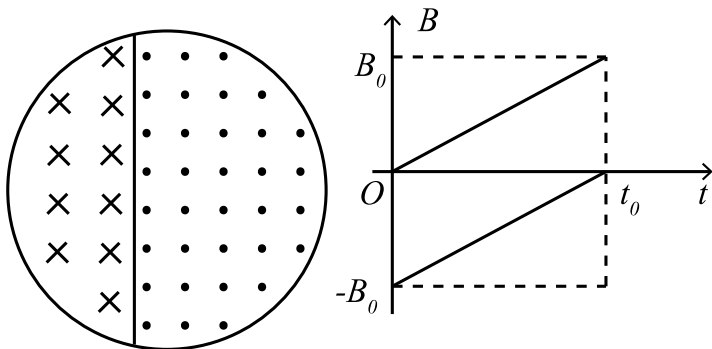


1. (10分)某个小水电站发电机的输出功率为 100kW ，发电机的电压为 250V 。通过升压变压器升高电压后向远处输电，输电线总电阻为 8Ω ，在用户端用降压变压器把电压降为 220V 。要求在输电线上损失的功率控制为 5kW （即用户得到功率为 95kW ）。请你设计两个变压器的匝数比。为此请你计算：

- (1) 降压变压器输出的电流是多少？输电线上通过的电流是多少？
- (2) 输电线上损失的电压是多少？升压变压器输出的电压是多少？
- (3) 两个变压器的匝数比各应等于多少？

2. 甲是半径为 a 的圆形导线框，电阻为 R ，虚线是圆的一条弦，虚线左右两侧导线框内磁场的磁感应强度随时间变化如图乙所示，设垂直线框向里的磁场方向为正，求：

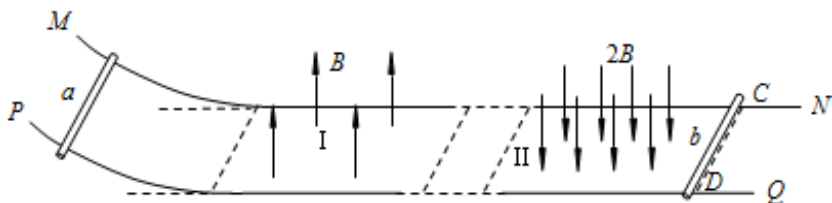
- (1) 线框中 $0-t_0$ 时间内的感应电流大小和方向；
- (2) 线框中 $0-t_0$ 时间内产生的热量



甲

乙

3. 如图所示,两根金属平行导轨MN和PQ放在水平面上,左端向上弯曲且光滑,导轨间距为 L ,电阻不计.水平段导轨所处空间有两个有界匀强磁场,相距一段距离不重叠,磁场 I 左边界在水平段导轨的最左端,磁感强度大小为 B ,方向竖直向上;磁场 II 的磁感应强度大小为 $2B$,方向竖直向下.质量均为 m 、电阻均为 R 的金属棒a和b垂直导轨放置在其上,金属棒b置于磁场 II 的右边界CD处.现将金属棒a从弯曲导轨上某一高处由静止释放,使其沿导轨运动.设两金属棒运动过程中始终与导轨垂直且接触良好.



- (1) 若水平段导轨粗糙,两金属棒与水平段导轨间的最大摩擦力均为 $\frac{1}{5}mg$,将金属棒a从

距水平面高度 h 处由静止释放.求:金属棒a刚进入磁场 I 时,通过金属棒b的电流大小;若金属棒a在磁场 I 内运动过程中,金属棒b能在导轨上保持静止,通过计算分析金属棒a释放时的高度 h 应满足的条件;

(2)若水平段导轨是光滑的,将金属棒a仍从高度 h 处由静止释放,使其进入磁场 I .设两磁场区域足够大,求金属棒a在磁场 I 内运动过程中,金属棒b中可能产生焦耳热的最大值.

