的电路中， $L$ 是自感系数很大的线圈，但其自身的电阻几乎为零。 $L_A$ 、 $L_B$ 是两个相同的灯泡，下列说法中正确的是（ ）



- A. 开关 $S$ 由断开变为闭合， $L_A$ 、 $L_B$ 同时发光，之后亮度不变
- B. 开关 $S$ 由断开变为闭合， $L_A$ 立即发光，之后又逐渐熄灭
- C. 开关 $S$ 由闭合变为断开的瞬间， $L_A$ 、 $L_B$ 同时熄灭
- D. 开关 $S$ 由闭合变为断开的瞬间， $L_A$ 再次发光，之后又逐渐熄灭

答案 BD

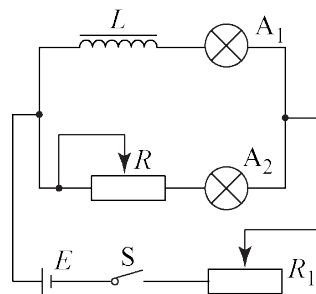
解析 A、B. 闭合 $S$ 时，电源的电压同时加到两灯上， $A$ 、 $B$ 同时亮，且亮度相同；随着 $L$ 中电流增大，由于线圈 $L$ 直流电阻可忽略不计，分流作用增大， $A$ 逐渐被短路直到熄灭，外电路总电阻减小，总电流增大， $B$ 变亮。故A错误，B正确；

C、D. 断开 $S$ ， $B$ 立即熄灭，线圈中电流减小，产生自感电动势，感应电流流过 $A$ 灯， $A$ 闪亮一下后熄灭。故C错误，D正确。

故选BD。

### 照猫画虎

- 22 如图所示， $A_1$ 和 $A_2$ 是两个规格完全相同的电灯泡， $A_1$ 与自感线圈 $L$ 串联后接到电路中， $A_2$ 与可变电阻串联后接到电路中。先闭合开关 $S$ ，缓慢调节电阻 $R$ ，使两个灯泡的亮度相同，再调节电阻 $R_1$ ，使两个灯泡都正常发光，然后断开开关 $S$ 。对于这个电路，下列说法正确的是（ ）



- A. 再闭合开关S时， $A_2$ 先亮， $A_1$ 后亮
- B. 再闭合开关S时， $A_1$ 和 $A_2$ 同时亮
- C. 再闭合开关S，待电路稳定后，重新断开开关S， $A_2$ 立刻熄灭， $A_1$ 过一会儿熄灭
- D. 再闭合开关S，待电路稳定后，重新断开开关S， $A_1$ 和 $A_2$ 都要过一会儿才熄灭

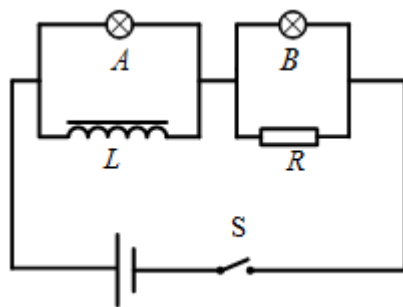
答案 AD

**解析** A、B．再闭合开关S时， $A_2$ 中通过的电流突然增大而变亮； $A_1$ 与自感线圈相连，自感线圈产生自感电动势，阻碍原来电流的变化，通过自感线圈的电流会缓慢的增加，使得 $A_1$ 后亮，故A项正确，B项错误；

C、D．再闭合开关S，待电路稳定以后，自感线圈相当于导线，重新断开开关S，通过线圈的电流减小，自感线圈相当于导线，重新断开开关S，通过线圈的电流减小，自感线圈将产生自感电动势，阻碍电流的减小，使得电流不立刻变为零，自感线圈相当于电源，与 $A_2$ 所在支路构成回路，使得 $A_1$ 和 $A_2$ 都要过一会才熄灭，故C项错误，D项正确．

故选AD．

- 23 如图所示， $A$ 、 $B$ 是两个相同的小灯泡， $L$ 是一个自感系数相当大的线圈，线圈电阻与定值电阻 $R$ 的阻值相同．关于这个电路的以下说法正确的是（ ）



- A. 开关S闭合瞬间， $A$ 、 $B$ 两灯亮度相同
- B. 开关S闭合， $B$ 灯比 $A$ 灯先亮
- C. 开关S闭合，电路达到稳定后，断开开关S时， $A$ 、 $B$ 两灯同时熄灭
- D. 开关S闭合，电路达到稳定后，断开开关S时， $B$ 灯立即熄灭， $A$ 灯稍迟熄灭

答案 D

**解析** 开关S闭合瞬间，A、B两灯同时亮，然后A亮度逐渐减弱，B亮度逐渐增强，最终达到相同亮度。电路稳定后，断开开关时，B灯立即熄灭，A灯稍迟熄灭，所以D正确。

## 2. 自感系数

自感电动势也是感应电动势，同样遵从法拉第电磁感应定律，也就是说，它的大小正比于穿过线圈的磁通量的变化率，即

$$\mathcal{E} \propto \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

实验表明，磁场的强弱正比于电流的强弱，也就是说，磁通量的变化正比于电流的变化，因此也可以说，自感电动势正比于电流的变化率，即

$$\mathcal{E} \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

写成等式，就是

$$\mathcal{E} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

式中 $L$ 是比例系数，它与线圈的大小、形状、圈数，以及是否有铁芯等因素有关，叫做**自感系数**，简称**自感**或**电感**。电感的单位是**亨利(henry)**，简称**亨**，符号是**H**， $1\text{H}=1\text{V}\cdot\text{s}/\text{A}$ 。常用的单位还有**毫亨(mH)**、**微亨( $\mu\text{H}$ )**。

### 例题精讲

- 24 有一个线圈的自感系数是 $1.8\text{H}$ ，当通过它的电流在 $1/100\text{s}$ 内从零均匀地增加到 $2\text{A}$ 时，自感电动势是多大？

**答案**  $360\text{V}$

**解析** 略

### 照猫画虎

- 25 一个线圈的电流在 $0.001\text{s}$ 内均匀地改变 $0.02\text{A}$ 时，产生的自感电动势为 $50\text{V}$ ，求自感系数。要想产生 $80\text{V}$ 的自感电动势，电流的变化率应是多少？

**答案**  $L = 2.5\text{H} ; 32\text{A/s}$

解析  $L = 2.5\text{H}$  ;  $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 32\text{A/s}$  .

