

课后答案网 您最真诚的朋友



www.hackshp.cn网团队竭诚为学生服务，免费提供各门课后答案，不用积分，甚至不用注册，旨在为广大学生提供自主学习的平台！

课后答案网：www.hackshp.cn

视频教程网：www.efanjy.com

PPT课件网：www.ppthouse.com

课后答案网
www.hackshp.cn

第一章 直流电动机

- 1.6 答: 电枢绕组为单叠绕组时, 运行时去掉一个或相邻两个电刷, 并联支路数减少一半, 电枢电流将减少一半。电枢绕组为单波绕组时, 并联支路数不受影响, 电枢电流不变, 但每个电刷通过的电流将增大, 致使换向困难
- 1.7 答: 感应电动势 (参见图 1.3)。电刷两端得到总的感应电动势为零。

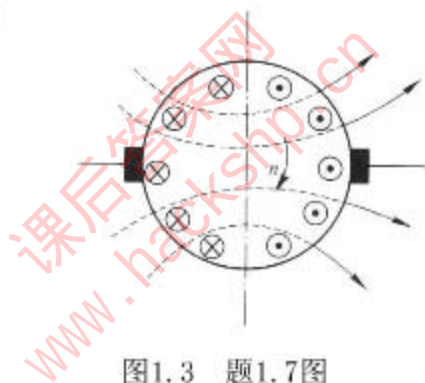


图1.3 题1.7图

- 1.8 答: 由 $T_{em} = CT\Phi I_a$ 知: 对于已制造好的直流电机, 其电磁转矩与电枢电流和气隙磁通的乘积成正比。可用左手定则判断电枢导体的受力方向, 从而确定电磁转矩的实际方向。对于直流发电机而言, 电磁转矩为制动转矩, 与转子转向相反; 而对于直流电动机而言, 电磁转矩为驱动性质, 与转子转向相同。
- 1.14 答: 并励直流发电机正转时能自励, 反转时则不能自励。如

果把并励绕组两头对调, 且电枢反转, 此时能自励。

- 1.15 答: 换向元件里合成电动势 Σe 为零时, 换向元件里的换向电流随时间线性变化, 这种换向称为直线换向。直线换向时不产生火花。换向过程中换向元件里的合成电动势大于零, 使换向电流变化延缓, 不再是线性的, 出现了电流延迟现象, 这时的换向称为延迟换向。延迟换向时电刷下产生电火花。

1.16 解: 额定电流:
$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{10 \times 10^3}{230} A = 43.48 A$$

额定负载时的输入功率:

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{10}{0.85} kW = 11.76 kW$$

- 1.17 解: 额定负载时的输入功率:

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{17}{0.83} kW = 20.48 kW$$

额定电流:

- 1.18 解: (1) 绕组节距计算

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{22}{4} - \frac{2}{4} = 5$$

$$y = y_k = 1$$

$$y_2 = y_1 - y = 5 - 1 = 4$$

(2) 绕组展开图如图 1.4 所示 (采用右行短距绕组)

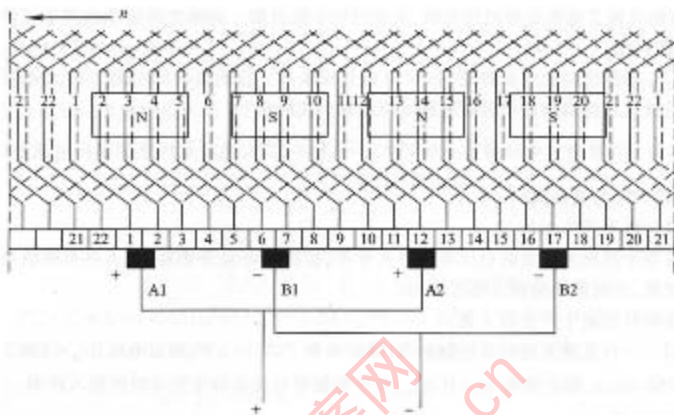


图1.4 题1.18图

(3) 并联支路数如下:

$$a = p = 2, \quad 2a = 4$$

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{19}{4} + \frac{1}{4} = 5$$

1.19 解: (1) 绕组节距计算

$$y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{19}{4} + \frac{1}{4} = 5$$

$$y = y_k = \frac{K-1}{p} = \frac{19-1}{2} = 9$$

$$y_2 = y - y_1 = 9 - 5 = 4$$

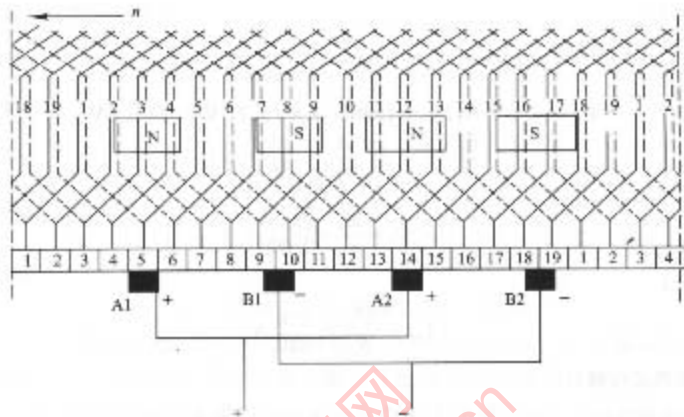


图1.5 题1.19图

(2) 绕组展开图如图 1.5 所示 (采用左行长距绕组)

(3) 并联支路数如下: $2a = 2$

1.20 解:

(1) $n=1500\text{r/min}$ 时

$$E_s = C_s \Phi_s = \frac{pN}{60a} \Phi_s = \frac{3 \times 398}{60 \times 3} \times 2.1 \times 10^{-2} \times 1500 V = 209 V$$

(2) $n=500\text{r/min}$ 时

$$E_s = C_s \Phi_s = \frac{pN}{60a} \Phi_s = \frac{3 \times 398}{60 \times 3} \times 2.1 \times 10^{-2} \times 500 V = 69.65 V$$

1.21 解: (1) 电枢绕组为单叠绕组 $a=3$

$$T_m = C_T \Phi I_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a = \frac{3 \times 398}{2 \times 3.14 \times 3} \times 2.1 \times 10^{-2} \times 10 N \cdot m = 13.31 N \cdot m$$

(2) 电枢绕组为单波绕组 $a=1$

$$T_m = C_T \Phi I_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a = \frac{3 \times 398}{2 \times 3.14 \times 1} \times 2.1 \times 10^{-2} \times 10 N \cdot m = 39.93 N \cdot m$$

1.22 解: (1) 额定电流

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{17 \times 10^{-3}}{230} A = 73.91 A$$

(2) 电枢电动势

$$E_a = C_e \Phi n_N = \frac{pN}{60a} \Phi n_N = \frac{2 \times 468}{60 \times 1} \times 1.03 \times 10^{-2} \times 1500 V = 241 V$$

1.23 解: (1) 发电机运行时

电 枢 电 动 势 :

$$E_a = U_N + R_a I_a = (230 + 1 \times 15.7) V = 245.7 V$$

$$\text{又 } E_a = C_e \Phi n_N$$

所以

$$C_e \Phi_F = \frac{E_a}{n_N} = \frac{245.7}{2000}$$

励磁电流:

$$I_{fN} = \frac{U_N}{R_f} = \frac{230}{610} A$$

(2) 电动机运行时

电枢电动势:

$$U = 220 V, I_a = I_{aN} = 15.7 A$$

$$\text{又 } E_a = U - R_a I_{aN} = (220 - 1 \times 15.7) V = 204.3 V$$

所以

$$C_e \Phi_D = \frac{E_a}{n_D} = \frac{204.3 V}{n_D}$$

励磁电流:

$$I_{fD} = \frac{U}{R_f} = \frac{220}{610} A$$

因为

$$C_e \Phi_F / (C_e \Phi_D) = I_{fN} / I_{fD}$$

所以得

$$\frac{245.7}{2000} \bigg/ \frac{204.3}{n_D} = \frac{230}{610} \bigg/ \frac{220}{610}$$

$$n_D = 1738 r/min$$

1.24 解: (1) 额定负载时电枢电动势:

$$E_a = U - R_a I_{aV} = (220 - 0.26 \times 75) V = 200.5 V$$

因为额定负载时电磁功率:

$$P_{em} = E_a I_{aV} = 200.5 \times 75 W = 15037.5 W$$

所以额定负载时输出功率:

$$\begin{aligned} P_2 &= P_{em} - P_0 = P_{em} - (P_{Fe} + P_{mec}) \\ &= (15037.5 - 2589) W = 12448.5 W \end{aligned}$$

所以额定负载时输出转矩为

$$T_2 = \frac{P_2}{\Omega} = \frac{12448.5}{1000 \times 2\pi / 60} N \cdot m = 118.93 N \cdot m$$

(2) 励磁电流

$$I_{fV} = \frac{U_N}{R_f} = \frac{220}{91} A = 2.42 A$$

所以输入功率:

$$P_1 = U_N (I_{aV} + I_{fV}) = 220 \times (75 + 2.42) kW = 17.03 kW$$

所以额定效率:

$$\eta = P_2 / P_1 = 12.45 / 17.03 = 0.73$$

1.25 解: (1) 额定负载时电枢电动势:

$$E_a = U - R_a I_{aV} = (220 - 0.65 \times 45) V = 190.75 V$$

额定负载时电磁转矩:

$$P_{em} = E_a I_{aV} = 190.75 \times 45 W = 8583.75 W$$

额定负载时电磁功率:

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega_N} = \frac{P_{em}}{2\pi n_N / 60} = \frac{8583.75}{2\pi \times 1040 / 60} N \cdot m = 78.82 N \cdot m$$

额定励磁电流:

$$I_{fN} = \frac{U_N}{R_f} = \frac{220}{200} A = 1.1 A$$

(2) 电源电压降为 $U=160V$ 时的励磁电流

$$I_f = \frac{U}{R_f} = \frac{160}{200} A = 0.8 A$$

所以

$$C_e \Phi = E_b / n_N = \frac{158}{1040}$$

电枢电动势:

$$E_a' = C_e \Phi n = \frac{158}{1040} n$$

电枢电磁功率:

$$P = E_a' I_a = \frac{158}{1040} n I_a$$

对应电磁转矩:

$$T = \frac{P}{\Omega} = \frac{158 \times n I_a}{\frac{1040}{2\pi n} \times 60} = T_{\text{em}} = 78.82 N \cdot m, \text{ 得 } I_a = 54.33 A$$

$$E'_a = U - I_a R_a = (160 - 54.33 \times 0.65) V = 124.68 V$$

$$n = E'_a / (C_e \Phi) = \left(124.68 / \frac{158}{1040} \right) r / \min = 820 r / \min$$

1.26 解: (1) 电枢电动势:

$$E_{aN} = U_N - I_N R_N = (220 - 0.5 \times 40) V = 200 V$$

$$C_e \Phi_N = E_{aN} / n_N = 200 / 1000 = 0.2$$

电枢电流 $I_a = 20 A$ 时,

$$E_a = U_N - I_a R_a = (220 - 0.5 \times 20) V = 210 V$$

所以

$$C_e \Phi = E_a / n = 210 / n$$

由磁路不饱和, 所以

$$C_e \Phi_N / (C_e \Phi) = I_N / I_a$$

所以

$$\frac{0.2}{210 / n} = \frac{40}{20}, n = 2100 r / \min$$

(2) 电枢电流 $I_a = 20 A$ 时, 电磁功率

$$P = E_a I_a = 210 \times 20 W = 4200 W$$

电磁转矩

$$T = \frac{P}{\Omega} = \frac{4200}{2100 \times 2\pi / 60} N \cdot m = 19.1 N \cdot m$$

课后答案网
www.hackshp.cn

第二章 直流电动机的电力拖动

2.1 答: 由电动机作为原动机来拖动生产机械的系统为电力拖动系统。一般由电动机、生产机械的工作机构、传动机构、控制设备及电源几部分组成。电力拖动系统到处可见, 例如金属切削机床、桥式起动机、电气机车、通风机、洗衣机、电风扇等。

2.5 答: 电动机的理想空载转速是指电枢电流 $I_a=0$ 时的转速,

即 $n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N}$ 。实际上若 $I_a=0$, 电动机的电磁转矩 $T_{em}=0$, 这时电动机根本转不起来, 因为即使电动机轴上不带

任何负载, 电机本身也存在一定的机械摩擦等阻力转矩 (空载转矩)。要使电动机本身转动起来, 必须提供一定的电枢电流

I_{a0} (称为空载电流), 以产生一定的电磁转矩来克服这些机械摩擦等阻力转矩。由于电动机本身的空载摩擦阻力转矩很小,

克服它所需要的电枢电流 I_{a0} 及电磁转矩 T_0 很小, 此所对应的转速略低于理想空载转速, 这就是实际空载转速。实际空载

转速为简单地说, $I_a=0$ 是理想空载, 对应的转速 n_0 称为理想空载转速; 是 $I_a=I_{a0}$ 实际空载, 对应的转速 n_0' 的称为实

际空载转速, 实际空载转速略低于理想空载转速。

$$\begin{aligned} n_0' &= \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a}{C_e \Phi_N^2} I_{a0} \\ &= \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a}{C_e C_T \Phi_N^2} T_0 \end{aligned}$$

- 2.7 答: 固有机械特性与额定负载转矩特性的交点为额定工作点, 额定工作点对应的转矩为额定转矩, 对应的转速为额定转速。理想空载转速与额定转速之差称为额定转速降, 即:

$$\Delta n_N = n_0 - n_N = \frac{R_s}{C_e C_T \Phi_N^2} T_N$$

- 2.8 答: 电力拖动系统稳定运行的条件有两个, 一是电动机的机械特性与负载的转矩特性必须有交点; 二是在交点 ($T_{em} = T_L$) 处,

满足
$$\frac{dT_{em}}{dn} < \frac{dT_L}{dn}$$

, 或者说, 在交点以上 (转速增加时), $T_{em} < T_L$, 而在交点以下 (转速减小时), $T_{em} > T_L$ 。一般来说, 若电动机的机械特性是向下倾斜的, 则系统便能稳定运行, 这是因为大多数负载转矩都随转速的升高而增大或者保持不变。

- 2.9 答: 只有 (b) 不稳定, 其他都是稳定的。

- 2.10 答: 他励直流电动机稳定运行时, 电枢电流:

$$I_a = \frac{U - E_s}{R_s} = \frac{U - C_e \Phi n}{R_s}$$

可见, 电枢电流 I_a 与设计参数 U 、 $C_e \Phi$ 、 R_s 有关, 当这些设计参数一定时, 电枢电流的大小取决于电动机拖动的负载大小, 轻载时 n 高、 I_a 小, 重载时 n 低、 I_a 大, 额定运行时 $n = n_N$ 、 $I_a = I_N$ 。当恒转矩负载下, 电枢回路串入电阻或改变电源电压进行调速, 达到稳定后, 电枢电流仍为原来的数值, 但磁通减