4. (13分)如图,在竖直向下的磁感应强度为 B 的匀强磁场中,两根足够长的平行光滑金属轨道MN、PQ固定在水平面内,相距为 L 。一质量为 m 的导体棒ab垂直于MN、PQ放在轨道上,与轨道接触良好。轨道和导体棒的电阻均不计。

(1)如图1,若轨道左端MP间接一阻值为 R 的电阻,导体棒在拉力 F 的作用下以速度 v 沿轨道做匀速运动。请通过公式推导证明:在任意一段时间 Δt 内,拉力 F 所做的功与电路获取的电能相等。

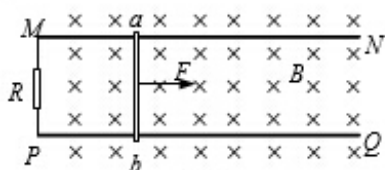


图 1

(2)如图2,若轨道左端接一电动势为 E 、内阻为 r 的电源和一阻值未知的电阻。闭合开关 S ,导体棒从静止开始运动,经过一段时间后,导体棒达到最大速度 v_m ,求此时电源的输出功率。

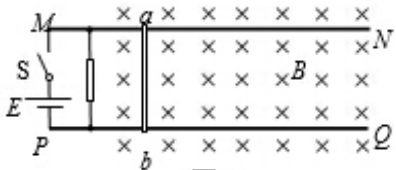


图 2

(3)如图3,若轨道左端接一电容器,电容器的电容为 C ,导体棒在水平拉力的作用下从静止开始向右运动。电容器两极板电势差随时间变化的图像如图4所示,已知 t_1 时刻电容器两极板间的电势差为 U_1 。

求导体棒运动过程中受到的水平拉力大小。

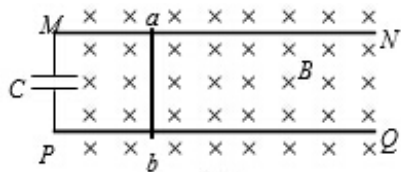


图 3

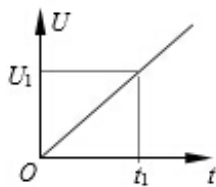


图 4

答案解析

1. 答案 (本题提供智能家庭教师服务)

(10分)

(1) 降压变压器输出电流, 也就是用户得到的电流

$$I_{\text{用}} = \frac{P_{\text{用}}}{U_{\text{用}}} = \frac{95 \times 10^3}{220} A = 4.32 \times 10^2 A \quad \dots\dots 1 \text{分}$$

因为, $\Delta P = I_2^2 r$, 输电线上通过的电流 $I_2 = \sqrt{\frac{\Delta P}{r}} = 25 A \quad \dots\dots 2 \text{分}$

(2) 输电线上损失的电压 U_r , $U_r = I_2 r = 200 V \quad \dots\dots 1 \text{分}$

因为升压变压器为理想变压器, 输入功率等于输出功率, 所以升压变压器输出的电压 U_2 , 计算如下:

因为, $P_2 = I_2 U_2 = P_1$, 所以, $U_2 = \frac{P_2}{I_2} = \frac{100 \times 10^3}{25} V = 4 \times 10^3 V \quad \dots\dots 2 \text{分}$

(3) 升压变压器的匝数比 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{250}{4000} = \frac{1}{16} \quad \dots\dots 2 \text{分}$

降压变压器的匝数比 $\frac{n_3}{n_4} = \frac{U_3}{U_{\text{用}}} = \frac{U_2 - U_r}{U_{\text{用}}} = \frac{4000 - 200}{220} = \frac{190}{11} \quad \dots\dots 2 \text{分}$

解析

问题求解:

(1) 根据用户的电压和功率, 可以算出用户的电流, 根据输电效率可以求出输电线损失的功率, 根据输电线损失的功率和输电线电阻, 可以算出输电线电流。

(2) 根据输电线的电流和电阻, 可以算出输电线损失的电压。根据升压变压器的功率和输电电流, 可以算出升压变压器的输出电压。

(3) 根据升压变压器和降压变压器的输入输出电压, 可以得出两变压器的匝数比。

2. 答案 (本题提供智能家庭教师服务)

(1) 设虚线左侧的面积为 S_1 , 右侧的面积为 S_2 , 则根据法拉第电磁感应定律得:

