

第十三章 交变电流 电磁振荡与电磁波 传感器

第1讲 交变电流的产生与描述

课标要求

通过实验，认识交变电流；能用公式和图像描述正弦式交变电流；了解发电机和电动机工作过程中的能量转化。

必备知识·强基固本

一、正弦式交变电流

1. 产生：在匀强磁场里，线圈绕_____方向的轴匀速转动。

【答案】垂直于磁场

2. 中性面

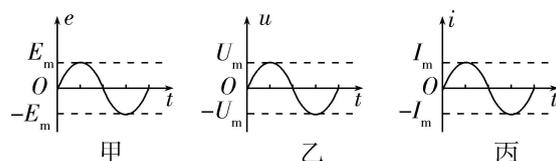
(1) 定义：与磁场方向_____的平面。

(2) 特点：线圈位于中性面时，穿过线圈的磁通量_____，磁通量的变化率为_____，感应电动势为_____。线圈每经过中性面一次，电流的方向就改变一次。

【答案】(1) 垂直

(2) 最大；零；零

3. 图像：用以描述交变电流随时间变化的规律，如果线圈在中性面位置时开始计时，其图像为_____曲线，如图所示。



【答案】正弦

4. 电动势随时间的变化规律（从线圈位于中性面位置时开始计时）： $e =$ _____。

【答案】 $nBS\omega\sin\omega t$

二、描述交变电流的物理量

1. 周期和频率

(1) 周期 T ：交变电流完成1次周期性变化所需要的_____。

(2) 频率 f ：交变电流在1s内完成_____的次数。

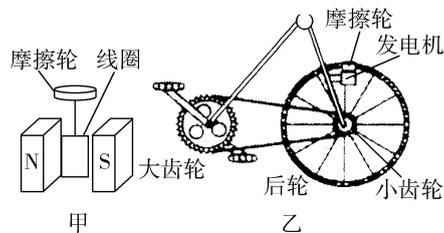
(3) 周期和频率的关系： $T = \frac{1}{f}$ 或 $f = \frac{1}{T}$ 。

2. 交变电流的“四值”

- (1) 瞬时值：交变电流_____的值。
- (2) 最大值：交变电流所能达到的最大值。
- (3) 有效值：让恒定电流和交变电流分别通过阻值相等的电阻，如果在交变电流的一个周期内它们_____相等，就可以把恒定电流的数值规定为这个交变电流的有效值。
- (4) 正弦式交变电流的有效值与最大值之间的关系： $I = \underline{\hspace{2cm}}$ ，
 $U = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $E = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
- (5) 交变电流的平均值： $\bar{E} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ， $\bar{i} = \frac{n\Delta\Phi}{(R+r)\Delta t}$ 。

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。有一种自行车，它有能向自行车车头灯泡供电的小型发电机，其原理示意图如图甲所示，图中 N、S 是一对固定的磁极，磁极间有一固定在绝缘转轴上的矩形线圈，转轴的一端有一个与自行车后轮边缘接触的摩擦轮。如图乙所示，当车轮转动时，因摩擦而带动摩擦轮转动，从而使线圈在磁场中转动，产生电流给车头灯泡供电。



- (1) 自行车匀速行驶时线圈中产生的是交变电流。（ ）
- (2) 自行车的速度加倍，线圈中交变电流的周期加倍。（ ）
- (3) 小灯泡亮度与自行车的行驶速度无关。（ ）
- (4) 知道摩擦轮和后轮的半径，就可以知道后轮转一周的时间里电流方向变化的次数。（ ）
- (5) 线圈匝数越多，穿过线圈的磁通量的变化率越大。（ ）

【答案】 (1)

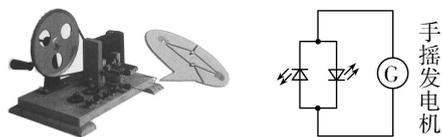
(2)

(3)

(4)

(5)

2. (人教版选择性必修第二册改编) 把发光颜色不同的两个二极管并联(该类二极管具有单向导电性, 导通时发光), 使两者正负极方向不同。当摇动手摇发电机时, 两个二极管交替发光, 则流过其中一个二极管的电流是 ()



- A. 交流电 B. 直流电 C. 恒定电流 D. 涡流

【答案】B

3. 多选 (人教版选择性必修第二册改编) 关于中性面, 下列说法正确的是 ()

- A. 线圈在转动中经过中性面位置时, 穿过线圈的磁通量最大, 磁通量的变化率为零
 B. 线圈在转动中经过中性面位置时, 穿过线圈的磁通量为零, 磁通量的变化率最大
 C. 线圈每经过一次中性面, 感应电流的方向就改变一次
 D. 线圈每转动一周经过中性面一次, 所以线圈每转动一周, 感应电流的方向就改变一次

【答案】AC

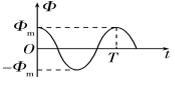
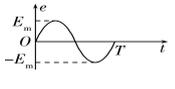
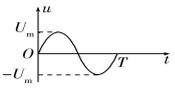
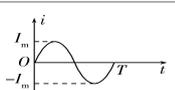
关键能力·核心突破

考点一 正弦式交变电流的产生及变化规律

1. 正弦式交流电产生过程中的两个特殊位置

图示		
位置	中性面位置	与中性面垂直的位置
特点	$B \perp S$	$B // S$
	$\Phi = BS$, 最大	$\Phi = 0$, 最小
	$e = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$, 最小	$e = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = nBS\omega$, 最大
	感应电流为零, 方向改变	感应电流最大, 方向不变

2. 正弦式交变电流的变化规律 (线圈在中性面位置时开始计时)

物理量	瞬时值表达式	图像
磁通量	$\Phi = \Phi_m \cos \omega t = BS \cos \omega t$	
电动势	$e = E_m \sin \omega t = nBS\omega \sin \omega t$	
电压	$u = U_m \sin \omega t = \frac{RE_m}{R+r} \sin \omega t$	
电流	$i = I_m \sin \omega t = \frac{E_m}{R+r} \sin \omega t$	

3. 确定交变电流瞬时值表达式的基本思路

(1) 求出角速度 ω ， $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ 。

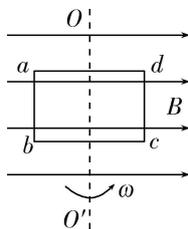
(2) 确定正弦式交变电流的峰值，根据已知图像读出或由公式 $E_m = nBS\omega$ 求出相应峰值。

(3) 明确线圈的初始位置，找出对应的函数关系式。

如：①线圈从中性面位置开始转动，则 $i-t$ 图像为正弦函数图像，表达式为 $i = I_m \sin \omega t$ 。

②线圈从垂直中性面位置开始转动，则 $i-t$ 图像为余弦函数图像，表达式为 $i = I_m \cos \omega t$ 。

例 1 多选 为研究交变电流产生的规律，某研究小组把长 60m 的导线绕制成匝数为 $N = 100$ 的矩形闭合线圈，如图所示。现把线圈放到磁感应强度 $B = 0.1\text{T}$ 的匀强磁场中，线圈可以绕其对称轴 OO' 转动。现让线圈从图示位置开始 ($t = 0$) 以恒定的角速度 $\omega = 10\pi \text{rad/s}$ 转动。下列说法正确的是 ()



A. $t = 0$ 时，线圈位于中性面位置

B. $t = 0.05\text{s}$ 时，感应电流方向发生改变

C. 当 $bc = 2ab$ 时，感应电动势瞬时值表达式为 $e = 2\pi \cos 10\pi t (\text{V})$

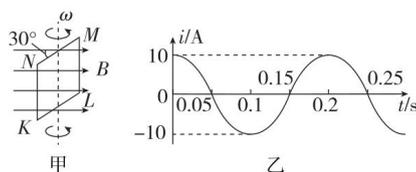
D. 当 $ab = ad$ 时，感应电动势的有效值最大

【答案】BCD

【解析】 $t = 0$ 时，线圈位于与中性面垂直的位置，故 A 错误；线圈的周期为 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 0.2\text{s}$ ， $t = 0.05\text{s}$ 时，线圈转过 90° ，到达中性面位置，磁通量最大，感应电流方向发生改变，故 B 正确；电动势最大值

为 $E_m = NBS\omega$ ， $S = ab \cdot bc$ ， $N(ab + bc) \times 2 = 60\text{m}$ ， $2ab = bc$ ，联立可得 $E_m = 2\pi\text{V}$ ，线圈从图示（平行于磁场方向）位置开始转动，因此感应电动势瞬时值表达式为 $e = 2\pi\cos 10\pi t(\text{V})$ ，故 C 正确；线圈周长为 0.6m ，当 $ab = ad$ 时，边长相等，线圈面积最大，则 $E_m = NBS\omega$ 最大，感应电动势的有效值最大，故 D 正确。

迁移应用 1. [2024·山西太原模拟] 多选 如图甲所示， $KLMN$ 是一个电阻为 $R = 0.4\Omega$ 的单匝竖直矩形闭合导线框，全部处于水平方向的匀强磁场中， MN 边水平，线框绕某一竖直固定轴按俯视的逆时针方向匀速转动，产生的感应电流如图乙所示。下列说法正确的是（ ）



- A. 1s 时间内电流方向改变 5 次
- B. 若从图甲所示时刻开始计时，并且规定 $M \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow N \rightarrow M$ 方向为电流的正方向，则电流表达式为 $i = 10\sin(10\pi t + \frac{2}{3}\pi)\text{A}$
- C. 图示时刻感应电动势的瞬时值为 2V
- D. 磁通量的最大值为 $\frac{2}{5\pi}\text{Wb}$

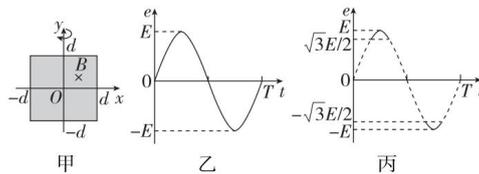
【答案】BD

【解析】 由题图乙可知周期为 0.2s ，一个周期内电流方向改变 2 次，则 1s 时间内电流方向改变 10 次，故 A 错误；若从题图甲所示时刻开始计时，并且规定 $M \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow N \rightarrow M$ 方向为电流的正方向，则 $t = 0$ 时刻电流方向为正，线框平面与中性面的夹角为 $\frac{\pi}{3}$ ，且再转 $\frac{\pi}{3}$ 到中性面处，则电流表达式为 $i = I_m \sin(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0) = 10\sin(10\pi t + \frac{2}{3}\pi)\text{A}$ ，故 B 正确；感应电动势最大值为 $E_m = I_m R = 4\text{V}$ ，图示时刻感应电动势的瞬时值 $e = E_m \cos 30^\circ = 2\sqrt{3}\text{V}$ ，故 C 错误；

根据电动势最大值 $E_m = BS\omega$ ，可知磁通量的最大值为 $\Phi_m = BS = \frac{E_m}{\omega} =$

$\frac{4}{2\pi} \text{Wb} = \frac{2}{5\pi} \text{Wb}$ ，故 D 正确。

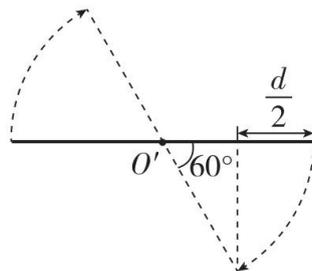
迁移应用 2. [2024·山东卷·8, 3分] 如图甲所示，在 $-d \leq x \leq d$ ， $-d \leq y \leq d$ 的区域中存在垂直 Oxy 平面向里、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场（用阴影表示磁场的区域），边长为 $2d$ 的正方形线圈与磁场边界重合。线圈以 y 轴为转轴匀速转动时，线圈中产生的交变电动势如图乙所示。若仅磁场的区域发生了变化，线圈中产生的电动势变为图丙所示实线部分，则变化后磁场的区域可能为（ ）