小时, 电枢电流将增大。

- 2.11 答: 起动瞬间转速 $n=0$, 电动势 $E_a=C_e \Phi n=0$, 最初起 动电

流。 $I_a = \frac{U_N}{R_a}$ 若直接起动, 由于 R_a 很小, I_{st} 会达到十几倍 甚至几十倍的额定电流, 造成电机无法换向, 同时也会过热, 因此不能直接起动。

- 2.12 答: 将处于电动状态运行的他励直流电动机的电枢两端从电源断开后投向制动电阻两端, 使进入能耗制动状态。制动瞬间, n 和 E_a 的大小及方向均不变, I_a 和 T_{em} 的大小不变, 但方向改变, 之后随着制动过程的进行, 这四个量均由制动瞬间的值逐渐减小到零, 制动过程结束。

- 2.13 答: 进行制动时, 如果不在电枢回路串入制动电阻, 则制动瞬间电枢电流将很大, 例如, 能耗制动瞬间电枢电流为

$$I_{ab} = \frac{E_a}{R_a} \approx \frac{U_N}{R_a}$$

电压反接制动瞬间 $I_{ab}' = \frac{U+E_a}{R_a} \approx \frac{2U_N}{R_a}$, 由于 R_a 很小, 所以 I_{ab} 很大。制动时在电枢回路串入适当的制动电阻 R_{ab} , 是为了限制过大的制动电流。由 I_{ab} 和 I_{ab}' 两个公式可知, 电压反接制动时的制动电流 I_{ab}' 约为能耗制动时的制动电流 I_{ab} 的 2 倍, 故电压反接制动时应串入较大的制动电阻。

- 2.14 答: 这两种制动方式的实现都是以位能性负载为前提条件。当电枢回路串入较大的电阻, 使电动机的机械特性与位能性负载转矩特性的交点(工作点)处于第四象限时, 电动机使

处于倒拉反转反接制动运行状态, 此时电机的转速方向与电动状态运行时相反。而回馈制动时, 转速方向不变, 但转速值超过了理想空载转速, 这是位能性负载作用的结果。

2.15 答: (1) 采用能耗制动或倒拉反转反接制动; (2) 采用反向回馈制动。

2.16 答: 电动状态: 电动机把从电网输入的电能转换成机械能从轴上输出。能耗制动状态: 电动机将轴上的机械惯性动能转换成电能消耗在电枢回路电阻上。回馈制动状态: 电动机将轴上输入的机械能转换成电能回馈到电网。反接制动状态: 电网输入的电能与轴上输入的机械能并转换与电能一起都消耗在电枢回路电阻上。

2.17 答: 直流电动机的调速方法有: (1) 降压调速; (2) 电枢回路串电阻调速; (3) 弱磁调速。前两种调速方法适用于恒转矩负载, 后一种调速方法适用于恒功率负载。降压调速可实现无级调速, 机械特性斜率不变, 速度稳定性好, 调速范围较大。串电阻调速为有级调速, 调速平滑性差, 机械特性斜率增大, 速度稳定性差, 受静差率的限制, 调速范围很小。弱磁调速控制方便, 能量损耗小, 调速平滑, 受最高转速限制, 调速范围不大。

2.18 答: 静差率是指电动机由理想空载到额定负载时的转速降落 $\Delta n_N = n_0 - n_N$ 与理想空载转速 n_0 之比, 即:

$$\delta\% = \frac{n_0 - n_N}{n_0} \times 100\% = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\%$$

它反映了负载变化时转速的变化程度, 即转速的稳定性。静差率的大小与机械特性的斜率(或硬度)及理想空载转速 n_0 的大小有关。特性斜率小(硬度大)、理想空载转速高, 则静差率就小, 反之就大。电枢串电阻调速时, n_0 不变, 转速越低, 需要串联的电阻越大, 机械特性的斜率越大, 转速降落 Δn 也越大, 所以静差率越大; 降压调速时, 虽然机械特性的斜率(或硬度)不变, 但 n_0 减小了, 所以低速时的静差率大。

2. 19 答: 恒转矩调速方式是指在调速过程中电动机的电枢电流保持在额定值的前提下, 其输出转矩是恒定的。恒功率调速方式是指在调速过程中电动机的电枢电流保持在额定值的前提下, 其输出功率是恒定的。他励直流电动机的降压调速和电枢串电阻调速属于恒转速转矩调速方式, 而弱磁调速属于恒功率调速方式。

2. 20 答: 调速方式与负载类型相匹配时, 可以按照负载实际大小选择一台合适额定功率的电动机, 在整个调速过程中电流的大小始终等于或接近额定电流, 保证电动机能得到充分利用。例如, 拖动恒转矩性质的负载时采用恒转矩调速方式(降磁度调速或电枢串电阻调速)、拖动恒功率性质的负载时采用恒功率调速方式(弱磁调速), 在整个过程中就能保证电枢电流始终等于额定值, 即能保证电动机得到充分利用, 所以恒转矩负载配恒转矩调速方式、恒功率负载配恒功率调速方式是理想的配合。如果恒转矩负载配恒功率调速方式或恒功率负载配恒转矩

调速方式, 这两种情况都不是合理的配合, 因为在调速过程中不是出现过载运行就是出现轻载运行, 电动机不可能在任何转速下都得到充分利用。

2.25 解: (1)

$$E_a = U_N - R_a I_a = (220 - 0.4 \times 53.4) V = 198.64 V$$

$$P_m = E_a I_a = 198.64 \times 53.4 W = 10607.4 W$$

$$T_m = 9.55 \frac{P_m}{n_N} = 9.55 \times \frac{10607.4}{1500} N \cdot m = 67.53 N \cdot m$$

$$T_1 = 9.55 \frac{P_N}{n_N} = 9.55 \times \frac{10 \times 10^3}{1500} N \cdot m = 63.67 N \cdot m$$

$$T_0 = T_m - T_1 = (67.53 - 63.67) N \cdot m = 3.86 N \cdot m$$

(2)

$$C_e \Phi_N = \frac{E_a}{n_N} = \frac{198.64}{1500} = 0.1324$$

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{220}{0.1324} = 1662 r/min$$

$$n_0' = n_0 - \frac{R_a}{C_e C_r \Phi_N^2} T_0 = \left(1662 - \frac{0.4 \times 3.86}{9.55 \times 0.1324^2} \right) r/min = 1653 r/min$$

(3)

$$n_1 = \frac{U_N - 0.5 I_N R_a}{C_e \Phi_N} = \frac{220 - 0.5 \times 53.4 \times 0.4}{0.1324} r/min = 1581 r/min$$

$$I_a = \frac{U_N - E_a}{R_a} = \frac{U_N - C_e \Phi_N n}{R_a} = \frac{220 - 0.1324 \times 1600}{0.4} A = 20.4 A$$

2.26 解: (1) 由上一题可知:

$$n_0 = 1662 r/min, C_e \Phi_N = 0.1324, \beta = \frac{R_a}{C_e \Phi_N C_r \Phi_N} = \frac{0.4}{9.55 \times 0.1324^2} = 2.389$$

则固有特性为:

$$n = n_0 - \beta T_{em} = 1662 - 2.389 T_{em}$$

(2) 电枢串电阻时 n_0 不变, 斜率变为:

$$\beta_x = \frac{R_a + R_r}{C_e C_r \Phi_N^2} = \frac{0.4 + 1.6}{9.55 \times 0.1324^2} = 11.95$$

故串电阻的人为特性为:

$$n = n_0 - \beta_x T_{em} = 1662 - 11.95 T_{em}$$

(3) 电压下降一半时 β 不变, 理想空载转速 n_0 下降一半。

故降压的人为特性为:

$$n = \frac{1}{2} n_0 - \beta T_{em} = \frac{1}{2} \times 1662 - 2.389 T_{em} = 831 - 2.389 T_{em}$$

(4) 磁通减少 30% 时, n_0 和 β 均变化。弱磁人为特性为:

$$n = \frac{n_0}{0.7} - \frac{\beta}{0.7^2} T_{\infty} = \frac{1662}{0.7} - \frac{2.389}{0.49} T_{\infty} = 2347 - 4.876 T_{\infty}$$

(机械特性曲线图略)

2.27 解: (1) 直接起动电流和起动电流倍数分别为:

$$I_{st} = \frac{U_N}{R_s} = \frac{220}{0.067} A = 3283.6 A$$

$$\frac{I_{st}}{I_N} = \frac{3283.6}{207.5} = 15.8 \text{ 倍}$$

(2)

$$R_s = \frac{U_N}{0.5 I_N} - R_e = \left(\frac{220}{1.5 \times 207.5} - 0.067 \right) \Omega = 0.64 \Omega$$

2.27 解: 起动电流比为:

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{U_N}{I_s R_s}} = \sqrt[3]{\frac{110}{2 \times 85.2 \times 0.13}} = 1.7$$

各级起动电阻为:

$$R_{\sigma 1} = (\beta - 1) R_s = (1.7 - 1) \times 0.13 \Omega = 0.091 \Omega$$

$$R_{\sigma 2} = \beta R_{\sigma 1} = 1.7 \times 0.091 \Omega = 0.155 \Omega$$

$$R_{\sigma 3} = \beta R_{\sigma 2} = 1.7 \times 0.155 \Omega = 0.263 \Omega$$

2.29 解:

$$(1) \quad C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_s I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.8 \times 12.5}{1500} \text{ V/(r/min)} = 0.14 \text{ V/(r/min)}$$

当转速 $n=1200 \text{ r/min}$ 时, 电动势为:

$$E_s = C_e \Phi_N n = 0.14 \times 1200 \text{ V} = 168 \text{ V}$$

此时进行能耗制动时, 应串入制动电阻为:

$$R_b = \frac{E_s}{2 I_N} - R_s = \left(\frac{168}{2 \times 12.5} - 0.8 \right) \Omega = 5.92 \Omega$$

$$(2) \quad T_L = 0.9 T_N = 0.9 \times 9.55 \frac{P_N}{n_N} = 0.9 \times 9.55 \times \frac{2.5 \times 10^4}{1500} \text{ N} \cdot \text{m} = 14.3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

当忽略空载转矩时, $T_{em} = T_L$, 将已知数据代入能耗制动机械

特性:

$$n = -\frac{R_a + R_b}{C_e C_T \Phi_N^2} T_{em}$$

即

$$-120 = -\frac{0.8 + R_b}{9.55 \times 0.14^2} \times 14.3$$

解得 $R_b = 0.77 \Omega$

当考虑空载转矩时, $T_{em} = T_L + T_0$

额定电磁功率:

$$P_{emN} = E_a I_N = C_e \Phi_N n_N I_N = 0.14 \times 1500 \times 12.5 W = 2625 W$$

空载转矩:

$$T_0 = T_{emN} - T_N = 9.55 \frac{P_{emN} - P_N}{n_N} = 9.55 \times \frac{2625 - 2500}{1500} N \cdot m = 0.86 N \cdot m$$

制动时电磁转矩:

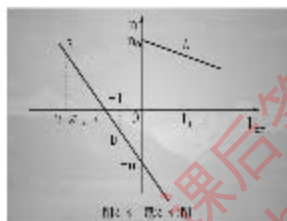
$$T_{em} = T_L + T_0 = 0.9 T_N + T_0 = \left(0.9 \times 9.55 \times \frac{2500}{1500} + 0.86 \right) N \cdot m = 15.2 N \cdot m$$

$$-120 = -\frac{0.8 + R_b}{9.55 \times 0.14^2} \times 15.2$$

由能耗制动机械特性:

$$\text{解得 } R_s = 0.68 \Omega$$

- 2.30 解: 先画出机械特性草图, 如图 2.3 所示。图中 A 点为电动机额定工作点, B 点为反接制动起始点, 根据题意, B 点对应的转矩为 $2.2T_N$ 。电压反接制动特性为通过 B 点和 $(0, -n_0)$ 点的直线。



- (1) 限制最大制动电流为 $2.2I_N$, 电枢回路应串入的电阻为:

$$R_s = \frac{U_s + E_s}{2.2 I_N} - R_a$$

$$E_s = U_s + R_a I_N = (110 - 0.1 \times 112) V = 98.8 V$$

其中

将已知数据代入 R_B 式中, 得:

$$R_s = \left(\frac{110 + 98.8}{2.2 \times 112} - 0.1 \right) \Omega = 0.747 \Omega$$

(2) 当制动到 C 点, $n=0$ 时, 电源不切断, 电机能否反转, 这取决于 C 点的电磁转矩 T_{emC} 是否大于负载转矩。考虑到负载是反抗性恒转矩负载, 当不计空载转矩时, 负载制动转矩为:

$$T_L = 9.55 \frac{P_N}{n_N} = 9.55 \times \frac{10 \times 10^3}{750} N \cdot m = 127.3 N \cdot m$$

计空载转矩时, 负载制动转矩为:

$$T_L' = T_L + T_0 = T_{\omega N} = C_T \Phi_N I_N = 9.55 C_T \Phi_N I_N$$

其中

$$C_T \Phi_N = \frac{E_s}{n_N} = \frac{98.8}{750} = 0.132$$
$$T_L' = 9.55 \times 0.132 \times 112 N \cdot m = 141.2 N \cdot m$$

C 点处, $n=0$, $E_H=0$, 电枢电流大小为:

$$I_a = \frac{U_N}{R_a + R_s} = \frac{110}{0.1 + 0.747} A = 129.9 A$$

C 点处的电磁转矩大小为:

$$T_{emC} = 9.55 C_T \Phi_N I_a = 9.55 \times 0.132 \times 129.9 N \cdot m = 163.8 N \cdot m$$

可见在 C 点处 $n=0$ 时, 存在 $T_{emC} > T_L$, 故电机将反转加速运行, 直到 D 点, 电磁转矩与负载转矩相等, 这时电机处于反向电动状态稳定运行。其稳定转速为:

$$n_D = \frac{-U_N}{C_T \Phi_N} - \frac{R_a + R_s}{C_T C_T \Phi^2} (-T_{emN})$$
$$= \left[\frac{-110}{0.132} - \frac{0.1 + 0.747}{9.55 \times 0.132^2} \times (-141.2) \right] r/min$$
$$= -115 r/min \text{ (负号表示反向电动运行)}$$

2.31 解: 参见图 2.3。

$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.91 \times 22.3}{1000} = 0.2$$

根据

$$n = \frac{-U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a + R_b}{C_e C_r \Phi^2} T_{emB}$$

