# 第七章 电磁感应定律的应用

## 第一节 自感现象和涡流现象

1．如图 7 – 1所示，把一铜片放在磁场中，如果我们力图把这铜片从磁场中拉出或进一步推入，都会感觉到有阻力阻碍铜片运动。试分析这个阻力的来源。

*B*

*v*

2．如图 7 – 2所示，感应圈是由两个圆筒状的螺线管套在同一个铁芯上构成，与电源相接的匝数较少的螺线管叫做原线圈，不与电源相接的叫做副线圈，副线圈的匝数远大于原线圈的匝数。感应圈是利用低压直流电源，通过电磁铁的作用以及开关 S1 的触点绕转轴 O 的左右跳动，使原线圈的电路交替不断地处于“接通”和“断开”这两种状态，从而在原线圈中形成交替变化的脉动电流以及在副线圈两极产生较高的电压。

*A*

*B*

S1弹簧片

螺钉

S

*C*

电容

*O*

（1）当副线圈两极（A 和 B）间的距离较近时，为什么在接通开关或断开开关的瞬间两极都有火花发生？

（2）如果使副线圈的两极距离较远，则仅在断开开关的瞬间才可能有火花出现？为什么？

3．用手捏住变压器或电机线圈的两端，在普通手电筒的电池两极接触一下然后断开，为什么会有强烈的电击感觉？用多用表欧姆挡检查变压器或电动机的线圈是否断线时，要注意什么？

4．在如图 7 – 3 所示的电路中，A、B 两灯的电阻均为 20 Ω。电感线圈的直流电阻 *R*L = 20 Ω。说明在开关 S 闭合和断开的极短时间内，通过 A、B 两灯的电流的变化情况。

*R*

*A*

*L*

*B*

S

5．如图 7 – 4 所示，*L* 是自感系数很大的线圈，但其自身的电阻几乎为 0。A 和 B 是两个相同的小灯泡。

*A*

*L*

*B*

S

（1）当开关 S 由断开变为闭合的瞬间，A、B 两个灯泡的亮度将如何变化？试作出解释；

（2）当开关 S 由闭合变为断开的瞬间，A、B 两个灯泡的亮度又将如何变化？试作出解释。

6．一线圈的电流在 1.0 ms 内均匀地改变 40 mA 时，产生的自感电动势为 50 V。要想产生 80 V 的自感电动势，电流的变化率应是多少？

### 参考解答

1．当铜片从磁场中拉出或推入时的阻力就是磁场对涡流的安培力。当铜片向右拉出磁场过程中铜片中形成涡流，涡流方向如图 7 所示，在磁场中的那部分涡流受到向左的安培力 *F* 作用，阻碍着铜片向右运动。同理，将铜片向左推入磁场时也要受到阻碍着铜片向左运动的安培力。

*B*

*v*

*F*

2．（1）A、B 两极靠得越近，击穿空气产生电火花需要的电压越低，所以副线圈两极距离较近时，在接通开关和断开开关瞬间，即使电压不很高也都有火花发生；

（2）如果副线圈两极距离较远，接通开关时，由于自感作用，原线圈电流是逐渐增大的，在副线圈两端产生的电压不是很高，不能产生火花，断开开关瞬间，原线圈产生很大的自感电动势，通过升压后在副线圈两端产生的电压很高，所以仍然可能有火花出现。

3．用手捏住线圈两端去接触电池两极，相当于人体的电阻与线圈并联后去接电源，如图 8 所示。由于人体电阻 *R*人体 很大，线圈电阻 *R*L 一般很小，因此通过线圈的电流比通过人体电流大得多。脱离电池后，人体与线圈仍构成一闭合回路，由于自感作用，断路时的感应电流通过人体，它比原来通过人体的电流大得多，因此，将有一个很高的瞬时电压加在人体上。