### 阅读材料——磁场的能量

在断电自感的实验中，开关断开后，灯泡的发光还能维持一小段时间，有时甚至会比开关断开之前更亮。这时灯泡的能量是从哪里来的？

电源断开以后，线圈中的电流并未立即消失，这时的电流仍然可以做功，说明线圈储存了能量。线圈中有电流，有电流就有磁场，能量很可能储存在磁场中。当开关闭合时，线圈中的电流从无到有，其中的磁场也是从无到有，这可以看做电源把能量输送给磁场，储存在磁场中。

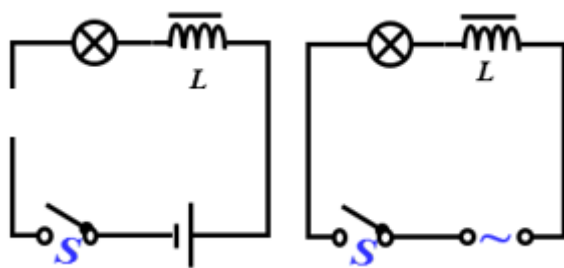
当然，这里关于磁场能量的讨论还只是一个合理的假设。有关电磁场能量的直接实验验证，要在我们认识了电磁波之后才有可能。

当线圈刚刚接通电源的时候，自感电动势阻碍线圈中电流的增加；当线圈中已经有了电流而电源断开或电流变弱的时候，自感电动势又阻碍线圈中电流的减小。线圈的自感系数越大，这个现象越明显。有人借用力学中的术语，说线圈能够体现电的“惯性”。

## 四、电路元件对交变电流的阻碍作用

### 1. 电感对交变电流的阻碍作用

如图，通过直流电的灯泡比通入交流电的灯泡亮。



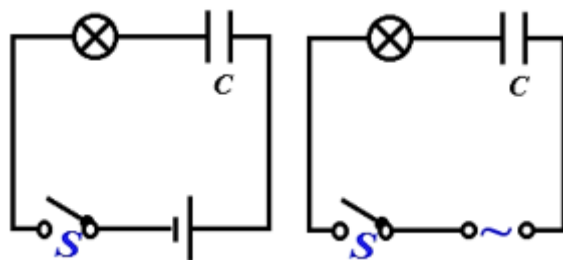
思考：电感器阻交流、通直流的原因是什么呢？

通过交流电，电流时刻发生改变，线圈中发生自感现象，阻碍电流改变，表现为阻碍交流电。电感对交流电的阻碍作用叫做**感抗** ( $X_L = 2\pi fL = \omega L$ )。

线圈的自感系数越大、交流频率越高，电感对交流的阻碍作用就越大，线圈的感抗就越大。

### 2. 电容器对交变电流的导通作用

如图，通入直流电，灯泡不亮，接入交流电，灯泡亮了，即交流电能通过电容器。



**思考：电容器阻直流、通交流的原因是什么呢？**

当直流电路中接入电容器时，极板中间的绝缘介质阻隔直流电流，表现为电容器阻直流；当交流电路中接入电容器时，极板的电压周期性变化，电容器反复充电、放电，表现为电容器可通交流。即便如此，电容器对交流电也有阻碍作用，称为**容抗** ( $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}$ )。

**电容器的电容越大，交流电的频率越高，电容器对交流电的阻碍作用越小，容抗也越小。**

### 3. 电感、电容和电阻对交变电流的影响

	电阻	电容	电感
特点	对交流、直流都有阻碍作用	通交流、阻直流 通高频、阻低频	通直流、阻交流 通低频、阻高频
影响因素	电阻： $R = \rho \frac{l}{S}$	容抗： $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$	感抗： $X_L = 2\pi fL$
能量转化	电能转化为内能	电能与电场能往复转化	电能与磁场能往复转化

#### 例题精讲

26 关于感抗，下列说法中正确的是 ( )

- A. 感抗是由于电流变化时在线圈中产生了自感电动势，阻碍电流的变化
- B. 感抗的大小不仅与自感系数有关，还与电流的频率有关
- C. 感抗虽然对交变电流有阻碍作用，但不消耗能量
- D. 感抗是线圈的电阻产生的

**答案** ABC

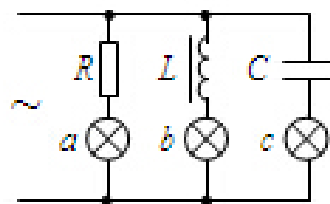
**解析**



交变电流通过线圈时，由于电流时刻变化，在线圈中产生感应电动势。自感电动势总是阻碍电流的变化，这就是产生感抗的原因，A正确。频率越高，电流变化越快，自感电动势越大，线圈自感系数越大，对电流变化的阻碍作用越大，感抗越大，B正确。电感不是耗能元件，它储存的能量用来与电路转换，并不消耗，C正确。

故选ABC。

- 27 如图所示，三只完全相同的灯泡 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 分别与电阻 $R$ 、电感 $L$ 、电容 $C$ 串联，再将三者并联，接在220V、50Hz的交变电压两端，三只灯泡亮度相同，若接在220V、80Hz的交变电压两端，则（ ）



- A. 三只灯泡亮度仍然相同  
B. 三只灯泡都将变亮  
C.  $a$ 亮度不变， $b$ 变亮， $c$ 变暗  
D.  $a$ 亮度不变， $b$ 变暗， $c$ 变亮

答案 D

解析  $a$ 与电阻相连，无影响， $b$ 与电感相连，电感通低频阻高频，频率变大，回路中的电流变小，所以变暗， $c$ 与电容相连，电容通高频阻低频，频率变大，回路中的电流变大，所以变亮。故选D。

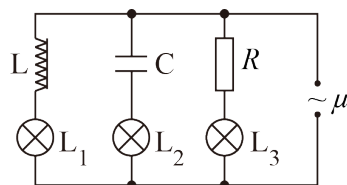
### 照猫画虎

- 28 对交变电流通过电容器的正确理解是（ ）
- A. 交变电流能够使电容器极板间的绝缘介质变成导体
- B. 交变电流定向移动的电荷通过电容器两板间的绝缘介质
- C. 交变电流能够使电容器交替进行充电、放电，电路中就有了电流，表现为交变电流通过了电容器
- D. 交变电流通过了电容器，实际上自由电荷并没有通过电容器极板间的绝缘介质（击穿除外）

答案 CD

**解析** 电容器能让交变电流通过，实际上是通过充、放电来完成的，定向移动的电荷并没有从一个极板到另一个极板，但它的充、放电完成了交变电流通过的任务。  
故选CD。

29 如图所示，把电阻为 $R$ 、电感线圈 $L$ 、电容器 $C$ 分别串联一个灯泡后，并联在交流电源的两端，三盏灯亮度相同。要是灯泡 $L_1$ 变暗、灯泡 $L_2$ 变亮，下列措施中可行的是（ ）