向里的变化磁场产生的感应电动势为 $E = S_1 \frac{\Delta B_1}{\Delta t}$, 感应电流方向为逆时针方向

向外的变化磁场产生的感应电动势为 $E = S_2 \frac{\Delta B_2}{\Delta t}$, 感应电流方向为逆时针方向

从题图乙中可以得到 $\frac{\Delta B_1}{\Delta t} = \frac{B_0}{t_0}$, $\frac{\Delta B_2}{\Delta t} = \frac{B_0}{t_0}$

感应电流为 $I = \frac{E_1 + E_2}{R} = \frac{\pi a^2 B_0}{R t_0}$, 方向为逆时针方向

(2) 根据焦耳定律可得 $Q = I^2 R t_0 = \frac{\pi^2 a^4 B_0^2}{R t_0}$

解析

问题求解:

(1) 根据法拉第电磁感应定律分别对左侧和右侧进行列式, 由楞次定律判断出感应电流的方向, 即可求解出总的感应电动势, 由欧姆定律求解出感应电流。

(2) 由焦耳定律可求解出热量。

3. 答案

解:(1)①金属棒在弯曲光滑导轨上运动的过程中,机械能守恒,设其刚进入磁场 I 时速度为 v_0 ,产生的感应电动势为 E ,电路中的电流为 I .

由机械能守恒 $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$, 计算得出 $v_0 = \sqrt{2gh}$

感应电动势 $E = BLv_0$, 对回路有: $I = \frac{E}{2R}$

计算得出: $I = \frac{BL\sqrt{2gh}}{2R}$

②对金属棒b:所受安培力 $F = 2BIL$

又因 $I = \frac{BL\sqrt{2gh}}{2R}$

金属棒b棒保持静止的条件为 $F \leq \frac{1}{5}mg$

计算得出 $h \leq \frac{gm^2R^2}{50B^4L^4}$

(2)金属棒a在磁场 I 中减速运动,感应电动势逐渐减小,金属棒b在磁场 II 中加速运动,感应电动势逐渐增加,当两者相等时,回路中感应电流为0,此后金属棒a、b都做匀速运动.设金属棒a、b最终的速度大小分别为 v_1 、 v_2 ,整个过程中安培力对金属棒a、b的冲量大小分别为 I_a 、 I_b .

由 $BLv_1 = 2BLv_2$, 计算得出 $v_1 = 2v_2$

设向右为正方向:

对金属棒a,由动量定理有 $-I_a = mv_1 - mv_0$

对金属棒b,由动量定理有 $-I_b = -mv_2 - 0$

因为金属棒a、b在运动过程中电流始终相等,则金属棒a受到的安培力始终为金属棒b受到安培力的2倍,因此有两金属棒受到的冲量的大小关系 $I_b = 2I_a$

计算得出 $v_1 = \frac{4}{5}v_0$, $v_2 = \frac{2}{5}v_0$

根据能量守恒,回路中产生的焦耳热

$$Q = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}\left[\frac{1}{2}m\left(\frac{2}{5}v_0\right)^2 + \frac{1}{2}m\left(\frac{4}{5}v_0\right)^2\right] = \frac{1}{10}mv_0^2 = \frac{1}{5}mgh$$

$$Q_b = \frac{1}{10}mgh$$

答:(1)金属棒a刚进入磁场 I 时,通过金属棒b的电流大小是 $\frac{BL\sqrt{2gh}}{2R}$;若金属棒a在磁场

I 内运动过程中,金属棒b能在导轨上保持静止,金属棒a释放时的高度h应满足的条件是

$$h \leq \frac{gm^2R^2}{50B^4L^4};$$

(2)金属棒a在磁场 I 内运动过程中,金属棒b中可能产生焦耳热的最大值是 $\frac{1}{10}mgh$.

