

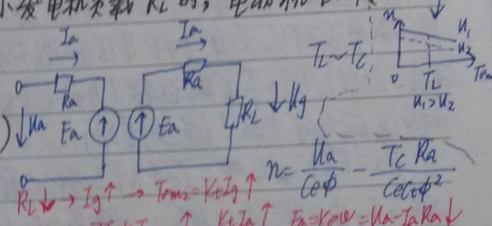
第1章 直流电动机及其控制  
 永磁材料最重要的三个参数是什么?  
 剩磁磁密 \$B\_r\$、矫顽磁场强度 \$H\_c\$、最大磁能积 \$(BH)\_{max}\$

$K_t \sim [N \cdot m/A]$   
 $K_e \sim [V/rad/s]$   
 $T_{em} = K_t I_a$   
 $E_a = K_e \omega$

2. 永磁体的工作点位于什么曲线上? 工作点的具体位置取决于什么?  
 位于磁滞回线上, 取决于剩磁和负载电流

3. 直流电动机的电磁转矩由什么决定? 其电枢电流由什么决定?  
 由  $T_{em} = C_t \Phi I_a$  可知, 电磁转矩由主磁通每极下的气隙总磁通和电枢电流决定  
 由  $T_c = T_{em} = T_o + T_L = K_t I_a$  可知, 电枢电流由负载总阻转矩决定

4. 如果用直流发电机的电枢绕组作为直流电动机的负载来测定电动机的特性, 我们发现, 当其他条件不变, 而只是减小发电机负载 \$R\_L\$ 时, 电动机的转速就下降, 这是什么原因?



$U_a = E_a + I_a R_a$   
 $E_a = E_g = U_g - I_a R_g = I_a (R_g + R_L)$   
 $E_a = K_e \omega$

5. 一台永磁式直流电动机, 其电枢绕组如果激磁电流和被拖动的负载转矩都不变, 而仅仅提高电枢端电压, 电枢电流、转速怎样变化?  
 电枢电流不变, 转速提高

$U_a = I_a R_a + E_a$   
 $T_{em} = T_o + T_L$   
 $T_{em} = K_t I_a$   
 $T_L, T_o$  不变  $\rightarrow T_{em}$  不变  $\rightarrow I_a$  不变  
 $U_a \uparrow \rightarrow E_a \uparrow \rightarrow \omega \uparrow$

6. 已知一台直流电动机, 其电枢额定电压 \$U\_a = 110V\$, 额定运行时的电枢电流 \$I\_a = 0.4A\$, 转速 \$n = 3600r/min\$, 电枢电阻 \$R\_a = 50\Omega\$, 空载阻转矩 \$T\_o = 0.015 N \cdot m\$, 该电动机额定负载转矩是多少?

解:  $T_L E_a = U_a - I_a R_a = 90V$   
 由  $E_a = K_e \omega$  得  $K_e = \frac{E_a}{\omega} = \frac{90}{120\pi \times 3600} = 0.24$   
 $K_t = K_e = 0.24$   
 $T_{em} = K_t I_a = 0.24 \times 0.4 = 0.096 N \cdot m$   
 $T_L = T_{em} - T_o = 0.096 - 0.015 = 0.081 N \cdot m$

Date: \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_

7. 用一对完全相同的直流发电机组成电动机-发电机组，它们的激磁电压均为110V，电枢电阻  $R_a = 75 \Omega$ 。已知当发电机不接负载，电动机电枢加110V电压时，电动机的电枢电流为0.2A，机组的转速为4500 r/min。

- (1) 发电机空载时的电枢电压为多少？
- (2) 电动机的电枢电压仍为110V，而发电机接上  $0.5k\Omega$  的负载时，机组的转速是多少？

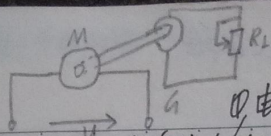
解：(1)  $U_{a1} - I_{a1} R_a = E_{a1}$   $n = 75 r/s$   
 $E_{a1} = K_e \omega = 101V$   $\omega = 2\pi n = 150\pi \text{ rad/s}$   
 $K_e = K_t = 0.214$   $T_{em} = T_t + 2T_f$  机组  
 $K_t I_{a1} = 2T_f$  空载时  $I_{a2} = 0$  发...电...同轴  
 $E_{a2} = E_{a1} = U_{a2} + I_{a2} (R_a + R_c) = U_{a2}$   $E_{a1}' = K_e \omega_1' = E_{a2}' = K_e \omega_2'$   
 $U_{a2} = 101V$   $E_{a2}' = U_{a2} + I_{a2}' (R_a + R_c)$   
 $T_{em1} = K_t I_{a1} = T_t + T_f$   $T_1 = T_f$   $T_{em} = 2T_f$   $T_f = 0.01287 N \cdot m$   
 $\omega_1' = \omega_2' = 417.4 \text{ rad/s}$   
 $n_1' = n_2' = 3988 \text{ r/min}$

8. 一台直流伺服电动机额定数据是：电枢电压24V，电枢电流2.5A，转速3000 r/min，激磁电压24V。如果电枢电压和激磁电压均为额定值，该电机是否允许在转速  $n = 2500 \text{ r/min}$  下长期运转？为什么？如果必须在2500 r/min下长期运行，电枢电压和电流应如何变动？(定性说明)

$U_a = E_a + I_a R_a = C_e \Phi n + I_a R_a$  转速由...降低至... 由  $E_a = C_e \Phi n$  可知电枢电压减小了。由于电...和...均为...，即  $U_a = E_a + I_a R_a = E_a' + I_a' R_a$ ，因为  $E_a > E_a'$ ，所以  $I_a < I_a'$ ，即电流增大了，超过了额定电流，长期在...  
 如必须...，电枢电压应减小，电枢电流也应减小到不超过额定电流。

9. 直流电动机的电枢电压和激磁电压同时改变极性，电机转向是否改变？  
 ...同时...，相当于电枢电流和磁通同时改变方向，定、转子之间的转矩方向不变，电机转向不变。  
 激磁电压或电枢电压改变一个 → 电机方向改变

9. 直流电动机在转轴卡死的情况下能否加电枢电压？如果加额定电压将会有什么后果？  
 不能。因为此时电动机处于堵转状态， $n=0$ ，此时加电枢电压，由于  $E_a = C_e \Phi n = 0$ ，所以  $U_a = I_a R_a + E_a = I_a R_a$ ， $I_a = \frac{U_a}{R_a} = I_s$ ，由于...  $R_a$  很小，此时电流会超过额定电流，时间长了将烧毁电机，因此...。加额定电压...  
 只有单相电机允许长期堵转。如3.3交流力矩电动机



工程上叫“失磁”即 $\phi=0$ ，转速趋于0

11. 对于图示电路，当直流电动机的励磁回路突然断路会发生什么现象？为什么？如何处理？  
 ① 电动机减速最后停车 ② 电枢电流上升到启动电流值，时间过长将烧毁电机。  
 ③ 发生飞车现象，产生过大的离心力，损坏电枢绕组和转动部件。

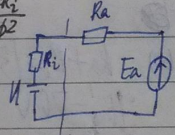
可能会发生两种情况。① 励磁绕组断路，主磁通迅速下降到剩磁通 $\phi_r$ ，电枢电流迅速上升，若 $T_{em} < T_L$ ，电动机将减速，...？  
 若 $T_{em} > T_L$ ，加速，... 应立刻切断电枢电压。先磁后电

12. 电枢式直流电动机启动与停车顺序如何？为什么？P35  
 启动时，先加励磁电压，再加电枢电压。若未先加励磁电压的情况下加电枢电压，由公式 $E_a = C_e \phi n$ ， $\phi = f(I_f, I_a)$ 可得此时 $\phi = 0$ ， $E_a = 0$ ，由 $U_a = I_a R_a + E_a$ 得 $I_a = \frac{U_a}{R_a} = I_s$ 即堵转电流，容易烧毁电机。

停车时，先切断电枢电压，再切断励磁电压。若...主磁通迅速下降到剩磁 $\phi_r$ ，电枢电流将迅速上升，可能会烧毁电机或飞车。

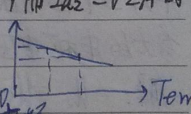
13. 试用电压平衡方程式解释直流电动机机械特性的下倾性。写驱动它的功率放大器内阻的大小与机械特性有什么关系？为什么？  
 由公式 $U_a = E_a + I_a R_a$ ， $E_a = C_e \phi n$ ， $T_{em} = C_t \phi I_a$ 可得 $n = \frac{U_a}{C_e \phi} - \frac{R_a}{C_e C_t \phi^2} T_{em}$

由于横坐标为 $T_{em}$ ，纵坐标为 $n$ ， $C_e$ 、 $C_t$ 、 $\phi$ 、 $R_a$ 均为正数，所以该直线的斜率小于0，因此从图上来看是向下的，具有下倾性。  
 考虑放大器内阻 $R_i$ ，则 $U_a = E_a + I_a (R_a + R_i)$ ，得 $n = \frac{U_a}{C_e \phi} - \frac{R_a + R_i}{C_e C_t \phi^2} T_{em}$



14. 直流伺服电动机空载时其调节特性有无死区？如果有死区，它的大小是什么原因有。电枢控制时的调节特性为 $n = \frac{U_a}{C_e \phi} - \frac{R_a T_{em}}{C_e C_t \phi^2}$ ，空载时 $T_{em} = T_0$ ， $T_0$ 造成的？  
 为空载阻转矩，由于空载时 $n = 0$ ，可得 $U_a = \frac{R_a T_0}{C_t \phi} = U_s > 0$ ， $U_s$ 为死区电压，所以空载时...有死区，大小是由空载阻转矩 $T_0$ 造成的