代入已知数据:

$$1000 = \frac{-220}{0.2} - \frac{0.91 + 9}{9.55 \times 0.2^2} T_{emB}$$

可以解出制动瞬间电磁转矩为:

$$T_{emB} = -0.81 N \cdot m$$

(2) 由

$$0 = \frac{-220}{0.2} - \frac{0.9 + 9}{9.55 \times 0.2^2} T_{emC}$$

得 $n=0$ 时的电磁转矩:

$$T_{emC} = -42.4 N \cdot m$$

(3)

$$T_N = C_T \Phi_N I_N = 9.55 C_e \Phi_N I_N = 9.55 \times 0.2 \times 22.3 N \cdot m = 42.6 N \cdot m$$

因为 $|T_{\text{max}}| < |T_N|$, 所以不能反转。

2.32 解: (1)

$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.1 \times 158.5}{1000} = 0.204$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{U_N - R_a I_N}{C_e \Phi_N} = \frac{U_N - 0.8 R_a I_N}{C_e \Phi_N} \\ &= \frac{220 - 0.8 \times 0.1 \times 158.5}{0.204} = 1016 \text{ r/min} \end{aligned}$$

(2)

$$\begin{aligned} n &= \frac{U_N - 0.8(R_a + R_s) I_N}{C_e \Phi_N} = \frac{220 - 0.8 \times (0.1 + 0.3) \times 158.5}{0.204} \\ &= 830 \text{ r/min} \end{aligned}$$

(3) 降压瞬间 n 不变, E_b 不变, 电流突变为:

$$I_a = \frac{U - E_a}{R_a} = \frac{U - C_e \Phi_N n}{R_a} = \frac{188 - 0.204 \times 1016}{0.1} \text{ A} = -193 \text{ A}$$

稳态后电流 I_a 恢复到原来值 ($0.8I_N$), 稳态后转速为:

$$n = \frac{U - R_a I_a}{C_e \Phi_N} = \frac{188 - 0.8 \times 0.1 \times 158.5}{0.204} \text{ r/min} = 859 \text{ r/min}$$

(4) 根据

$$T_{em} = C_T \Phi_N I_a = C_T \Phi' I'_a$$

得

$$I'_a = \frac{\Phi_N}{\Phi'} I_a = \frac{\Phi_N}{0.8 \Phi_N} 0.8 I_N = I_N = 158.5 \text{ A}$$

$$n = \frac{U_N - R_a I'_a}{C_e \Phi'} = \frac{220 - 0.1 \times 158.5}{0.8 \times 0.204} \text{ r/min} = 1251 \text{ r/min}$$

2.33 解: (1)

$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{110 - 0.23 \times 44.8}{1500} = 0.066$$

根据:

$$n = \frac{U_N - (R_a + R_s) I_N}{C_e \Phi_N}$$

代入数据得:

$$800 = \frac{110 - (0.23 + R_s) \times 44.8}{0.066}$$

$$R_s = 1.05 \Omega$$

解得:

$$P_1 = U_N I_N = 110 \times 44.8 W = 4928 W$$

$$\begin{aligned} P_2 &= P_{\text{out}} - P_0 = E_s I_s - 0 = C_s \Phi_N n I_N \\ &= 0.066 \times 800 \times 44.8 W = 2365 W \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{2365}{4928} \times 100\% = 48\%$$

(2) 根据:

$$n = \frac{U - R_s I_N}{C_s \Phi_N}$$

代入数据:

$$800 = \frac{U - 0.23 \times 44.8}{0.066}$$

解得:

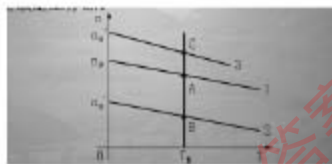
$$U = 63.1 V$$

$$P_1 = U I_N = 63.1 \times 44.8 W = 2827 W$$

$$P_2 = E_a I_N = 0.066 \times 800 \times 44.8 W = 2365 W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{2365}{2827} \times 100\% = 83.66\%$$

- 2.34 解: 画出机械特性草图, 如图 2.4 所示。在固有特性曲线 1 上, A 点是额定工作点。



$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{440 - 0.38 \times 76}{1500} = 0.411$$

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{440}{0.411} r/min = 1070 r/min$$

$$\Delta n_N = n_0 - n_N = (1070 - 1000) r/min = 70 r/min$$

(2) 在降压人为特性曲线 2 上, B 点对应的转速为

$$n_{\min} = n'_0 - \Delta n_N = (250 - 70) r/min = 180 r/min$$

静差率为:

$$\delta\% = \frac{\Delta n_N}{n'_0} \times 100\% = \frac{70}{250} \times 100\% = 28\%$$

在弱磁人为特性曲线 3 上:

$$n''_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} \cdot C_e \Phi = \frac{U_N}{n''_0} = \frac{440}{1500} = 0.293$$

C 点对应的电流和转速分别为:

$$I_a = \frac{\Phi_N}{\Phi} I_N = \frac{0.411}{0.293} \times 76 A = 106.6 A$$

$$n_{\max} = \frac{U_N - R_a I_a}{C_e \Phi} = \frac{440 - 0.38 \times 106.6}{0.293} r/min = 1363 r/min$$

静差率为:

$$\delta\% = \frac{n''_0 - n_{\max}}{n''_0} = \frac{1500 - 1363}{1500} = 9.13\%$$

2.35 解:

$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.023 \times 378}{1430} = 0.148$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{(R_a + R_s)}{C_e \Phi_N} I_N \\ &= \left(\frac{220}{0.148} - \frac{0.023 + 0.022}{0.148} \times 378 \right) r/\min \\ &= (1486 - 115) r/\min = 1371 r/\min \end{aligned}$$

即

$$n_0 = 1486 r/\min, \Delta n = 115 r/\min$$

当 $\delta = 20\%$ 时, 调速范围为:

$$D = \frac{n_{\max} \delta}{\Delta n (1 - \delta)} = \frac{1371 \times 0.2}{115 \times (1 - 0.2)} = 2.98$$

当 $\delta = 30\%$ 时, 调速范围为:

$$D = \frac{1371 \times 0.3}{115 \times (1 - 0.3)} = 5.11$$

2.36 解:

$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.5 \times 40}{1000} = 0.2$$

因为磁路不饱和, 电流与磁通成正比, 所以当 $I_a=20A$ 时,

$C_e \Phi=0.1$, 其转速和电磁转矩分别为

$$n = \frac{U_N - R_a I_a}{C_e \Phi_N} = \frac{220 - 0.5 \times 20}{0.1} = 2100 r/min$$

$$T_{em} = C_T \Phi I_a = 9.55 C_e \Phi I_a = 9.55 \times 0.1 \times 20 N \cdot m = 19.1 N \cdot m$$

(2) 因为 $T_{em}=C_T \Phi I_a=C_T K I_a^2=\text{常数}$

所以 $I_a=20A$ 不变, $C_e \Phi=0.1$ 也不变, 转速变为:

$$n = \frac{U_N - R_a I_a}{C_e \Phi} = \frac{110 - 0.5 \times 20}{0.1} r/min = 1000 r/min$$

2.37 解:

$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.26 \times 78.5}{585} = 0.341$$

因为 $T_{em}=C_T \Phi I_a=C_T K I_a^2$ 保持不变, 所以 I_a 、 Φ 均不改变,

根据机械特性:

$$n = \frac{U_N - (R_a + R_s) I_N}{C_e \Phi_N}$$

可以解出:

$$R_s = \frac{U_N - C_e \Phi_N n}{I_N} - R_a = \left(\frac{220 - 0.341 \times 350}{78.5} - 0.26 \right) \Omega = 1.022 \Omega$$

课后答案网
www.hackshp.cn

3.3 答: 不会, 因为直流电源加在变压器一次绕组上, 将产生直流电流, 在铁心中建立恒定磁通, 恒定磁通不会在二次绕组中产生稳定的感应电动势。

另外, 如加上和额定交流电压相同的直流电压, 由于电感对直流相当于短路, 故此时只有绕组电阻限制电流, 电流将很大, 并将烧毁变压器。

3.7 答: 此时一次、二次绕组电压均超过额定电压的 1.1 倍, 即低压电压为 380V, 而高压侧电压为 660V, 将损坏变压器的绝缘。

3.10 答: 变压器空载运行时, 从电网中要吸取有功和无功功率, 用于建立主、漏磁场和供给铁心损耗以及铜损耗($R_1 I_0^2$)。小负荷的用户使用大容量变压器, 对电网造成功率因数降低, 对用户来讲, 使变压器的效率降低。

3.11 答: 当高压侧加 220V 电压时, i_0 呈正弦波。当高压侧加 110V 电压时, i_0 呈正弦波, 因此时变压器主磁路将处于不饱和状态。将 110V 电压加在低压侧, i_0 呈尖顶波。

3.12 答: 铁心饱和程度增加, 空载电流增大, 铁损耗增加, 二次侧感应电动势增加, 变比减小。

3.13 答: 相当于频率降低, 则主磁通增加, 空载电流增加, 铁损耗增加, 漏抗减小。

3.15 答: 不能。因为产生一定主磁通所需的磁动势 $N_1 I_0$ 是一定的, 当一次绕组匝数太少时 ($N_1 < 2$), 则导致 i_0 很大, 变压器将被损坏。

3.16 答: 变压器运行时电源电压下降, 将使铁心饱和程度下降, 励磁电流下降, 励磁阻抗上升, 铁损耗下降。

3.17 答: ①铁心饱和程度增加, 励磁电流增加, 铁损耗增加; ②铁心饱和程度不变, 励磁电流增加, 铁损耗增加; ③铁心饱和程度不变, 励磁电流不变, 铁损耗增加。

3.24 答: 变压器二次侧接电阻负载时, 从一次侧输入的感性无功功率较小, 只用于建立变压器的主、漏磁场。

当二次侧接电感性负载时, 从一次输入较大感性无功功率, 除用于变压器本身建立磁场外, 还要供给负载的感性无功功率。

当二次侧接电容性负载时, 从一次输入的无功功率分三种情况:

①当电容性负载较小时, 从一次侧输入较小的感性无功功率, 此时变压器建立主、漏磁场所需感性无功由电源和负载共同承担。

②当电容性负载产生的感性无功正好等于变压器建立主、漏磁场所需的感性无功时, 从一次侧输入的无功功率为零。

③当电容性负载较大时, 从一次侧输入的无功功率是容性的。

3.27 答: (1) $U_2 \text{空} > U_2 \text{满} > U_2 \text{短} = 0$

(2) $E_1 \text{空} > E_1 \text{满} > E_1 \text{短}$

(3) $B_m \text{空} > B_m \text{满} > B_m \text{短}$

3.44 解: 可有四种不同方式的联结, 三种不同的变比。

(1) 高低压边均串联

$$k = \frac{2200}{220} = 10$$

(2) 高压边串联, 低压边并联

$$k = \frac{2200}{110} = 20$$

$$I_{1Y} = \frac{5000}{2200} A = 2.27 A, I_{2Y} = \frac{5000}{220} A = 22.7 A$$

(3) 高低压边均并联

$$k = \frac{1100}{110} = 10$$

$$I_{1Y} = \frac{5000}{1100} A = 4.54 A, I_{2Y} = \frac{5000}{110} A = 45.4 A$$

(2) 高压边并联, 低压边串联

$$k = \frac{1100}{220} = 5$$

$$I_{1Y} = \frac{5000}{1100} A = 4.54 A, I_{2Y} = \frac{5000}{220} A = 22.7 A$$

3.45 答: 一次侧电压不相等。因为 $I_{01} = 2I_{0II}$, 忽略漏阻抗, 则励磁阻抗

$Z_{mI}=1/2Z_{mII}$, 一次绕组串联后加 440V 电压, 但两台变压器的一次侧电压不等, $U_{I1}=2U_{I1I}$, 且 $U_{I1}\approx 146.7V$, $U_{I1I}\approx 293.3V$, 所以二次侧电压也不相等, $U_{2I}=2U_{2II}$, 且 $U_{2I}=73.4V$, $U_{2II}=146.6V$ 。

3.46 解: (1) 原来高压绕组的匝数

$$U_{1NP}/U_{2NP}=N_1/N_2$$

因为 $\frac{6300/\sqrt{3}}{400/\sqrt{3}} = \frac{N_1}{40}$ 所以 $N_1 = 630$ 匝。

(2) 新的高压绕组匝数

因为 $\frac{10000/\sqrt{3}}{400/\sqrt{3}} = \frac{N'_1}{40}$ 所以 $N'_1 = 1000$ 匝。

3.47 解: (1) 变压器近似等效电路参数标么值

$$I_{1Y} = \frac{S_Y}{U_{1Y}} = \frac{2 \times 10}{1100} A = 1.82 A$$

$$I_{2Y} = \frac{S_Y}{U_{2Y}} = \frac{2 \times 10}{110} A = 18.2 A$$

$$Z_{1\#} = \frac{U_{1Y}}{I_{1Y}} = \frac{1100}{1.82} \Omega = 604.4 \Omega$$

$$Z_{2\#} = \frac{U_{2Y}}{I_{2Y}} = \frac{110}{18.2} \Omega = 6.044 \Omega$$

短路电阻: $R_s^* = \frac{R_Y}{Z_{1\#}} = \frac{8}{604.4} = 0.0132$

短路电抗: $X_s^* = \frac{X_Y}{Z_{1\#}} = \frac{28.91}{604.4} = 0.0478$

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{I}_0}{I_{1N}} = \frac{0.01}{1.82} - j \frac{0.09}{1.82} = 0.0055 - j0.0495$$

$$\text{励磁阻抗: } \dot{Z}_m = \frac{1}{\dot{I}_0} = \frac{1}{0.0055 - j0.0495} = 20.08 / 83.66^\circ \\ = 2.22 + j19.96$$

$$R_m = 2.22 \quad X_m = 1996$$

$$\text{负载阻抗: } \dot{Z}_L = \frac{\dot{Z}_L}{Z_{1B}} = \frac{10 + j5}{6.04} = 1.65 + j0.83$$

等效电路如图 3.3 所示:

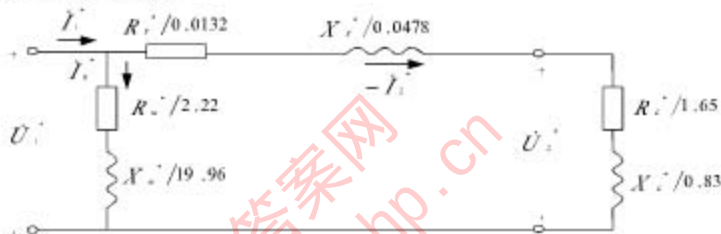


图 3.3 题 3.47

次, 二次侧电流及二次侧电压:

$$-\dot{I}_2 = \frac{1/\underline{0}^\circ}{(0.0132 + 1.65) + j(0.0478 + 0.83)} = 0.47 - j0.2482 = 0.53 / -27.8^\circ$$

$$I_2 = \dot{I}_2^* \times I_{2N} = 0.53 \times 18.2 A = 9.65 A$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2) = 0.0055 - j0.0495 + 0.47 - j0.2482 \\ = 0.4755 - j0.2977 = 0.56 / -32^\circ$$

$$I_1 = \dot{I}_1^* \times I_{1N} = 0.56 \times 1.82 A = 1.02 A$$

$$\dot{U}_2 = -\dot{I}_2 \dot{Z}_L = 0.56 / -27.8^\circ \times 1.847 / 26.7^\circ = 0.98 / -1.1^\circ$$

$$U_2 = U_2^* \times U_{2N} = 0.98 \times 110 V = 107.7 V$$

(3) 输入功率和输出功率

输入功率:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 = 1100 \times 1.02 \times \cos 32^\circ \text{ kW} = 0.952 \text{ kW}$$