- A. $-d/2 \quad d/2$
- B. $-\sqrt{3}d/4 \quad \sqrt{3}d/4$
- C. $-d/2 \quad d/2$
- D. $-\sqrt{3}d/2 \quad \sqrt{3}d/2$

【答案】C

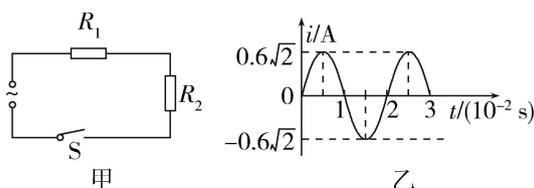
【解析】 感应电动势瞬时值表达式 $e = E \sin \omega t$ ，当 $e = \frac{\sqrt{3}}{2} E$ 时， $\sin \omega t = \frac{\sqrt{3}}{2}$ ，即磁场区域改变后线圈由题图甲所示位置转过 60° （见俯视图）的过程中线圈内磁通量不变，无感应电动势产生，由图中关系可知磁场区域分布在 $-\frac{d}{2} \leq x \leq \frac{d}{2}$ 空间内，C 正确。



俯视图

考点二 交变电流有效值的计算

1. 正弦式波形电阻 R_1 、 R_2 与交流电源按照图甲所示方式连接， $R_1 = 10\Omega$ ， $R_2 = 20\Omega$ 。合上开关S后，通过电阻 R_2 的正弦式交变电流*i*随时间*t*变化的情况如图乙所示。则（ ）

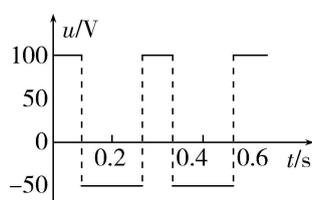


- A. 通过 R_1 的电流有效值是 1.2A
- B. R_1 两端的电压有效值是 6V
- C. 通过 R_2 的电流有效值是 $1.2\sqrt{2}$ A
- D. R_2 两端的电压最大值是 $6\sqrt{2}$ V

【答案】B

【解析】由题图乙知通过 R_2 的电流最大值为 $0.6\sqrt{2}$ A，由 $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 可知，其有效值为 0.6A，由于 R_1 与 R_2 串联，所以通过 R_1 的电流有效值也是 0.6A，选项 A、C 错误； R_1 两端电压有效值为 $U_1 = IR_1 = 6$ V，选项 B 正确； R_2 两端的电压最大值为 $U_{2m} = I_m R_2 = 0.6\sqrt{2} \times 20$ V = $12\sqrt{2}$ V，选项 D 错误。

2. 矩形波形一交流电压随时间变化的图像如图所示，此交流电压的有效值为（ ）

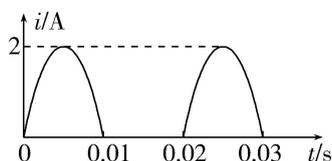


- A. $50\sqrt{2}$ V
- B. 50V
- C. $25\sqrt{2}$ V
- D. 75V

【答案】A

【解析】题图中给出的是一方波交流电压，周期 $T = 0.3$ s，前 $\frac{T}{3}$ 时间内 $U_1 = 100$ V，后 $\frac{2T}{3}$ 时间内 $U_2 = -50$ V。设该交流电压的有效值为 U ，根据有效值的定义，有 $\frac{U^2}{R} T = \frac{U_1^2}{R} \cdot \frac{T}{3} + \frac{U_2^2}{R} \cdot \frac{2}{3} T$ ，解得 $U = 50\sqrt{2}$ V，选项 A 正确。

3. 半波直流波形家用电子调光灯的调光功能是用电子线路将输入的正弦交流电压的波形截去一部分来实现的，截去部分后通过调光灯的电流随时间的变化图像如图所示，则下列说法正确的是（ ）

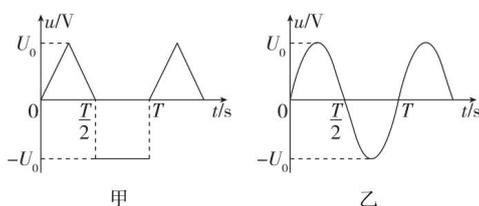


- A. 这也是一种交流电
- B. 电流的变化周期是 0.01s
- C. 电流的有效值是 1A
- D. 电流通过 100Ω 的电阻时，1s 内产生的热量为 200J

【答案】C

【解析】交流电的特点是电流方向变化，因此题图中电流不是交流电，A 错误；根据题图可得电流的变化周期是 0.02s，B 错误；根据有效值的定义得 $(\frac{I_m}{\sqrt{2}})^2 R \cdot \frac{T}{2} = I^2 R \cdot T$ ，代入数据解得 $I = 1A$ ，电流通过 100Ω 的电阻时，1s 内产生的热量为 100J，C 正确，D 错误。

4. [2024·河北卷·4, 4分]三角形脉冲与正弦波结合 R_1 、 R_2 为两个完全相同的定值电阻， R_1 两端的电压随时间周期性变化的规律如图甲所示（三角形脉冲交流电压的峰值是有效值的 $\sqrt{3}$ 倍）， R_2 两端的电压随时间按正弦规律变化如图乙所示，则两电阻在一个周期 T 内产生的热量之比 $Q_1:Q_2$ 为（ ）



- A. 2:3
- B. 4:3
- C. $2:\sqrt{3}$
- D. 5:4

【答案】B

【解析】依题意， $0 \sim \frac{T}{2}$ 时间内 R_1 两端电压的有效值为 $\frac{U_0}{\sqrt{3}}$ ，设 $R_1 = R_2 = R$ ，根据焦耳定律以及有效值的概念得 $Q_1 = \frac{(\frac{U_0}{\sqrt{3}})^2}{R} \cdot \frac{T}{2} + \frac{U_0^2}{R} \cdot \frac{T}{2}$ ， $Q_2 = \frac{(\frac{U_0}{\sqrt{2}})^2}{R} \cdot T$ ，可得 $Q_1:Q_2 = 4:3$ ，B 正确。

核心提炼

1.有效值的规定

交变电流、恒定电流分别通过同一电阻 R ，在交流电的一个周期内产生的焦耳热分别为 $Q_{交}$ 、 $Q_{直}$ ，若 $Q_{交} = Q_{直}$ ，则交变电流的有效值 $I = I_{直}$ 、 $U = U_{直}$ （直流有效值也可以这样算）。

2.交变电流有效值的两种求解方法

(1) 结论法

利用 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ 、 $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ 、 $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 计算，只适用于正弦式交变电流。

特别提醒：上述关系对于正弦式交变电流的一个周期波形、半个周期波形、两端是0和峰值的 $\frac{1}{4}$ 周期波形都成立。

(2) 有效值定义法（非正弦式交变电流）

计算时要抓住“三同”：即“相同时间”内“相同电阻”上产生“相同热量”。列式求解时注意时间为周期的整数倍，至少取一个周期。

考点三 交变电流“四值”的理解及应用

1.计算线圈某时刻的受力情况时，用交变电流的瞬时值。

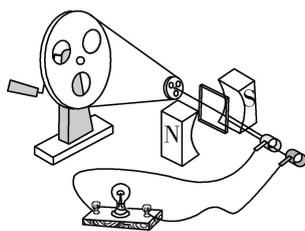
2.讨论电容器的击穿电压时，用交变电流的最大值（峰值）。

3.计算通过电路截面的电荷量时，用交变电流的平均值。平均值的表达式有 $\bar{E} = BLv$ ， $\bar{E} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ， $\bar{i} = \frac{\bar{E}}{R+r}$ 。

4.在以下情况中，使用交变电流的有效值：

- (1) 计算与电流的热效应有关的量（如电功、电功率、电热等）；
- (2) 一般电气设备铭牌上所标的数；
- (3) 保险丝的熔断电流；
- (4) 电表的读数。

例2 [2023·湖南卷·9，5分] **多选** 某同学自制了一个手摇交流发电机，如图所示。大轮与小轮通过皮带传动（皮带不打滑），半径之比为4:1，小轮与线圈固定在同一转轴上。线圈是由漆包线绕制而成的边长为 L 的正方形，共 n 匝，总阻值为 R 。磁体间磁场可视为磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。大轮以角速度 ω 匀速转动，带动小轮及线圈绕转轴转动，转轴与磁场方向垂直。线圈通过导线、滑环和电刷连接一个阻值恒为 R 的灯泡。假设发电时灯泡能发光且工作在额定电压以内，下列说法正确的是（ ）



- A. 线圈转动的角速度为 4ω
- B. 灯泡两端电压有效值为 $3\sqrt{2}nBL^2\omega$
- C. 若用总长为原来两倍的同种漆包线重新绕制成边长仍为 L 的多匝正方形线圈，则灯泡两端电压有效值为 $\frac{4\sqrt{2}nBL^2\omega}{3}$
- D. 若仅将小轮半径变为原来的两倍，则灯泡变得更亮

【答案】AC

【解析】大轮和小轮通过皮带传动，大轮和小轮边缘的线速度大小相等，即 $\omega \cdot 4r = \omega' \cdot r$ ，解得小轮及线圈转动的角速度 $\omega' = 4\omega$ ，A 正确；线圈中产生的感应电动势的最大值 $E_m = nBL^2\omega' = 4nBL^2\omega$ ，则感应电动势的有效值 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 2\sqrt{2}nBL^2\omega$ ，由闭合电路欧姆定律可知灯泡两端电压的有效值 $U = \frac{E}{2} = \sqrt{2}nBL^2\omega$ ，B 错误；若用总长为原来两倍的同种漆包线绕制成边长仍为 L 的多匝正方形线圈，则线圈匝数为 $2n$ ，线圈总阻值为 $2R$ ，线圈中产生的感应电动势的最大值 $E'_m = 2nBL^2\omega' = 8nBL^2\omega$ ，感应电动势的有效值 $E' = \frac{E'_m}{\sqrt{2}} = 4\sqrt{2}nBL^2\omega$ ，由闭合电路欧姆定律可知灯泡两端电压的有效值 $U' = \frac{E'}{3} = \frac{4\sqrt{2}}{3}nBL^2\omega$ ，C 正确；若仅将小轮半径变为原来的两倍，则小轮及线圈转动的角速度减小，线圈中产生的感应电动势减小，灯泡两端电压减小，功率减小，灯泡变暗，D 错误。

迁移应用 3. [2024·河南名校模拟] 矩形线圈在匀强磁场中匀速转动，产生交变电流的电动势 $e = 220\sqrt{2}\sin(100\pi t)\text{V}$ ，下列说法正确的是 ()

- A. 该交流电压有效值为 $220\sqrt{2}\text{V}$
- B. 该交流电每 1 秒钟电流方向改变 100 次
- C. 电容器铭牌标注“220V，100 μF ”，接入该交流电可以正常工作
- D. 在 $t = \frac{1}{400}\text{s}$ 时刻，电动势瞬时值为 $220\sqrt{2}\text{V}$