15. 已知直流伺服电动机 $U_a = 100V$ ， $I_{a1} = 0.05A$ 时 $n_1 = 4500 r/min$ ；而 $I_{a2} = 0.2A$ 时 $n_2 = 3000 r/min$ 。  
 (1) 绘制机械特性。  
 (2)  $J_a = 3.7 \times 10^{-6} kg \cdot m^2$ ，求空载时的机电时间常数。  
 (3) 当电枢电压变为110V时，机电时间常数是否变化？为什么？



解： $U_a = I_{a1} R_a + E_{a1} = I_{a2} R_a + E_{a2}$   
 $C_e \phi n_1$        $C_e \phi n_2$        $K_a = C_e \phi = 1.2 = K_t$        $n = \frac{100}{1.2} - \frac{200}{1.44} T_{em}$

电机转速为0时，仍然有电枢电流，即发生堵转  
 堵转时  $K_e = K_t$   
 $K_e = C_e \Phi$   
 $K_t = C_t I_a$   
 空载时,  $T_m = \frac{R_a I_a}{K_e K_t} = 5.14 \times 10^{-4} s = 0.514 ms$

(13) 变化,  $T_m = \frac{R_a I_a}{K_e K_t}$ ,  $R_a, K_e, K_t$  不变,  $I_a$  可能变, 所以...  
 第二次?  $T_m = \frac{R_a I_a}{K_e K_t}$  5倍天所以... 不变?  
 转动惯量  $J = \frac{1}{2} m r^2$  只取决于刚体的形状、质量分布和转轴的位置, 同刚体绕不同的轴转动时,  $J$  不同

16. 已知一台直流伺服电动机在  $U_a = 110V$  时, 空载电流  $I_{a1} = 0.055A$ , 空载转速  $n_{01} = 4000r/min$ ,  $R_a = 80\Omega$ . 理想空载? P31-33

(1) 电枢电压为  $70V$  时, 理想空载转速  $n_{02}$  是多大? 堵转时的电枢电流是多少?  
 (2) 驱动电机的功率放大器内阻  $R_i = 50\Omega$ , 当功放的开路电压为  $70V$  时理想空载转速和启动转矩是多少?

(3) 在上述两种情况下, 当折合到电动机上的总阻转矩  $T_e = T_0 + T_L$  由  $0.03 N \cdot m$  增大到  $0.04 N \cdot m$  时, 转速各为多少?  
 解: (1)  $U_{a1} - E_{a1} = I_{a1} R_a$   
 $E_{a1} = C_e \Phi n_{01}$   
 $T_{em1} = K_t I_{a1} = T_0 = 1.4 \times 0.055 = 0.077 N \cdot m$

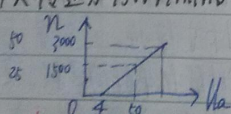
$T_0 = K_t I_{a2}$   
 $U_{a2} - E_{a2} = I_{a2} R_a$   
 $E_{a2} = C_e \Phi n_{02}$   
 $n_{02} = 2811 r/min$   
 堵转时,  $U_a = E_a + I_a R_a = K_e \omega + I_a R_a = I_a R_a$   
 $I_a = \frac{U_a}{R_a} = \frac{70}{80} A = 0.875 A$   
 $T_{em} = K_t I_a = 1.4 \times 0.875 N \cdot m = 1.225 N \cdot m$

(2)  $R_a + R_i = 130\Omega$   
 $U_{a2} = 70V$   
 $U_{a1} = E_{a1} = C_e \Phi n_{01} = 105.6$   
 $n_{02} = 3000 r/min$   
 $U_a = U_s = \frac{T_{em} R_a}{C_e \Phi} = \frac{T_s (K_a R_a)}{C_e \Phi} = 70$   
 $T_s = 0.38 N \cdot m$

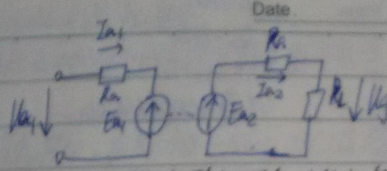
(3) (1) 情况下,  $T_{em} = 0.04 N \cdot m = K_t I_a$   
 $I_a = \frac{T_{em}}{K_t} = \frac{0.04}{1.4} = 0.0286 A$   
 $E_a = U_a - I_a R_a = K_e \omega$   
 $\omega = 48.37 rad/s$   
 (2) 情况下,  $T_{em} = 0.04 N \cdot m = K_t I_a$   
 $I_a = \frac{0.04}{1.4} = 0.0286 A$   
 $E_a = U_a - I_a (R_a + R_i) = K_e \omega$   
 $\omega = 47.35 rad/s$

17. 一台直流伺服电动机带动一恒转矩负载 (即转矩不变), 测得启动电压为  $4V$ , 当电枢电压  $U_a = 50V$  时, 其转速为  $1500 r/min$ . 若要转速达到  $3000 r/min$ , 要加多大的电枢电压?

解:  $U_a - U_s = K_e \omega_1$   
 $U_a - U_s = K_e \omega_2$   
 $U_a = 96V$   
 恒转矩负载  
 电枢电流  $I_a, I_a R_a$  不变  
 $I_a = \frac{U_s}{R_a}$   
 $U_s = I_a R_a = 4$   
 $U_1 = I_a R_a + K_e \omega_1$   
 $U_2 = I_a R_a + K_e \omega_2$



电动机-发电机组



18. 已知某永磁直流电机电枢电阻  $R_a = 50 \Omega$ ，作电动机运行时的空载转矩为  $T_{f0} = 0.025 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，相应的空载电流为  $I_0 = 0.1 \text{ A}$ ；现在将两台参数完全相同的该型电机组成电动机-发电机组，其中发电机作为电动机的机械负载，如图所示。

(1) 分别写出两台电机的电压平衡方程式和转矩平衡方程式。

(2) 当发电机负载电阻  $R_L = 300 \Omega$ ，电动机外加电压  $U_{a1} = 110 \text{ V}$  时，两台电机的电磁转矩各为多少？机组的角转速为多少？

解：(1)  $U_{a1} = I_{a1} R_a + E_{a1}$  电

发  $E_{a2} = I_{a2} (R_a + R_L)$  电

$T_{em1} = T_{f0} + T_1$  电  $T_{em1} = K_t I_{a1}$

发  $T_1 = T_{em2} + T_{f0}$  电  $T_{em2} = K_t I_{a2}$

电动机  $\begin{cases} U_{a1} = I_{a1} R_a + E_{a1} \\ T_{em1} = T_{em2} + 2T_{f0} \end{cases}$

发电机  $\begin{cases} E_{a2} = I_{a2} (R_a + R_L) \\ T_{em2} = K_t I_{a2} \end{cases}$

电动机  $\begin{cases} U_{a1} = I_{a1} R_a + E_{a1} \\ E_{a1} = I_{a1} (R_a + R_L) \\ T_{em1} = 2T_{f0} + T_{em2} \\ K_t I_{a1} = 2T_{f0} + K_t I_{a2} \end{cases}$

发电机  $\begin{cases} E_{a2} = I_{a2} (R_a + R_L) \\ E_{a2} = K_e \omega \end{cases}$

(2)  $U_{a1} = 50 I_{a1} + E_{a1} = 110$

$E_{a1} = K_e \omega$   $\omega_1 = \omega_2$

$E_{a2} = K_e \omega_2 = I_{a2} \times 350$

$T_{em1} = T_{f0} + T_1 = K_t I_{a1}$

$T_{em2} = T_1 - T_{f0} = K_t I_{a2}$

联立解得  $I_{a1} = 0.45 \text{ A}$ ,  $I_{a2} = 0.25 \text{ A}$

$T_{em1} = K_t I_{a1} = 0.1125 \text{ N}\cdot\text{m}$

$T_{em2} = K_t I_{a2} = 0.0625 \text{ N}\cdot\text{m}$

$\omega_1 = \omega_2 = 350 \text{ rad/s}$   $n = \frac{\omega}{2\pi} \times 60 = 3342 \text{ r/min}$

19. 一台直流伺服电动机，额定电压  $U_n = 24 \text{ V}$ ，额定电流  $I_n = 0.5 \text{ A}$ ，电磁转矩的额定值  $T_{em} = 0.015 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，空载摩擦转矩  $T_f = 0.003 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，额定转速  $\omega_n = 300 \text{ rad/s}$ 。

求：(1) 电枢电压  $U_a = 18 \text{ V}$  时，起动时的输出转矩是多少？空载转速是多少？

(2) 要求电磁转矩  $T_e = 0.02 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，转速为  $250 \text{ rad/s}$ ，电枢电压是多少？电机此时输出的机械转矩是多少？

解：(1) 起动电流  $I_{a0} = \frac{U_a}{R_a} = 0.4 \text{ A}$   $T_{em0} = K_t I_{a0} = 0.018 \text{ N}\cdot\text{m}$

$U_n - I_n R_a = E_a$   $T_{em} - T_f = T_2$   $T_2 = T_{em0} - T_f = 0.015 \text{ N}\cdot\text{m}$

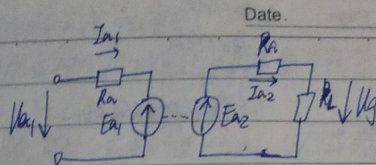
$T_{em} = K_t I_n$   $K_t = K_e = 0.03 \text{ N}\cdot\text{m/A}$  空载时