输出功率:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = 107.7 \times 9.65 \times \cos(-1.1^\circ + 27.8^\circ) \text{ kW} = 0.928 \text{ kW}$$

3.48 解: (1) 折算到高压侧的变压器“T”形等效电路参数并画出等效电路图(设 $R_1=R_2'$, $X_1=X_2'$)

①由空载试验数据求励磁参数

$$Z_m = \frac{U_0 / \sqrt{3}}{I_0} = \frac{400 / \sqrt{3}}{160} \Omega = 3.85 \Omega$$

$$R_m = \frac{P_0 / 3}{I_0^2} = \frac{3800 / 3}{60^2} \Omega = 0.35 \Omega$$

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} = \sqrt{3.85^2 - 0.35^2} \Omega = 3.83 \Omega$$

折算到高压侧有:

$$k = \frac{U_{1N} / \sqrt{3}}{U_{2N} / \sqrt{3}} = \frac{1000 / \sqrt{3}}{400 / \sqrt{3}} \Omega = 25$$

$$Z_m' = k^2 Z_m = 25^2 \times 3.85 \Omega = 2406.25 \Omega$$

$$R_m' = k^2 R_m = 25^2 \times 0.35 \Omega = 218.75 \Omega$$

$$X_m' = k^2 X_m = 25^2 \times 3.83 \Omega = 2393.75 \Omega$$

②由短路试验数据求短路参数

$$Z_s = \frac{U_s / \sqrt{3}}{I_s} = \frac{440 / \sqrt{3}}{43.3} \Omega = 5.87 \Omega$$

$$R_s = \frac{P_s / 3}{I_s^2} = \frac{10900 / 3}{43.3^2} \Omega = 1.94 \Omega$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = \sqrt{5.87^2 - 1.94^2} \Omega = 5.54 \Omega$$

折算到 75℃ 有:

$$R_{S75^{\circ}\text{C}} = \frac{228 + 75}{228 + 20} R_s = \frac{228 + 75}{228 + 20} \times 1.94 \Omega = 2.37 \Omega$$

$$Z_{S75^{\circ}\text{C}} = \sqrt{R_{S75^{\circ}\text{C}}^2 + X_s^2} = \sqrt{2.37^2 + 5.54^2} \Omega = 6.03 \Omega$$

$$\text{则 } R_1 = R'_1 = \frac{1}{2} R_{S75^{\circ}\text{C}} = \frac{1}{2} \times 2.37 \Omega = 1.19 \Omega$$

$$X_1 = X'_1 = \frac{1}{2} X_s = \frac{1}{2} \times 5.54 \Omega = 2.77 \Omega$$

折算到高压侧的变压器“T”形等效电路如图 3.4 所示。

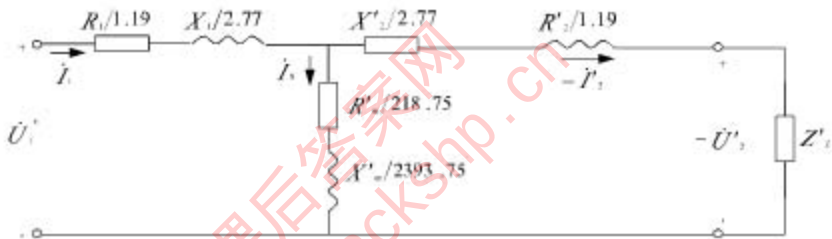


图 3.4 题 3.48

(2) 额定负载且 $\cos \phi_2 = 0.8$ (滞后) 和 $\cos \phi_2 = 0.8$ (超前) 时的电压变化率、

二次端电压和效率

① 额定负载且 $\cos \phi_2 = 0.8$ (滞后) 时

$$Z_{1B} = \frac{U_{1.50\%}}{I_{1.50\%}} = \frac{10000 / \sqrt{3}}{43.3} \Omega = 133.3 \Omega$$

$$R_{S75^{\circ}\text{C}}^* = \frac{R_{S75^{\circ}\text{C}}}{Z_{1B}} = \frac{2.37}{133.3} = 0.0178$$

$$X_s^* = \frac{X_s}{Z_{1B}} = \frac{5.54}{43.3} \Omega = 0.0416 \Omega$$

$$\begin{aligned}\Delta U &= \beta(R_{S'5'C}^* \cos \varphi_2 + X_{S'}^* \sin \varphi_2) \times 100 \% \\ &= 1 \times (0.0178 \times 0.8 + 0.0416 \times 0.6) \times 100 \% \\ &= 3.92 \%\end{aligned}$$

$$U_2 = (1 - \Delta U) U_{1N} = (1 - 0.0392) \times 400 V = 384.3 V$$

$$\begin{aligned}\eta &= \left(1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_{SV}}{\beta S_N \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{SV}} \right) \times 100 \% \\ &= \left(1 - \frac{3800 \times 1^2 \times 10900}{1 \times 750 \times 10^3 \times 0.8 + 3800 + 1^2 \times 10900} \right) \times 100 \% \\ &= 97.61 \%\end{aligned}$$

② 额定负载且 $\cos \varphi_2 = 0.8$ (超前) 时

$$\begin{aligned}\Delta U &= \beta(R_{S'5'C}^* \cos \varphi_2 + X_{S'}^* \sin \varphi_2) \times 100 \% \\ &= 1 \times (0.0178 \times 0.8 - 0.0416 \times 0.6) \times 100 \% \\ &= -1.07 \%\end{aligned}$$

$$U_2 = (1 - \Delta U) U_{1N} = (1 + 0.0107) \times 400 V = 404.3 V$$

$$\eta = 97.61 \%$$

3.48 解: (1) 当输出电流 $I_2 = I_{2N}$, $\cos \varphi_2 = 0.8$ (滞后) 时的效率

$$\begin{aligned}\eta &= \left(1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_{SV}}{\beta S_N \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{SV}} \right) \times 100 \% \\ &= \left(1 - \frac{18 \times 1^2 \times 56}{1 \times 5600 \times 0.8 + 18 \times 1^2 \times 56} \right) \times 100 \% \\ &= 98.38 \%\end{aligned}$$

(2) 效率最高时的负载系数 β_m 和 $\cos \varphi_2 = 0.8$ (滞后) 时的最高效率 $\beta_{\max}$

$$\beta_m = \sqrt{\frac{P_0}{P_{SV}}} = \sqrt{\frac{18}{56}} = 0.567$$

$$\eta = \left(1 - \frac{2 \times 18}{0.567 \times 5600 \times 0.8 + 2 \times 18} \right) \times 100 \% = 98.6 \%$$

3.50 解: 当 $\beta=1$ 时, $U_2=U_{2N}$, $\Delta U=0$, 则:

$$\beta(R_s^* \cos \varphi_2 + X_s^* \sin \varphi_2) = 0$$

$$\tan \varphi_2 = -\frac{R_s^*}{X_s^*} = -\frac{R_s}{X_s}$$

而短路参数为:

$$Z_s = \frac{U_{sc}}{I_{sc}} = \frac{2610 / \sqrt{3}}{92.3} \Omega = 16.33 \Omega$$

$$R_s = \frac{P_s}{3 I_{sc}^2} = \frac{53000}{3 \times 92.3^2} \Omega = 2.07 \Omega$$

$$X_s = \sqrt{Z_s^2 - R_s^2} = \sqrt{16.33^2 - 2.07^2} \Omega = 16.2 \Omega$$

所以 $\tan \varphi_2 = -\frac{2.07}{16.2} = -0.128$

$$\varphi_2 = -7.3^\circ$$

3.51 解: (1) $\frac{S_i}{S_N} : \frac{S_{II}}{S_N} = \frac{1}{u_{cl}} : \frac{1}{u_{all}}$, 代入数据得:

$$\frac{S_i}{1250} : \frac{S_{II}}{2000} = \frac{1}{6.5} : \frac{1}{6}$$

整理得: $S_i / S_{II} = 0.577$

又因为: $S_i + S_{II} = 3250$

联立求解(1)、(2)式, 得: $S_i = 1189 \text{ kV} \cdot \text{A}$, $S_{II} = 2061 \text{ kV} \cdot \text{A}$

通过计算可知, 短路电压大的变压器欠载, 容量不能充分利用, 短路电压小的变压器过载。

(2) 令 $S_i^* = 1$, 即 $S_{II} = 2000 \text{ kV} \cdot \text{A}$

则 $S_i = 0.577 S_{II} = 0.577 \times 2000 \text{ kV} \cdot \text{A} = 1154 \text{ kV} \cdot \text{A}$

$$S = S_i + S_{II} = (1154 + 2000) \text{ kV} \cdot \text{A} = 3154 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

并联组的利用率为:

$$S = S_f + k\% = \frac{S_f + S_g}{S_{AV} + S_{AV}} = \frac{3154}{3250} = 97.05\%$$

课后答案网
www.hackshp.cn

第四章 三相异步电动机

思考题与习题答案

4.3 答: 能转, 转向为逆时针方向。

当转子绕组通入三相交流电流时, 将产生旋转磁场, 同步转速为 n_1 , 假定旋转磁场为顺时针方向, 那么定子绕组便产生感应电动势和感应电流, 此电流在磁场的作用下又会产生电磁转矩 (顺时针方向), 但因定子不能转动, 故反作用于转子, 使得转子向逆时针方向旋转。

4.5 答: 异步电动机气隙小的目的是为了减小其励磁电流 (空载电流), 从而提高电动机功率因数。因异步电动机的励磁电流是由电网供给的, 故气隙越小, 电网供给的励磁电流就小。而励磁电流又属于感性无功性质, 故减小励磁电流, 相应就能提高电机的功率因数。

4.6 答: U、V 两相定子绕组通入直流电流 I_f 方向如图 4.2a 所示, 它产生恒定方向的磁场 (如图 4.2b 所示, 方向向左)。由于惯性转子仍以原转向 (假定为顺时针方向) 旋转, 则转子导体便切割定子恒定磁场感应电动势和电流 (方向由“右手发电机”定则判定), 此电流有的功分量与定子恒定磁场相互作用, 转子导体受到图示方向力的作用, 并形成逆时针方向的电磁转。

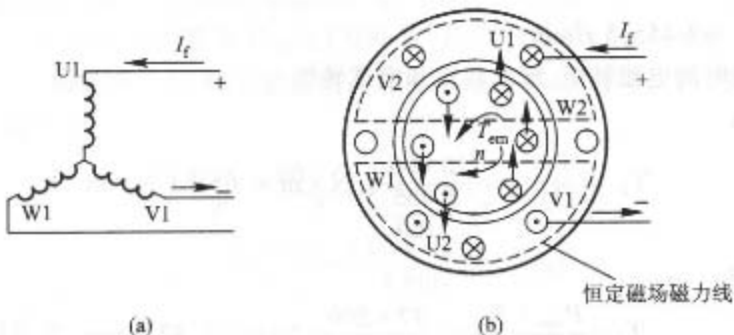


图 4.2 题 4.6 图

4.9 答: 基波短距系数 k_{y1} 的物理意义: 电机绕组采用短距绕组后, 其基波电动势比采用整距绕组时的感应电动势有所减少, 短距系数 k_{y1} 就表示所减少的程度。

基波分布系数 k_{q1} 的物理意义: 分布绕组的线圈组电动势等于集中绕组线圈组电动势打了一个折扣 k_{q1} , 以此来计及分布绕组对基波电动势大小的影响。

4.11 解: 要求绕组系数, 首先应求出 τ 、 q 和 α 。

$$\text{极距: } \tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{4} = 9$$

$$\text{每极每相槽数: } q = \frac{Z}{2pm} = \frac{36}{2 \times 2 \times 3} = 3$$

$$\text{槽距角: } \alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \times 360^\circ}{36} = 20^\circ$$

$$\text{基波绕组系数 } k_{w1}: k_{y1} = \sin \frac{\gamma}{2} = \sin \frac{J}{2\tau} \times 180^\circ = \sin 70^\circ = 0.9397$$

$$k_{q1} = \frac{\sin \frac{qa}{2}}{q \sin \frac{a}{2}} = \frac{\sin \frac{3 \times 20^\circ}{2}}{3 \times \sin \frac{20^\circ}{2}} = 0.9598$$

$$k_{w1} = k_{y1} \times k_{q1} = 0.9397 \times 0.9598 = 0.9019$$

五次谐波绕组系数 k_{w5} :

$$k_{y5} = \sin \frac{5\gamma}{2} = \sin \frac{5 \times 140^\circ}{2} = -0.1736$$

$$k_{q5} = \frac{\sin \frac{5qa}{2}}{q \sin \frac{5a}{2}} = \frac{\sin \frac{5 \times 3 \times 20^\circ}{2}}{3 \times \sin \frac{5 \times 20^\circ}{2}} = 0.2176$$

$$k_{a5} = k_{r5} \times k_{q5} = -0.1736 \times 0.2176 = -0.0378$$

七次谐波绕组系数 k_{w7} :

$$k_{r7} = \sin \frac{7\gamma}{2} = \sin \frac{7 \times 140^\circ}{2} = 0.766$$

$$k_{q7} = \frac{\sin \frac{7qa}{2}}{q \sin \frac{7a}{2}} = \frac{\sin \frac{7 \times 3 \times 20^\circ}{2}}{3 \times \sin \frac{7 \times 20^\circ}{2}} = -0.1774$$

$$k_{a7} = k_{r7} \times k_{q7} = -0.1359$$

要安全消除五次谐波分量, 应取 $y_1 = 4/5 \tau$ 。

实际中, 采用矩距的方法不能将五次谐波电动势完全消除。因为 $y_1 = 4/5 \tau = 7.2 \approx 7$ 。

4.12解:

$$\text{极距: } \tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{4} = 9$$

$$\text{节距: } y = \frac{7}{9} \tau = \frac{7}{9} \times 9 = 7$$

$$\text{每极每相槽数: } q = \frac{Z}{2pm} = \frac{36}{2 \times 2 \times 3} = 3$$

$$\text{槽距角: } \alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{2 \times 360^\circ}{36} = 20^\circ$$