【答案】B

【解析】该交流电压有效值为 $U = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\text{V} = 220\text{V}$ ，故 A 错误；周期 $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{100\pi}\text{s} = 0.02\text{s}$ ，频率 $f = \frac{1}{T} = 50\text{Hz}$ ，则该交流电每 1 秒钟电流方向改变 100 次，故 B 正确；由于该交流电压的最大值 $220\sqrt{2}\text{V}$ 大于电容器的耐压值 220V ，接入该交流电不可以正常工作，故 C 错误；在 $t = \frac{1}{400}\text{s}$ 时刻，电动势瞬时值为 $e = 220\sqrt{2}\sin(100\pi \times \frac{1}{400})\text{V} = 220\text{V}$ ，故 D 错误。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 66

第 2 讲 变压器 电能的输送

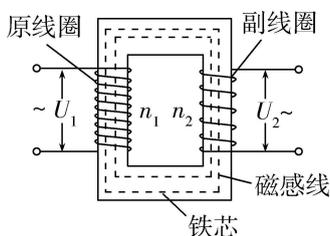
课标要求

通过实验，探究并了解变压器原、副线圈电压与匝数的关系；知道远距离输电时通常采用高压输电的原因。

必备知识·强基固本

一、理想变压器

1. 构造：如图所示，变压器是由闭合铁芯和绕在铁芯上的_____组成的。



(1) 原线圈：与交流电源连接的线圈，也叫_____。

两个线圈

【答案】初级线圈

(2) 副线圈：与负载连接的线圈，也叫_____。

【答案】次级线圈

2. 工作原理：电磁感应的__现象。

【答案】互感

3. 理想变压器的基本关系式

(1) 功率关系： $P_{\lambda} = P_{出}$ 。

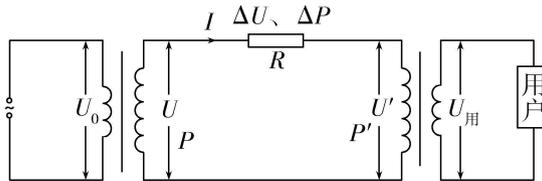
(2) 电压关系： $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ，若 $n_1 > n_2$ ，为__变压器；若 $n_1 < n_2$ ，为__变压器。

(3) 电流关系：只有一个副线圈时， $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ ；有多个副线圈时， $U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots + U_n I_n$ 。

【答案】 $\frac{n_1}{n_2}$ ；降压；升压； $\frac{n_2}{n_1}$

二、远距离输电

1. 输电线路（如图所示）



2. 输送电流： $I = \frac{P}{U} = \frac{U - U'}{R}$ 。

点拨

输送电流不能用 $I = \frac{U}{R}$ 求解，因为电压 U 不是输电线电阻 R 两端的电压。

3. 电压损失： $\Delta U = U - U' = IR$ 。

4. 功率损失： $\Delta P = P - P' = I^2 R = \left(\frac{P}{U}\right)^2 \cdot R = \frac{(\Delta U)^2}{R}$ 。

【答案】 $I^2 R$

5. 减少输电线上电能损失的方法

(1) 减小输电线的电阻 R ：由 $R = \rho \frac{L}{S}$ 知，可加大导线的_____、采用电阻率_____的材料做导线。

(2) 减小输电导线中的电流：在输电功率一定的情况下，根据 $P = UI$ ，要减小电流，必须提高_____。

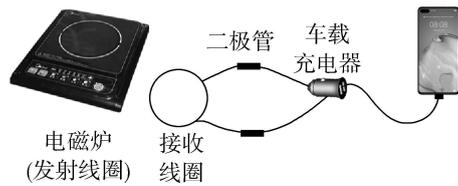
【答案】(1) 横截面积；小

(2) 输电电压

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。

无线充电器能给手机充电是因为两者内部有线圈存在，当电源的电流通过无线充电器的送电线圈时会产生变化的磁场，手机端的受电线圈靠近该磁场就会产生电流，两者密切配合，手机成功无线充电。如图为某科技小组自制的简易无线充电装置，由电磁炉（发射线圈）、接收线圈、二极管、车载充电器构成，发射线圈、接收线圈匝数比 $n_1:n_2 = 10:1$ ，若电磁炉两端所加电压为 $u = 220\sqrt{2}\sin 314t(\text{V})$ ，不考虑充电过程中的各种能量损失。



- (1) 无线充电的原理是利用了自感现象。 ()
- (2) 通过车载充电器的电流为交变电流。 ()
- (3) 车载充电器两端电压的有效值为 $22\sqrt{2}V$ 。 ()

【答案】 (1) ×

(2) ×

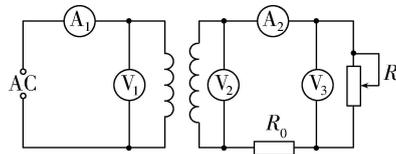
(3) ×

2. (人教版选择性必修第二册改编) 有些机床为了安全, 照明电灯用的电压是 $36V$, 这个电压是把 $380V$ 的电压降压后得到的。如果变压器的原线圈是 1140 匝, 副线圈是 ()

- A. 1081 匝 B. 1800 匝 C. 108 匝 D. 8010 匝

【答案】 C

3. 多选 (人教版选择性必修第二册改编) 如图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, 当滑动变阻器 R 的滑片向下移动时, 下列说法正确的是 ()



- A. V_1 读数不变, V_2 读数不变
- B. A_2 读数变大, A_1 读数不变
- C. A_2 读数变大, V_3 读数变小
- D. V_1 读数不变, A_1 读数不变

【答案】 AC

关键能力·核心突破

考点一 实验: 探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系

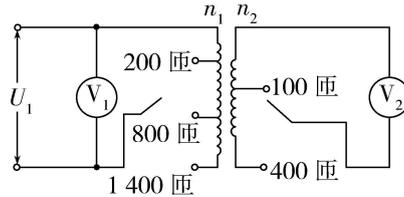
1. 实验器材

可拆变压器、低压交流电源、两只多用电表、导线若干、开关。

2.实验思路

保持原线圈输入的电压一定，先保持原线圈的匝数不变，改变副线圈的匝数，研究其对副线圈两端电压的影响。然后再保持副线圈的匝数不变，改变原线圈的匝数，研究原线圈的匝数对副线圈两端电压的影响。

3.实验电路图



画出实验电路图如图所示。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。

4.实验操作步骤

- (1) 组装可拆变压器。
- (2) 按电路图连接电路，注意原线圈一侧接低压交流电源。
- (3) 原、副线圈各取一定的匝数，闭合开关，用多用电表测出原、副线圈两端的电压，将数据记入设计的表格。
- (4) 保持原线圈的匝数不变，多次改变副线圈的匝数，用多用电表测出原、副线圈两端的电压，将一系列数据记入设计的表格。
- (5) 保持副线圈的匝数不变，多次改变原线圈的匝数，用多用电表测出原、副线圈两端的电压，将一系列数据记入设计的表格。
- (6) 先将两个多用电表从电路中断开，然后断开交流电源的开关，拆除电路。
- (7) 将多用电表的选择开关置于交流电压最大量程挡或“OFF”位置，整理器材。

5.分析数据，得出结论

原、副线圈上的电压之比近似等于它们的匝数之比。

例 1 某实验小组要探究“变压器的电压与匝数的关系”。

(1) 实验提供以下器材，电源应选_____。

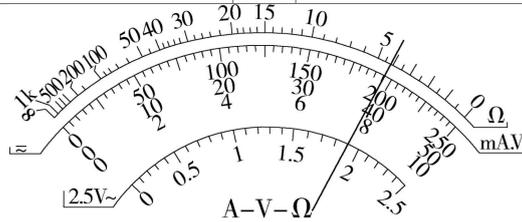
A. 多节干电池

B. 学生电源

(2) 用匝数 $N_1 = 100$ 和 $N_2 = 200$ 的变压器做实验，在原线圈的两端分别加上 2V、4V、6V 和 8V 的电压，测量出副线圈两端的相应电压，记录在表格中。表

格中第2次实验，副线圈两端电压的示数如图所示，选用量程为0~10V交流电压挡，读数为_____，并计算出此次实验 $U_1:U_2 =$ _____。

实验次数	1	2	3	4
U_1/V	2	4	6	8
U_2/V	3.9		11.8	5.7
$U_1:U_2$	1:1.95		1:1.97	1:1.96



(3) 实验可得出结论：_____。

(4) 导致实验误差的原因可能是。

- A. 原线圈所加电压小
- B. 变压器的铁芯漏磁
- C. 变压器的铁芯产生涡流

【答案】 (1) B

(2) 7.8V; 1:1.95

(3) 见解析

(4) BC

【解析】

(1) 实验需要提供交流电源，干电池只能提供直流电，所以电源应选学生电源。

(2) 此次实验中 $U_1:U_2 = 1:1.95$ 。

(3) 根据实验数据可得，在误差允许的范围内，理想变压器的原、副线圈的电压之比等于匝数之比。

(4) 原线圈输入电压大小不会影响电压比和匝数比，故 A 错误；变压器的铁芯漏磁造成能量损耗，从而导致电压比与匝数比有差别，故 B 正确；变压器的铁芯产生涡流造成能量损耗，从而导致电压比与匝数比有差别，故 C 正确。

迁移应用 1. 在“探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系”实验中，小型可拆变压器的原、副线圈匝数分别为 $n_1 = 120$ 、 $n_2 = 240$ ，某实验小组在原线圈两端依次加上不同的电压，用多用电表的交流电压挡分别测量原、副线圈两端的电压，数据见表。

实验序号	原线圈两端的电压 U_1/V	副线圈两端的电压 U_2/V	$\frac{U_1}{U_2}$
1	3.9	7.7	1:2.0
2	5.9	11.6	1:2.0
3	7.8	15.2	

(1) 实验小组根据测得的数据在表格中算出 U_1 、 U_2 的比值，还有一组 U_1 、 U_2 的比值没有算出，把求出的结果填在表格中。

(2) 本实验可得出结论：变压器原、副线圈两端电压与匝数的关系为

_____ (用题目中给出的字母表示)。

(3) 该变压器是___ (选填“升压”或“降压”) 变压器。

【答案】 (1) 1:1.9

(2) $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$

(3) 升压

【解析】

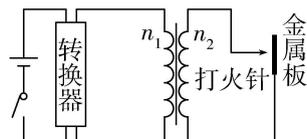
(1) 第三组数据的电压之比为 $U_1:U_2 = 7.8:15.2 \approx 1:1.9$ 。

(2) 原、副线圈匝数之比 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{120}{240} = \frac{1}{2}$ ，结合表格中的数据知，在误差允许的范围内原、副线圈两端电压与匝数的关系为 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 。

(3) 从表格中的数据可知副线圈匝数多、电压高，所以该变压器是升压变压器。

考点二 理想变压器基本关系的理解及应用

1. [2024·浙江1月选考卷·5, 3分]理想变压器的变压规律如图为某燃气灶点火装置的原理图。直流电经转换器输出 $u = 5\sin 100\pi t(V)$ 的交流电，经原、副线圈匝数分别为 n_1 和 n_2 的变压器升压至峰值大于10kV，就会在打火针和金属板间引发电火花，实现点火。下列正确的是 ()



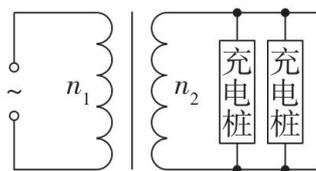
- A. $\frac{n_2}{n_1} < \frac{7}{20000}$
- B. $\frac{n_1}{n_2} < \frac{1}{2000}$
- C. 用电压表测原线圈两端电压，示数为 5V
- D. 副线圈输出交流电压的频率是 100Hz