$E_a = K_e \omega_n = 9 \text{ V}$   $T_{em} = T_f = 0.003 \text{ N}\cdot\text{m}$

$R_a = 30 \Omega$   $T_{em} = K_e I_0$   $I_0 = 0.1 \text{ A}$

$n_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 500 \text{ r/min}$   $\omega_0 = \frac{15}{0.03} = 500 \text{ rad/s}$

电动机-发电机组



18. 已知某永磁直流电机电枢电阻  $R_a = 50 \Omega$ ，作电动机运行时的空载转矩为  $T_{f0} = 0.025 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，相应的空载电流为  $I_0 = 0.1 \text{ A}$ ；现在将两台参数完全相同的该型电机组成电动机-发电机组，其中发电机作为电动机的机械负载，如图所示。

(1) 分别写出两台电机的电压平衡方程和转矩平衡方程式。

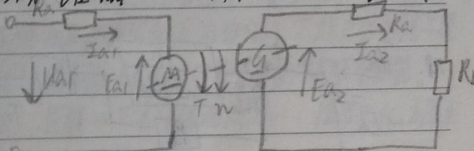
(2) 当发电机负载电阻  $R_L = 300 \Omega$ ，电动机外加电压  $U_{a1} = 110 \text{ V}$  时，两台电机的电磁转矩各为多少？机组的共同转速为多少？

解：(1)  $U_{a1} = I_{a1} R_a + E_{a1}$ ，电

发  $E_{a2} = I_{a2} (R_a + R_L)$   $E_{a1} = E_{a2}$

发  $T_{e1} = T_{f0} + T_1$  补电  $T_{e1} = K_t I_{a1}$

发  $T_1 = T_{e2} + T_{f0}$   $T_{e2} = K_t I_{a2}$



(2)  $U_{a1} = 50 I_{a1} + E_{a1} = 110$

$E_{a1} = K_e \omega_1$   $\omega_1 = \omega_2$

$E_{a2} = K_e \omega_2 = I_{a2} (50 + 300)$

$T_{e1} = T_{f0} + T_1 = K_t I_{a1}$

$T_{e2} = T_2 - T_{f0} = K_t I_{a2}$

$T_{f0} = K_t I_0$

$K_t = 0.25$

$K_e = K_t = 0.25$

联立解得  $I_{a1} = 0.45 \text{ A}$ ,  $I_{a2} = 0.25 \text{ A}$

$T_{e1} = K_t I_{a1} = 0.1125 \text{ N}\cdot\text{m}$

$T_{e2} = K_t I_{a2} = 0.0625 \text{ N}\cdot\text{m}$

$\omega_1 = \omega_2 = 350 \text{ rad/s}$

$n = \frac{\omega}{2\pi} \times 60 = 3342 \text{ r/min}$

19. 一台直流伺服电动机，额定电压  $U_n = 24 \text{ V}$ ，额定电流  $I_n = 0.5 \text{ A}$ ，电磁转矩的额定值  $T_{em} = 0.015 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，空载摩擦转矩  $T_f = 0.003 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，额定转速  $\omega_n = 300 \text{ rad/s}$ 。

求：(1) 电枢电压  $U_a = 18 \text{ V}$  时，起动时的输出转矩是多少？空载转速是多少？

(2) 要求电磁转矩  $T_e = 0.02 \text{ N}\cdot\text{m}$ ，转速为  $250 \text{ rad/s}$ ，电枢电压是多少？电机此时输出的机械转矩是多少？

解：(1) 起动电流  $I_{a0} = \frac{U_a}{R_a} = 0.6 \text{ A}$   $T_{e0} = K_t I_{a0} = 0.018 \text{ N}\cdot\text{m}$

$U_n - I_n R_a = E_a$   $T_{em} - T_f = T_2 = T_{e0} - T_f = 0.015 \text{ N}\cdot\text{m}$

$T_{em} = K_t I_n$   $K_t = K_e = 0.03 \text{ N}\cdot\text{m/A}$  空载时

$E_a = K_e \omega_n = 9 \text{ V}$   $T_{em} = T_f = 0.003 \text{ N}\cdot\text{m}$

$R_a = 30 \Omega$   $T_{em} = K_t I_0$   $I_0 = 0.1 \text{ A}$   $\omega_0 = \frac{15}{0.03} = 500 \text{ rad/s}$

保留整数？

$\frac{30000}{6.28} = 4777 \text{ r/min}$

$n_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{15}{6.28 \times 0.03} = 79.6 \text{ r/min}$

$U_a - I_0 R_a = E_{a0} = K_e \omega_0$

$\omega_0 = \frac{15}{0.03} = 500 \text{ rad/s}$

直流电动机  
静态:  $U_a = E_a + I_a R_a$

Date  $E_a = K_e \omega$  Page.

$T_e = K_t I_a$

$T_e = T_0 + T_2$

启动电流:  $I_s = \frac{U_a}{R_a}$

直流发电机

静态:  $E_a = K_e \omega$   $U_a = I_a R_a$  空载时  $I_a = 0$

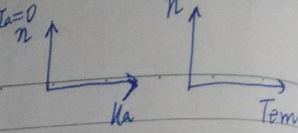
$T_e = K_t I_a$

$T_f = T_0 + T_2$

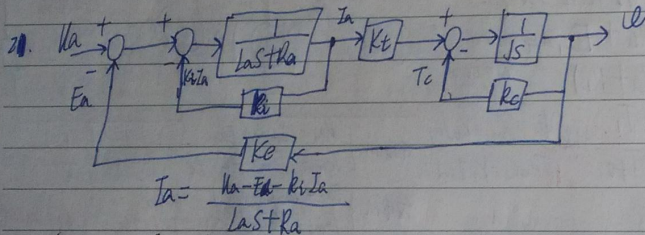
$T_1$  为原动机输入的转矩...

调节特性:

机械特性:



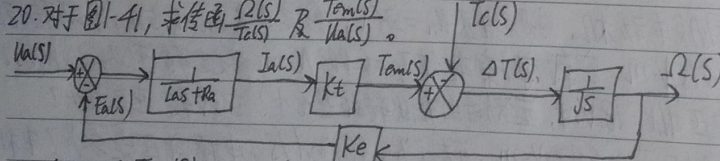
(2)  $\omega = 250 \text{ rad/s}$   $E_a = K_e \omega = 7.5 \text{ V}$   
 $T_e = K_t I_a = I_a = \frac{7.5}{2} \text{ A} = 0.667 \text{ A}$   
 $U_a = E_a + I_a R_a = 7.5 + 20 = 27.5 \text{ V}$   
 $T_2 = T_e - T_f = 0.02 - 0.003 = 0.017 \text{ N}\cdot\text{m}$



20. 直流电动机系统中滞阻系数为  $K_0$ , 电流反馈系数为  $K_i$ ,  $R I_a(s) = \frac{[U_a(s) - E_a(s) - K_i I_a(s)]}{(L_a s + R_a)}$   
 绘出动态框图并求传递  $\frac{\Omega(s)}{U_a(s)}$ .

P48 新

20. 对于图1-41, 求传递  $\frac{\Omega(s)}{U_a(s)}$  及  $\frac{T_e(s)}{U_a(s)}$ .



令  $T_0 = 0$  求  $\frac{T_e(s)}{U_a(s)} = \frac{K_t I_a(s)}{E_a(s) + I_a(s)(K_e + R_a)}$

? 令  $U_a(s) = 0$  求  $\frac{\Omega(s)}{T_0(s)} = \frac{-R_a + L_a s}{L_a s (R_a + L_a s) - K_t E_a(s)}$

第二章 变压器  $R_m =$

P77

由  $U_1 = 4.44 f W_1 \Phi_m$  出发

Date: Page:

1. 想用一台废变压器的铁心绕制一台 220V/110V、50Hz 的小型变压器，试问能否原边用二匝，副边用一匝？

不能。匝数太小，由  $U_1 = 4.44 f W_1 \Phi_m$  可知，在  $U_1, f$  一定时， $W_1$  减小会使  $\Phi_m$  增大。本题中  $W_1$  为二匝，过小，将使  $\Phi_m$  过大， $\Phi_m$  增大到一定程度会使铁心磁饱和，此时不大的磁通增量  $\Delta \Phi$  就可以让激磁电流成倍地增长，烧毁变压器。

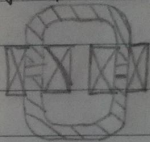
2. 有一台变比  $k=2$  的变压器，原边额定电压为 110V，额定频率为 50Hz，问能否接到下面的电源上？

- a. 直流 110V    b. 交流 220V,  $f=50\text{Hz}$     c. 交流 220V,  $f=100\text{Hz}$ , 请说明原因。

a. 不能，在原边的两端加恒定的直流电压，产生的是直流电流，不能产生交流磁通，没有感应电势产生，且原边电阻  $R$  较小，易造成原边短路，电流剧增，烧坏变压器。

b. 不能，由  $U_1 = 4.44 f W_1 \Phi_m$  可知，在频率  $f$ 、匝数  $W$  不变的情况下，加... 相当于  $\Phi_m$  为原来的两倍，产生磁饱和，导致激磁电流剧增，烧坏变压器。

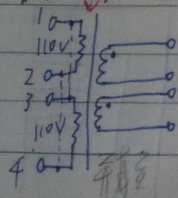
3. 用冷轧硅钢片制作变压器的环形铁心时，若没有将两个半环压紧，中间留了一个气隙，如图所示，这个气隙对激磁电流有什么影响？



使... 增大。由  $U_1 = \frac{2\pi}{R_m} f W_1^2 I_0$  可知，铁心中间留有气隙，会使磁路磁阻  $R_m$  增大，在  $U_1, f, W_1$  均不变的情况下， $R_m$  增大会使激磁电流  $I_0$  增大。

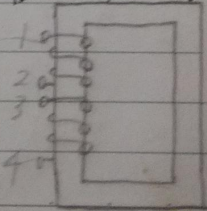
并联，同名端与... 连接    1, 3, 2, 4 连接  
异... 异...    供电!