用空间电角度表示节距: $\gamma = y\alpha = 7 \times 20^\circ = 140^\circ$

$$\text{基波矩距系数: } k_{r1} = \sin \frac{\gamma}{2} = \sin \frac{140^\circ}{2} = 0.94$$

$$\text{基波分布系数: } k_{q1} = \frac{\sin \frac{qa}{2}}{q \sin \frac{a}{2}} = \frac{\sin \frac{3 \times 20^\circ}{2}}{3 \times \sin \frac{20^\circ}{2}} = 0.96$$

基波绕组系数: $k_{y1} = k_{\beta 1} \times k_{q1} = 0.94 \times 0.96 = 0.9024$

每相串联匝数: $N = \frac{2PqN_c}{1} = \frac{2 \times 2 \times 3 \times 20}{1} = 240$

基波电动势: $E_{\phi 1} = 4.44 f N k_{y1} \Phi_1$
 $= 4.44 \times 50 \times 240 \times 0.9024 \times 7.5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$
 $= 360.6 \text{ V}$

4.17 证明: (1) 解析法

由单相绕组磁动势幅值公式 $F_m = 0.9 \frac{N k_{y1}}{p} I$ 可知,

当两相绕组匝数相同, 两相电流大小相等时, 两相绕组磁动势幅值相等, 其表达式分别为:

$$f_{a1} = F_{m1} \sin \omega t \cos \frac{\pi}{\tau} x$$

$$f_{a1} = F_{m1} \cos \omega t \cos \left(\frac{\pi}{\tau} x + \frac{\pi}{2} \right) = -F_{m1} \cos \omega t \sin \frac{\pi}{\tau} x$$

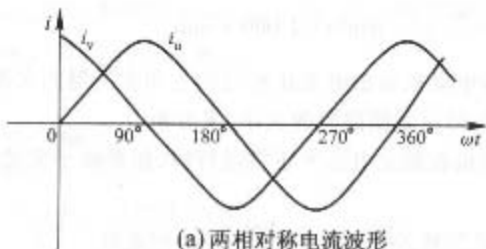
则

$$\begin{aligned} f_1 &= f_{a1} + f_{a1} = F_{m1} \sin \omega t \cos \frac{\pi}{\tau} x - F_{m1} \cos \omega t \sin \frac{\pi}{\tau} x \\ &= F_{m1} \left[\frac{1}{2} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{\tau} x \right) + \frac{1}{2} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} x \right) - \frac{1}{2} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{\tau} x \right) - \frac{1}{2} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} x \right) \right] \\ &= F_{m1} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{\tau} x \right) \end{aligned}$$

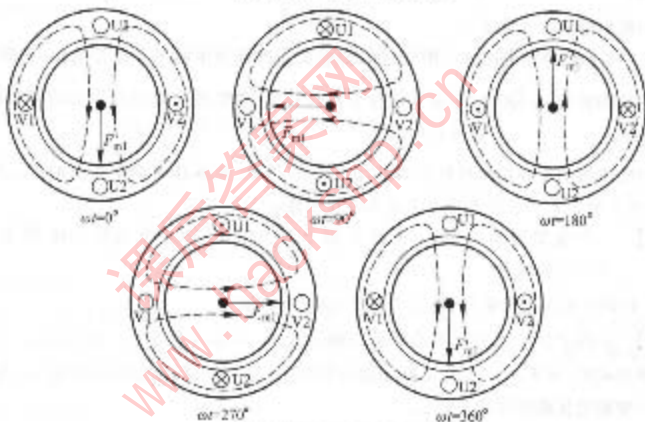
由上式可知, f_1 为圆形旋转磁动势。

(2) 图解法

通过图解分析可证明为旋转磁动势, 转向为由电流超前相转向电流滞后相 (图 4.3)。



(a) 两相对称电流波形



(b) 用图解法分析旋转磁场

图 4.3 题 4.17 图

4.18 解:

极距: $\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{36}{6} = 6$

节距: $y = \frac{5}{6}\tau = 5$

每极每相槽数: $q = \frac{Z}{2pm} = \frac{36}{6 \times 3} = 2$

槽距角: $\alpha = \frac{p \cdot 360^\circ}{Z} = \frac{3 \times 360^\circ}{36} = 30^\circ$

用空间电角度表示节距: $\gamma = p\alpha = 5 \times 30^\circ = 150^\circ$

基波矩距系数: $k_{r1} = \sin \frac{\gamma}{2} = \sin \frac{150^\circ}{2} = 0.966$

基波分布系数: $k_{q1} = \frac{\sin \frac{qa}{2}}{q \sin \frac{a}{2}} = \frac{\sin \frac{2 \times 30^\circ}{2}}{2 \times \sin \frac{30^\circ}{2}} = 0.966$

基波绕组系数: $k_{n1} = k_{r1} \times k_{q1} = 0.966 \times 0.966 = 0.933$

三相基波合成磁动势的幅值:

$$F_{n1} = 1.35 \frac{N k_{n1}}{p} I_r = 1.35 \frac{72 \times 0.933}{3} \times 20 A = 604.68 A$$

旋转磁场转速:

$$n = \frac{60 f}{p} = \frac{60 \times 50}{3} r/min = 1000 r/min$$

4.22 提示: 主要从气隙的角度 (即主磁路磁阻的大小) 来分析。

4.25 提示: 转子被卡住, 电动机的转差率为 1。定、转子电流增加。

4.26 答: 异步电动机等效电路中的附加电阻为总机械

功率的一个虚拟电阻, 用转子电流在该电阻所消耗的功率 $\frac{1-s}{s} R_2 I_2^2$ 来等效代替总机械功率 (包括轴上输出的机械功率和机械损耗、附加损耗等)。

因输出的机械轴功率和机械损耗等均属有功性质, 因此, 从电路

角度来模拟的话, 只能用有功元件电阻, 而不能用无功元件电感或电容来等效代替。

4.28 提示: 将转子铜条改为铝条, 相当于转子电阻 R_2 增大。

4.34 解: (1) Y 接时: $U_N=380V$

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi_N \cdot \eta_N} = \frac{4.5 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8 \times 0.8} A = 10.68 A$$

D 接时: $U_N=220V$

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi_N \cdot \eta_N} = \frac{4.5 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.8 \times 0.8} A = 18.45 A$$

(2) 因为

$$n_N \approx n_1 = \frac{60 f}{p}$$

$$\text{所以极对数: } p \approx \frac{60 f_1}{n_N} = \frac{60 \times 50}{1450} = 2.07, \text{ 取整: } p=2$$

同步转速:

$$n = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{2} r/min = 1500 r/min$$

(3) 额定转差率:

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0.0333$$

4.35 解:

同步转速:

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{3} r/min = 1000 r/min$$

额定转差率:

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0.05$$

总机械功率:

$$P_{mec} = P_N + P_{mec} + P_{ad} = (28 + 1.1) kW = 29.1 kW$$

转子铜损耗:

$$P_{Cu2} = \frac{s_N}{1 - s_N} P_{mec} = \frac{0.05}{1 - 0.05} \times 29.1 kW = 1.532 kW$$

输出功率:

$$P_1 = P_N + P_{mec} + P_{Cu1} + P_{Fe} + P_{Cu2} + P_{ad} \\ = (28 + 1.1 + 2.2 + 1.532 + 0) kW = 32.832 kW$$

效率:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{28}{32.832} \times 100\% = 85.3\%$$

定子电流:

$$I_{1V} = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_1 \cos \varphi_N} = \frac{32.832 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.88} A = 56.68 A$$

转子电流频率:

$$f_2 = s_N f_1 = 0.05 \times 50 Hz = 2.5 Hz$$

4.36 解: (1) 额定转速 n_N

$$P_{\text{em}} = P_2 + P_{\text{mec}} + P_{\text{ad}} + P_{\text{Cv2}} = (10000 + 70 + 200 + 310) kW = 10.58 kW$$

$$s_N = P_{\text{Cv2}} / P_{\text{em}} = 310 / 10580 = 0.0293$$

$$n_N = (1 - s_N) n_1 = (1 - 0.0293) \times 1500 r / \text{min} = 1456 r / \text{min}$$

(2) 空载转矩 T_0

$$T_0 = \frac{P_{\text{mec}} + P_{\text{ad}}}{\Omega} = \frac{70 + 200}{2\pi \frac{1456}{60}} N \cdot m = 1.77 N \cdot m$$

(3) 输出转矩 T_2

$$T_2 = \frac{P_2}{\Omega} = \frac{10 \times 10^3}{2\pi \frac{1456}{60}} N \cdot m = 65.59 N \cdot m$$

(4) 电磁转矩 T_{em}

$$T_{\text{em}} = T_2 + T_0 = (65.59 + 1.77) N \cdot m = 67.36 N \cdot m$$

4.37 解:

$$\text{电磁功率: } P_{\text{em}} = P_1 - P_{\text{Cv1}} - P_{\text{Cv}} = (60 - 0.6 - 0.4) kW = 59 kW$$

$$\text{总机械功率: } P_{\text{mec}} = (1 - s) P_{\text{em}} = (1 - 0.03) \times 59 kW = 57.23 kW$$

$$\text{转子铜损耗: } P_{\text{Cv2}} = s P_{\text{em}} = 0.03 \times 59 kW = 1.77 kW$$

4.38 解: 功率流程图如图 4.4 所示。

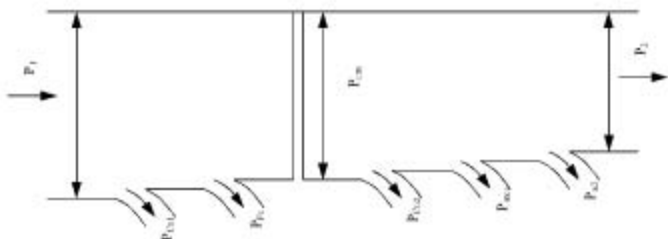


图 4.4 题 4.38 图

$$\begin{aligned} \text{输出功率: } P_2 &= P_1 - (P_{mec} + P_{cu1} + P_{Fe} + P_{cu2} + P_{ad}) \\ &= [6.32 - (0.341 + 0.1675 + 0.2375 + 0.045 + 0.029)] kW = 5.5 kW \end{aligned}$$

$$\text{效率: } \eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \frac{5.5}{6.32} \times 100\% = 87.03\%$$

$$\begin{aligned} \text{电磁功率: } P_{em} &= P_2 + P_{cu2} + P_{mec} + P_{ad} \\ &= (5.5 + 0.2375 + 0.045 + 0.029) kW = 5.8115 kW \end{aligned}$$

$$\text{转差率: } s = \frac{P_{cu2}}{P_{em}} = \frac{0.2375}{5.8115} = 0.041$$

$$\text{转速: } n = (1 - s)n_1 = (1 - 0.041) \frac{60 \times 50}{2} r/min = 1438.5 r/min$$

$$\text{空载转矩: } T_0 = \frac{P_{mec} + P_{ad}}{\Omega} = \frac{0.045 + 0.029}{2\pi \frac{1438.5}{60}} N \cdot m = 0.49 N \cdot m$$

$$\text{输出转矩: } T_2 = \frac{P_2}{\Omega} = \frac{5.5 \times 10^3}{2\pi \frac{1438.5}{60}} N \cdot m = 36.51 N \cdot m$$

$$\text{电磁功率: } T_{em} = T_2 + T_0 = (0.49 + 36.51) N \cdot m = 37 N \cdot m$$

4.39 解:

电磁功率:
$$P_{em} = P_N + P_{\text{mec}} + P_{\text{ad}} + P_{\text{Cu2}}$$
$$= (10 + 0.175 + 0.102 + 0.314) \text{ kW} = 10.591 \text{ kW}$$

转差率:
$$s = P_{\text{Cu2}} / P_{em} = 0.341 / 10.591 = 0.0296$$

额定转速:
$$n_N = (1 - s) n_1 = (1 - 0.0296) 1500 \text{ r/min} = 1455.5 \text{ r/min}$$

额定电磁转矩:

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{10.591 \times 10^3}{2\pi \frac{1500}{60}} \text{ N}\cdot\text{m} = 67.4 \text{ N}\cdot\text{m}$$

第五章 思考题与习题答案

5.4 答: 从三相异步电动机的机械特性曲线可以看出, 当电源电压下降时特性斜率增大, 工作点下移, 即转速下降。由公式 $U_1 \approx E_1 = 4.44 / N k_w \Phi_m$ 可知, 当 U_1 下降时, 主磁通 Φ_m 减小。由公式 $T_{em} = C_T \Phi_m I_2' \cos \phi_2$ 可知, 当负载转矩不变时, 电磁转矩不变, U_1 下降引起 Φ_m 减小, 而 $\cos \phi_2$ 不变, 故转子电流 I_2 增大, 根据磁动势平衡关系可得定子电流 I_1 也增大。

5.5 答: 这是因为大多数负载类型都是恒转矩负载, 且恒转矩负载特性与电动机机械特性线性段的交点为稳定工作点, 而曲线段的交点为不稳定工作点。当风机负载特性与电动机机械特性曲线段相交且在交点以上电磁转矩小于负载转矩时, 该交点就是稳定工作点, 所以曲线段上也有稳定运行点。

5.6 答: 因为三相异步电动机的最大转矩和起动转矩均与电压平方成正比, 所以当电压下降时, 最大转矩和起动转矩均减小, 但理想空载转速 n_1 和临界转差率 s_m 不变, 故降压后的人为机械特性曲线上的最大转矩点和起动点向左平行移动。当转子串接对称电阻时, 最大转矩和理想空载转速 n_1 不变, s_m 随转子总电阻正比增大, 起动转矩也随转子电阻增大而增大。但应注意, 当转子电阻增大到一定数值时, 起动转矩将增大到最大转矩值, 此后再增大转子电阻, 最大转矩点将进入第四象限, 起动转矩反而会减小。串电阻人为机械特性上的最大转矩点随转子电阻的增大是垂直向下移动的。

5.7 答: 从三相异步电动机的等效电路来看, 起动瞬间 $n=0$, $s=1$,

$$\frac{1-s}{s} R_2 = 0$$

$$I_s = U / \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} = U / Z_s$$

附加电阻 Z_K 很小, 故直接起动电流很大。从电磁转矩公式 $T_{em} = C_T \Phi_m I_2' \cos \phi_2$ 来看, 虽然起动时 I_2' 很大 (起动时, $I_2' = I_1 = I_{st}$), 但起动时转子功率因数角 ϕ_2 远大于正常运行时的功率因数角 ϕ_2 , 即起动时的功率因数 $\cos \phi_2$ 很低, 加上起动时的 $E_1 \approx \frac{1}{2} U_1$, Φ_m 约为额定时的一半, 所以起动转矩并不大。