【答案】B

【解析】根据题意可知，原线圈两端电压的有效值 $U_1 = \frac{5}{2}\sqrt{2}V$ ，所以用电压表测量原线圈两端电压，示数小于 5V，C 错误；变压器不改变交流电的频率，副线圈输出的交流电频率 $f = \frac{\omega}{2\pi} = 50Hz$ ，D 错误；根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ，结合题意可知，

$$\frac{n_1}{n_2} < \frac{\frac{5}{\sqrt{2}}}{\frac{10000}{\sqrt{2}}} = \frac{1}{2000}, \text{ B 正确, A 错误。}$$

2. [2024·海南卷·9, 4分]理想变压器规律的应用多选 如图，电动汽车充电站的理想变压器输入电压为 10kV，输出电压为 220V，每台充电桩输入电流为 16A，设原、副线圈匝数分别为 n_1 、 n_2 ，输入正弦交流电的频率为 50Hz，则下列说法正确的是 ()



- A. 交流电的周期为 0.02s
- B. 原、副线圈匝数比 $n_1:n_2 = 11:500$
- C. 输出的最大电压为 220V
- D. 若 10 台充电桩同时使用，输入功率为 35.2kW

【答案】AD

【解析】交流电的周期 $T = \frac{1}{f} = 0.02s$ ，A 正确。根据理想变压器的规律有 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{500}{11}$ ，B 错误。根据正弦交流电最大值与有效值的关系有 $U_{2m} = \sqrt{2}U_2 = 220\sqrt{2}V$ ，C 错误。每台充电桩工作时的功率为 $P_0 = U_2 I_0 = 3520W$ ，则 10 台充电桩同时使用时，变压器的输入功率 $P_{\text{输入}} = 10P_0 = 35.2kW$ ，D 正确。

3. [2025·1月八省联考陕晋宁青卷·4]理想变压器规律的应用牙医所用的口腔X射线机，需利用变压器将电压从220V升到96kV，输出电流为1.0mA。若将此变压器视为理想变压器，则（ ）

- A. 该变压器的输入功率为96kW
- B. 该变压器的原、副线圈匝数比为11:4800
- C. 该变压器的输入电流约为0.4mA
- D. 该变压器功能主要利用自感现象实现

【答案】B

【解析】变压器输入功率等于输出功率，则该变压器输入功率 $P_1 = P_2 = I_2 U_2 = 1.0 \times 10^{-3} \times 96 \times 10^3 \text{W} = 96 \text{W}$ ，A错误；该变压器原、副线圈的匝数比 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{96000} = \frac{11}{4800}$ ，B正确；变压器输入电流为 $I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{96}{220} \text{A} \approx 0.44 \text{A}$ ，C错误；该变压器功能主要利用互感现象实现，D错误。

核心提炼

1.理想变压器的基本关系

功率关系	原线圈的输入功率等于副线圈的输出功率，即 $P_{\lambda} = P_{\#}$
电压关系	(1) 只有一个副线圈时： $\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2}$ (2) 有多个副线圈时： $\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2} = \frac{U_3}{n_3} \dots$
电流关系	(1) 只有一个副线圈时： $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ (2) 有多个副线圈时： $I_1 n_1 = I_2 n_2 + I_3 n_3 + \dots + I_n n_n$
频率关系	$f_1 = f_2$ （变压器不改变交变电流的频率）

2.含有多个副线圈的变压器的电路分析

副线圈有两个或两个以上时，一般从原、副线圈的功率相等入手，利用 $P_1 = P_2 + P_3 + \dots + P_n$ ，结合原、副线圈电压关系、欧姆定律等分析。

考点三 理想变压器的动态分析

1.理想变压器的制约关系

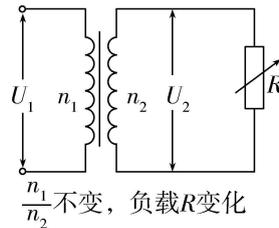
(1) 电压：输入电压 U_1 由电源决定； $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1 \Rightarrow$ 输出电压 U_2 由输入电压 U_1 和匝数比共同决定。

(2) 功率： $P_{\lambda} = P_{\#} \Rightarrow$ 输入功率 P_{λ} 由输出功率 $P_{\#}$ 决定。

(3) 电流: $I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2 \Rightarrow$ 输入电流 I_1 由输出电流 I_2 和匝数比共同决定。

2.常见的理想变压器的动态分析问题 一般有两种: 匝数比不变的情况和负载不变的情况。

(1) 匝数比不变, 负载变化 如图所示, “匝数比不变, 负载变化” 的情况的分析思路:



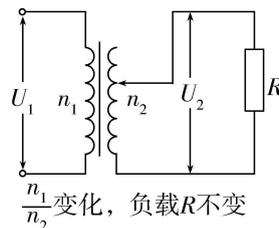
① U_1 不变, 根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, 输入电压 U_1 和匝数比共同决定输出电压 U_2 , 可以得出无论负载电阻如何变化, U_2 不变。

② 当负载电阻发生变化时, I_2 变化, 根据输出电流 I_2 和匝数比共同决定输入电流 I_1 , 可以判断 I_1 的变化。

③ I_2 变化引起 P_2 变化, 根据 $P_1 = P_2$, 可以判断 P_1 的变化。

(2) 负载不变, 匝数比变化

如图所示, “负载不变, 匝数比变化” 的情况的分析思路:

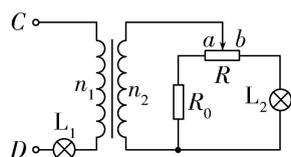


① U_1 不变, $\frac{n_1}{n_2}$ 发生变化, U_2 变化。

② R 不变, U_2 变化, I_2 发生变化。

③ 根据 $P_2 = \frac{U_2^2}{R}$ 和 $P_1 = P_2$, 可以判断 P_2 变化时, P_1 发生变化, U_1 不变时, I_1 发生变化。

例 2 [2021 · 湖南卷 · 6, 4 分] 如图, 理想变压器原、副线圈匝数比为 $n_1:n_2$, 输入端 C 、 D 接入电压有效值恒定的交变电源, 灯泡 L_1 、 L_2 的阻值始终与定值电阻 R_0 的阻值相同。在滑动变阻器 R 的滑片从 a 端滑动到 b 端的过程中, 两个灯泡始终发光且工作在额定电压以内, 下列说法正确的是 ()

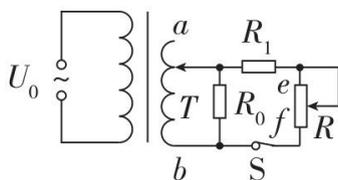


- A. L_1 先变暗后变亮, L_2 一直变亮
- B. L_1 先变亮后变暗, L_2 一直变亮
- C. L_1 先变暗后变亮, L_2 先变亮后变暗
- D. L_1 先变亮后变暗, L_2 先变亮后变暗

【答案】 A

【解析】 设滑动变阻器滑片左侧电阻为 R' , 则变压器副线圈所接电阻 $R_2 = \frac{(R_0+R')(R_0+R-R')}{2R_0+R}$, 当 $R' = \frac{1}{2}R$ 时 R_2 有最大值, 故滑片从 a 端滑动到 b 端的过程中 R_2 先变大后变小。设输入电压为 U_0 , 原、副线圈中的电流和两端电压分别为 I_1 、 I_2 和 U_1 、 U_2 , 对原线圈回路有 $U_0 = I_1R_0 + U_1$, 且 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$, $n_1I_1 = n_2I_2$, 代入得 $U_0 = \frac{n_2I_2}{n_1}R_0 + \frac{n_1}{n_2}U_2$, 而 $U_2 = I_2R_2$, 即 $U_0 = \frac{n_2I_2}{n_1}R_0 + \frac{n_1}{n_2}I_2R_2 = I_2(\frac{n_2}{n_1}R_0 + \frac{n_1}{n_2}R_2)$, 因 R_2 先变大后变小, 故 I_2 先变小后变大, I_1 先变小后变大, L_1 先变暗后变亮。滑片从 a 端滑动到中点的过程中 I_1 减小、 U_1 增大、 U_2 增大, 滑动变阻器滑片右侧电阻和 L_2 串联电路两端电压增大, 而该部分电阻减小, 则流过 L_2 的电流增大; 滑片从中点滑动到 b 端的过程中 I_2 变大、 U_2 减小, R_0 与 R 左侧电阻串联的总电阻增大、流过的电流减小, 故流过 L_2 的电流仍增大, 故 L_2 一直变亮。A 正确。

例 3 [2024·全国甲卷·19, 6分] 多选 如图, 理想变压器的副线圈接入电路的匝数可通过滑动触头 T 调节, 副线圈回路接有滑动变阻器 R 、定值电阻 R_0 和 R_1 、开关 S 。 S 处于闭合状态, 在原线圈电压 U_0 不变的情况下, 为提高 R_1 的热功率, 可以 ()



- A. 保持 T 不动, 滑动变阻器 R 的滑片向 f 端滑动
- B. 将 T 向 b 端移动, 滑动变阻器 R 的滑片位置不变
- C. 将 T 向 a 端移动, 滑动变阻器 R 的滑片向 f 端滑动

D. 将 T 向 b 端移动, 滑动变阻器 R 的滑片向 e 端滑动

【答案】 AC

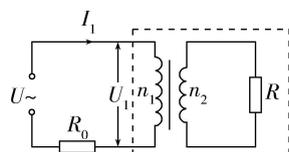
【解析】 当滑动触头 T 不动时, 原、副线圈匝数之比不变, 当 U_0 不变时, 输出电压 U 也不变, 如果滑动变阻器 R 的滑片向 f 端滑动, R 连入电路阻值减小, 所以通过 R_1 的电流变大, R_1 的热功率增大, A 正确; 当滑动触头 T 向 b 端移动时, 原、副线圈匝数之比变大, 根据 $\frac{U_0}{U} = \frac{n_0}{n} = k$, 可知变压器输出电压 U 变小, 滑片位置不变时, R_1 支路电阻不变, 电流变小, 所以不能提高 R_1 的热功率, B 错误; 当滑动触头 T 向 b 端移动时, 变压器输出电压 U 变小, 如果滑动变阻器滑片向 e 端滑动, 则滑动变阻器接入电路的阻值增大, $I_{R1} = \frac{U}{R_1+R'}$ 变小, 所以 R_1 的热功率 $P = I_{R1}^2 R_1$ 减小, D 错误; 同理可得, T 向 a 端移动, 则输出电压 U 变大, 滑动变阻器 R 的滑片向 f 端滑动, 则滑动变阻器接入电路的阻值减小, R_1 支路中的电流 $I_{R1} = \frac{U}{R_1+R'}$ 变大, 所以 R_1 热功率变大, C 正确。

视野拓展

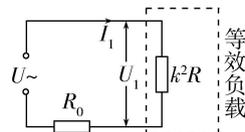
用等效法处理变压器问题

1. 等效电阻的建立

证明: 如图甲所示, 设原线圈两端的电压为 U_1 , 电流为 I_1 , 副线圈两端的电压为 U_2 , 电流为 I_2 , 副线圈负载为 R , 变压器原、副线圈匝数分别为 n_1 、 n_2 。由欧姆定律可知 $\frac{U_2}{I_2} = R$, 设原、副线圈的匝数之比为 $\frac{n_1}{n_2} = k$, 根据理想变压器规律可知 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = k$, $\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2} = k$, 联立解得 $\frac{U_1}{I_1} = k^2 R$, 可以看成大小为 $k^2 R$ 的等效电阻直接连在原线圈一侧, 等效电路图如图乙所示。结论: 在只有一个副线圈的理想变压器电路中, 设原、副线圈的匝数之比为 $\frac{n_1}{n_2} = k$, 负载电阻为 R , 则变压器的原、副线圈和负载电阻可以等效为一个新电阻, 其阻值 $R' = k^2 R$ 。