4. 常用的变压器中原边常常有两个额定电压为 110V 的绕组。若电源电压为 220V 时，这两个绕组应串联，而电源电压为 110V 时应并联。这两个绕组串并联时，1, 2, 3, 4 这四个头应如何联接？接错了会发生什么问题？

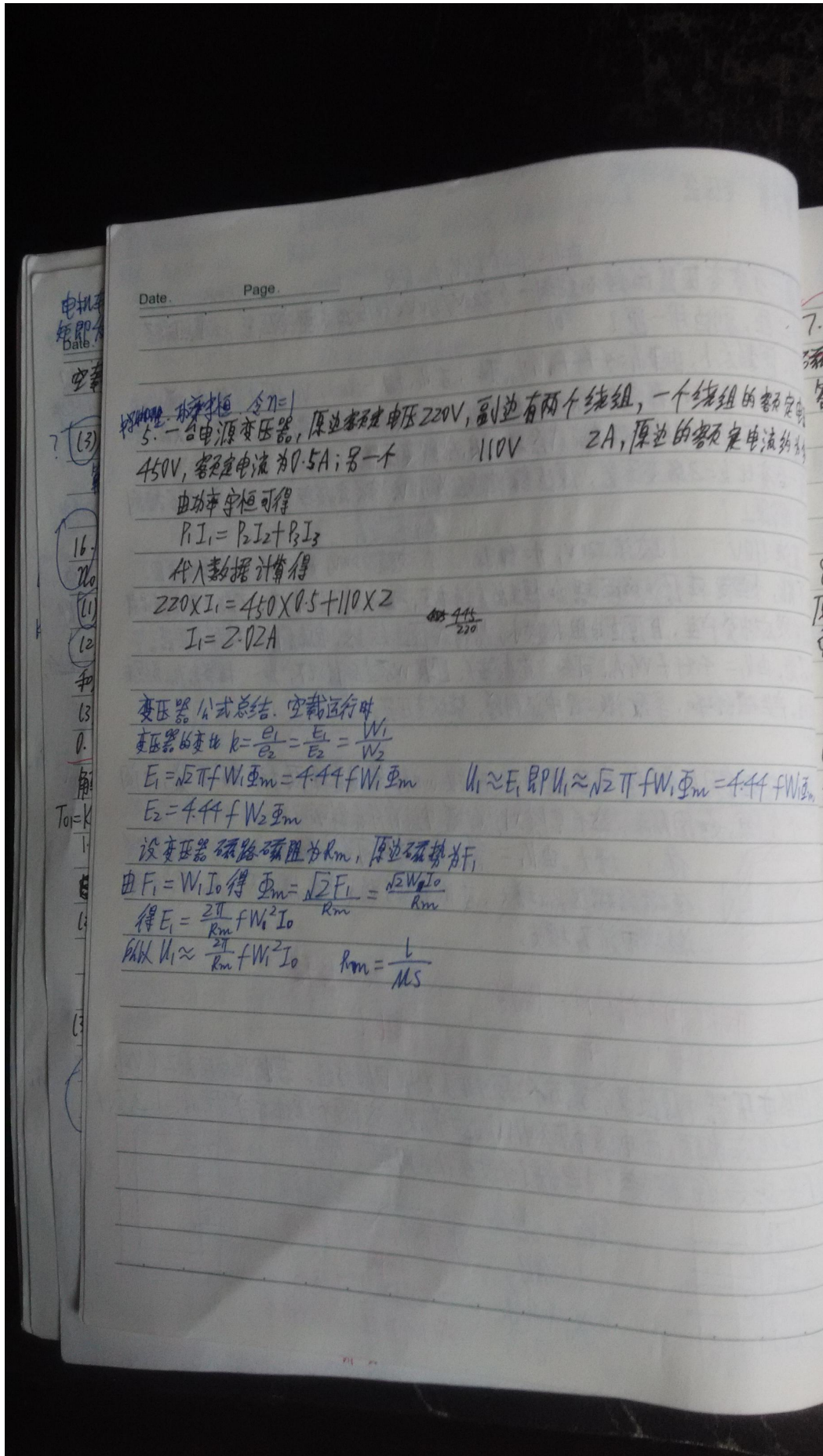


串联 2, 3 或  
1, 4 供电  
或 1, 4 供电  
2, 3

串联，同名端与同名端  
相反  
2, 3 串联，1, 4 供电  
或 1, 4 串联，2, 3 供电







Date \_\_\_\_\_ Page \_\_\_\_\_

5. 一台电源变压器，原边额定电压 220V，副边有两个绕组，一个绕组的额定电压为 450V，额定电流为 0.5A；另一个 110V 2A，原边的额定电流约为

由功率守恒可得

$$P_1 I_1 = P_2 I_2 + P_3 I_3$$

代入数据计算得

$$220 \times I_1 = 450 \times 0.5 + 110 \times 2$$

$$I_1 = 2.02A$$

$$\frac{445}{220}$$

变压器公式总结：空载运行时

$$\text{变压器的变比 } k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

$$E_1 = \sqrt{2} \pi f W_1 \Phi_m = 4.44 f W_1 \Phi_m \quad U_1 \approx E_1 \text{ 即 } U_1 \approx \sqrt{2} \pi f W_1 \Phi_m = 4.44 f W_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4.44 f W_2 \Phi_m$$

设变压器磁路磁阻为  $R_m$ ，原边磁势为  $F_1$

$$\text{由 } F_1 = W_1 I_0 \text{ 得 } \Phi_m = \frac{\sqrt{2} F_1}{R_m} = \frac{\sqrt{2} W_1 I_0}{R_m}$$

$$\text{得 } E_1 = \frac{2\pi f W_1^2 I_0}{R_m}$$

$$\text{故 } U_1 \approx \frac{2\pi f W_1^2 I_0}{R_m} \quad R_m = \frac{L}{\mu S}$$

$$U_1 \approx 4.44 f W_1 \Phi_m = \sqrt{2} \pi f W_1 \Phi_m = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f W_1^2 I_0$$

7. 变压器铁心片间的气隙大小(即铁心松紧程度)对主磁通  $\Phi_m$  和空载激磁电流  $I_0$  有什么影响?

答: 由  $U_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f W_1^2 I_0$  可知在  $U_1, f, W_1$  一定时,

铁心松, 气隙大,  $R_m$  大,  $I_0$  大

铁心紧, 气隙小,  $R_m$  小,  $I_0$  小

$\Phi = \Phi_m + \Phi_g$   $\rightarrow$  损耗大/线纹

$I_0$  大,  $\Phi_g$  增大,  $\Phi_m$  减小

8. 某单相变压器, 原边电压为额定电压 220V 时, 空载激磁电流为 0.2A。忽略原边漏阻抗, 并假设磁路不饱和, 是线性的。试分析下述情况下主磁通  $\Phi_m$  和空载激磁电流  $I_0$  如何变化。

(1) 将原边电压降到 110V;  $U_1' = 0.5 U_1$

(2) 将原边匝数减少 10%;  $W_1' = 0.9 W_1$

(3) 将铁心截面积减少 10%  $S' = 0.9 S$

解: (1)  
(2)

$$U_1 = 4.44 f W_1 \Phi_m$$

$$U_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f W_1^2 I_0$$

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad S' = 0.9 S \quad R_m' = \frac{10}{9} R_m$$

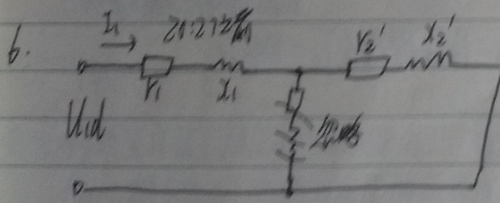
$$\Phi_m = \frac{U_1}{R_m} = \frac{\sqrt{2} U_1 I_0}{R_m}$$