- A. 只减小交流电的电压
- B. 只增大交流电的电压
- C. 只减小交流电的频率
- D. 只增大交流电的频率

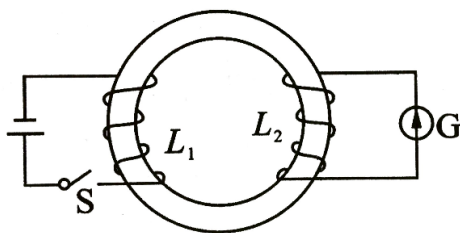
**答案** D

**解析** 电容器通交流隔直流，通高频阻低频，而电感线圈则是相反，通直流阻交流，通低频阻高频，所以在电压不变的情况下，只增大交流电的频率，就可以实现题目要求。  
故选D。

## 五、互感现象和变压器

### 1. 互感

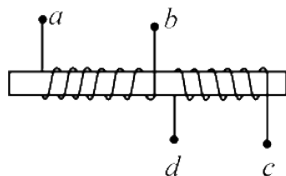
如图所示电路中，两个线圈之间并没有导线相连，但当一个线圈中的电流变化时，它所产生的变化的磁场会在另一个线圈中产生感应电动势。这种现象叫做**互感**。在互感现象中产生的电动势叫做**互感电动势**。



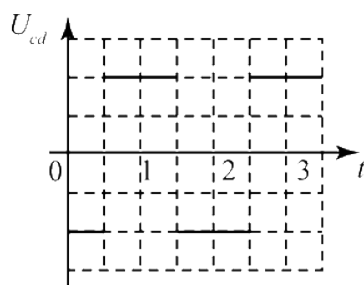
互感现象是一种常见的电磁感应现象，它不仅发生于绕在同一铁芯上的两个线圈之间，而且可以发生于任何相互靠近的电路之间。互感现象可以把能量由一个线圈传递到另一个线圈，因此在电工技术中有广泛的应用，变压器就是利用互感现象制成的。在电力工程和电子电路中，互感现象有时会影响电路的正常工作，这时要设法减小电路间的互感。

### 例题精讲

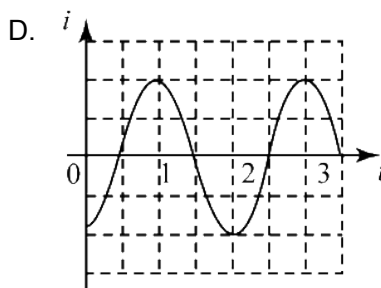
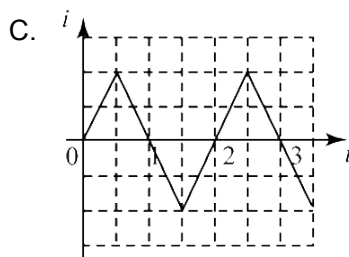
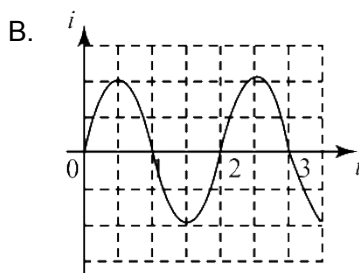
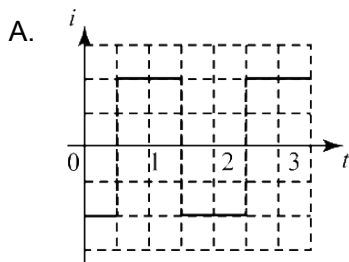
- 30 如图(a)，线圈 $ab$ 、 $cd$ 绕在同一软铁芯上，在 $ab$ 线圈中通以变化的电流，用示波器测得 $cd$ 间的电压如图(b)所示，已知线圈内部的磁场与流经的电流成正比，则下列描述线圈 $ab$ 中电流随时间变化关系的图中，可能正确的是( )



图(a)



图(b)



答案 C

解析 因为线圈 $cd$ 中每个时间段内电流大小不变化，则每个时间段内产生的感应电动势不变；

根据法拉第电磁感应定律得： $E = N \frac{\Delta B}{\Delta t} S$ ，

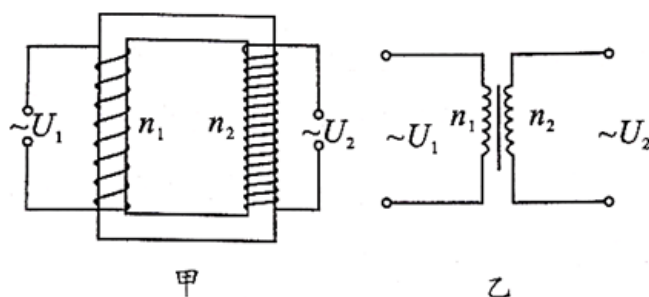
电流为： $I = \frac{E}{R} = N \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t \cdot R}$ ，

则线圈 $ab$ 中每个时间段内电流的磁场均匀变化，正确反应这一关系的图象只有C，故C正确，  
A、B、D错误。  
故选C。

## 2. 变压器结构及基本原理

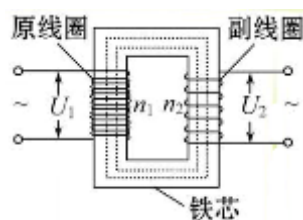
### 构造

变压器由一个闭合铁芯，原线圈和副线圈组成，跟电源连接的线圈叫**原线圈**，也叫初级线圈；跟负载连接的线圈叫**副线圈**，也叫次级线圈。两个线圈都是由绝缘导线绕制而成的，铁芯由涂有绝缘漆的硅钢片叠合而成，是用来改变交流电压的装置。(单相变压器的构造示意图及电路图中的符号分别如图中甲、乙所示)。



### 工作原理

变压器的变压原理是电磁感应。如图所示，当原线圈上加交流电压时，原线圈中就有交变电流，它在铁芯中产生交变的磁通量，在原、副线圈中都要产生感应电动势。如果副线圈是闭合的，则副线圈中将产生交变的感应电流，它也在铁芯中产生交变磁通量，在原、副线圈中同样要引起感应电动势。由于这种互相感应的互感现象，原副线圈间虽然不相连，电能却可以通过磁场从原线圈传递到副线圈。其能量转换方式为：原线圈的电能→磁场能→副线圈的电能。



变压器的铁芯是闭合的，目的是把磁感线束缚在铁芯内，原、副线圈的磁通量就是相同的，即原、副线圈处在相同的变化磁场中，故原、副线圈中电流的变化频率相同。

变压器虽能改变电压、电流，但不能改变功率和频率，若不考虑铜损、铁损和漏磁，**输入的总功率总等于输出的总功率，次级交变电流的频率总等于初级交变电流的频率。**

例题精讲

31 关于变压器，下列说法正确的是（ ）

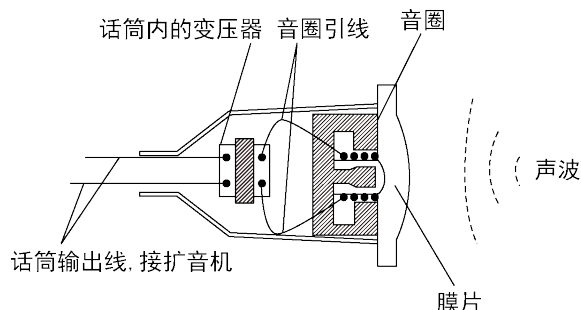
- A. 变压器可以改变直流电压
- B. 变压器是根据电磁感应原理工作的
- C. 变压器可以把其它形式的能转化为电能
- D. 降压变压器的副线圈的匝数比原线圈多