5.11 答: 转子回路串接电阻后, 使转子回路每相阻抗增大, 所以起动电流会减小。另外起动时转子回路串入电阻还有两个影响, 一是起动时转子回路的功率因数 $\cos \phi_2$ 增大, 二是因转子回路阻抗变大使得起动时的 $E_1 > 1/2 U_1$, 比不串电阻直接起动时 $E_1 = 1/2 U_1$ 要大 (可由等效电路得出此结论), 也就是说起动瞬间的主磁通 Φ_m 比不串电阻直接起动时要大。只要串入的电阻值适当, 这两个影响起主要作用时, 起动转矩 $T_{st} = C_T \Phi_m I_2' \cos \phi_2$ 就会增大。但是当转子串电阻过大时, I_2' 减小起主要作用, 起动转矩反而会减小, 这一点从转子串电阻人为机械特性上可以看出来。

如果转子串电抗器, 同样增大了转子回路阻抗值, 可以减小起动电流, 但是起动时转子功率因数会减小, I_2' 和 $\cos \phi_2$ 同时减小, 这使起动转矩下降。

5.12 答: 可以采用能耗制动和电压反接制动两种方法进行快大直流励磁电流 (参见教材中图 5.3.2 中曲线 2) 速停车。能耗制动时, 为了增大制动转矩, 可以增, 而绕线转子异步电动机还可以在转子回

路中串入适当的电阻(曲线3)。反接制动时(参见教材中图5.3.3), 在绕线转子回路中串入适当电阻可以增大制动转矩。其制动过程详见教材。

5.13 答: 当拖动位能性负载时, 采用能耗制动、倒拉反转、反向回馈制动均可以在第四象限出现稳定运行点, 即匀速下放负载。要改变负载下放的速度, 只要改变制动时机械特性的斜率即可。这三种制动方法, 都可以通过改变在转子回路中串入不同的电阻值来改变机械特性的斜率, 从而改变负载下放的速度。串入电阻值越大, 负载下放的速度越大。

各种制动运行时的能量关系: 能耗制动时, 转子的惯性动能转变为电能后消耗在转子回路的电阻上。倒拉反转时, 轴上输入的机械功率转变成电功率后, 连同定子传递给转子的电磁功率一起全部消耗在转子回路电阻上。回馈制动时, 轴上输入的机械能转变成电能回馈给电网。

5.19 答: 根据公式

$$s_n \approx R_2 / (X_1 + X_2') \quad T_n \approx m_p U_1^2 / [4\pi f_1 (X_1 + X_2')]$$

$$T_n = m_p U_1^2 R_2 / 2\pi f_1 [(R_1 + R_2')^2 + (X_1 + X_2')^2]$$

可知, 当转子回路串接电抗时, s_n 、 T_n 、 T_{sL} 均减小, 其机械特性如图5.2中曲线胀系数。由图可见, 转子回路串接电抗, 速度的变化是很小的, 不能达到制动的目的。

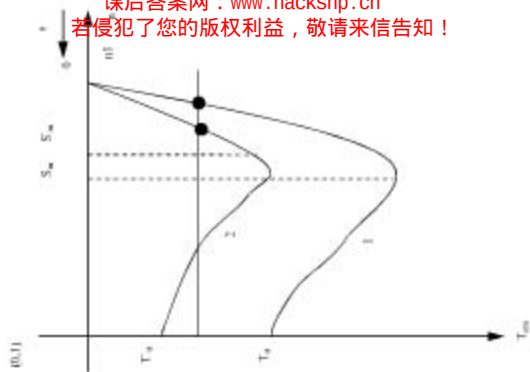


图 5.2 题 5.19 图

5.20 解: (1)

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0.04$$

$$s_m = s_N (\lambda_r + \sqrt{\lambda_r^2 - 1}) = 0.04 \times (2.2 + \sqrt{2.2^2 - 1}) = 0.166$$

2) 机械特性实用表达式为:

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{7.5}{1440} \text{ N} \cdot \text{m} = 49.74 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_m = \frac{2 T_N}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 109.43}{\frac{s}{0.166} + \frac{0.166}{s}} = \frac{218.86}{\frac{s}{0.166} + \frac{0.166}{s}}$$

(3) 当 $n=1300 \text{ r/min}$ 时的转差率为:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1300}{1500} = 0.133$$

对应的电磁转矩为:

$$T_m = \frac{218.86}{\frac{s}{0.166} + \frac{0.166}{s}} = \frac{218.86}{\frac{0.133}{0.166} + \frac{0.166}{0.133}} \text{ N} \cdot \text{m} = 106.9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(4) $s=0\sim 1$ 范围内取不同值代入机械特性实用表达式, 算出对应的 T_{em} 值, 可画出机械特性曲线。(绘制特性曲线略)

5.21 解: (1)

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{750 - 720}{750} = 0.04$$

$$s_m = s_N (\lambda_r + \sqrt{\lambda_r^2 - 1}) = 0.04 \times (2.4 + \sqrt{2.4^2 - 1}) = 0.183$$

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{75}{720} N \cdot m = 994.8 N \cdot m$$

$$T_m = \lambda_r T_N = 2.4 \times 994.8 N \cdot m = 2387.5 N \cdot m$$

(2) 实用表达式为:

$$T_{em} = \frac{2 T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 2387.5}{\frac{s}{0.183} + \frac{0.183}{s}} = \frac{47750}{0.183 + \frac{s}{s}}$$

(绘制特性曲线略)

5.22 解: (1) Y-D 降压起动时

起动电流: $I'_s = \frac{1}{3} I_s = \frac{1}{3} k_s I_N = \frac{1}{3} \times 7 \times 20 A = 46.67 A$

起动转矩: $T'_s = \frac{1}{3} T_s = \frac{1}{3} k_s T_N = \frac{1}{3} \times 1.4 T_N = 0.467 T_N < 0.5 T_N$

(2) 用自耦变压器进行半载起动时, 抽头比计算

$$T'_s = \frac{1}{k^2} T_s = 0.5 T_N$$

$$\frac{1}{k^2} = \frac{0.5 T_N}{T_s} = \frac{0.5 T_N}{k_s T_N} = \frac{0.5}{1.4}$$

抽头比:

$$\frac{1}{k} = \sqrt{\frac{0.5}{1.4}} = 59.8\%$$

故选取抽头比为 60%, 这时的起动电流为

$$I_{st} = \frac{1}{k^2} I_N = 0.6^2 \times k_1 I_N = 0.6^2 \times 7 \times 20 A = 50.4 A$$

5.23 解:

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{11}{715} N \cdot m = 146.9 N \cdot m$$

$$T_1 = 1.8 T_N = 1.8 \times 146.9 N \cdot m = 264.4 N \cdot m$$

$$s_N = \frac{n_n - n_N}{n_n} = \frac{750 - 715}{750} = 0.047$$

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{T_1}{s_N T_N}} = \sqrt[3]{\frac{146.9}{0.047 \times 264.4}} = 2.28$$

校验 $T_2 \geq (1.1 \sim 1.2) T_1 = (1.1 \sim 1.2) \times 98 N \cdot m = (107.8 \sim 117.6) N \cdot m$

$$T_2 = \frac{T_1}{\beta} = \frac{264.4}{2.28} = 115.96 N \cdot m > 1.1 T_1$$

$$R_2 = \frac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3} I_{2N}} = \frac{0.047 \times 163}{\sqrt{3} \times 47.2} \Omega = 0.094 \Omega$$

各级转子回路电阻:

$$R_{r1} = \beta R_2 = 2.28 \times 0.094 \Omega = 0.214 \Omega$$

$$R_{r2} = \beta^2 R_2 = 2.28^2 \times 0.094 \Omega = 0.489 \Omega$$

$$R_{r3} = \beta^3 R_2 = 2.28^3 \times 0.094 \Omega = 1.114 \Omega$$

各级转子回路电阻:

$$R_{\sigma 1} = R_{r1} - R_2 = (0.214 - 0.094)\Omega = 0.12\Omega$$

$$R_{\sigma 2} = R_{r2} - R_{r1} = (0.489 - 0.214)\Omega = 0.275\Omega$$

$$R_{\sigma 3} = R_{r3} - R_{r2} = (1.114 - 0.489)\Omega = 0.625\Omega$$

5.24 解:

$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0.02$$

$$s_m = s_N (\lambda_r + \sqrt{\lambda_r^2 - 1}) = 0.02 \times (2.6 + \sqrt{2.6^2 - 1}) = 0.1$$

机械特性近似公式为:

$$T_{em} = \frac{2T_N}{s_m} s$$

起动时, $s=1$, $T_{st}=2T_N$, 代入上式

$$2T_N = \frac{2\lambda_r T_N}{s'_m} \times 1$$

可求出转子串电阻人为机械特性上的临界转差率为

$$s'_m = \lambda_r = 2.6$$

转子每相应串入的起动电阻为:

$$R_\sigma = \left(\frac{s'_m}{s_m} - 1 \right) R_2 = \left(\frac{2.6}{0.1} - 1 \right) \times 0.08\Omega = 2\Omega$$

5.25 解: (1) 直接起动时, 电源容量对电动机的起动电流倍数要

求应满足下式:

$$k_1 \leq \frac{1}{4} \left(3 + \frac{\text{电源容量}}{\text{电动机容量}} \right) = \frac{1}{4} \left(3 + \frac{1000}{55} \right) = 5.3$$

而电动机的 $k_1 = 7 > 5.3$, 故不能采用直接起动方法。

(2) 当采用 Y—D 降压起动时, 起动转矩为: $T'_s = \frac{1}{3} T_s = \frac{1}{3} k_s T_N = \frac{1}{3} \times 2 T_N = 0.67 T_N$

即 $T'_s < T_N$, 所以也不能采用 Y—D 降压起动方法。

(3) 若采用自耦变压器降压起动则:

$$\text{起动转矩: } T'_s = \frac{1}{k^2} T_s = \frac{1}{k^2} 2 T_N$$

为了使 $T'_s > T_N$, 自耦变压器的变比应为 $k < \sqrt{2}$,

即抽头比应为: $\frac{1}{k} > \frac{1}{\sqrt{2}} = 70.72\%$, $\frac{1}{k} = 73\%$, 取

此时电动机的起动电流为:

$$I'_s = \frac{1}{k^2} I_s = \frac{1}{k^2} k_1 I_N = 0.73^2 \times 7 I_N = 3.73 I_N$$

起动电流与额定电流比为: $k'_i = \frac{I'_s}{I_N} = 3.73 < 5.3$

可见采用抽头比为 73% 的自耦变压器进行降压起动时, 起动转矩大于满载转矩, 起动电流倍数满足电源要求, 故可以采用此方法起动。

5.26 解:

$$s_V = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0.03$$

$$s_m = s_V (\lambda_r + \sqrt{\lambda_r^2 - 1}) = 0.03 \times (2.05 + \sqrt{2.05^2 - 1}) = 0.115$$

$$R_z = \frac{s_V E_{zV}}{\sqrt{3} I_{zV}} = \frac{0.03 \times 238}{\sqrt{3} \times 210} \Omega = 0.02 \Omega$$

转子回路串入 0.8Ω 电阻时, 人为机械特性上的临界转差率为:

$$s'_m = \frac{R_z + R}{R_z} s_m = \frac{0.02 + 0.8}{0.02} \times 0.115 = 4.715$$

将 $T_{cm}=T_N$, $s'_m=4.715$, $T_m=\lambda T_N$ 代入机械特性实用表达式:

$$T_m = \frac{T_N}{\frac{s}{s'_m} + \frac{s'_m}{s}}$$

可以解出转子回路串入电阻 $R=0.8 \Omega$ 电阻时运行点的转差率为:

$$s = s'_m \left(\lambda_r \pm \sqrt{\lambda_r^2 - 1} \right) = 4.715 \left(2.05 \pm \sqrt{2.05^2 - 1} \right) = 4.715 (2.05 \pm 1.79)$$

解得: $s_1 = 18.1$, $s_2 = 1.226$

两个解中, $s_2=1.226 < s'_m=4.715$ 是稳定运行点的转差率, 而 $s_1=18.1 > s'_m=4.715$ 是处在非线性段上的不稳定运行点的转差率。所以取 $s=1.226$ 。对应的转速为:

$$n = (1 - s)n_s = (1 - 1.226) \times 1000 r/min = -226 r/min$$

电动机处于倒拉反转运行状态, 即匀速下放负载。

5.27 解:
$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 960}{1000} = 0.04$$

$$s_m = s_N \left(\lambda_r + \sqrt{\lambda_r^2 - 1} \right) = 0.04 \times \left(2.3 + \sqrt{2.3^2 - 1} \right) = 0.175$$

$$R_z = \frac{s_N E_{2V}}{\sqrt{3} I_{2V}} = \frac{0.04 \times 164}{\sqrt{3} \times 20.6} \Omega = 0.184 \Omega$$

将 $T_{cm}=T_L=0.75T_N$, $s_m=0.175$, $T_m=\lambda T_N$ 代入实用表达式:

$$T_m = 0.75 T_N = \frac{2 \lambda_r T_N}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}}$$

可以解出 $T_L=0.75T_N$ 时运行点 A (图 5.3) 的转差率为:

$$s_A = s_{\infty} \left[\frac{\lambda_T T_N}{T_L} - \sqrt{\left(\frac{\lambda_T T_N}{T_L} \right)^2 - 1} \right] = 0.175 \times \left[\frac{2.3}{0.75} - \sqrt{\left(\frac{2.3}{0.75} \right)^2 - 1} \right] = 0.029$$

A 点的转速为:

$$n = (1 - s) n_1 = (1 - s_A) n_1 = (1 - 0.029) \times 1000 \text{ r/min} = 971 \text{ r/min}$$

反接制动起始点 B 的转差率为:

$$s_B = \frac{-n_1 - n_B}{-n_1} = \frac{-1000 - 971}{-1000} = 1.971$$

将 $T_B = 1.8 T_N$, $s_B = 1.971$ 代入实用表达式, 并注意到反接制动特性对应的最大转矩 $T_m = \lambda T_N$ 应为负值:

$$-1.8 T_N = \frac{-2 \lambda_T T_N}{\frac{s_B}{s'_m} + \frac{s'_m}{s_B}}$$

可以解出反接制动特性上的临界转差率为:

$$\begin{aligned} s'_m &= s_B \left[\frac{\lambda_T}{1.8} \pm \sqrt{\left(\frac{\lambda_T}{1.8} \right)^2 - 1} \right] \\ &= 1.971 \times \left[\frac{2.3}{1.8} \pm \sqrt{\left(\frac{2.3}{1.8} \right)^2 - 1} \right] \\ &= 1.971 \times (1.278 \pm 0.796) \end{aligned}$$