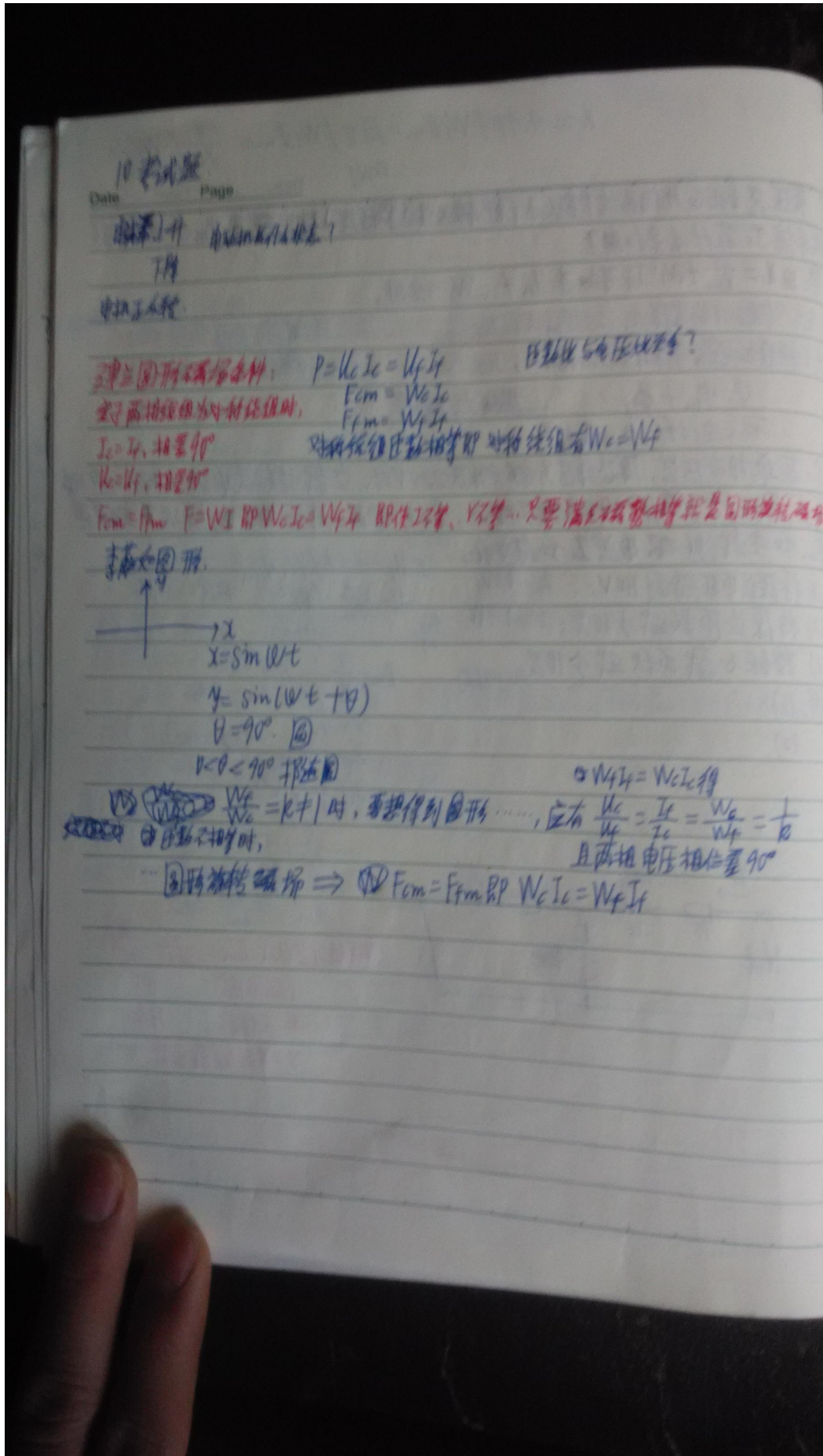
$$U_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f W_1^2 I_0$$

$$I_0' = \frac{10}{9} I_0$$

$$\Phi_m' = \frac{\sqrt{2} W_1 I_0'}{R_m'} = \Phi_m$$

磁阻计算公式  $R_m = \frac{l}{\mu S} \text{ H}^{-1}$   
 $l$  磁路长度  $\text{m}$   
 $\mu$  磁导率  $\text{H/m}$   
 $S$  磁路截面积  $\text{m}^2$





第3章 异步电动机及其控制 P135

Date Page

1. 单相绕组通入直流电, 单相绕组通入交流电, 及两相绕组通入两相交流电各形成什么磁场, 它们的空气隙磁通密度在空间怎样分布, 在时间上又怎么变化?  
单相绕组通入直流电, 形成恒定磁场, 在空间上均匀分布, 在时间上, 没有变化

单相绕组通入交流电, 形成脉振磁场, 空间上呈正弦分布, 幅值随时间作正弦变化

两相绕组通入两相交流电形成圆形旋转磁场, 对称, 电流幅值相等, 相位相差90°

2. 何为对称状态? 何为非对称状态? 交流伺服电动机在通常运行时是怎样的磁场, 两相绕组通上相位相同的交流电流能否形成旋转磁场?

当异步电动机在圆形旋转磁场作用下运行时, 称电机处于对称状态

对称: 绕组对称, 电流对称, 幅值相等, 相差90°  
非对称: 不满足上述任一即为非对称状态  
即两相绕组对称, 两相电流为两相对称电流, 即电流幅值相等, 相位相差90°

一般是脉振磁场, 不能, 相位相同 → 脉振磁场

3. 当两相绕组匝数相等和不相等时, 加在两相绕组上的电压及电流应符合怎样条件才能产生圆形旋转磁场?

匝数相等时, 两相绕组上的电压和电流应有90°相位差。

不相等时,  $\frac{U_c}{U_f} = \frac{W_c}{W_f} = \frac{I_f}{I_c}$ , 且两相电压相位差90°

4. 如何改变交流伺服电动机转向?

使一相绕组上电流或电压相位改变180°

或结构上把激磁绕组与控制绕组对调

5. 什么叫同步转速, 如何决定? 假如电源频率为50Hz, 电机极数为6, 那么电机同步转速

旋转磁场的转速  $n_s = \frac{f}{p} \times 60 = \frac{60f}{p} \text{ r/min}$  常称为同步转速

由电源频率f和电机绕组极对数P决定

根据公式计算可得  $n_s = \frac{f}{p} = \dots$

Date: \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_  
求电机极对数P

6. 如果有一自两相同步电机，技术数据上标明空载转速是1200 r/min，电源频率为50 Hz，这是几极电机？空载转差率是多少？  
2.1 ~ 2.9  
取2  
不用千分号  
就取整数

解：由  $n_0 = \frac{60f}{P} (r/min) = 1200 r/min$  可得  $P = \frac{60f}{n_0} = \frac{60 \times 50}{1200} = 2.5$   
由题意取  $P=2$ ，得  $n_s = \frac{60f}{P} = \frac{60 \times 50}{2} r/min = 1500 r/min$   
空载转差率为  $s = \frac{n_s - n_0}{n_s} = \frac{1500 - 1200}{1500} = 0.2$

7. 当电机的轴被卡住不动，定子绕组仍加额定电压，为什么转子电流会很大？  
同步电动机从起动到运转时，转子绕组的频率、电势及阻抗会有什么变化？  
什么会有这些变化？  
→ 同步电机 都会很大  
→ 决... 都会很大

转子不动时，电机处于堵转状态，电流为堵转电流  
由  $I_2 = \frac{E_2}{(r_2 + \frac{1-s}{s}r_2) + jx_2}$  可得  $s=1$  时  $I_2 = \frac{E_2}{r_2 + jx_2}$ ，此时转子电路阻抗最小，因此电流很大  
从起动到运行，转差率  $s$  从1变到0，由  $f_2 = sf_1$ 、 $E_{2s} = sE_2$ 、 $X_{2s} = sX_2$  可得  $f_2$ 、 $E_{2s}$ 、 $X_{2s}$  都将逐渐减小到0

$s = \frac{n_s - n}{n_s}$   
刚启动时， $n=0$ ， $s=1$   
稳定运行时  $n=n_s$ ， $s=0$

8. 当有效信号系数  $k_e$  从0~1变化时，电机磁场的相角圆度怎样变化？  
被分解成的正反向旋转磁场的大小怎样变化？  
 $k_e$  与  $\alpha$  成正比

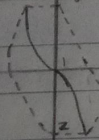
当忽略定子绕组阻抗压降时，有效信号系数  $k_e$  等于相角圆度  $\alpha$ ，  
...  $k_e$  从0~1... 时，... 相角圆度  $\alpha$  与  $k_e$  成正比，比值为1

即相角圆度  $\alpha$  变大  
由  $B_+ = \frac{1+\alpha}{2} B_m$ 、 $B_- = \frac{1-\alpha}{2} B_m$  可得  $k_e$  从0~1变化， $B_+$  增大， $B_-$  减小  
即正转磁场增大，反转磁场减小

9. 什么是自转现象？为了消除自转，交流伺服电动机单相供电时应具有怎样的机械特性？

对于两相伺服电动机，如果空载运行时，一相信号突然消失，转子仍旋转不止，这就是自转现象。

1106-107 P106图2-30(c)



应具有如图所述的机械特性。即...时，机械特性应分布在 $n=0$ 和 $T=0$ 的象限(不在I象限)，且满足 $s=1$ ， $n=0$ 和 $T=0$ 的交点。在 $0 < s < 1$  即电机正转时，总电磁转矩为正值，即电磁转矩与转速相反，为制动转矩，阻止电机转动。

同理，在 $1 < s < 2$  范围内即电机反转时，总电磁转矩为正值，仍与转速相反，为制动转矩，电机停止转动，从而消除了自转现象。

10. 两相伺服电动机的转子电阻为什么都选得比较大？如果转子电阻选得过大又会产生什么不利影响？

为了消除自转。转子电阻过大，功率损耗会增大，降低两相伺服电动机的效率。  
电机发热，堵转转矩减小

$U_1$ 一定时，看

$$U_1 = 4.44 f_1 W_1 k_w \Phi_m$$

P122

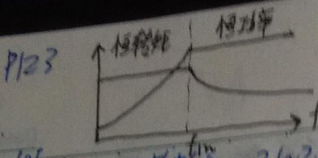
11. 三相异步电动机从基频向下变频调速时，电机定子端电压应如何变化？为什么  
电机定子端电压应降低。因为忽略定子漏阻抗压降，电机定子端电压 $U_1 = 4.44 f_1 W_1 k_w \Phi_m$ 。降低频率 $f_1$ ，则主磁通 $\Phi_m$ 要增大，使主磁路过饱和，励磁电流猛增，从而使电机带负载能力下降，功率因数变坏，铁耗增加电机过热，这是不允许的。