答案 B

解析 略

照猫画虎

32 动圈式话筒能够将声音转变为微弱的电信号（交变电流），产生的电信号一般都不是直接送给扩音机，而是经过一个变压器之后再送给扩音机放大，变压器的作用是能够减少电信号沿导线传输过程中的电能损失，关于话筒内的这个变压器，下列说法正确的是（ ）



- A. 一定是升压变压器，因为  $P = UI$ ，升压后，电流减小，导线上损失的电能减少
- B. 一定不是升压变压器，因为  $P = \frac{U^2}{R}$ ，升压后，导线上损失的电能会增加
- C. 一定是降压变压器，因为  $I_1 = \frac{n_1}{n_2} I_2$ ，降压后，电流增大，使到达扩音机的信号更强
- D. 一定不是降压变压器，因为  $P = I^2 R$ ，降压后，电流增大，导线上损失的电能也会增加

答案 AD

解析 由题目所述“变压器的作用是能够减少电信号沿导线传输过程中的电能损失”，知话筒输出线上流动的电流强度应尽量的小。升压器正好能提高副线圈中的电压而减小其电流强度，从而减

少导线上损失的电能，故A、D项正确。

故选AD。

### 3. 理想变压器

#### 理想变压器满足的规律

假设交变磁场只存在于铁芯内，铁芯外部无磁场，即没有漏磁；忽略线圈的电阻引起的发热铜损；铁芯的磁滞损耗和涡流损耗（铁损）也忽略，我们把这样的变压器叫做**理想变压器**。

对于理想变压器，不考虑能量损失： $P_1 = P_2$

由于不计原、副线圈的电阻，因此原线圈两端的电压 $U_1 = \mathcal{E}_1$  副线圈两端的电压 $U_2 = \mathcal{E}_2$ 。

由于互感现象，没有漏磁，原、副线圈中每一匝线圈都具有相同的 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ，根据法拉第电磁感应定律有 $\mathcal{E}_1 = n_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ， $\mathcal{E}_2 = n_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。所以 $\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ，即：

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

若变压器有两个副线圈，则有 $\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2} = \frac{U_3}{n_3} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ，所以有：

$$U_1 : U_2 : U_3 = n_1 : n_2 : n_3$$

结合功率关系，当只有一个副线圈时， $I_1 U_1 = I_2 U_2$ ，得 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$ 。当有多个副线圈时由

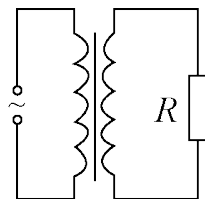
$$I_1 U_1 = I_2 U_2 + I_3 U_3 + \dots \text{得 } I_1 n_1 = I_2 n_2 + I_3 n_3 + \dots$$

以上各关系总结如下：

	基本关系	制约关系
功率	$P_{\text{出}} = P_{\text{入}}$	输出功率 $P_{\text{出}}$ 决定输入功率 $P_{\text{入}}$
电压	$U_1 : U_2 = n_1 : n_2$	副线圈电压 $U_2$ 由原线圈电压 $U_1$ 和匝数比决定
电流	(1) 只有一个副线圈时： $I_1 : I_2 = n_2 : n_1$ (2) 有多个副线圈时：由 $P_{\text{出}} = P_{\text{入}}$ 得 $I_1 U_1 = I_2 U_2 + I_3 U_3 + \dots + I_n U_n$ 或 $I_1 n_1 = I_2 n_2 + I_3 n_3 + \dots + I_n n_n$	$I_1$ 由副线圈电流 $I_2$ 和匝数比决定

#### 例题精讲

- 33 有一个阻值为  $R$  的电阻，若将它接在电压为  $20\text{V}$  的直流电源上，其消耗的功率为  $P$ ；若将它接在如图示的理想变压器的次级线圈两端时，其消耗的功率为  $\frac{P}{2}$ 。已知变压器输入电压为  $U = 220 \sin 100\pi t (\text{V})$ ，不计电阻随温度的变化。求：



- (1) 理想变压器次级线圈两端电压的有效值。
- (2) 此变压器原、副线圈的匝数之比。

**答案**

- (1)  $10\sqrt{2}\text{V}$
- (2)  $11:1$

**解析** (1) 直流电源的电压  $U_0 = 20\text{V}$ ，设变压器次级线圈两端的电压的有效值为  $U_2$ ，根据题意有：

$$\frac{P}{2} = \frac{U_2^2}{R}, P = \frac{U_0^2}{R}.$$

$$\text{得：} U_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} U_0 = 10\sqrt{2}\text{V}.$$

故答案为： $10\sqrt{2}\text{V}$ 。

- (2) 变压器输入的电压有效值为：

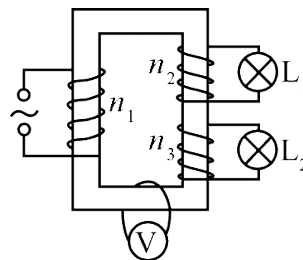
$$U_1 = \frac{220}{\sqrt{2}} = 110\sqrt{2}\text{V}.$$

根据变压器电压比公式，可得：

$$n_1 : n_2 = U_1 : U_2 = 11 : 1.$$

故答案为： $11:1$ 。

- 34 如图所示，为一理想变压器  $n_2 = 10$  匝， $n_3 = 20$  匝， $L_1$  和  $L_2$  均是“ $220\text{V}$ ， $15\text{W}$ ”的灯泡，与一匝线圈相连的电压表，读数为  $11\text{V}$ ，那么变压器的实际输入功率为 \_\_\_\_\_  $\text{W}$ 。



答案 18.75

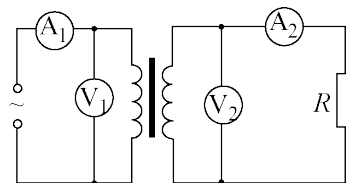
解析 一匝线圈的电压11V，根据电压与匝数成正比，则 $n_2$ 的电压为110V， $n_3$ 的电压是220V，则 $L_2$ 能正常发光 $P_2 = 15W$ ，

而 $L_1$ 不能正常发光.由 $P = \frac{U^2}{R}$ 知 $P_1 = \frac{1}{4} = 3.75W$ ，

$$P_{\text{输入}} = P_{\text{输出}} = P_1 + P_2 = 18.75W$$

### 照猫画虎

35 如图所示，一理想变压器原线圈匝数 $n_1 = 1000$ 匝，副线圈匝数 $n_2 = 200$ 匝，原线圈所接交流电源的电动势瞬时值表达式 $e = 311 \sin 100\pi t V$ ，副线圈所接电阻 $R = 88\Omega$ ．电流表、电压表对电路影响可忽略不计．则（ ）