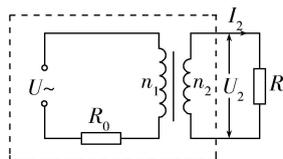
甲



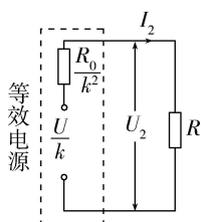
乙

2. 等效电源的建立

证明：如图丙所示，设原线圈两端的电压为 U_1 ，电流为 I_1 ，副线圈两端的电压为 U_2 ，电流为 I_2 ，副线圈负载为 R ，与原线圈串联的定值电阻为 R_0 ，变压器原、副线圈匝数分别为 n_1 、 n_2 。将变压器、定值电阻 R_0 与原交流电源看成一个整体，等效为一个新的电源，令新电源的电动势为 E' ，新电源等效内阻为 r' ，作出等效电路图如图丁所示。



丙



丁

对图丁，由闭合电路欧姆定律得 $U_2 = E' - I_2 r'$

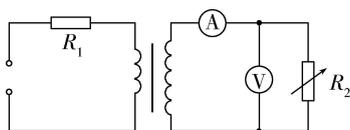
对图丙，由串联电路的规律得 $U_1 = U - I_1 R_0$

设 $\frac{n_1}{n_2} = k$ ，则 $\frac{U_1}{U_2} = k$ ， $\frac{I_2}{I_1} = k$ ，得 $U_2 = \frac{U}{k} - I_2 \frac{R_0}{k^2}$

通过比较，可得 $E' = \frac{U}{k}$ ， $r' = \frac{R_0}{k^2}$ 。

结论：理想变压器中与原线圈串联的定值电阻为 R_0 ，交流电源输出电压为 U ，设原、副线圈的匝数之比为 $\frac{n_1}{n_2} = k$ ，将变压器、定值电阻 R_0 与交流电源看成一个整体，等效为一个新的电源，则新电源的电动势 $E' = \frac{U}{k}$ ，新电源的内阻 $r' = \frac{R_0}{k^2}$ 。

例 4 多选 如图，理想变压器原、副线圈匝数之比为 1:2，原线圈与定值电阻 R_1 串联后，接入输出电压有效值恒定的正弦交流电源。副线圈电路中负载电阻为可变电阻 R_2 ， \textcircled{A} 、 \textcircled{V} 为理想交流电表。当 $R_2 = 2R_1$ 时，电流表的读数为 1A，电压表的读数为 4V，则 ()



- A. 电源输出电压为 6V
 B. 电源输出功率为 4W
 C. 保持 R_1 阻值不变, 当 $R_2 = 8\Omega$ 时, 电压表的读数为 6V
 D. 保持 R_1 阻值不变, 当 $R_2 = 8\Omega$ 时, 变压器输出的功率最大

【答案】ACD

【解析】法一（常规解法）：当 $R_2 = 2R_1$ 时, 电流表的读数为 1A, 电压表的读数为 4V, 所以 $R_2 = 4\Omega$, $R_1 = 2\Omega$, 理想变压器原、副线圈匝数之比为 1:2, 根据电压与匝数的关系得原线圈两端的电压 $U_1 = 2V$, 根据电流与匝数的关系得原线圈中电流 $I_1 = 2A$, 所以电源输出电压 $U = U_1 + I_1R_1 = 6V$, 故 A 正确; 电源输出功率 $P = UI_1 = 12W$, 故 B 错误; 设副线圈两端的电压为 U_2 , 根据欧姆定律得副线圈中的电流为 $\frac{U_2}{R_2}$, 所以原线圈中的电流是 $\frac{2U_2}{R_2}$, 所以

$U = \frac{2U_2}{R_2}R_1 + \frac{1}{2}U_2$, 当 $R_2 = 8\Omega$ 时, 可得 $U_2 = 6V$, 故 C 正确; 副线圈两端电压

与电阻 R_2 的关系为 $U_2 = \frac{12R_2}{8+R_2}$, 变压器输出的功率 $P_2 = \frac{U_2^2}{R_2} = \frac{144R_2}{(R_2+8)^2} = \frac{144}{R_2 + \frac{64}{R_2} + 16}$,

所以当 $R_2 = 8\Omega$ 时, 变压器输出的功率 P_2 最大, 为 $\frac{9}{2}W$, 故 D 正确。

法二（等效电阻）：因原、副线圈的匝数之比为 1:2, 则等效负载 $R' =$

$(\frac{1}{2})^2R_2 = \frac{1}{4}R_2$, $R_2 = \frac{U_2}{I_2} = 4\Omega$, $R_1 = 2\Omega$, $I_1 = 2I_2 = 2A$, 所以 $U = I_1R_1 +$

$I_1R' = 6V$, $P = UI_1 = 12W$, A 正确, B 错误; 当 $R_2 = 8\Omega$ 时, $R' = 2\Omega$, $I'_1 =$

$\frac{U}{R'+R_1} = 1.5A$, $I'_2 = \frac{I'_1}{2} = 0.75A$, 则 $U'_2 = I'_2R_2 = 6V$, C 正确; 将 R_1 等效为电源

的内阻, $R' = R_1$, 即 $R_2 = 4R_1 = 8\Omega$ 时, 输出功率最大, D 正确。

法三（等效电源）：设电源输出电压为 U , 因原、副线圈的匝数之比为 $k = \frac{1}{2}$,

将变压器、定值电阻 R_1 与原交流电源看成一个整体, 等效为一个新的电源, 则

新电源的电动势 $E' = \frac{U}{k} = 2U$, 新电源的内阻 $r' = \frac{R_1}{k^2} = 4R_1$ 。当 $R_2 = 2R_1$ 时, 电

流表的读数为 1A, 电压表的读数为 4V, 所以 $R_2 = 4\Omega$, $R_1 = 2\Omega$, 电流表的读

数 $I_2 = \frac{E'}{r'+R_2}$, 解得 $U = 6V$, A 正确; 电源输出功率 $P = I_2E' = 12W$, 故 B 错

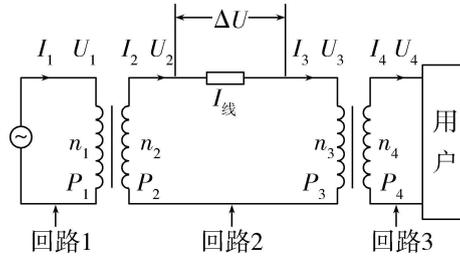
误; 新电源的电动势 $E' = \frac{U}{k} = 2U = 12V$, 内阻 $r' = \frac{R_1}{k^2} = 4R_1 = 8\Omega$, 保持 R_1 阻

值不变, 当 $R_2 = 8\Omega$ 时, 电压表的读数为电动势的一半, 即 6V, C 正确; 当

$R_2 = 8\Omega = r'$ 时，等效电源的输出功率最大，即变压器输出的功率最大，D 正确。

考点四 远距离输电问题

1.理清三个回路



2.抓住两个联系

(1) 回路 1 和回路 2 的联系——升压变压器→基本关系： $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$,

$$P_1 = P_2。$$

(2) 回路 2 和回路 3 的联系——降压变压器→基本关系： $\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4}$, $\frac{I_3}{I_4} = \frac{n_4}{n_3}$,

$$P_3 = P_4。$$

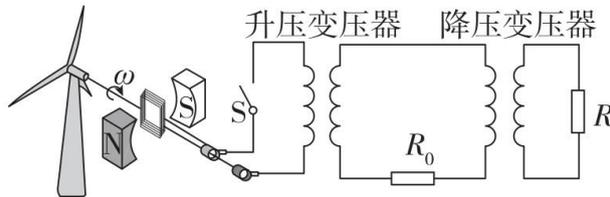
3.明确三个重要关联式（联系两个变压器的纽带）

(1) 功率关联式： $P_2 = \Delta P + P_3$ ，其中 $\Delta P = \Delta U I_{\text{线}} = I_{\text{线}}^2 R_{\text{线}} = \frac{(\Delta U)^2}{R_{\text{线}}}$ 。

(2) 电压关联式： $U_2 = \Delta U + U_3$ 。

(3) 电流关联式： $I_2 = I_{\text{线}} = I_3$ 。

例 5 [2024·湖南卷·6, 4分]根据国家能源局统计，截止到 2023 年 9 月，我国风电装机 4 亿千瓦，连续 13 年居世界第一位，湖南在国内风电设备制造领域居于领先地位。某实验小组模拟风力发电厂输电网络供电的装置如图所示。已知发电机转子以角速度 ω 匀速转动，升、降压变压器均为理想变压器，输电线路上的总电阻可简化为一个定值电阻 R_0 。当用户端接一个定值电阻 R 时， R_0 上消耗的功率为 P 。不计其余电阻，下列说法正确的是（ ）



A. 风速增加，若转子角速度增加一倍，则 R_0 上消耗的功率为 $4P$

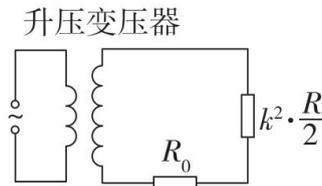
B. 输电线路距离增加，若 R_0 阻值增加一倍，则 R_0 上消耗的功率为 $4P$

- C. 若升压变压器的副线圈匝数增加一倍, 则 R_0 上消耗的功率为 $8P$
 D. 若在用户端再并联一个完全相同的电阻 R , 则 R_0 上消耗的功率为 $6P$

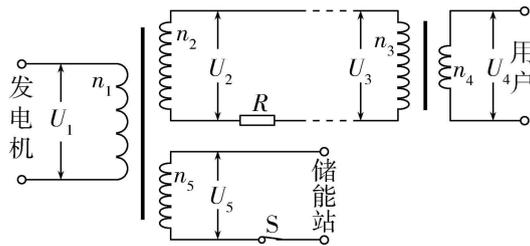
【答案】A

【解析】风速增加, 若转子角速度增加一倍, 根据 $U_{\text{有效}} = \frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$, 可知输电电压变为原来的2倍, 而整个电路的电阻不变, 输电电流变为原来的2倍, 根据 $P = I^2 R_0$ 可知, R_0 上消耗的功率为 $4P$, A 正确; 若 R_0 阻值增加一倍, 则输电电流减小, R_0 上消耗的功率小于 $2P$, B 错误; 若升压变压器的副线圈匝数增加一倍, 则输电电压变为原来的2倍, 而整个电路的电阻不变, 输电电流变为原来的2倍, R_0 上消耗的功率为 $4P$, C 错误; 若在用户端再并联一个完全相同的电阻 R , 等效电路如图所示, $k = \frac{n_3}{n_4}$, $P_{R01} = (\frac{U_2}{R_0+k^2R})^2 R_0$, $P_{R02} = (\frac{U_2}{R_0+k^2\frac{R}{2}})^2 R_0$,

$$\frac{P_{R02}}{P_{R01}} = (\frac{R_0+k^2R}{R_0+k^2\frac{R}{2}})^2 = (\frac{R_0+k^2R}{\frac{R_0}{2}+\frac{R_0}{2}+\frac{k^2R}{2}})^2 < 4, \text{ 即 } R_0 \text{ 上消耗的功率小于 } 4P, \text{ D 错误.}$$