*L*

*RL*

*R*人体

用多用表欧姆挡检查匝数较多的带铁芯线圈是否断线时，由于多用表内有直流干电池作为电源，不要用手捏住线圈的两端再去接触表笔，以免断开时受到电击。应当用手握表笔的绝缘棒，直接让表笔金属部分接触线圈两端。这样，脱离接触时人体与线圈不构成回路，可避免电流通过人体放电产生电击。

4．（1）A、B 两灯的电阻均为 20 Ω 。开关 S 闭合的瞬间，电感线圈产生较大的自感电动势，可将电感线圈视为断路，A 灯与电阻 *R* 并联后再与 B 灯串联，通过 B 灯的电流大于通过 A 灯的电流。之后，自感线圈的自感电动势减小，A、B 两灯的电压相等，通过两灯的电流也相等。

（2）S 断开时，A 灯的电流瞬间变为零，由于自感线圈与 B 灯形成一个闭合回路，所以 B 灯的电流慢慢变为零。

5．（1）当开关 S 由断开变为闭合的瞬间，电源的电压同时加到两灯上，A、B 两灯同时亮，随着线圈 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，B 灯逐渐被短路直到熄灭。外电路总电阻减小，总电流增大，A 灯更亮。

（2）当开关 S 由闭合变为断开的瞬间，B 灯与线圈 L 构成自感回路，所以 B 灯由暗变亮再逐渐熄灭，A 灯立即熄灭。

6．自感电动势与电流的变化率成正比，即 *E* ∝

所以，= ，即 = = ×A/s = 64 A/s

## 第二节 交变电流

1．图 7 – 5 中画出了六种电流随时间变化的图像。这六个图中的电流 *i* 都随时间 *t* 做周期性变化，其中属于交变电流的是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，属于正弦式交变电流的是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

*i*

*O*

*t*

(a)

*i*

*O*

*t*

(b)

*i*

*O*

*t*

(d)

*i*

*O*

*t*

(f)

*i*

*O*

*t*

(e)

*i*

*O*

*t*

(c)

2．矩形线圈在匀强磁场中匀速转动，当线圈通过中性面时，穿过线圈的磁通量\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“最大”或“最小”），线圈中的感应电动势\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“最大”或“最小”）；在线圈从中性面开始转过 90° 的过程中，穿过线圈的磁通量\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“变大”或“变小”），线圈中的感应电动势\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“变大”或“变小”）。

3．一台交流发电机为一套 45 kW 的工业电热设备供电。如果该系统电压的有效值是 660 V，则电流的最大值是多少？

4．正弦交流电是由闭合线圈在匀强磁场中匀速转动产生的。线圈中感应电动势随时间变化的规律如图 7 – 6所示。求：

311

− 311

*e* / V

*t* / s

0

0.01

0.02

0.03

（1）感应电动势的有效值；

（2）交流电的频率；

（3）在 0 ~ 0.03 s 时间内，闭合线圈处于中性面的时刻。

5．正弦交变电源、电阻 *R* 和交流电压表按照图 7 – 7（a）所示的方式连接，其中 *R* = 5.0 Ω，交流电压表的示数是 10 V。图 7 – 7（b）是交变电源输出电压 *U* 随时间 *t* 变化的图像。求：

*U*m

− *U*m

*U* / V

*t* / ×10−2 s

*O*

1

2

(b)

(a)

*R*

V

~

（1）该交流电压的周期；

（2）通过电阻 *R* 的电流 *i*R 随时间 *t* 变化的规律。

6．在匀强磁场中，一个 100 匝的闭合矩形金属线圈绕与磁感线垂直的固定轴匀速转动，穿过该线圈的磁通量随时间按图 7 – 8（a）所示正弦规律变化。设线圈总电阻为 4 Ω，在 0 ≤ *t* ≤ 2 s 时间内，求：

0.04

− 0.04

*Φ* / Wb

*t* / s

0

1

2

(a)

1.5

0.5

(b)