A.  $A_1$ 的示数约为0.10A

B.  $V_1$ 的示数约为311V

C.  $V_2$ 的示数约为62.2V

D.  $A_2$ 的示数约为0.75A

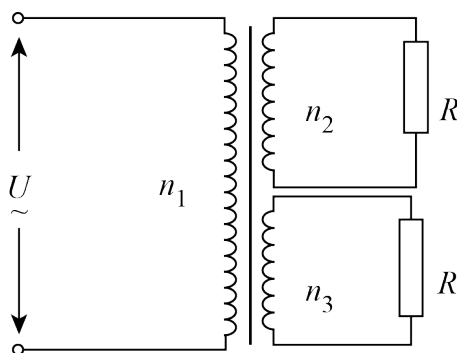
答案 A

解析 交流电表示数为有效值，则 $U_1 = 220V$ ，故B错误； $U_2 = \frac{n_2}{n_1} \cdot U_1 = 44V$ ，故C错误；由欧姆定律有 $I_2 = \frac{U_2}{R} = 0.5A$ ，D错误； $I_1 = \frac{n_2}{n_1} \cdot I_2 = 0.1A$ ，故A正确．

故选A．

36 如图所示的电路中，理想变压器初级线圈匝数 $n_1 = 1000$ 匝，次级有两个线圈，匝数分别为 $n_2 = 500$ 匝， $n_3 = 200$ 匝，分别接一个 $R = 55\Omega$ 的电阻，在初级线圈上接入 $U_1 = 220V$ 的交变电流．求：





- (1) 两次级线圈输出功率之比 .  
(2) 初级线圈中的电流 .

答案

(1)  $P_2 : P_3 = 25 : 4$

(2)  $I_1 = 1.16\text{A}$

解析

(1) 对两个次级线圈有  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \frac{U_1}{U_3} = \frac{n_1}{n_3}$  , 所以  $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1 = \frac{1}{2} U_1$  ,  $U_3 = \frac{n_3}{n_1} U_1 = \frac{1}{5} U_1$  , 又  $P = \frac{U^2}{R}$  , 所以  $\frac{P_2}{P_3} = \frac{U_2^2}{U_3^2} = \frac{25}{4}$  ;

(2) 由欧姆定律得 :  $I_2 = \frac{U_2}{R} = 2\text{A}$  ,  $I_3 = \frac{U_3}{R} = 0.8\text{A}$  , 对两个次级线圈的变压器有  $n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3$  , 所以有  $I_1 = 0.5 I_2 + 0.2 I_3 = 1.16\text{A}$  .



### 理想变压器的动态分析

理想变压器的动态分析有下列两种情况 :

第一种情况是原、副线圈匝数比不变 , 分析原、副线圈的电压  $U_1$ 、 $U_2$ 、电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、电功率  $P_1$ 、 $P_2$  随负载电阻变化而变化的情况。此时  $U_1$ 、 $U_2$  为定值 ,  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $P_1$ 、 $P_2$  随负载电阻的减小而增大。分析顺序 :  $U_1 \rightarrow U_2 \rightarrow I_2 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow I_1$ 。

第二种情况是负载电阻不变 , 分析上述物理量随原、副线圈匝数比变化而变化的情况。假设原线圈电压和匝数都不变 , 此时  $U_2$  随副线圈匝数  $n_2$  增大而增大 , 进而  $I_2$ 、 $P_2$  增大 ,  $I_1$ 、 $P_1$  也随之增大。分析顺序与前一种情况相同。

分析过程中的核心关系是电压制约和功率制约。

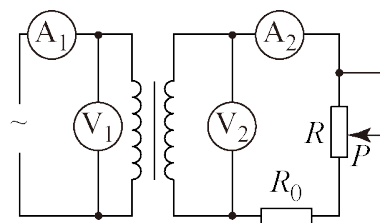
### 例题精讲

37

如图所示为模拟街头变压器通过降压给用户供电的示意图 , 变压器输入的交流电压可视为不变 .

变压器输出的低压交流电通过输电线输送给用户 . 定值电阻  $R_0$  表示输电线的电阻 , 变阻器  $R$  表示

用户用电器的总电阻。若变压器为理想变压器，电表为理想电表，则在变阻器的滑片 $P$ 向上移动的过程中（ ）



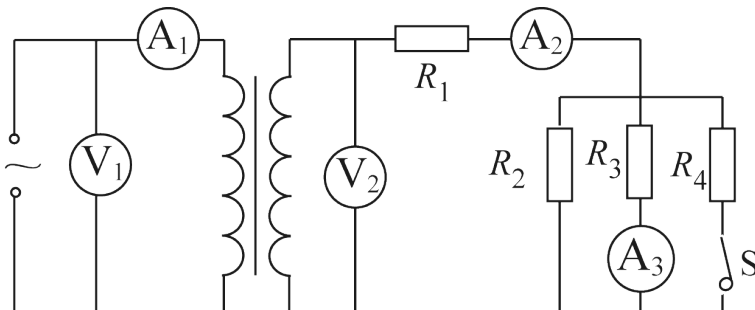
- A.  $V_2$ 示数变小      B.  $V_1$ 示数变大      C.  $A_2$ 示数变大      D.  $A_1$ 示数变小

答案 D

解析 略

照猫画虎

- 38 如图，一理想变压器原线圈接入一交流电源，副线圈电路中 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ 和 $R_4$ 均为固定电阻，开关 $S$ 是闭合的。 $V_1$ 和 $V_2$ 为理想电压表，读数分别为 $U_1$ 和 $U_2$ ； $A_1$ 、 $A_2$ 和 $A_3$ 为理想电流表，读数分别为 $I_1$ 、 $I_2$ 和 $I_3$ 。现断开 $S$ ， $U_1$ 数值不变，下列推断中正确的是（ ）



- A.  $U_2$ 变小、 $I_3$ 变小      B.  $U_2$ 不变、 $I_3$ 变大      C.  $I_1$ 变小、 $I_2$ 变小      D.  $I_1$ 变大、 $I_2$ 变大

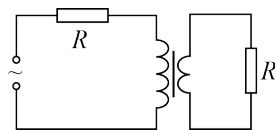
答案 BC

解析 当副线圈中 $S$ 断开后，副线圈中总电阻增大，干路的电流减小，故 $I_2$ 减小， $U_2$ 不变， $I_3$ 增大， $I_1$ 减小，故答案为B、C。  
故选BC。

原线圈有负载的情况分析（选讲）

例题精讲

- 39 一理想变压器的原、副线圈的匝数比为 $3:1$ ，在原、副线圈的回路中分别接有阻值相同的电阻，原线圈一侧接在电压为 $220\text{V}$ 的正弦交流电源上，如图所示，设副线圈回路中电阻两端的电压为 $U$ ，原、副线圈回路中电阻消耗的功率的比值为 $k$ ，则（ ）



- A.  $U = 66\text{V}$ ,  $k = \frac{1}{9}$     B.  $U = 22\text{V}$ ,  $k = \frac{1}{9}$     C.  $U = 66\text{V}$ ,  $k = \frac{1}{3}$     D.  $U = 22\text{V}$ ,  $k = \frac{1}{3}$