迁移应用 2. [2023 · 山东卷 · 7, 3 分]某节能储能输电网络如图所示, 发电机的输出电压 $U_1 = 250V$, 输出功率 $500kW$ 。降压变压器的匝数比 $n_3:n_4 = 50:1$, 输电线总电阻 $R = 62.5\Omega$, 其余线路电阻不计, 用户端电压 $U_4 = 220V$, 功率 $88kW$, 所有变压器均为理想变压器。下列说法正确的是 ()



- A. 发电机的输出电流为 $368A$
 B. 输电线上损失的功率为 $4.8kW$
 C. 输送给储能站的功率为 $408kW$
 D. 升压变压器的匝数比 $n_1:n_2 = 1:44$

【答案】C

【解析】由题意可知，发电机的输出电压为 $U_1 = 250\text{V}$ ，输出功率为 $P = 500\text{kW}$ ，则有 $I_1 = \frac{P}{U_1} = 2 \times 10^3\text{A}$ ，A 错误；由题意可知，用户端电压为 $U_4 = 220\text{V}$ ，功率为 $P' = 88\text{kW}$ ，则有 $\frac{U_3}{U_4} = \frac{I_4}{I_3} = \frac{n_3}{n_4}$ ， $P' = U_4 I_4$ ，联立解得 $I_4 = 400\text{A}$ ， $I_3 = 8\text{A}$ ， $U_3 = 11000\text{V}$ ，则输电线上损失的功率为 $P_{\text{损}} = I_3^2 R = 4\text{kW}$ ，且 $U_2 = U_3 + U_{\text{损}} = U_3 + I_3 R = 11500\text{V}$ ，再根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ，解得 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{46}$ ，B、D 错误；根据理想变压器无功率损失有 $P = P' + P_{\text{损}} + P_{\text{储}}$ ，代入数据有 $P_{\text{储}} = 408\text{kW}$ ，C 正确。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 67

第 3 讲 电磁振荡与电磁波

课标要求

初步了解麦克斯韦电磁场理论的基本思想；通过实验，了解电磁振荡；知道电磁波的发射、传播和接收；认识电磁波谱，知道各个波段的电磁波的名称、特征和典型应用。

必备知识·强基固本

一、电磁振荡

1. 振荡电流：大小和__都随时间做周期性迅速变化的电流。

【答案】方向

2. 振荡电路：能够产生_____的电路。最基本的振荡电路为LC振荡电路。

【答案】振荡电流

3. 电磁振荡：在LC振荡电路中，电容器极板上的电荷量、电路中的电流、电场和磁场周期性相互转变的过程也就是电场能和磁场能_____相互转化的过程。

【答案】周期性

4. 电磁振荡的周期与频率

(1) 周期： $T = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 频率： $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。

【答案】 $2\pi\sqrt{LC}$

二、电磁场和电磁波

1. 麦克斯韦电磁场理论的两个基本假设

(1) 变化的磁场能够在周围空间产生__。

(2) 变化的电场能够在周围空间产生__。

【答案】电场； 磁场

2. 电磁波

(1) 电磁波的产生：变化的电场和磁场交替产生而形成的电磁场是由近及远地传播的，这种变化的电磁场在空间的传播称为电磁波。

(2) 电磁波的特点

a.电磁波是__（选填“横波”或“纵波”），电磁波在空间传播不需要介质；

b.电磁波的波长、频率、波速的关系为 $v = \lambda f$ ，在真空中，电磁波的速度 $c = 3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ 。

(3) 电磁波能产生反射、折射、干涉和衍射等现象。

【答案】横波； λf

三、电磁波的发射

1.发射电磁波的振荡电路的特点

(1) 要有足够高的振荡频率：频率越高，发射电磁波的本领越大。

(2) 振荡电路的电场和磁场必须分散到尽可能大的空间，因此采用开放电路。

2.电磁波的调制

调制		在电磁波发射技术中，使载波随各种信号而改变的技术
分 类	调幅(AM)	使高频电磁波的振幅随信号的强弱而变的调制技术
	调频(FM)	使高频电磁波的频率随信号的强弱而变的调制技术

四、电磁波的接收

1. 原理

电磁波在传播过程中如果遇到导体，会使导体中产生_____，因此，空中的导体可以用来接收电磁波。

【答案】感应电流

2. 电谐振与调谐

(1) 电谐振：当接收电路的_____跟收到的电磁波的频率相同时，接收电路中产生的振荡电流最强的现象。

(2) 调谐：使接收电路产生电谐振的过程。

【答案】固有频率

3.解调

使声音或图像信号从高频电流中还原出来的过程，它是调制的逆过程。

五、电磁波谱

1.概念

按电磁波的波长或频率大小的顺序把它们排列成的谱。

2. 电磁波谱的排列

按波长由长到短依次为：_____、红外线、可见光、紫外线、X 射线、_____。

【答案】无线电波； γ 射线

3.不同电磁波的特点及应用

项目	特点	用途
无线电波	波动性强	通信、广播、导航
红外线	热作用强	加热、遥测、遥感、红外线制导
可见光	感光性强	照明、照相等
紫外线	化学作用荧光效应	杀菌消毒、治疗皮肤病等
X 射线	穿透力强	检查、探测、透视、治疗
γ 射线	穿透力最强	探测、治疗

自主评价

1. 判断下列说法对错。

- (1) 电磁波在同种介质中只能沿直线传播。 ()
- (2) 电磁场由发生区域向远处传播就形成电磁波。 ()
- (3) 电场或磁场随时间变化时一定会产生电磁波。 ()
- (4) 麦克斯韦第一次用实验证实了电磁波的存在。 ()
- (5) 电磁波谱中最不容易发生明显衍射的是无线电波。 ()

【答案】 (1) ×

(2) ✓

(3) ×

(4) ×

(5) ×

2. **多选** (人教版选择性必修第二册改编) 根据麦克斯韦电磁场理论, 下列说法中正确的是 ()

- A. 变化的电场一定产生变化的磁场
- B. 均匀变化的电场一定产生均匀变化的磁场
- C. 周期性变化的电场一定产生同频率的周期性变化的磁场
- D. 变化的电场和变化的磁场交替产生, 由近及远地向周围传播, 形成电磁波

【答案】CD

3. **多选** (人教版选择性必修第二册改编) 关于电磁波, 下列说法正确的是 ()

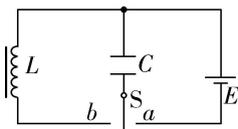
- A. 电磁波在真空中的传播速度为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$
- B. 红外线的波长比可见光长, 比无线电波的波长短
- C. 雷达是用 X 光来测定物体位置的设备
- D. 使载波随各种信号而改变的技术叫作解调

【答案】AB

关键能力·核心突破

考点一 电磁振荡

1. [2020·浙江1月选考卷·8, 3分] 振荡电路的分析如图所示, 单刀双掷开关 S 先打到 a 端让电容器充满电。 $t = 0$ 时开关 S 打到 b 端, $t = 0.02\text{s}$ 时 LC 回路中电容器下极板带正电荷且电荷量第一次达到最大值。则 ()



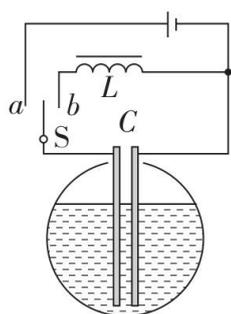
- A. LC 回路的周期为 0.02s
- B. LC 回路的电流最大时电容器中电场能最大
- C. $t = 1.01\text{s}$ 时线圈中磁场能最大
- D. $t = 1.01\text{s}$ 时回路中电流沿顺时针方向

【答案】C

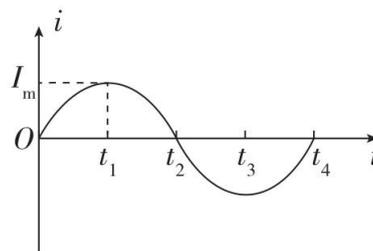
【解析】 $t = 0$ 时电容器上极板带正电荷且电荷量为最大值, 而 $t = 0.02\text{s}$ 时电容器下极板带正电荷且电荷量第一次达到最大值, 可知 LC 回路的周期

$T = 0.04\text{s}$, A 错误; LC 回路中的电流最大时磁场能最大, 由能量守恒定律可知, 此时电容器中电场能最小, B 错误; 由于周期 $T = 0.04\text{s}$, $t = 1.01\text{s}$ 为 $25\frac{1}{4}$ 个周期, 则 $t = 1.01\text{s}$ 时电容器放电结束, 回路中电场能最小, 磁场能最大, 电流沿逆时针方向, C 正确, D 错误。

2. [2024·广东深圳二模] 振荡电路的频率图甲为测量储罐中不导电液体高度的电路, 将与储罐外壳绝缘的两块平行金属板构成的电容 C 置于储罐中, 电容 C 可通过单刀双掷开关 S 与电感 L 或电源相连。当开关从 a 拨到 b 时, 由电感 L 与电容 C 构成的回路中产生的振荡电流如图乙所示。在平行板电容器极板面积一定、两极板间距离一定的条件下, 下列说法正确的是 ()



甲



乙

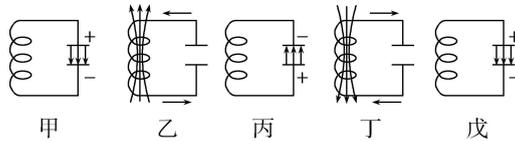
- A. 储罐内的液面高度降低时, LC 回路振荡电流的频率将变小
- B. $t_1 \sim t_2$ 时间内电容器放电
- C. $t_2 \sim t_3$ 时间内 LC 回路中电场能逐渐转化为磁场能
- D. 该振荡电流的有效值为 $\sqrt{2}I_m$

【答案】C

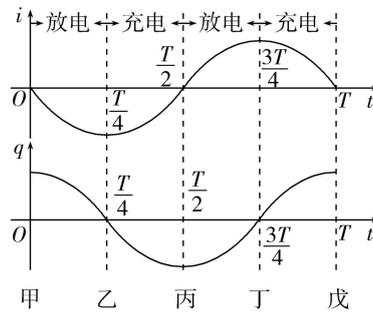
【解析】 LC 回路振荡电流的频率 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, 根据平行板电容器电容的决定式有 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$, 储罐内的液面高度降低时, 相对介电常数减小, 电容器电容减小, 则 LC 回路振荡电流的频率将变大, 故 A 错误; 根据题图乙可知, $t_1 \sim t_2$ 时间内电流减小, 磁场能减小, 电场能增大, LC 回路中磁场能逐渐转化为电场能, 电容器充电, 故 B 错误; 根据题图乙可知, $t_2 \sim t_3$ 时间内电流增大, 磁场能增大, 电场能减小, LC 回路中电场能逐渐转化为磁场能, 故 C 正确; 该振荡电流为正弦式交变电流, 有效值 $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}I_m}{2}$, 故 D 错误。