*N*

*L*1

*L*

*B*

*M*

*θ*

*K*

*ω*

*L*2

（1）线圈中的感应电动势最大的时刻和电流改变方向的时刻；

（2）如果该矩形金属线圈的边长分别为 *L*1 和 *L*2，在 *L*2 的中点有一个转动轴，如图 7 – 8（b）所示，且该线圈绕与磁感线垂直的转动轴以角速度 *ω* 匀速转动，求感应电动势的最大值，以及一个周期内线圈产生的热量。

7．交流发电机在工作时的电动势的瞬时值为 *e* = *E*msin*ωt*，若将其线圈的转速提高 1 倍，其他条件不变，则电动势的瞬时值变为多少？说明判断的理由。

8．某正弦交流电的电流瞬时值为 *i* = 5sinA，该交流电的电流最大值、有效值、周期和频率分别为多少？画出该正弦交流电的电流–时间图像。

### 参考答案

1．（a）（c）（e）（f），（c）

2．最大，最小，变小，变大

当线圈从中性面转动 90° 的过程中，穿过线圈的磁通量逐渐减小，线圈中的感应电动势逐渐增大。

3．电流的有效值为 *I* = = A ≈ 68.18 A

电流的最大值为 *I*m = *I* = ×68.18 A ≈ 96.42 A

4．（1）*E* = = V ≈ 220 V

（2）*f* = = Hz = 50 Hz

（3）闭合线圈处于中性面时感应电动势为零，所以 0 s、0.01 s、0.02 s 和 0.03 s 时闭合线圈均处于中性面。

5．（1）从图（b）中知道该交流电压的周期为 0.02 s

（2）电压随时间的变化规律为 *u* = *U*cos100π*t*（V）= 10cos100π*t*（V）

根据欧姆定律，电流随时间的变化规律为

*i*R = = A = 2cos100π*t*（A）

6．（1）*t* = 0 s、1 s 和 2 s 时刻磁通量为零，线圈平面平行于磁感线，感应电动势最大。

*t* = 0.5 s 和 1.5 s 时刻电流改变方向。

（2）感应电动势的最大值为 *E*m = *NB*（2*L*1 *ω*）= *NBSω* = *NΦ*m = 100×0.04× V = 4π V ≈ 12.56 V

感应电动势的有效值为 *E*m = = V = 2π V

一个周期内线圈产生的热量 *Q* = *T* = ×2 J = 4π2 J ≈ 39 J

7．因为 *E*m = *nBSω*，交流发电机线圈的转速提高 1 倍，即 *ω*ʹ = 2*ω*，则 *E*mʹ = 2*nBSω* = 2*E*m，所以电动势的瞬时值变为 *e*ʹ = 2*E*msin2*ωt*。

8．交流电的最大值为 5A，有效值为 5 A，周期为 0.020 s，频率为 50 Hz。

因为 *i* = 5sin（100π*t* − ）A = − 5cos（100π*t*）A，所以，该正弦交流电的电流 – 时间图像为

5

− 5

*i* / A

*t* / ×10−3 s

0

10

15

25

5

20

## 第三节 变压器

1．某电吹风在 110 V 交流电压正常工作时的电流为 10 A。现将它在市用电压为 220 V 的地区正常使用，则所需变压器的匝数比为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，这时电吹风正常工作时的功率为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_W。

2．如图 7 – 9 所示，理想变压器原线圈直接接在正弦式交变电压上，副线圈通过输电线连接两只相同的灯泡 *L*1、*L*2，输电线的等效电阻为 *R*，在图示状态下，开关 S 是断开的。当开关 S 闭合时，副线圈两端的输出电压\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_，通过灯泡 *L*1 的电流\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。（均选填“增大”“减小”或“不变”）