答案 A

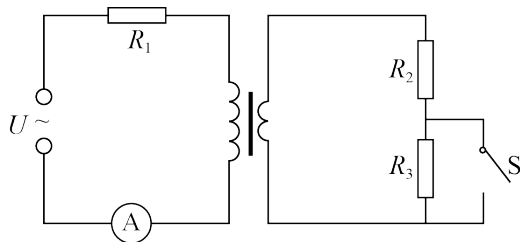
解析  $\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{3}{1}$ ，根据 $P = I^2 R$ 得 $\frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{9}$ ，所以 $k = \frac{1}{9}$ 。  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{3}{1}$ ， $U_{R_{\text{原}}} = IR$ ， $U_{R_{\text{副}}} = 3IR$ ， $U_{R_{\text{原}}} = 3U_{R_{\text{副}}} = 9IR$ ，得 $U_{R_{\text{原}}} + U_{R_{\text{副}}} = 10IR = 220\text{V}$ ，解得 $U_{R_{\text{副}}} = 66\text{V}$ 。

故A正确，BCD错误。

故选A。

照猫画虎

- 40 一含有理想变压器的电路如图所示，图中电阻 $R_1$ 、 $R_2$ 和 $R_3$ 的阻值分别为 $3\Omega$ 、 $1\Omega$ 和 $4\Omega$ ，A为理想交流电流表， $U$ 为正弦交流电压源，输出电压的有效值恒定。当开关S断开时，电流表的示数为 $I$ ；当S闭合时，电流表的示数为 $4I$ 。该变压器原、副线圈匝数比为（ ）



- A. 2    B. 3    C. 4    D. 5

答案 B

解析 设总输入电压为 $U$ ，原线圈与副线圈匝数之比为 $n$ ：

原线圈电流 $I$ ，副线圈电流 $nI$ ，副线圈电压 $U_2 = (1\Omega + 4\Omega)nI = 5nI$ ，原线圈电阻两端电压

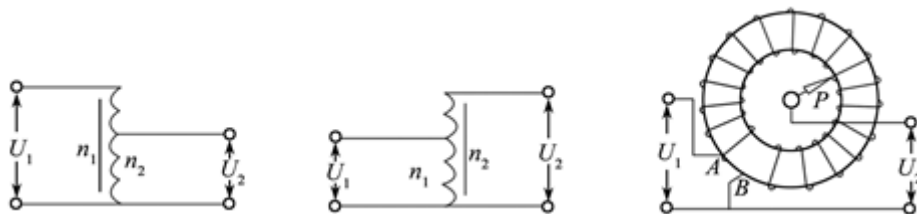
$U_{R_1} = 3\Omega \times I = 3I$ ，则总电压 $U = 5n^2 I + 3I$ ；

原线圈电流 $4I$ ，副线圈电流 $4nI$ ，副线圈电压 $U_2' = 1\Omega \times 4nI = 4nI$ ，则原线圈电阻两端电压  
 $U_{R_1}' = 3\Omega \times 4I = 12I$ ，则原线圈电压为 $U_1' = nU_2' = 4n^2I + 12I$ ，利用输入总电压相等  
 $U = 5n^2I + 3I = 4n^2I + 12I$ ，解得 $n = 3$ 。  
 故选B。

## 4. 几种常见变压器

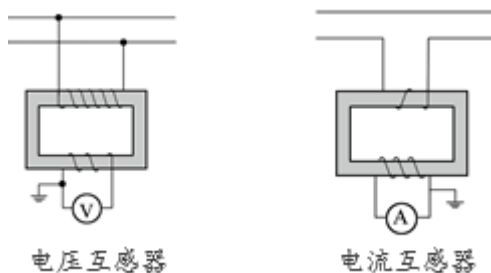
### (1) 自耦变压器

铁芯上只绕一个线圈。如果把整个线圈作原线圈，只取线圈的一部分作副线圈就可以降低电压，如下图所示左。反之可以升高电压，如下图所示中。调压变压器就是一种自耦变压器，构造如下图所示右。移动滑动触头 $P$ 的位置，就可以调节输出电压 $U_2$ 。



### (2) 互感器

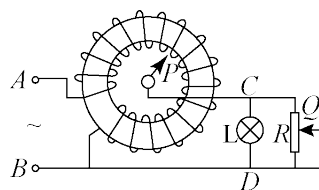
由于绝缘能力有限，交流电压表都有一定的量度范围，不能直接测量过高的电压。如果用变压器把高电压变成低电压再接到交流电压表上，这个问题就解决了，如图左图所示，这样的变压器叫**电压互感器**。



可以如果把变压器上原线圈的匝数做得较少，而副线圈的匝数较多，把原线圈串联在电路中，副线圈的两端接在普通的交流电表上，副线圈的电流就比原线圈的电流小，于是就可  
 用普通电流表测量很大的电流了，如图右图所示，这样的变压器叫**电流互感器**。

### 例题精讲

- 41 如图所示，一自耦变压器（可看做理想变压器）输入端 $AB$ 间加一正弦式交流电压，在输出端 $CD$ 间接灯泡和滑动变阻器。转动滑片 $P$ 可以改变副线圈的匝数，移动滑片 $Q$ 可以改变接入电路电阻的阻值。则（ ）

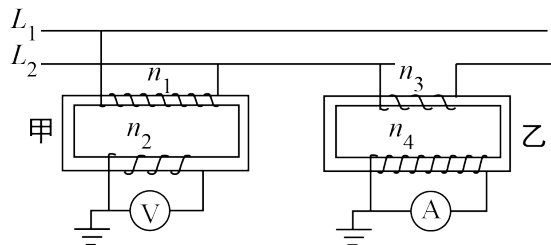


- A. 只将 $P$ 顺时针转动，灯泡变亮  
B. 只将 $P$ 逆时针转动，灯泡变亮  
C. 只将 $Q$ 向上移动，灯泡变亮  
D. 只将 $Q$ 向下移动，灯泡变亮

答案 B

解析 A. 将 $P$ 沿顺时针方向移动时，变压器的原线圈的匝数增大，副线圈的匝数减少，灯泡两端的电压将减小，所以灯泡变暗，A错误；  
B. 将 $P$ 沿逆时针方向移动时，变压器的原线圈的匝数减少，副线圈的匝数增多，灯泡两端的电压将增大，所以灯泡变亮，B正确；  
CD. 当将 $Q$ 向上移动或将 $Q$ 向下移动时，改变的是连入电路的电阻大小变化，而灯泡两端的电压副线圈的匝数比决定，现在匝数不变，输入电压不变，所以灯泡两端电压不变，CD错误。  
故选B。

- 42 如图所示， $L_1$ 和 $L_2$ 是输电线，甲、乙是两个互感器，通过观测接在甲、乙中的电表读数，可以间接得到输电线两端电压和通过输电线的电流。若已知图中 $n_1 : n_2 = 100 : 1$ ， $n_3 : n_4 = 1 : 10$ ，V表示数为 $220V$ ，A表示数为 $10A$ ，则下列判断正确的是（ ）