解析

(1)金属棒在弯曲光滑导轨上运动的过程中,机械能守恒,求出棒刚进入水平轨道时的速度,根据 $E = BLv_0$ 和 $I = \frac{E}{2R}$ 求解通过金属棒b的电流大小.对金属棒b:所受安培力

$$F = 2BIL, \text{要使b能在导轨上保持静止,必须满足 } F \leq f_m = \frac{1}{5}mg, \text{即可求得h应满足的条件;}$$

(2)若水平段导轨是光滑的,金属棒a仍从高度h处由静止释放,使其进入磁场 I 后,金属棒a在磁场 I 中减速运动,感应电动势逐渐减小,金属棒b在磁场 II 中加速运动,感应电动势逐渐增加,当两者相等时,回路中感应电流为0,此后金属棒a、b都做匀速运动.对两棒,分别运用动量定理列式,结合感应电动势相等的条件,求出最终两棒的速度,由能量守恒求解金属棒b中可能产生焦耳热的最大值.

该题考查了多个知识点的综合运用,是双杆类型.做这类问题我们首先应该从运动过程和受力分析入手研究,运用一些物理规律求解问题.能量的转化与守恒的应用非常广泛,我们应该首先考虑.

4. 答案 (本题提供智能家庭教师服务)

(13分)

(1) 导体棒切割磁感线 $E = BLv$

导体棒做匀速运动 $F = F_{\text{安}}$

$$\text{又 } F_{\text{安}} = BIL, \quad I = \frac{E}{R}$$

在任意一段时间 Δt 内,

$$\text{拉力 } F \text{ 所做的功 } W = Fv\Delta t = F_{\text{安}}v\Delta t = \frac{B^2L^2v^2}{R}\Delta t \quad \dots\dots 2\text{分}$$

$$\text{电路获取的电能 } \Delta E = qE = EI\Delta t = \frac{B^2L^2v^2}{R}\Delta t \quad \dots\dots 2\text{分}$$

可见, 在任意一段时间 Δt 内, 拉力 F 所做的功与电路获取的电能相等。

(2) 导体棒达到最大速度 v_m 时, 棒中没有电流。

$$\text{电源的路端电压 } U = BLv_m \quad \dots\dots 1\text{分}$$

$$\text{电源与电阻所在回路的电流 } I = \frac{E - U}{r} \quad \dots\dots 1\text{分}$$

$$\text{电源的输出功率 } P = UI = \frac{EBLv_m - B^2L^2v_m^2}{r} \quad \dots\dots 1\text{分}$$

(3) 感应电动势与电容器两极板间的电势差相等 $BLv = U$

$$\text{由电容器的 } U - t \text{ 图可知 } U = \frac{U_1}{t_1}t \quad \dots\dots 1\text{分}$$

$$\text{导体棒的速度随时间变化的关系为 } v = \frac{U_1}{BLt_1}t \quad \dots\dots 1\text{分}$$

$$\text{可知导体棒做匀加速直线运动, 其加速度 } a = \frac{U_1}{BLt_1} \quad \dots\dots 1\text{分}$$

$$\text{由 } C = \frac{Q}{U}, \quad I = \frac{Q}{t}$$

$$\text{则 } I = \frac{CU}{t} = \frac{CU_1}{t_1} \quad \dots\dots 1\text{分}$$

$$\text{由牛顿第二定律 } F - BIL = ma \quad \dots\dots 1\text{分}$$

$$\text{可得 } F = \frac{BLCU_1}{t_1} + \frac{mU_1}{BLt_1} \quad \dots\dots 1\text{分}$$

解析

问题求解:

(1) 导体棒做匀速直线运动, 拉力与安培力等大反向; 列方程求得安培力即求得拉力, 再求拉力做的功; 最后由功能关系或焦耳定律列方程便可求得电路获取的电能, 根据两式相等即可证明结论。

(2) 导体棒达到最大速度时处于平衡状态, 则安培力为零, 由 $F_{\text{安}} = BIL = 0$ 知电流为零; 外电路只有电阻消耗功率; 由法拉第电磁感应定律可求出此时导体棒两端的电动势; 再由闭合电路相关知识求得电源与电阻所在回路的电流; 进而求得电源的输出功率。

(3) 导体棒在导轨方向受到拉力和安培力的作用; 由 $U - t$ 图像以及法拉第电磁感应定律相关公式列方程便可以得到导体棒在做匀加速直线运动, 并可求出加速度; 由电容器相关知识求得电路电流, 求得安培力; 进而由牛顿第二定律列方程即可求得拉力大小。