S

*L*1

*L*2

*R*

~

3．一理想变压器的原线圈输入电压为 220 V 时，副线圈的输出电压为 22 V。如将副线圈增加 100 匝后输出电压增加到 33 V。求原线圈和副线圈的匝数。

4．如图 7 – 10 所示，变压器原、副线圈的匝数比为 10∶1，副线图圈有一中心抽头 *e*。原线圈接交变电压 *u* = 311sin100π*t*（V），副线圈上 *e*、*d* 之间的电压等于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_V，电压的周期 *T* = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_s。

*a*

～

*b*

*c*

*e*

*d*

5．为了安全，机床上照明电灯用 36 V 电压，是把 220 V 的交流电降压后得到的，如果变压器接电源的原线圈是 1 100 匝，将变压器视为理想变压器，那么副线圈的匝数为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_匝，副线圈的导线比原线圈更\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“粗”或“细”）。

6．我国工厂一般使用的三相交流电线电压有效值为 380 V，则峰值为\_\_\_\_\_\_\_V，频率为 50 Hz。若把 380 V 的交流电输入变压器，输出电压为 38 V，则变压器的原、副线圈匝数比为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

7．某变电站用 220 V 的电压送电，导线损失电功率是输出功率的 20％。若要使导线损失电功率是输出功率的 5%，则输出的电压应变为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_V。

8．一台理想升压变压器的原线圈为 500 匝，副线圈为 15 000 匝，原线圈接在 220 V 的交流电源上，通过原线圈的电流为 3.0 A。试求：

（1）副线圈两端的电压；

（2）原线圈的输入功率和副线圈的输出功率；

（3）副线圈电路中的电流。

9．发电机输出功率 40 kW，输出电压 400 V，用变压比（原、副线圈匝数比）为 1∶5 的变压器升压后向远处供电，输电线的总电阻为 5 Ω，到达用户后再用变压器降为 220 V。求：

（1）输电线上损失的电功率；

（2）降压变压器的变压比。

10．三峡水利电力枢纽工程是全世界已建的最大的枢纽工程，安装 26 台发电机组，每台发电机组功率是 70 万千瓦，每年发电量 847 亿千瓦时，它是“西电东送”的中部通道，阅读上述材料，回答下列问题：

（1）三峡河段年平均流量 4 384 亿立方米，发电站上、下游水位差约为 100 m，则三峡电站能量转化效率为多少？

（2）把三峡电站的电能输送到用电区，其输电线总电阻为 20 Ω，若要求输电效率为 99%，则输电电压为多少？若发电机提供的电压约为 1 900 V，用电区用电电压为 220 V，则对应的升压、降压变压器的匝数比各是多少？

### 参考答案

1．= = = ，所需变压器的匝数比为 2∶1

电吹风正常工作时的功率为 *P*2 = *P*1 = *U*2*I*2 = 110×10 W = 1 100 W

2．不变，减小

理想变压器副线圈两端的输出电压 *U*2 只与原线圈的输入电压和变压器的匝数比有关，与负载无关。设电阻 *R* 和灯泡 *L*1 两端的电压分别为 *UR* 和 *UL*，因为 *U*2 = *UR* + *UL*，当开关 S 闭合时，负载电阻减小，根据欧姆定律，通过电阻 *R* 的电流增大，使电阻两端的电压 *UR* 增大，则 *UL* 减小，通过灯泡 *L*1 的电流减小。

3．= = = ，= = =

联立解得 *n*1 = 2 000 匝，*n*2 = 200 匝

4．原线圈交变电压的有效值为 *U*1 = = V ≈ 220 V

副线圈上 *e*、*d* 之间的电压为 *Ued* = = ×*U*1 = ××220 V = 11 V

电压的周期为 0.02 s

5．180，粗

*n*2 = *n*1 = ×1 100 匝 = 180 匝

因为理想变压器输入功率等于输出功率，输出电压降低，所以输出电流增大。根据焦耳定律，电流通过导线产生的热量与电流的二次方成正比。为了减少导线的发热量，可以减小导线的电阻。根据电阻定律，导线长度和导线材料相同的情况下，导线越粗，横截面积 *S* 越大，则电阻越小，所以副线圈的导线比原线圈粗。