- A. 甲是电压互感器，输电线两端电压是 $2.2 \times 10^4 V$   
B. 乙是电压互感器，输电线两端电压是 $2.2 \times 10^3 V$

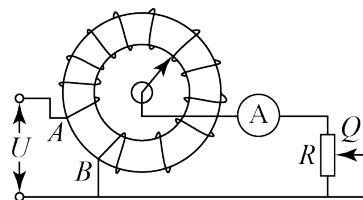
- C. 甲是电流互感器，通过输电线的电流是100A  
D. 乙是电流互感器，通过输电线的电流是0.1A

答案 A

解析 A、C、甲图的原线圈两端接电源两端的电压，所以是电压互感器，已知 $n_1 : n_2 = 100 : 1$ ，电压表示数为220V，故传输电压为： $U = 220V \times 100 = 2.2 \times 10^4 V$ ；故A正确，C错误；  
B、D、乙图中的原线圈串联接入输电线的一根导线，所以是电流互感器，已知 $n_3 : n_4 = 1 : 10$ ，电流表示数为10A，故传输电流为： $I = 10A \times 10 = 100A$ ；故BD错误。  
故选A。

### 照猫画虎

- 43 如图所示是一种理想的自耦变压器，线圈AB绕在一个圆环形的铁芯上，AB间加上正弦式交变电压 $U$ ，移动滑动触头P的位置，就可以调节输出电压，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，则（ ）

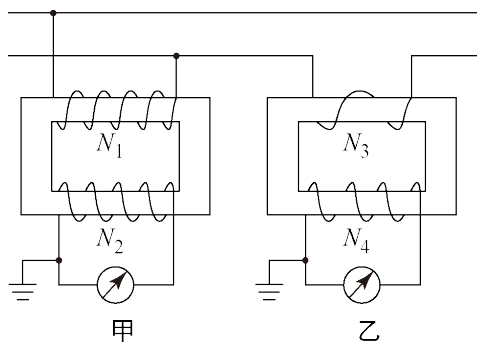


- A. 保持P不动，将Q向下移动，电流表的读数变大  
B. 保持P不动，将Q向下移动，变压器的输入功率减小  
C. 保持Q不动，将P沿逆时针方向移动，电流表的读数变大  
D. 保持Q不动，将P沿逆时针方向移动，变压器的输入功率减小

答案 BC

解析 略

- 44 图中甲、乙是配电房中的互感器和电表的接线图，以下说法正确的是（ ）



- A. 线圈匝数  $N_1 < N_2$  ,  $N_3 < N_4$
- B. 线圈匝数  $N_1 > N_2$  ,  $N_3 < N_4$
- C. 甲图中的电表是电压表, 乙图中的电表是电流表
- D. 甲图中的电表是电流表, 乙图中的电表是电压表

**答案** BC

**解析** 根据变压器原理, 原副线圈电压之比等于匝数之比, 电流之比等于匝数反比, 并且电压表应并联在电路上, 电流表应串联在电路中, 所以答案BC正确。  
故选BC。

## 六、远距离输电

### 1. 远距离输电背景

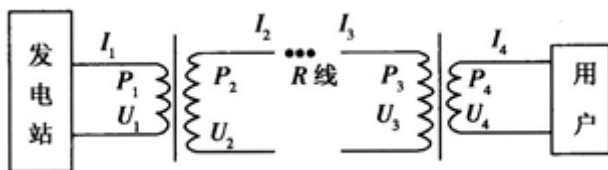
为了便于利用天然能源, 发电厂往往建在水力资源或燃料资源较为丰富的地方, 如水电站建在水库、火电站建在煤矿附近等。这些地方往往距离城市较远, 但是, 用电较多的地方却是城市, 因而需要远距离输电。如何实现远距离输电, 怎样减少电能输送过程中的损失?

**思考:** 某发电厂的输出功率  $P_0 = 220\text{kW}$ , 输电导线的总电阻  $r = 0.1\Omega$ 。如果采用  $U = 220\text{V}$  的电压给用户供电, 导线上损耗的热功率为多少? 如果采用  $U = 2200\text{V}$  的电压供电, 导线上损耗的热功率又为多少?

通过上面的计算可以发现, 输电电压升高10倍, 输送过程中电能的损耗降为原来的1/100, 由此可见, 升高电压能有效地减少电能输送过程中的损失。

### 2. 远距离输电模型

高压电输送到用电地区时，要经过几级变电站，用降压变压器把电压降到用户所需要的电压。从发电厂到用户的输电线路的示意图可用下图所示。



发电机→升压变压器→远距离输电线→降压变压器→用电器

### 高压输电满足的基本关系

①电压关系： $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ， $U_2 = IR_{\text{线}} + U_3$ ， $\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4}$ ；

②电流关系： $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ ， $I_2 = I_3$ ， $\frac{I_3}{I_4} = \frac{n_4}{n_3}$ ；

③功率关系： $P_1 = P_2$ ， $P_2 = P_{\text{线损}} + P_3$ ， $P_3 = P_4$ ， $P_4 = P_1 - P_{\text{线损}}$ ， $P_{\text{线损}} = I_2^2 R_{\text{线}}$ 。

## 3. 减少输电损耗的方法

据  $P_{\text{损}} = I^2 R$  可知，减少输电线路上功率损失的思路主要有两种：

(1) **减少输电线的电阻  $R$** ，据  $R = \rho \frac{L}{S}$

(a) 减小输电线的长度  $L$ ：由于输电线距离一定，所以在实际中不可能用减小  $L$  来减小  $R$ ；

(b) 减小电阻率  $\rho$ ：目前一般用电阻率较小的铜或铝作导线材料；

(c) 增大导线的横截面积  $S$ ：这要多耗费金属材料，增加成本，同时给输电线的架设带来很大的困难；

(2) **减小输电电流  $I$** ，据  $I = \frac{P}{U}$

(a) 减小输送功率  $P$ ：在实际中不能以用户少用或不用电来达到减少损耗的目的；

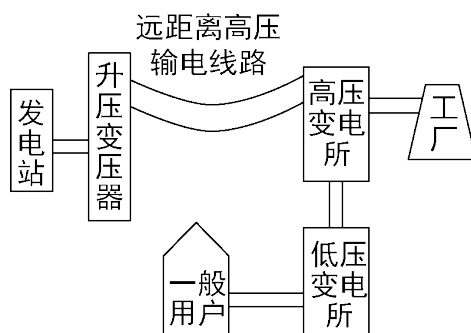
(b) 提高输电电压  $U$ ：在输送功率  $P$  一定时，输电线电阻  $R$  一定的情况下，输电电压提高到原来的  $n$  倍，据  $P_{\text{线损}} = \left(\frac{P}{U}\right)^2 \cdot R$  知，输电线上功率耗损将降为原来的  $\frac{1}{n^2}$ ；