解得: $s'_{m1} = 4.09$, $s'_{m2} = 0.95$

画出反接制动机械特性曲线 2 和 3, 可以判定两个解都是正确的。

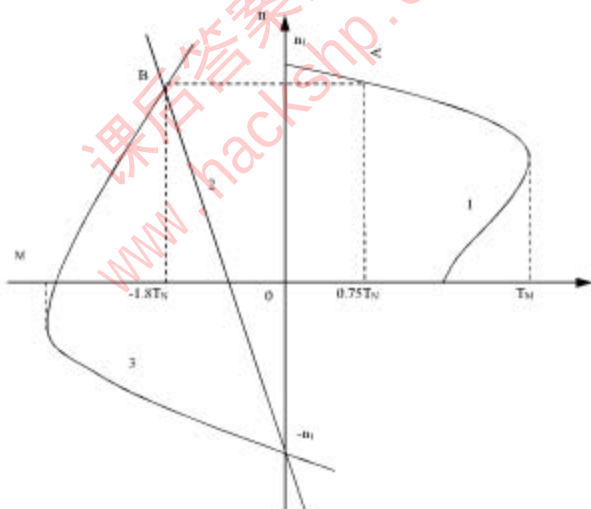
当 $s'_m=4.09$ 时, 对应特性 2, 应串电阻:

$$R_{\rho 1} = \left(\frac{s'_m}{s_{sc}} - 1 \right)$$

$$R_2 = \left(\frac{4.09}{0.175} - 1 \right) \times 0.184 \, \Omega = 4.12 \, \Omega$$

当 $s'_m=0.95$ 时, 对应特性 3, 应串电阻:

$$R_{\rho 2} = \left(\frac{s'_m}{s_{sc}} - 1 \right) R_2 = \left(\frac{0.95}{0.175} - 1 \right) \times 0.184 \, \Omega = 0.815 \, \Omega$$



5.28 解: $s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0.027$

$$R_2 = \frac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3} I_{2N}} = \frac{0.027 \times 355}{\sqrt{3} \times 40} \, \Omega = 0.138 \, \Omega$$

转速 $n=1050\text{r/min}$ 时的转差率为:

$$s_N = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1050}{1500} = 0.3$$

因为负载转矩不变时, 电磁转矩不变, 即 $R_2/s = \text{常数}$ 。

所以
$$\frac{R_2}{s_N} = \frac{R_2 + R}{s}$$

转子回路应串电阻为:

$$R = \left(\frac{s}{s_N} - 1 \right) R_2 = \left(\frac{0.3}{0.027} - 1 \right) \times 0.138 \Omega = 1.4 \Omega$$

5.29 解:
$$s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0.027$$

$$s_m = s_N \left(\lambda_r + \sqrt{\lambda_r^2 - 1} \right) = 0.027 \times \left(2 + \sqrt{2^2 - 1} \right) = 0.1$$

当 $T_L = 0.8T_N$ 时, 在固有特性上运行点的转差率和转速分别为:

$$s = s_m \left[\frac{\lambda_r T_v}{0.8 T_v} - \sqrt{\left(\frac{\lambda_r T_N}{0.8 T_N} \right)^2 - 1} \right] = 0.1 \times \left[\frac{2}{0.8} - \sqrt{\frac{2^2}{0.8^2} - 1} \right] = 0.021$$

$$n = (1 - s) n_1 = (1 - 0.021) \times 1500 = 1468.5 \text{ r/min}$$

转速降落为:

$$\Delta n = n_1 - n = (1500 - 1468.5) \text{ r/min} = 31.5 \text{ r/min}$$

当频率下降使转速和为: $n' = 1000 \text{ r/min}$ 时, 其降频人为机械特性对应的同步转速为:

$$n'_1 = n' + \Delta n = (1000 + 31.5) \text{ r/min} = 1031.5 \text{ r/min}$$

$$\frac{f'_1}{f_N} = \frac{n'_1}{n_N}$$

根据频率与同步转速成正比:

得频率下降为:

$$f_1' = \frac{n_1}{n_N} f_N = \frac{1031.5}{1500} \times 50 \text{ Hz} = 34.4 \text{ Hz}$$

恒转矩变频调速时, 应保持电压与频率正比调节, 即

$$\frac{f_1'}{f_N} = \frac{U_1'}{U_N}$$

得, 电压下降为:

$$U_1' = \frac{f_1'}{f_N} U_N = \frac{34.4}{50} \times 380 \text{ V} = 261.4 \text{ V}$$

第六章 同步电机

6.1 答:
$$p = \frac{60f}{n} = \frac{60 \times 50}{150} = 20$$
 , 为 40 极的同步电机, 该机应为凸极结构。

6.5 答: 电枢磁动势对电枢的转速为 n , 转向为顺时针方向, 对定子的相对转速为零。

6.6 答: 抽出转子时定子电流大, 因为转子被抽出后, 电机主磁路磁阻增加, 即原来转子铁心部位全部变成了气隙, 建立同样大的磁通所需的电流加大。

6.9 解: 以 $\dot{U}_N$ 为基准相量, $\dot{U}_N = 1 \angle 0^\circ$
则 $\dot{I}_N = 1 \angle -31.8^\circ$

$$\begin{aligned}\dot{E}_0 &= \dot{U}_N + jX_s \dot{I}_N = 1 \angle 0^\circ + j2.18 \times 1 \angle -31.8^\circ \\ &= 2.15 + j1.85 = 2.84 \angle 40.71^\circ\end{aligned}$$

- (1) $E_0 = \dot{E}_0 \times U_N = 2.84 \times 18 \text{ kV} = 51.05 \text{ kV}$
或 $E_{0p} = \dot{E}_0 \times U_{Np} = 2.84 \times 18 / \sqrt{3} \text{ kV} = 29.48 \text{ kV}$
(2) $\delta_N = 40.71^\circ$
(3) $P_{\infty} \approx P_N = 300 \text{ MW}$
(4) $\lambda = \frac{1}{\sin \delta_v} = \frac{1}{\sin 40.71^\circ} = 1.533$

6.10 解:

- (1) 该发电机在额定状态下的电动势相量图如图 6.10 所示。

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi_N} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 6.3 \times 0.8} \text{ A} = 171.83 \text{ A}$$

- (2) $Z_s = \frac{U_N / \sqrt{3}}{I_N} = \frac{6300 / \sqrt{3}}{171.83} \Omega = 21.168 \Omega$

$$X_s = \frac{X_s}{Z_s} = \frac{21.2}{21.168} = 1$$

$$X'_s = \frac{X'_s}{Z_s} = \frac{13.7}{21.168} = 0.65$$

以 $\dot{U}_N$ 为参考相量, 据 $\dot{E}_Q = \dot{U}_N + jX_d \dot{I}_N$
求 δ_N 角, 进而求出 ψ 角。

$$\begin{aligned}\dot{E}_Q &= 1 \angle 0^\circ + j0.65 \times 1 \angle -36.87^\circ \\ &= 1.39 + j0.52 = 1.484 \angle 20.51^\circ\end{aligned}$$

所以

$$\begin{aligned}\delta_N &= 20.51^\circ \\ \psi &= \delta_N + \varphi_N = 20.51^\circ + 38.87^\circ = 57.38^\circ\end{aligned}$$

求 I_d 与 I_q 值:

$$I_d = I \sin \Psi = 1 \sin 57.38^\circ = 0.842$$

$$I_q = I \cos \Psi = 1 \cos 57.38^\circ = 0.539$$

求 E_{oN} :

$$E_{oN} = U_d + I_d X_d = 1 \times \cos 20.51^\circ + 0.842 \times 1 = 1.779$$

电压调整率 :

$$\Delta U = \frac{E_{oN} - U_N}{U_N} \times 100\% = \frac{1.779 - 1.0}{1.0} \times 100\% = 77.9\%$$

(3) 电磁功率 P_{emN}

$$\begin{aligned}P_{emN} &= \frac{E_{oN} \dot{U}_N}{X_d} \sin \delta_N + \frac{U_N^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\delta_N \\ &= \frac{1.779 \times 1}{1} \sin 20.51^\circ + \frac{1^2}{2} \left(\frac{1}{0.65} - \frac{1}{1} \right) \sin (2 \times 20.51^\circ) \\ &= 0.8\end{aligned}$$

$$P_{emN} = \dot{P}_{emN} S_N = 0.8 \times \frac{1500}{0.8} \text{ kW} = 1500 \text{ kW}$$

- 6.11 答: 正常运行时, 电机磁路处于饱和状态, 所以 X_d 为饱和值。而短路时, 由于电机内的去磁作用, 使电机的磁路处于不饱和状态, 故应采用不饱和值。

6.12 答: 当转速降为 0.95n 时, 对空载特性而言, 同一励磁电流下所建立的空载电动势降低, 故空载特性曲线下移; 而对短路特性而言, 由于空载电动势和同步电抗同时降低, 使得同一励磁电流下的短路电流基本不变。故短路特性不变化。

6.13 答: 因为同步发电机带感性负载时, 将产生去磁性质的电枢反应, 而且负载电流越大, 电枢反应去磁作用越强, 发电机端电压越低, 再加之漏阻抗压降的影响, 也使端电压下降, 故外特性曲线是下降的。

6.15 解:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi} = \frac{80}{\sqrt{3} \times 0.4 \times 1} = 115.47 (A)$$

输出 80kW, $\cos \varphi = 1$ 时的

$$\dot{E}_N$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_a &= \dot{U}_a + j X_s I = 231 \angle 0^\circ + j 1.2 \times 115.47 \angle 0^\circ \\ &= 231 + j 138.56 \\ &= 269.4 \angle 30.96^\circ \end{aligned}$$

所以

$$\begin{aligned} E_a &= 269.4V \quad \delta = 30.96^\circ \\ 20 \times 10^3 &= 3 \frac{269.4 \times 231}{1.2} \sin \delta' \\ \sin \delta' &= 0.129 \end{aligned}$$

所以

$$\cos 46.2^\circ = 0.692 \quad I' = 41.75 A$$

输出无功功率 Q:

$$\begin{aligned} Q &= m U I' \sin \varphi' = 3 \times 231 \times 41.75 \times \sin 46.2^\circ \\ &= 20.882 k \text{ var (感性)} \end{aligned}$$

6.16 解:

(1) 励磁电动势及功角

求同步发电机定子电流标么值:

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi_N} = \frac{50 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 13.8 \times 10^3 \times 0.8} A = 2614.8 A$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U_Y \cos \varphi} = \frac{10 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 13.8 \times 10^3 \times 1.0} \text{ A} = 418.4 \text{ A}$$

$$\dot{I} = I / I_Y = 0.16$$

求虚构电动势 (参阅图 6.11):

$$\begin{aligned} \dot{E}_0 &= \dot{U} \cos \delta + \dot{I}_d X_d' \\ &= 1 \times \cos 6.4^\circ + 0.0178 \times 1.15 = 1.014 \end{aligned}$$

求直轴电流:

$$\dot{I}_d = \dot{I} \sin \Psi = \dot{I} \sin \delta = 0.16 \times \sin 6.4^\circ = 0.0178$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_q &= \dot{U} + j X_q' \dot{I} = 1 \angle 0^\circ + j 0.7 \times 0.16 \angle 0^\circ \\ &= 1 + j 0.112 = 1.01 \angle 6.4^\circ \end{aligned}$$

所以 $\delta = \Psi = 6.4^\circ$

(2) 保持有功功率输出不变, 求失磁时的 δ 角, 发电机能否稳定运行?

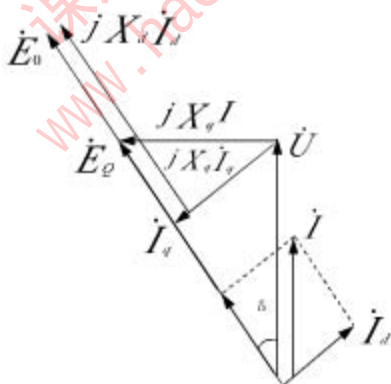


图 6.11 题 6.16 图

$$\begin{aligned} \dot{P}_{em} &= \frac{\dot{E}_{01} \dot{U}_N}{X_t'} \sin \delta_N = \frac{\dot{E}_{02} \dot{U}}{X_t'} \sin \delta \\ \frac{\dot{E}_{01} \times 1}{X_t'} \sin 20^\circ &= \frac{\dot{E}_{02} \times 0.6}{X_t'} \sin 25^\circ \\ \frac{\dot{E}_{02}}{\dot{E}_{01}} &= \frac{\sin 20^\circ}{0.6 \times \sin 25^\circ} = 1.349 (\text{倍}) \end{aligned}$$

所以 $\sin 2\delta = 0.572$ $\delta = 17.46^\circ$, 能稳定运行。

- 6.17 答: 见教材图 6.6.1, 从发电机过渡到电动机运行, 功角 δ 由正变负 ($\dot{E}_0$ 由超前 $\dot{U}$ 变为滞后 $\dot{U}$), 定子电流方向改变, 电磁转矩由驱动性质变为制动性质。

- 6.18 解: 故障前后输出的有功功率不变, 则:

$$\begin{aligned} \dot{P}_{em} &= \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{X_e'} - \frac{1}{X_e''} \right) \sin 2\delta \\ \dot{P}_{em} &= \frac{P}{S_N} = \frac{10 \times 10^6}{50 \times 10^6 / 0.8} = 0.16 \\ 0.16 &= \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{0.7} - \frac{1}{1.15} \right) \sin 2\delta \end{aligned}$$

- 6.19 解: (1) 取电压相量为基准, 即:

$$\begin{aligned} \dot{U}_N &= 1 \angle 0^\circ \\ \dot{I} &= 0.9 \angle -\arccos 0.8 = 0.72 - j0.54 \end{aligned}$$

发电机输出的功率: $S = \dot{U}_N \dot{I}^* = P + jQ = 1 \times (0.72 + j0.54) = 0.72 + j0.54$

视在功率: $P = 0.72$

有功功率:

无功功率: $Q = 0.54$

空载电动势: $\dot{E}_0 = \dot{U}_N + j\dot{I} X_t = 1 + j(0.72 - j0.54) \times 1.0$
 $= 1.54 + j0.72 = 1.70 \angle 25.1^\circ$

所以: $E_0 = 1.70$

功角: $\delta = 25.1^\circ$

(2) 以 $\dot{U}_N$ 为基准相量 $\dot{U}_N = 1 \angle 0^\circ$

额定功率和电流:

$$\dot{P}_N + j\dot{Q}_N = \dot{I}_N \cos \varphi + j\dot{I}_N \sin \varphi = 0.8 + j0.6$$

额定功率增至额定情况下 110% 时: $P = 0.8 \times 1.1 = 0.88$

功角:

$$\sin \delta = \frac{P X_t}{U_N E_0} = \frac{0.88 \times 1.0}{1 \times 1.7} = 0.518$$

所以 $\delta = 31.2^\circ$

增加有功功率后, E_0' 为:

$$\begin{aligned} E_0' &= E_0 (\cos \delta + j \sin \delta) \\ &= 1.7 (\cos 31.2^\circ + j \sin 31.2^\circ) = 1.45 + j0.88 \end{aligned}$$