6．380，10∶1

*U*m = *U* = 380V，= = =

7．*P*损 = *I*2*R* = （）2*R*，*R* = （）2*P*损 = （）2*P*损′

（）2×0.20*P* = （）2×0.05*P*

所以，*U*′ = ×220 V = 440 V

8．（1）*U*2 = *U*1 = ×220 V = 6 600 V

（2）*P*1 = *P*2 = *U*1*I*1 = 220×3.0 W = 660 W

（3）*I*2 = = A = 0.10 A

9．（1）设升压变压器的输入电压为 *U*1，输出电压为 *U*2，输入电流为 *I*1，输出电流为 *I*2；降压变压器的输入电压为 *U*3，输出电压为 *U*4

= ，*U*2 = *U*1 = ×400 V = 2 000 V

*I*2 = ，理想变压器的输入功率等于输出功率，即 *P*1 = *P*2，所以

*I*2 = = A = 20 A

输电线上损失的电功率为 Δ*P* = *I*22*R* = 202×5 W = 2 000 W

（2）输电线上损失的电压 Δ*U* = *I*2*R* = 20×5 V = 100 V

降压变压器的输入电压为 *U*3 = *U*2 – Δ*U* = （2 000 − 100） V = 1 900 V

所以，降压变压器的变压比为 = = =

10．（1）因为三峡河段每年的平均流量 *Q* = 4 384×108 m3 = 4.384×1011 m3，则每年内流过的水的质量为 *M* = 4.384×1014 kg，水的落差为 100 m，所以，一年内水的重力势能的减少量为 *Mgh* = 4.384×1017 J

每年的总发电量为 *W* = 8.47×1010 kW·h = 3.05×1017 J

所以，三峡电站的能量转化率约 *η* = = ×100% ≈ 70％

（2）26 台发电机的总功率为 *P* = 7.0×108×26 W = 1.82×1010 W

当输电效率为 99% 时 *P*损 = *P*×1% = 1.82×108 W

而 *P*损 = *I*2*R*，所以 *I* = = A ≈ 3.017×103 A

因而输电电压 *U*2 = = V = 6.032×106 V

由于发电机提供的电压约为 1 900 V，所以升压变压器的匝数比为

= = ≈ 3.15×10−4

线路损耗的电压 *U*损 = *IR* = 3.017×103×20 V = 6.034×104 V

到达降压变压器输入端的电压

*U*3 = *U*2 − *U*损 = （6.034×106 – 6.034×104）V = 5.972×106 V

所以，降压变压器的匝数比为

= = ≈

## 第四节 发电机和电动机

1．发电机是将\_\_\_\_\_\_\_\_\_能转化为\_\_\_\_\_\_\_\_\_能的装置，电动机是把\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_能转化为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_能的装置。

2．发电机里产生感应电动势的线圈通常叫电枢。\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_转动、\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_不动的发电机叫做旋转电枢式发电机；\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_转动、\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_不动的发电机叫做旋转磁极式发电机。

3．发电机的形式很多，其工作原理都源自\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。电动机原理是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_的作用力使电动机转动。

4．生产和生活中广泛使用不同型号的交流电动机。交流电动机具有\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_
\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_等优点。

5．17 ~ 18 世纪，在生产经验积累的基础上发明了\_\_\_\_\_\_\_\_\_技术，促进了热力学理论的发展，引发了第一次工业革命。19 世纪，法拉第发现了\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_现象，麦克斯韦创立了\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_理论，推动了电机、电器、电信设备等的发明和制造，使人类进入了\_\_\_\_\_\_\_\_\_时代，引发了第二次工业革命。

### 参考答案

1．机械，电，电，机械

2．电枢，磁极，磁极，电枢

3．法拉第电磁感应定律，磁场对电流

4．构造简单、控制方便、体积小、效率高、功率可大可小、无污染源

5．蒸汽机，电磁感应，电磁，电气