因此从基频往下调节时，一定要降低定子端电压 $U_1$ ，以保持或近似保持气隙磁通不变。

12. 三相异步电动机转子从定子中取出后，给定子绕组短时加额定电压，定子电流如何变化？为什么？

由 $U_1 \approx E_1 = 4.44 f_1 W_1 \Phi_m = 4.44 f_1 W_1^2 \frac{I_0}{R_m}$  得...  $R_m$  增加很多，导致 $I_0$  增加很多，使 $I_0$  大大超过额定值。

第3章解答器总结



Date:   
 $n = \frac{60f}{p}$   $p = \frac{60f}{n}$   $f$  取整数倍, 2, 3, 4 均取 2, 不适用于倍 5

同步转速  $n_s = \frac{60f}{p} =$  (r/min)

转差率  $s = \frac{n_s - n}{n_s}$

恒功率调速. 功率不变的调速方式, 即从基频向上调速的方式

由  $P = T\omega$  和  $\omega = 2\pi f$  可知转速增大, 转矩减小

恒转矩调速. 转矩不变的调速方式, 即从基频向下调速的方式

由  $\omega = 2\pi f$ ,  $P = T\omega$  可知转速减小, 转矩不变

一台三相异步电动机, 其额定转速  $n_N = 1470$  r/min, 电源频率为 50 Hz, 若在额定负载下运行,

- 试求: (1) 定子旋转磁场对定子的转速  $n_s - 0$   
 (2) 定子旋转磁场对转子的转速  $n_s - n$   
 (3) 转子旋转磁场对定子的转速  $n_s - 0$   
 (4) 转子旋转磁场对转子的转速  $n_s - n$   
 (5) 转子旋转磁场对定子的 ~~转速~~ 旋转磁场的转速  $n_s - n_s$

由  $n_N = \frac{60f}{p}$  得  $p = \frac{60f}{n_N} = \frac{60 \times 50}{1470} = 2.04$  取  $p = 2$

同步转速  $n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} = 1500$  r/min

- (1)  $n_s = 1500$  r/min  
 (2)  $n_s - n_N = 30$  r/min  
 (3)  $n_s = 1500$  r/min  
 (4)  $n_s - n_N = 30$  r/min  
 (5)  $n_s - n_s = 0$

$s = \frac{n_s - n}{n_s}$

$n$ . 转子转速      定子转速 = 0  
 $n_s$ . 旋转磁场转速 = 定子旋转磁场转速  
 = 转子旋转磁场转速

P147  
第4章 小功率同步电动机

P147 4.5 习题

Date. Page.

1. 图4-4 (P140)所示电机中,为什么异步运行时鼠笼绕组产生转矩,永磁体不产生转矩,而同步运行时永磁体产生转矩,鼠笼绕组不产生转矩?

异步运行时,鼠笼转子转速  $n < n_s$ , 产生转矩; 永磁体在  $(n_s - n)$  值较大时, 起动过程中, 转子所受转矩时正时负, 平均转矩为零, 因此永磁体不产生转矩。

同步运行时,  $n_s = n$ , 鼠笼转子与磁极相对静止, 无转矩。对于永磁体,  $T = K \sin \theta$ ,  $0 < \theta < 90^\circ$  得  $T > 0$ 。

2. 同步电动机转子上的鼠笼绕组起什么作用?

电机起动及  $n_s - n$  较大时, 鼠笼转子产生电磁转矩带动转子加速前进, 使  $n \rightarrow n_s$ 。

3. 图4-6 (P141)中, 转子的直轴和横轴分别与旋转磁极轴线重合时, 磁阻转矩各是多少?

由  $T = K(R_{m\alpha} - R_{m\beta}) \sin 2\theta$  可知... 均为 0

$\theta = 0^\circ$  或  $\theta = 90^\circ$  时

6. 磁滞电动机最大的优点是什么?

可以多点同步, 即同一个转子可在不同极对数的旋转磁场中运转。

7. 电磁调速同步电动机的定、转子齿数应符合怎样的关系?

$$Z_r = Z_s + 2P \text{ 即 } \frac{Z_r}{2P} - \frac{Z_s}{2P} = 1$$



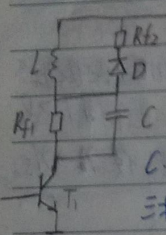
解答系统

Date: \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_

电路元件作用

先进电机驱动电路

功放电路、单(一)电压型功放电路



续流回路, 为下截止时绕组电流提供一个释放回路, 从而保护  $T_1$ , 防止三极管被击穿

$R_{f2}$ : 保护二极管, 使其安全工作, 减少续流回路时间常数。

D: 续流

$R_{f1}D$ : 吸收电路, 吸收电感 L 产生的反电势,

C: 加速电容, 利用电容两端电压不能突变的性质, 在下管导通的瞬间 C 使电阻  $R_{f1}$  短路 (能输出较大电流, 也能承受较大电压)。

三极管  $T_1$ : 功率三极管 (能输出较大电流, 也能承受较大电压)。  
在这相当于开关, 起电子开关作用

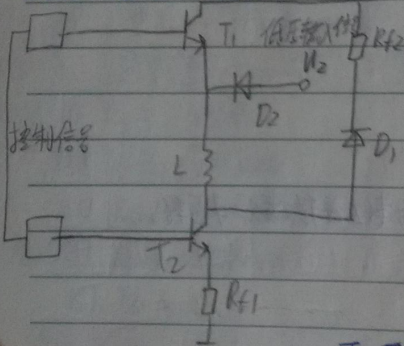
电源电压全部加在控制绕组上, 使绕组电流上升速度加快

$R_{f1}$ : 减小先进电机时间常数;

L: 阻交流子绕组

$R_{f1}L$ : 改变绕组时间常数

高低压切换型功放电路



高压输入信号

低压输入信号

$U_1$

$U_2$

$D_2$ : 隔离二极管

$R_{f1}D_1$ : 吸收电路

续流回路

L: 绕组

$R_{f1}$ : 电感串联反馈, 减小时间常数

$T_1, T_2$ : 同时控制两相电机电流, 电子开关作用

$T_2$ : 控制  $U_1, U_2$  是否有电流通过 L

H桥功放电路 / 多相桥功放电路

三极管: 控制电流, 起电子开关作用

二极管: 组成桥式整流回路

### 第5章 步进电动机及其控制 P188

Date: Page:

1. 步进电动机的主要优点、缺点是什么? P149 讲义中.

- 优点: (1) 能直接实现数字控制 脉冲电源, 与数字设备直接相连 缺点: (1) 运动增量或步距角是固定的, 在步进分辨率方面缺乏灵活性
- (2) 控制性能好
- (3) 无电刷和换向器, 减小摩擦, 减小故障 (2) 采用普通驱动器时效率低
- (4) 抗干扰能力强 (3) 在单步响应中有较大的超调量和振荡
- (5) 无累积定位误差 (4) 承受惯性负载的能力较差
- (6) 具有自锁能力 (磁阻式) 和保持转矩 (永磁式), (5) 开环控制时摩擦负载增加了定位误差
- (7) 机械结构简单、坚固耐用 (6) 输出功率较小 (7) 转速不够平稳

(8) 运行时有时会发生振荡现象 ① 定位分辨率差 ② 驱动电路复杂

(9) 目前主要用于开环系统中, 闭环控制时所用元件及线路较复杂

(10) 不能把普通步进... 直接接到普通的交直流电源上运行, 必须配备驱动器, 而驱动成本较高, 驱动电源复杂

2. 如何控制步进电动机的位移和转速? 用脉冲信号进行控制, 由脉冲的个数和频率决定步进电动机的位移和速度, 改变脉冲输入的情况就可以方便地使步进... 快速启动、反转、制动或改变

4. 什么叫拍、单拍制和双拍制? 步进电动机技术数据中给出的步距角有时有两个数, 如步距角为  $1.5^\circ/3^\circ$ , 这是什么意思? 转速。

拍: 步进电动机各绕组通电的不同状态数, 即通、断电的一个周期内, 绕组通电状态改变的次数, 记为  $N$ 。  $n = \frac{60F}{Z_r N}$ , 改变频率可以调速

单拍制: 拍数等于相数的分配方式。  $1.5^\circ$  是双拍运行时的步距角,  $3^\circ$  是单拍运行时的步距角,  $N$ 。

双... 拍数等于相数两倍的分配方式。  $1.5^\circ$  是双拍运行时的步距角,  $3^\circ$  是单拍运行时的步距角,  $N$ 。

步距角  $\theta_b = \frac{360}{Z_r N}$ ,  $N = km$  为拍数,  $m$  为相数, 对于单拍制,  $k=1$ , 对于双拍制,  $k=2$ , 由此

5. 什么叫步距角? 它有几种表示法? 其关系如何? 可知采用双拍制时步距角是采用单拍制的一半。

转子每一拍或每一步所转过的角度, 记为  $\theta_b$ , 即步进电动机每改变一次通电状态, 转子转过的一相应的角位移。

有机械角度和电角度两种表示法。机械角度  $\theta_b = \frac{360}{Z_r N}$ , 电角度  $\theta_{be} = \frac{360}{N}$ , 所以电角度表示的步距角  $\theta_{be}$  等于机械角度表示的步距角  $\theta_b$  乘以转子齿数  $Z_r$  即  $\theta_{be} = \theta_b Z_r$

Date. P151 ~ P152 page.