由电动势方程得:

$$j\dot{I}_0 X_t = \dot{E}_0' - \dot{U}_t = 1.45 + j0.88 - 1 = 0.45 + j0.88$$

增加有功功率后的功率或电流:

$$S = \dot{U}_N \tilde{\dot{I}} = 0.88 - j0.45$$

即无功功率: $Q = 0.45$

若增加有功功率而保持无功功率不变, 则定子电流:

$$\tilde{\dot{I}} = 0.88 - j0.54$$

空载电动势:

$$\dot{E}_0^* = \dot{U}^* + j \dot{I}^* \dot{X}_l^* = 1 + j(0.88 - j0.54) = 1.77 \angle 29.7^\circ$$

即

$$E_0^* = 1.77 \quad \delta = 29.7^\circ$$

额定运行时功率为:

$$\dot{P}_N + j \dot{Q}_N = 0.8 + j0.6$$

供 90% 额定电流时功率为:

$$\dot{P} + j \dot{Q} = 0.72 + j0.54$$

(3) 无功功率增加 10%:

$$\dot{Q}' = 1.1 \times 0.6 = 0.66$$

定子电流:

$$\dot{I}' = 0.72 + j0.66$$

空载电动势:

$$\dot{E}_0^* = \dot{U}^* + j \dot{I}' \dot{X}_l^* = 1 + j(0.72 - j0.66) \times 1 = 1.81 \angle 23.4^\circ$$

功角:

$$\delta = 23.4^\circ$$

6.19 解: (1) 额定电流

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_N} = \frac{31250}{\sqrt{3} \times 10.5} A = 1718.3 A$$

额定功率因数:

$$\delta_N = \arccos 0.8 = 36.87^\circ$$

额定相电压:

$$\dot{U} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ = \frac{10500}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ V = 6062.178 \angle 0^\circ V$$

空载相电动势:

$$\begin{aligned} \dot{E}_0 &= \dot{U} + j \dot{I}_N X_c = 6062.178 + j 1718.3 \angle -36.87^\circ \times 7 \\ &= 16398.93 \angle 35.93^\circ \end{aligned}$$

功角: $\delta = 35.93^\circ$

电磁功率:

$$P_{em} \approx S_N \cos \varphi_N = 31250 \times 0.8 kW = 25000 kW$$

比整步功率:

$$\begin{aligned} P_{os} &= \frac{m E_0 U}{X_c} \cos \varphi_N = \frac{3 \times 16398.93 \times 6062.178}{7} \cos 35.93^\circ \\ &= 34.5 MW / \text{rad} \end{aligned}$$

过载能力:

$$K_M = \frac{1}{\sin \delta_c} = \frac{1}{\sin 35.93^\circ} = 1.704$$

(2) 电磁功率:

$$P_{em} = \frac{1}{2} P_{os} = \frac{1}{2} \times 25000 \times 10^3 kW = 12500 kW$$

$$P_{em} = \frac{m E_0 U}{X_c} \sin \delta = \frac{3 \times 16398.93 \times 6062.178}{7} \sin \delta$$

功角:

$$\delta = 17.06^\circ$$

比整步功率:

$$P_{\text{syn}} = \frac{m E_0 U}{X_t} \cos \delta = \frac{3 \times 16398.93 \times 6062.178}{7} \cos 17.06^\circ \text{ MW/rad}$$

$$= 40.8 \text{ MW/rad}$$

无功功率:

$$Q = \frac{m E_0 U}{X_t} \cos \delta - \frac{m U^2}{X_t}$$

$$= \frac{3 \times 16398.93 \times 6062.178}{7} \cos 17.06^\circ - \frac{3 \times 6062.178^2}{7} \text{ k var}$$

$$= 24980.9 \text{ k var}$$

功率因数:

$$\cos \varphi = \cos \left(\arctan \frac{Q}{P_{\text{em}}} \right) = \cos \left(\arctan \frac{24980.9}{12500} \right) = 0.45$$

(3) 电磁功率:

$$P_{\text{em}} = P_{\text{syn}} = 25000 \times 10^3 \text{ kW}$$

$$P_{\text{em}} = \frac{1.1 m E_0 U}{X_t} \sin \delta = \frac{1.1 \times 3 \times 16398.93 \times 6062.178}{7} \sin \delta$$

功角:

$$\delta = 32.2^\circ$$

无功功率:

$$Q = \frac{1.1 m E_0 U}{X_t} \cos \delta - \frac{m U^2}{X_t}$$

$$= \left(\frac{1.1 \times 3 \times 16398.93 \times 6062.178}{7} \cos 32.2^\circ - \frac{3 \times 6062.178^2}{7} \right) \text{ k var}$$

$$= 23907.9 \text{ k var}$$

功率因数:

$$\cos \varphi = \cos \left(\arctan \frac{Q}{P} \right) = \cos \left(\arctan \frac{23907.9}{25000} \right) = 0.72$$

定子电流:

$$I = \frac{P}{3U \cos \varphi} = \frac{25000 \times 10^3}{3 \times 6062.178 \times 0.72} A = 1909.2 A$$

6.20

解:

电动机的输入功率:

$$P_1 = \frac{720}{0.9} kW = 800 kW$$

母线上总有功功率: $P_{\Sigma} = (2000 + 800) kW = 2800 kW$

同步电动机补偿有无功功率: $\cos \varphi = \frac{P_{\Sigma}}{\sqrt{P_{\Sigma}^2 + (Q - Q_c)^2}}$

$$Q = P \cdot \tan \varphi = 2000 \times \tan 53.1^\circ = 2666.67 k \text{ var}$$

$$0.8 = \frac{2800}{\sqrt{2800^2 + (2666.67 - Q_c)^2}}$$

解上式得:

$$Q_c = 566.67 k \text{ var}$$

同步电动机的功率因数:

$$\cos \varphi = \frac{800}{\sqrt{800^2 + 566.67^2}} = 0.816 \text{ (超前)}$$

同步电动机的定子电流:

$$I = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi} = \frac{800}{\sqrt{3} \times 6 \times 0.816} A = 94.3 A$$

6.22 解:

(1) 换机前, 水泵站需从电网吸收的视在功率和功率因数:

$$S = \frac{4P_N}{\eta \cdot \cos \varphi_N} = \frac{4 \times 200}{0.9 \times 0.75} kV \cdot A = 1185.5 kV \cdot A$$

$$\cos \varphi = 0.75$$

(2) 换机后, 水泵站从电网吸收的视在功率和功率因数:

两台异步电动机:

$$P_1 = \frac{2P_N}{\eta} = 444.44 kW$$

$$S = \frac{P_1}{\cos \varphi_1} = \frac{444.44}{0.75} kV \cdot A = 592.6 kV \cdot A$$

$$Q_1 = S_1 \sin \varphi_1 = 592.6 \times 0.661 k\text{var} = 391.97 k\text{var}$$

两台同步电动机:

$$P_2 = \frac{2P_N}{\eta} = 444.44 kW$$

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{444.44}{0.8} kV \cdot A = 555.56 kV \cdot A$$

$$Q_2 = -S_2 \sin \varphi_2 = -555.56 \times 0.6 k\text{var} = -333.33 k\text{var}$$

两台异步电动机:

$$P_1 = \frac{2P_N}{\eta} = 444.44 \text{ kW}$$

$$S = \frac{P_1}{\cos \varphi_1} = \frac{444.44}{0.75} \text{ kV} \cdot \text{A} = 592.6 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

两台同步电动机:

$$P_2 = \frac{2P_N}{\eta} = 444.44 \text{ kW}$$

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{444.44}{0.8} \text{ kV} \cdot \text{A} = 555.56 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$Q_2 = -S_2 \sin \varphi_2 = -555.56 \times 0.6 \text{ kvar} = -333.33 \text{ kvar}$$

视在功率:

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 = (444.44 + 444.44) \text{ kW} = 888.88 \text{ kW}$$

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 = (391.97 - 333.33) \text{ kvar} = 58.64 \text{ kvar}$$

功率因数:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{888.88^2 + 58.64^2} \text{ kV} \cdot \text{A} = 890.81 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

(3) 不更换电动机, 装设一台同步调相机, 将功率因数提高到 0.9 (滞后),

调相机的容量为:

$$\cos \varphi_N = \frac{P_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} = \frac{888.88}{890.81} = 0.988$$

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \varphi_1} = \frac{888.89}{0.75} \text{ kV} \cdot \text{A} = 1185.5 \text{ kV} \cdot \text{A}$$

$$Q_1 = S_1 \sin \varphi_1 = 1185.5 \times 0.661 \text{ kvar} = 783.9 \text{ kvar}$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + (Q - Q_c)^2}}$$

解得: $Q_c = 353.8 \text{ kvar}$

第七章 驱动和控制微电机

- 7.2 答: 电源一相断线, 电动机无论是 Y 联结或 D 联结, 均成为单相运行, 就相当于一台单相异步电动机, 它产生脉动磁动势, 而脉动磁动势可分解成大小相等、转速相同、转向相反的两个旋转磁动势。由于起动瞬间, 转子是静止的, 两个旋转磁动势以相同的速率截切转子绕组, 产生相应的感应电动势、电流和电磁转矩, 显然两个转矩大小相等、方向相反, 其合成总转矩为零, 故无起动转矩, 电动机不能起动。如果绕组一相断线, 对 Y 联结电动机仍为单相运行, 故也不能起动, 而 D 联结电动机却成为两相运行, 它产生旋转磁动势, 旋转磁动势有起动转矩, 故能起动。

如果运行中电源或绕组一相断线, 即使成单相运行, 电动机仍能按原方向旋转 (只是此时的电磁转矩仍大于负载转矩与习题答案部分矩), 因为这时两个旋转磁动势中必有一个与原来转向相同, 它对转子的转差率为 $s' = \frac{n_1 - n}{n_1} < 1$, 而另一个 $s'' = \frac{n_1 + n}{n_1} > 1$, 由于 $s'' > 1$, 因此由相反方向旋转的磁动势所产生的有功分量电流 $I_{21} = s' X_2$ 很小 (漏抗 $X_2 \cos \psi_2$ 所致), 这使它所产生的电磁转矩 $T_{em1} > T_{em2}$ 减小, 则 T_{em} 减小, 结果转子总转矩减小, 若它仍大于负载转矩, 则转子就沿原方向旋转。

上述各种情况, 对电机不利。若成单相运行, 无法起动, 呈堵转状态, 电流急剧增大而会烧坏绕组。若运行中缺相, 电机虽能继续旋转 (若此时电磁转矩仍大于负载转矩), 由于反向电磁转矩作用的结果, 使总转矩减小 (出力减小), 若负载转矩不变, 电机就处于过载状态, 绕组过热, 时间长同样会烧毁绕组。

- 7.3 答: 比较结果如下:

情况	三相	单相
(1) $s=0$	$T_{em}=0$	$T_{em}<0$
(2) $s=1$	$T_{em}>0$	$T_{em}=0$
(3) 最大转矩	T_{max3}	T_{max1}
(4) 相同转矩时	S_3	S_1
(5) $1<s<2$	$T_{em}>0$	$T_{em}<0$

- 7.6 答: 反应式微型同步电动机的反应转矩是依靠转子自身直轴和交轴两个方向磁阻不同而产生的。

一般异步电动机无反应转矩, 因为气隙是均匀的。

7.8 答: 由于硬磁材料中的磁分子之间具有很大的摩擦力, 思考题与习题答案部分因此磁分子在转动时不能立即随着旋转磁场方向转过同样的角度, 而始终落后于一个角度 δ 。这样, 滞转矩的作用, 使电动机转子朝着定子旋转磁场的方向转动起来。显然, 磁滞角的大小与定子旋转磁场相对于转子的速度无关, 它决定于转子所用的硬磁材料的性质。由所有磁分子产生的合成磁通 (转子磁通) 就要落后于定子旋转磁场一个 δ 角, 这个角称为磁滞角。它们之间相互作用将产生切向分力, 并引起磁滞转矩。由于磁因而当转子在低于同步速 n_1 运转时, 不管转子转速如何, 在定子旋转磁场的反复磁化下, 转子的磁滞角 δ 都是相同的, 因此, 所产生的磁滞转矩与转子转速无关。

7.9 答: 在正常运行时, 交流伺服电机的励磁绕组和控制绕组都通电, 通过改变控制电压 U_c 来控制电机的转速, 当 $U_c=0$ 时, 电机应停转。

而当转子电阻较小, 两相异步电动机运转起来后, 若控制思考题与习题答案部分制电压 $U_c=0$, 电动机便成为单相异步电动机继续运行, 并不停转, 这种现象称为“自转”现象。

增大转子电阻可以防止“自转”现象的发生。

7.11 解: 如图 7.1 所示:

由 $1500:3000=(50-U_1):(U_1-4)$ 可得: $n_{U1}U_1=0.50150030000$

$$U_1 = \left[\frac{3000 \times (50 - 4)}{1500} + 4 \right] V = 96V$$

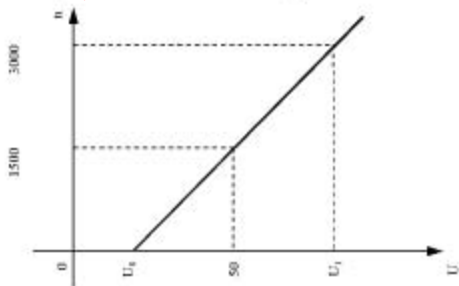


图 7.1 题 7.11 图

7.12 答: 当励磁绕组上外加励磁电压 U_f 后, 产生 I_f , 而 I_f 将建立磁通 Φ_d 。当转子转动时, 转子切割电动势 E_r , $E_r = C_r \Phi_d n$, 在 E_r 作用下, 产生短路电流 I_s , I_s 产生 F_r , F_r 可分解为 F_{rd} 和 F_{rq} , F_{rq} 产生 Φ_q , 交轴磁通与输出绕组交链感应出频率与励磁频率相同, 幅值与交轴磁通 Φ_q 成正比的感应电动势 E_2 。

因为: $\Phi_q \propto F_{rq} \propto F_r \propto E_r \propto n$, 所以, $E_2 \propto \Phi_q \propto n$, 即输出电压大小正比于测速发电机的转速, 而频率与转速无关, 为励磁电源的频率。

7.13 答: 由于加工、装配过程中存在机械上的不对称及定子磁性材料性能的不一致性, 使得测速发电机转速为零时, 实际输出电压并不为零, 此时的输出电压称为剩余电压。

减小剩余电压误差方法有:

- (1) 选择高质量各方向特性一致的磁性材料。
- (2) 在机加工和装配过程中提高机械精度。
- (3) 装配补偿绕组。
- (4) 对于使用者可通过电路补偿方法去除剩余电压的影响。

7.15 提示: 合成磁动势的性质为脉动磁动势。

7.22 答: 步进电机的动稳定区是指步进电机从一个稳定状态切换到另一个稳定状态而不失步的区域。