核心提炼

1. 电磁振荡过程中各物理量的变化



设 q 为电容器上极板的电荷量，电流以顺时针方向为正，则 $i-t$ 、 $q-t$ 图像如图所示。



2. LC振荡电路中各量间的变化规律

(1) 同步变化关系

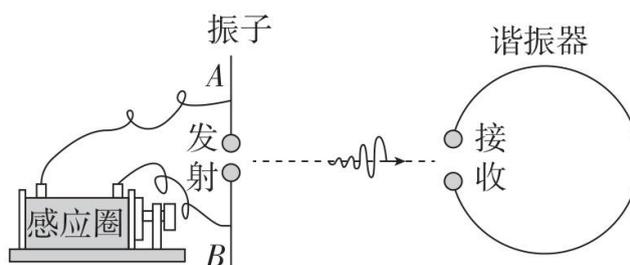
在LC振荡电路产生电磁振荡的过程中，电容器上的物理量：电荷量 q 、电场强度 E 、电场能 E_E 是同步变化的，即： $q \downarrow - E \downarrow - E_E \downarrow$ （或 $q \uparrow - E \uparrow - E_E \uparrow$ ）。电感线圈上的物理量：振荡电流 i 、磁感应强度 B 、磁场能 E_B 也是同步变化的，即： $i \downarrow - B \downarrow - E_B \downarrow$ （或 $i \uparrow - B \uparrow - E_B \uparrow$ ）。

(2) 异步变化关系

在LC振荡电路产生电磁振荡的过程中，电容器上的三个物理量 q 、 E 、 E_E 与线圈中的三个物理量 i 、 B 、 E_B 是异步变化的，即 q 、 E 、 E_E 减小时， i 、 B 、 E_B 增大（或 q 、 E 、 $E_E \xrightarrow{\text{异步变化}} i$ 、 B 、 $E_B \downarrow$ ）。

考点二 电磁波

1. [2024·浙江杭州二模]电磁波的发现 1886年，赫兹做了如图所示实验，关于该实验，以下说法正确的是（ ）



- A. 实验证实了电磁波的存在
- B. 实验证实了法拉第的电磁场理论
- C. 实验可以说明电磁波是一种纵波
- D. 在真空环境下进行实验，仍能观察到明显的火花放电

【答案】A

【解析】该实验是赫兹用来发射和接收电磁波实验，不能说明电磁波是横波还是纵波，之后进行了一系列实验，观察到电磁波的反射、折射、干涉、偏振和衍射等现象，测出了电磁波在真空中的速度等于光速，证明了电磁波与光的统一性，才证实了麦克斯韦的电磁场理论，故 A 正确，B、C 错误；火花放电是空气被击穿的现象，在真空环境下进行实验，不能观察到明显的火花放电，故 D 错误。

2. 对电磁波的认识关于电磁场和电磁波，下列说法正确的是（ ）

- A. 电磁波在任何介质中的传播速度都为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$
- B. 将手机放在真空塑料袋中，拨打该手机，手机不能接收信号
- C. 赫兹首先用实验证实了电磁波的存在
- D. 麦克斯韦认为，变化的电场一定产生变化的磁场，变化的磁场一定产生变化的电场

【答案】C

3. [2020·北京卷·3, 3分]对电磁波的理解随着通信技术的更新换代，无线通信使用的电磁波频率更高，频率资源更丰富，在相同时间内能够传输的信息量更大。第 5 代移动通信技术（简称 5G）意味着更快的网速和更大的网络容载能力，“4G 改变生活，5G 改变社会”。与 4G 相比，5G 使用的电磁波（ ）

- A. 光子能量更大
- B. 衍射更明显
- C. 传播速度更大
- D. 波长更长

【答案】A

【解析】与 4G 相比，5G 使用的是频率更高的电磁波，其频率高，光子能量大，波长短，衍射更不明显，A 正确，B、D 错误。在同种介质中，不同频率的电磁波传播速度不同，频率高的速度小，但在真空中不同频率的电磁波传播速度均为光速，C 错误。

核心提炼

1.机械波与电磁波的比较

项目	机械波	电磁波
研究对象	力学现象	电磁现象
周期性	位移随时间和空间做周期性变化	电场强度 E 和磁感应强度 B 随时间和空间做周期性变化
传播情况	传播需要介质，波速与介质有关，与频率无关	传播无需介质，在真空中波速总等于光速 c ，在介质中传播时，波速与介质和频率都有关
产生机理	由质点（波源）的振动产生	由电磁振荡激发
是否横波	可以是	是
是否纵波	可以是	否
干涉现象	满足条件时均能发生干涉现象	
衍射现象	满足条件时均能发生明显衍射	

2.各种电磁波的共性与个性

(1) 共性

- ①它们在本质上都是电磁波，它们遵循相同的规律，各波段之间并没有绝对的界线。
- ②都遵守公式 $v = \lambda f$ ，它们在真空中的传播速度都是 $c = 3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ 。
- ③它们的传播都不需要介质。
- ④它们都具有反射、折射、衍射、干涉和偏振的特性。

(2) 个性

- ①不同电磁波的频率或波长不同，表现出不同的特性，波长越长，越容易产生干涉、明显衍射现象，波长越短，穿透能力越强。
- ②同频率的电磁波在不同介质中传播速度不同。不同频率的电磁波在同一种介质中传播时，频率越大，折射率越大，速度越小。
- ③用途不同。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 68

实验 14 利用传感器制作简单的自动控制装置

必备知识·强基固本

一、实验目的

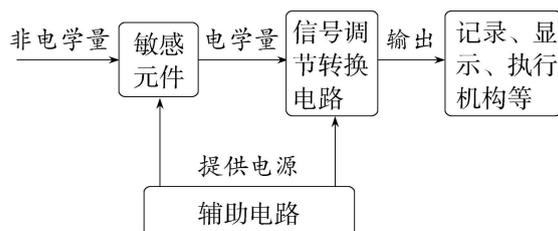
- 1.了解半导体薄膜压力传感器的特性。
- 2.了解热敏电阻、光敏电阻等敏感元件的特性。
- 3.了解传感器的简单应用。

二、实验原理

1. **传感器的作用:**传感器能够将感受到的物理量（力、热、光、声等）转换成便于测量的量（一般是_____）。

【答案】电学量

2.传感器的工作过程



三、实验器材

RFP602 型半导体薄膜压力传感器、数字多用电表、圆柱体质量块（砝码）、聚氨酯橡胶垫片、热敏电阻、光敏电阻、多用电表、铁架台、烧杯、钩码、冷水、热水、小灯泡、学生电源、滑动变阻器、开关、导线等。

四、实验过程

实验 1 研究半导体薄膜压力传感器特性

(1) 实验步骤

- ①取 RFP602 型半导体薄膜压力传感器一片，将其圆形敏感区域固定在铁架台支架平面上，用一个圆柱体质量块（砝码）压在该敏感面上，如图甲所示；



甲

- ②在圆柱体与应变片之间垫一个面积相当于有效区域的聚氨酯橡胶垫片，使应变片受力均匀；

- ③把一个 U 形金属框架的上沿压在圆柱体上并固定，框架下端悬吊钩码；
- ④调整 U 形金属框架、橡胶垫片和压在传感器敏感面上圆柱体的总质量，使其恰好为一只钩码的质量，即 50g，则产生的压力为 0.5N；
- ⑤传感器的两根引线跟数字多用电表两表笔相连，数字多用电表调到欧姆挡，测量传感器的电阻并记录；
- ⑥改变钩码的数量，测量不同压力下传感器的电阻值并记录。

(2) 数据处理

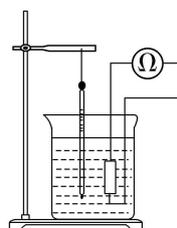
以传感器所受的压力 F 为横轴、传感器电阻 R 为纵轴建立直角坐标系，根据数据在坐标系中描点，将这些点用平滑曲线连接起来。

分析图像，得出结论：随着压力的增大，传感器的电阻不断减小。

实验 2 研究热敏电阻的热敏特性

(1) 实验步骤

- ①将热敏电阻（负温度系数）和多用电表按如图乙所示连接好，并将热敏电阻进行绝缘处理；



乙

- ②将多用电表调至欧姆挡，选择适当的倍率测出烧杯中没有水时热敏电阻的阻值，并记下温度计的示数；
- ③向烧杯中注入少量的冷水，使热敏电阻浸没在冷水中，记下温度计的示数和多用电表测量的热敏电阻的阻值；
- ④将热水分几次注入烧杯中，测出不同温度下热敏电阻的阻值，并记录。

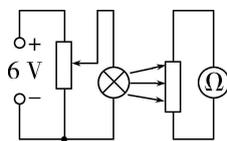
(2) 数据处理

- ①根据记录数据，把测量到的温度、电阻值填入表中，分析热敏电阻的特性；
- ②在 $R - t$ 坐标系中，粗略画出热敏电阻的阻值随温度变化的图线；
- ③根据实验数据和 $R - t$ 图线，得出结论：热敏电阻（负温度系数）的阻值随温度的升高而减小，随温度的降低而增大。

实验 3 研究光敏电阻的光敏特性

(1) 实验步骤

①将光敏电阻、多用电表、小灯泡、滑动变阻器、学生电源按如图丙所示的电路连接好，其中多用电表选择开关置于欧姆挡“ $\times 100$ ”挡；



丙

- ②先测出在室内自然光的照射下光敏电阻的阻值，并记录数据；
- ③接通电源，让小灯泡发光，调节滑动变阻器使小灯泡的亮度逐渐变亮，观察表盘指针显示电阻阻值的情况，并记录；
- ④用手掌遮住光，测出光敏电阻的阻值，并记录。

(2) 数据处理

把记录的结果填入表中，根据记录数据分析光敏电阻的特性。

结论：光敏电阻被光照射时其阻值发生变化，光照增强电阻变小，光照减弱电阻变大。

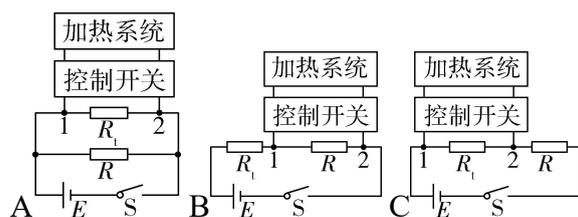
关键能力·核心突破

探究点一 温度传感器的应用

例 1 [2024·浙江 1 月选考卷·16-III, 4 分]在探究热敏电阻的特性及其应用的实验中，测得热敏电阻 R_t 在不同温度时的阻值如表。

温度/ $^{\circ}\text{C}$	4.1	9.0	14.3	20.0
电阻/ $(10^2\Omega)$	220	160	100	60
温度/ $^{\circ}\text{C}$	28.0	38.2	45.5	60.4
电阻/ $(10^2\Omega)$	45	30	25	15

某同学利用上述热敏电阻 R_t 、电动势 $E = 3\text{V}$ （内阻不计）的电源、定值电阻 R （阻值有 $3\text{k}\Omega$ 、 $5\text{k}\Omega$ 、 $12\text{k}\Omega$ 三种可供选择）、控制开关和加热系统，设计了 A、B、C 三种电路。因环境温度低于 20°C ，现要求将室内温度控制在 $20\sim 28^{\circ}\text{C}$ 范围，且 1、2 两端电压大于 2V ，控制开关开启加热系统加热，则应选择的电路是_____，定值电阻 R 的阻值应选_____ $\text{k}\Omega$ ，1、2 两端的电压小于_____ V 时，自动关闭加热系统（不考虑控制开关对电路的影响）。