据以上分析知，采用高压输电是减少输电线上电能损失最有效、最经济的措施。

### 例题精讲

45 如图为远距离高压输电的示意图。关于远距离输电，下列表述正确的是（ ）





- A. 增加输电导线的横截面积不影响输电过程中的电能损失
- B. 高压输电是通过减小输电电流来减小电路的发热损耗的
- C. 在输送电压一定时，输送的电功率越大，输电过程中的电能损失越小
- D. 高压输电必须综合考虑各种因素，不一定是电压越高越好

答案 BD

**解析** A. 增加输电导线的横截面积能减小电阻，根据  $P_{\text{损}} = I^2 R$ ，减小电阻，有利于减少输电过程中的电能损失，故A错误；

B. 根据  $P = UI$  知，高压输电是通过减小输电电流来减少电路的发热损耗，故B正确；

C. 输送的电功率越大，则输电线上流过的电流越大，输电过程中的电能损失越大，故C错误；

D. 高压输电必须综合考虑各种因素，不一定是电压越高越好，故D正确。

故选BD。

46 风力发电作为新型环保能源，近几年来得到了快速发展。如图是所建的风车阵。如果风车阵中发电机总输出功率为100kW，输出电压是250V，先后经过升压变压器和降压变压器传输到用户，设输电线的总电阻为10Ω。若要求输电线中因发热而损失的功率为输送功率的4%，试求：



- (1) 输电线上的电压损失为多少？
- (2) 输电线路中设置的升压变压器的原、副线圈的匝数比为多少？
- (3) 用户得到的电能使多少盏“220V, 40W”的灯泡正常发光？

答案

- (1)  $U = 200\text{V}$
- (2)  $\frac{1}{20}$
- (3)  $N = 2.4 \times 10^3$

解析

- (1) 根据输电线中因发热损失的电功率为输送功率的4%,  $P = 100\text{kW} \times 4$

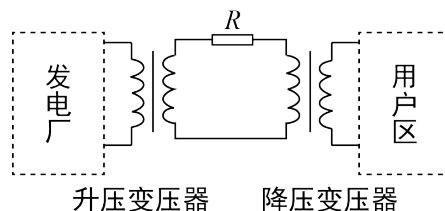
$$P = \frac{U^2}{R} \text{ 得 } U = 200\text{V}$$

$$(2) I_2 = \frac{U_{\text{损}}}{R} = 20\text{A}, I_1 = \frac{P_{\text{输出}}}{U_{\text{输出}}} = 400\text{A}, \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{20}$$

$$(3) BP = (1 - 4\%)P, \text{ 得 } N = 2.4 \times 10^3 \text{ 盏}$$

照猫画虎

- 47 在如图所示的远距离输电电路图中, 升压变压器和降压变压器均为理想变压器, 发电厂的输出电压和输电线的电阻均不变, 随着发电厂输出功率的增大, 下列说法中正确的有 ( )



- A. 升压变压器的输出电压增大
- B. 降压变压器的输出电压增大
- C. 输电线上损耗的功率增大
- D. 输电线上损耗的功率占总功率的比例增大

答案

CD

解析

方法一: A. 应不变, A错误;

B.  $I = \frac{P}{U}$ ,  $U = IR$ ,  $U_3 = U_2 - U$ , 因  $P$  变大,  $I$  变大, 所以  $U$  变大, 所以降压变压器初级电压  $U_3$  变小, B错误;

C.  $P = \left(\frac{P}{U}\right)^2 R$ , 因  $P$  变大, 所以  $P$  变大, C正确;

D.  $\frac{P}{P} = \frac{\left(\frac{P}{U}\right)^2 R}{P} = \frac{PR}{U^2}$ , 因  $P$  变大, 所以比值变大, D正确.

故选CD.

方法二：A. 由于发电厂的输出电压不变，升压变压器的匝数不变，所以升压变压器的输出电压不变，故A错误；

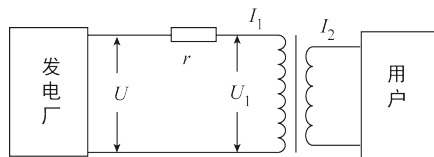
B. 由于发电厂的输出功率增大，则升压变压器的输出功率增大，又升压变压器的输出电压  $U_2$  不变，根据  $P = UI$ ，可知输电线上的电流  $I_{\text{线}}$  增大，根据  $U_{\text{损}} = I_{\text{线}} R$ ，输电线上的电压损失增大，根据降压变压器的输入电压  $U_3 = U_2 - U_{\text{损}}$  可得，降压变压器的输入电压  $U_3$  减小，降压变压器的匝数不变，所以降压变压器的输出电压减小，故B错；

C. 根据  $P_{\text{损}} = I_{\text{线}}^2 R$ ，又输电线上的电流增大，电阻不变，所以输电线上的功率损失增大，故C正确；

D. 根据  $\eta = \frac{\left(\frac{P}{U_2}\right)^2 R}{P} = \frac{PR}{U_2^2}$ ，发电厂的输出电压不变，输电线上的电阻不变，所以输电线上损耗的功率占总功率的比例随着发电厂输出功率的增大而增大. 故D正确.

故选CD.

48 如图所示为远距离交流输电的简化电路图. 发电厂的输出电压是  $U$ ，用等效总电阻是  $r$  的两条输电线输电，输电线路中的电流是  $I_1$ ，其末端间的电压为  $U_1$ . 在输电线与用户间连有一理想变压器，流入用户端的电流是  $I_2$ . 则 ( )



A. 用户端的电压为  $I_1 U_1 / I_2$

B. 输电线上的电压降为  $U$

C. 理想变压器的输入功率为  $I_1^2 r$

D. 输电线路上的损失功率为  $I_1 U$

答案 A

解析 方法一：A. 理想变压器输入端与输出端功率相等， $U_1 I_1 = U_2 I_2$ ，用户端的电压  $U_2 = \frac{I_1}{I_2} U_1$ ，A正确；

B. 输电线上的电压降  $\Delta U = U - U_1 = I_1 r$ ，B错误；

CD. 理想变压器输电线上损失的功率为  $I_1^2 r$ ，C、D错误.

故选A.

方法二：A．由于输电线与用户间连有一理想变压器，设用户端的电压是 $U_2$ ，则 $U_1 I_1 = U_2 I_2$ ，得： $U_2 = \frac{I_1 U_1}{I_2}$ ，故A正确；

B．发电厂的输出电压是 $U$ ，所以输电线上的电压降不可能是 $U$ ，故B错误；

C．等效总电阻是 $r$ 的两条输电线输电，输电线路中的电流是 $I_1$ ，所以输电线是损耗的功率是： $I_1^2 r$ ，故C错误；

D．发电厂的输出电压是 $U$ ，末端间的电压为 $U_1$ ，输电线路上的损失的电功率是： $I_1(U - U_1)$ ，故D错误．

故选A．