3. 磁阻式步进电动机的结构特点和基本工作原理是什么? P151-156

结构特点.

工作原理. 磁阻式步进电动机各相控制绕组按顺序通电, 转子就会在磁阻式电磁转矩作用下, 随步进式旋转磁场的做步进式转动

6. 什么叫做矩角特性? P162

步进电动机静转矩与失调角的关系, 略去气隙比磁导中的高次谐波, 可得步进电动机

静转矩与失调角的关系式为  $T = -\frac{2}{\pi} Z_r I_m^2 \mu_r \sin \theta_e (N \cdot m)$

何谓静稳定区、动稳定区及欠含量角?

画通电时序图.

8. 何谓最大静转矩、起动转矩? 它们与相数、运行方式有什么关系?

步进电动机矩角特性中静转矩的最大值称为最大静转矩。

步进电动机作单步运动时的最大允许负载就是起动转矩  $T_{st}$ 。

$$T_{min} = T_m \frac{\sin \frac{m}{2} \theta}{\sin \frac{\theta}{2}} \quad m \text{ 相电机 } m \text{ 相通电}$$

$$T_{st} = T_m \cos \frac{\theta}{2}, \quad N = km$$

$$T_m \approx T_{min} = T_m \frac{\sin \frac{m}{2} \theta}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

55. 20m

9. 何谓运行矩频特性、起动矩频特性和起动惯频特性? 什么是运行频率?

步进电动机在负载转动惯量及其他条件不变的情况下最大输出转矩  $T_{dm}$  与

运行频率  $f$  的关系称为步进电动机的运行矩频特性。

…… 情况下 起动频率与负载转矩的关系称为 …… 起动矩频特性。

…… 情况下

步进电动机在负载转矩及其他条件不变的情况下，起动频率与负载转动惯量的关系，称为起动的惯量特性。

步进电动机在负载条件下能无失步运行的最高控制频率称为运行频率。

10. 某五相步进电动机转子有48个齿，计算其单拍制和双拍制的步距角。

解：由题意可知相数  $m=5$ ，根据公式  $N=k m$ ， $\theta_b = \frac{360^\circ}{z_r N}$  计算步距角

单拍制时， $k=1$ ，则  $N=1 \times 5=5$ ，步距角  $\theta_b = \frac{360^\circ}{48 \times 5} = 1.5^\circ$

双拍制时， $k=2$ ，则  $N=2 \times 5=10$ ，步距角  $\theta_b = \frac{360^\circ}{48 \times 10} = 0.75^\circ$

11. 上题中，已知单拍运行时的最大静转矩为  $0.2 N \cdot m$ ，负载为  $0.18 N \cdot m$  时，上述运行方式中哪一种能使该步进电动机正常运行？

解：

正常运行  $T_{min} \geq 2 \sim 2.5 T_L$

$$T_{min} = T_m \frac{\sin \frac{n\pi}{m}}{\sin \frac{\pi}{m}} \quad P163$$

$m$  相电机  $n$  相通电时最大静转矩

单拍制时，每相相通？

双拍制时，

正常运行条件  $T_{st} > T$

$$T_{st} = T_{min} \cos \frac{\pi}{N}$$

双拍  $\rightarrow$  两相通电

12. 四相磁阻式步进电动机，转子有50个齿，计算单、双拍制的步距角，并画出单、双拍制的矩角特性曲线族。若单拍制的最大静转矩为  $0.1 N \cdot m$ ，计算单、双拍制的起动转矩。

解：由题意可知  $m=4$ ，根据公式  $N=k m$ ， $\theta_b = \frac{360^\circ}{z_r N}$  计算步距角

单拍制时， $k=1$ ， $N=1 \times 4=4$ ， $\theta_b = \frac{360^\circ}{50 \times 4} = 1.8^\circ$

双拍制时， $k=2$ ， $N=2 \times 4=8$ ， $\theta_b = \frac{360^\circ}{50 \times 8} = 0.9^\circ$

单拍制时， $T_m = 0.1 N \cdot m$ ， $T_{st} = T_m \cos \frac{\pi}{N} = 0.1 \times \cos \frac{\pi}{4} = 0.0707 N \cdot m$

$$T_{min} = T_m \frac{\sin \frac{n\pi}{m}}{\sin \frac{\pi}{m}} = \frac{4}{\sqrt{2}} T_m \cos \frac{\pi}{4}$$

双拍制时  $T_{min} = T_m \frac{\sin \frac{2\pi}{4}}{\sin \frac{\pi}{4}} = T_m \frac{\sin \frac{\pi}{2}}{\sin \frac{\pi}{4}} = \sqrt{2} T_m \cos \frac{\pi}{4}$

单拍  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$

双拍  $AB \rightarrow BC \rightarrow CD \rightarrow DA$

$T_{st} = T_m \cos \frac{\pi}{8}$

$$T_{st} = T_m \cos \frac{\pi}{8} = 0.1 \times 0.924 = 0.0924 N \cdot m$$

第5章 解答习题总结

用机械转角表示齿距角与步距角

$$\theta_t = \frac{360^\circ}{Z_r}$$

$$\theta_b = \frac{360^\circ}{Z_r N}$$

齿距角与拍数N无关

$$\theta_t = N \theta_b$$

用电角度表示齿距角与步距角

$$\theta_{te} = \frac{360^\circ}{N}$$

$$\theta_{be} = \frac{360^\circ}{N}$$

与齿数无关

$$\theta_{te} = N \theta_{be}$$

$N = k_m \times \dots \times k_2$

步进电机转速  $n = \frac{60f}{Z_r N}$  (r/min)

$$T_{min} = \frac{\sin \frac{\pi}{N}}{\sin \frac{\pi}{2N}} T_m$$

起动车轮  $T_{st} = T_m \cos \frac{\pi}{N}$  ?  $T_m$  与相数有关  $T_{min}$

正常运行条件?

$$T_{min} > 2 \sim 2.5 T_L$$

$$T_{st} > T_L$$

控制脉冲发生器  
脉冲分配器

提供控制脉冲，利用齿数，为步距角控制步进电机运行。

13. 步进电动机的驱动器包括哪些主要部分？它们的主要功能是什么？  
包括脉冲分配器和功率放大器。

脉冲分配器接收脉冲控制信号和方向电压，并按步进电动机的分配方式要求的状态顺序产生各相控制绕组导通或截止的信号。

功率放大器包括信号放大与处理电路、保护电路、推动放大级电路和功放输出级电路。功率... 直接与步进电动机各相绕组连接，向绕组提供足够的电压、电流及正确的波形，保证电机和功率放器件的安全运行。

14. 步进电动机功率放大电路有哪几种常用类型？它们各有什么特点？

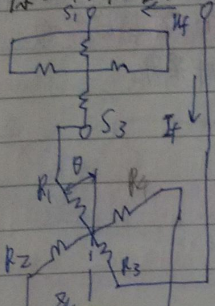
单一电压型功放电路：线路简单，功放元件少，成本低，但损耗大、效率低，只适用于驱动小功率的步进电动机或性能指标要求不高的场合。

高低压切换型功放电路：

电阻网络... 硬件是软件的辅助

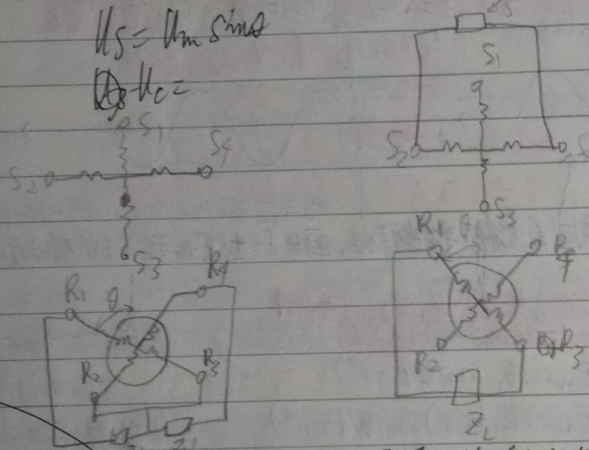
第9章 自整角机 P244. 原副... } 余画, 画补偿电路. 是补, 补...  
 第1题. 画补偿电路. 1.05.22画 画出一律  
 Date \_\_\_\_\_ Page \_\_\_\_\_

10. 画原边补偿的线性旋转变压器工作原理图 P228图9-17  
 不画了 1.04.15画  
 画一下 → 3种补偿电路画出来



应补偿  
 S2, S4 短路  
 S3 接 R1  
 S1 接 R2 R3 且 S1 对应 R4 接线

11. 画用一对旋转变压器测量角差的线路图并说明工作原理。P230图9-19



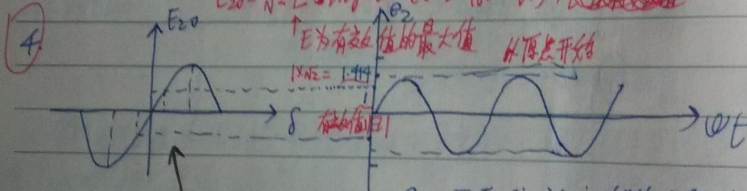
12. 为什么由两极旋变和多极旋变组成的双通道测角系统的精度比单通道高?  
 只用精测通道能否保证测量的精度? 为什么? P234  
 因为... 分辨率率提高到了原来的n倍, 误差大大减小。  
 各极能否不再使用?