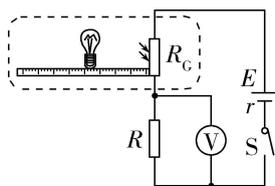
【答案】C； 3； 1.8

【解析】图 A 中定值电阻和热敏电阻并联，电压不变，故不能实现电路的控制，故 A 错误；图 B 中定值电阻和热敏电阻串联，温度越低，热敏电阻的阻值越大，定值电阻两端电压越小，无法实现 1、2 两端电压大于 2V，控制开关开启加热系统加热，故 B 错误；图 C 中定值电阻和热敏电阻串联，温度越低，热敏电阻的阻值越大，热敏电阻两端电压越大，可以实现 1、2 两端电压大于 2V，控制开关开启加热系统加热，故 C 正确。

由表可知，环境温度为 20.0°C 时热敏电阻 R_t 的阻值为 $60 \times 100\Omega = 6\text{k}\Omega$ ，由题意可知 $U_{12} = \frac{R_t}{R_t+R}E = 2\text{V}$ ，解得 $R = 3\text{k}\Omega$ ；环境温度为 28°C 时关闭加热系统，此时热敏电阻阻值为 $4.5\text{k}\Omega$ ，此时 1、2 两点间的电压 $U'_{12} = \frac{3}{4.5+3} \times 4.5\text{V} = 1.8\text{V}$ ，则 1、2 两端的电压小于 1.8V 时，自动关闭加热系统。

探究点二 光电传感器的应用

例 2 某同学为定性探究光敏电阻阻值随光照强度变化的关系，设计了如图甲所示的电路。所用器材有：置于暗箱（图中虚线区域）中的光敏电阻 R_G 、小灯泡和刻度尺；阻值为 R 的定值电阻；理想电压表 V ；电动势为 E 、内阻为 r 的电源；开关 S ；导线若干。



甲

实验时，先按图甲连接好电路，然后改变暗箱中光源到光敏电阻的距离 d ，记录电压表的示数 U ，获得多组数据如表。

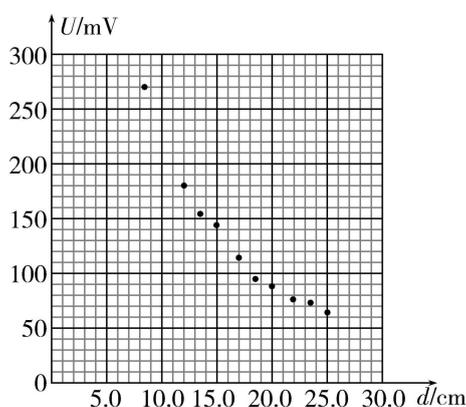
d/cm	8.50	10.00	12.00	13.50	15.00	17.00
U/mV	271.0	220.0	180.0	156.7	144.9	114.0

d/cm	18.50	20.00	22.00	23.50	25.00
U/mV	94.8	89.5	78.6	72.5	65.0

回答下列问题：

(1) 光敏电阻阻值 R_G 与电压表示数 U 的关系式为 $R_G = \underline{\hspace{2cm}}$ (用 E 、 r 、 R 、 U 表示)。

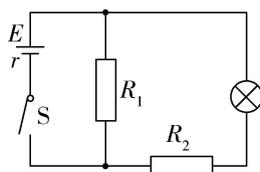
(2) 在图乙的坐标纸上补齐数据表中所给的第二组数据点，并作出 $U - d$ 的非线性曲线。



乙

(3) 依据实验结果可推断：光敏电阻的阻值随着光照强度的减小而___ (选填“增大”或“减小”)。

(4) 该同学注意到智能手机有自动调节屏幕亮度的功能，光照强度大时屏幕变亮，反之变暗。他设想利用光敏电阻的特性，实现“有光照射光敏电阻时，小灯泡变亮；反之变暗”的功能，设计了如图丙所示电路，则电路中_____ (选填“ R_1 ”或“ R_2 ”)为光敏电阻，另一个为定值电阻。



丙

【答案】 (1) $\frac{E}{U}R - R - r$

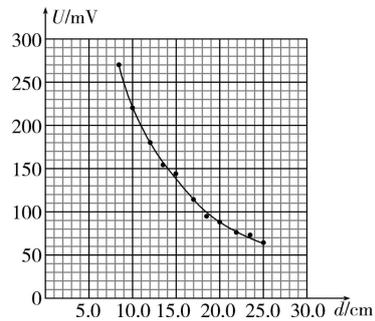
(2) 见解析

(3) 增大

(4) R_2

【解析】

(1) 由闭合电路欧姆定律得 $E = \frac{U}{R}(R + r + R_G)$, 解得 $R_G = \frac{E}{U}R - R - r$ 。



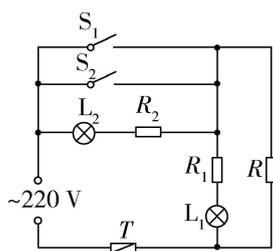
(2) 作出第二组数据点, 用平滑的曲线连起来。

(3) 由题意知, 当 d 增大时, 光照强度减小, U 减小, 由 $R_G = \frac{E}{U}R - R - r$ 可得 R_G 增大。

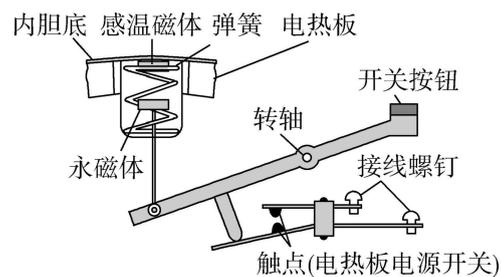
(4) 若 R_1 为光敏电阻, 因为光照强度变大, R_1 电阻减小, 由“串反并同”可知灯泡变暗; 若 R_2 为光敏电阻, 光照强度变大, R_2 电阻减小, 通过灯泡的电流增大, 灯泡变亮, 故 R_2 为光敏电阻。

探究点三 利用传感器的自动控制电路

例 3 [2022·河北卷·12, 9分]某物理兴趣小组利用废弃电饭煲的部分器材自制简易电饭煲, 设计电路如图甲所示。选用的器材有:限温开关 S_1 (手动将其按下, 开始持续加热煮饭, 当锅内温度高于 103°C 时自动断开, 之后不能自动闭合); 保温开关 S_2 (当锅内温度高于 80°C 时自动断开, 温度低于 70°C 时自动闭合); 电饭煲的框架(结构如图乙所示)。自备元件有: 加热电阻丝 R (阻值为 60Ω , 用于加热煮饭); 限流电阻 R_1 和 R_2 (阻值均为 $1\text{k}\Omega$); 指示灯 L_1 和 L_2 (2.5V , 0.6W , 当电流低于 30mA 时可视为熄灭); 保险丝 T 。



甲



乙

(1) 按照兴趣小组设计的电路, 下列说法正确的是 (多选)。

- A. 按下 S_1 , L_1 和 L_2 均发光
- B. 当锅内温度高于 103°C 时, S_1 自动断开, L_1 和 L_2 均发光
- C. 保温过程中, S_2 自动在闭合、断开状态之间交替切换

D. 当锅内温度低于 70°C 时, S_2 自动闭合, L_1 发光, L_2 熄灭

(2) 简易电饭煲制作完成后, 试用时 L_1 始终不亮, 但加热和保温功能均正常。在不拆卸元件的前提下, 断开电源, 使用多用电表判断发生故障的元件。

下列操作步骤的正确顺序是_____ (填写各步骤前的字母)。

A. 将选择开关旋转到 “ $\times 100$ ” 位置

B. 将两支表笔直接接触, 调节 “欧姆调零旋钮”, 使指针指向欧姆零点

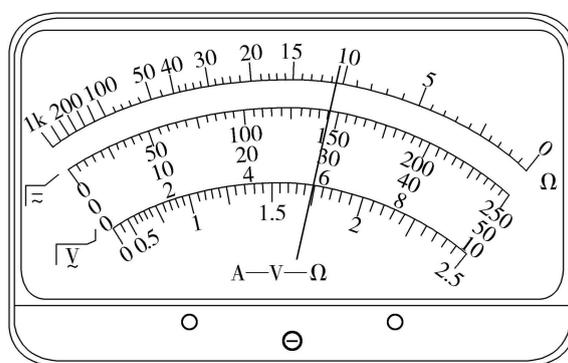
C. 调整 “指针定位螺丝”, 使指针指到零刻度

D. 测量指示灯 L_1 两端的阻值

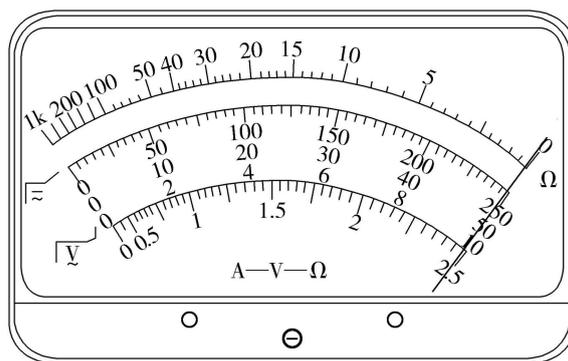
E. 将选择开关置于 OFF 位置或交流电压最高挡

操作时, 将多用电表两表笔与 L_1 两端接触, 若指针如图丙所示, 可判断是

_____ 断路损坏; 若指针如图丁所示, 可判断是_____ 断路损坏。(用电路中的元件符号表示)



丙



丁

【答案】 (1) CD

(2) CABDE; L_1 ; R_1

【解析】

(1) $R_L = \frac{U_L^2}{P_L} \approx 10.4\Omega$ ， S_1 闭合时， L_2 与 R_2 串联部分被短路，通过 L_1 的电流 $I_1 = \frac{U}{R_1+R_L} \approx 218\text{mA} > 30\text{mA}$ ，故电路中只有 L_1 会发光，故 A 错误；当锅内温度高于 103°C 时， S_1 自动断开，此时，电路结构为 L_2 与 R_2 串联在干路中， R_1 、 L_1 串联后与加热电阻 R 并联， $R_{\text{并}} = \frac{R(R_1+R_L)}{R+R_1+R_L} \approx 56.6\Omega$ ，此时 $U_{\text{并}} = \frac{R_{\text{并}}}{R_{\text{并}}+R_L+R_2} \cdot U \approx 11.7\text{V}$ ，流过 L_1 的电流 $I_1 = \frac{U_{\text{并}}}{R_1+R_L} \approx 11.6\text{mA} < 30\text{mA}$ ，流过 L_2 的电流 $I_2 = \frac{U_{\text{并}}}{R_{\text{并}}+R_L+R_2} \approx 206\text{mA} > 30\text{mA}$ ，故此时 L_1 不发光， L_2 发光，故 B 错误；保温过程中，当温度低于 70°C ， S_2 自动闭合，电路处于加热状态，当温度达到 80°C ， S_2 自动断开，故 C 正确；当温度低于 70°C 时， S_2 自动闭合，电路结构与 S_1 闭合时情况相同，故 D 正确。

(2) 使用多用电表时，先进行机械调零，使用欧姆挡时，应先选择倍率，再进行欧姆调零，然后开始测电阻，最后将选择开关置于 OFF 位置或交流电压最高挡，故正确步骤为 CABDE。题图丙所示阻值为 1060Ω 左右，接近 R_1 与 R 串联后的阻值，故可判断是 L_1 断路；题图丁所示阻值非常小，应该是 L_1 的阻值，又因电饭煲加热和保温功能正常，则可判断是 R_1 断路。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 69