不能。当失调角处于附加零点时, 电机可能停在虚假协调位置, 系统会丧失协调能力。  
 只用精测通道, 当失调角处于附加零点时, 电机停在虚假协调位置, 使系统丧失协调能力。

Date: \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_

8. 负载时，正余弦旋转变压器输出特性产生畸变的原因是什么？如何消除畸变？  
 产生畸变的原因是负载时转子电流 负载电流产生的交轴磁势的影响。  
 可采用原边补偿、副边补偿、原边补偿、副边补偿同时采用。

控制式自整步机输出特性曲线。复数。  
 接收机输入电压  $E_{20} = E \cos(\theta_1 - \theta_2) = E \cos \delta$   
 有效值 由  $\delta + \gamma = 90^\circ$  得  $E_{20} = E \cos(90^\circ - \gamma) = E \sin \gamma$   
 $E_{20} = \sqrt{2} E \sin \gamma \sin(\omega t - 180^\circ - \alpha)$



4. 对于图示控制式自整步机输出特性，画出  $\delta = \pm 30^\circ$  时输出电压瞬时值  $e_2$  随时间变化的波形图。

接收机三相绕组各相电压的瞬时值表达式  
 $e_{2a} = \sqrt{2} E_{20} \cos(\omega t - 90^\circ)$   
 $e_{2b} = \sqrt{2} E_{20} \cos(\theta_1 + 120^\circ) \sin(\omega t - 90^\circ)$   
 $e_{2c} = \sqrt{2} E_{20} \cos(\theta_1 - 120^\circ) \sin(\omega t - 90^\circ)$   
 幅值计算具体数值  $E_m$  为有效值

(2)  $\theta_1 = 80^\circ$  整步绕组电压的瞬时值表达式  
 $i_2 = \sqrt{2} I_m \cos \theta_1 \sin(\omega t - 90^\circ - \alpha)$   
 $i_1 = \sqrt{2} I_m \cos(\theta_1 + 120^\circ) \sin(\omega t - 90^\circ - \alpha)$   
 $i_3 = \sqrt{2} I_m \cos(\theta_1 - 120^\circ) \sin(\omega t - 90^\circ - \alpha)$

控制式自整步机相关计算 幅值  
 $\theta_1 =$  转子角 -  $S_2$  角  
 $\theta_2 =$  转子角 -  $S_2'$  角  
 角差  $\delta = \theta_1 - \theta_2$   
 失调角  $\gamma = 90^\circ - \delta$   
 感性元件有滞后角  $0 < \alpha < 90^\circ$   
 以垂直轴线为基准，逆时针为正，顺时针为负

Date: \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_

**磁滞向量位置与协调位置**

从磁滞方向逆时针转 $90^\circ$

以垂直轴线为基准，相反、平行

角度正负？  
逆时针为正  
顺时针为负

以 $S_2, S_2'$ 为基准，直线与 $S_2$ 夹角为 $\theta$ ，但磁滞的轴即要转 $180^\circ$

控制式自整角机

$\theta_1$ ：以 $S_2$ 绕组轴线为基准，逆时针为正，激磁绕组轴线和 $S_2$ 绕组轴线的夹角为 $\theta_1$

$\theta_2$ ：以 $S_2'$ 绕组轴线为基准，逆时针为正，激磁绕组轴线和 $S_2'$ 绕组轴线的夹角为 $\theta_2$

角差  $\delta = \theta_1 - \theta_2 = 100^\circ$

失谐角  $\gamma = 90^\circ - \delta = -10^\circ$

瞬时值表达式：  

$$e = E_m \sin \gamma \sin(\omega t - 180^\circ - \alpha) = \sqrt{2} E_m \sin(10^\circ) \sin(\omega t - 180^\circ - \alpha)$$

$$(3) e = E_m \sin(\omega t - 180^\circ - \alpha) = \sqrt{2} E_m \sin(10^\circ) \sin(\omega t - 180^\circ - \alpha)$$

3. 一对控制式自整角机如图以下，CX为发电机，CT为自整角变压器。当加上激磁电压 $U_f$ ，在气隙中产生磁通  $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$ 。

(1) 写出发电机三相绕组各相电势的瞬时值表达式（设一相绕组轴线与磁滞轴线重合时的最大的感应电势有效值为 $E_m$ ）。

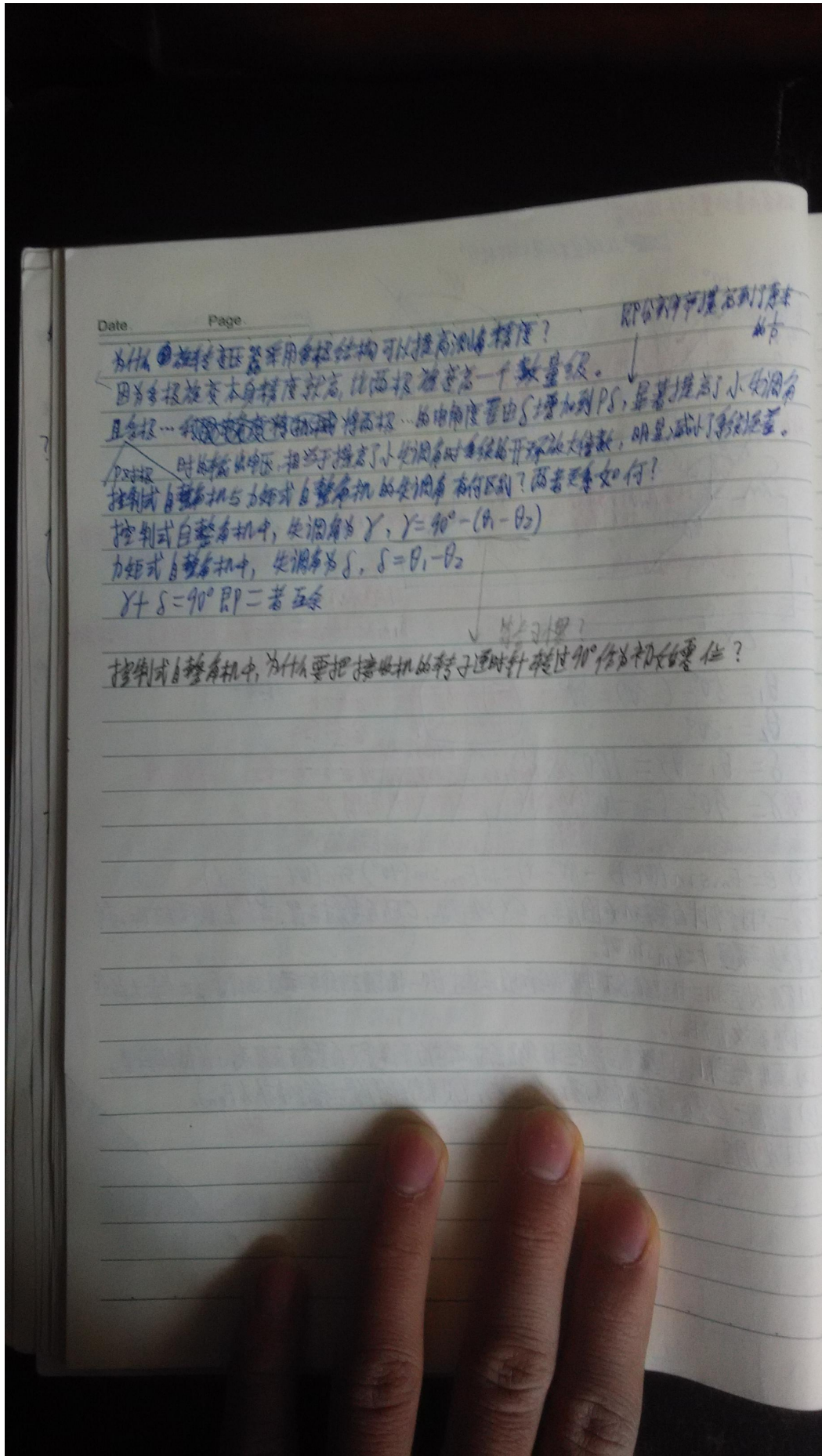
(2) 画出发电机、自整角变压器中三相绕组合成磁滞向量位置及自整角变压器转子的协调位置。

(3) 写出图示位置时，前电势瞬时值表达式（设磁滞测得的最大前电势为 $E_m$ ）。

(4) 求失谐角。

接收机输出电势





Date \_\_\_\_\_

Page \_\_\_\_\_

为什么①磁放大器采用饱和结构可以提高调速精度?  
因为饱和放大本身精度就高,比西极放大高一个数量级。  
且饱和...  
RP公式中...  
↓  
显著提高了小负调角

控制式自整角机与力矩式自整角机的失调角有何区别?两者关系如何?

控制式自整角机中,失调角为 $\gamma$ ,  $\gamma = 90^\circ - (\theta_1 - \theta_2)$

力矩式自整角机中,失调角为 $\delta$ ,  $\delta = \theta_1 - \theta_2$

$\gamma + \delta = 90^\circ$  即二者互补

控制式自整角机中,为什么要把接收机的转子逆时针转过 $90^\circ$ 作为初始零位?

第9章总结

Date: \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_

正交轴旋转变压器

正交轴磁路输出电压有效值  $U_s = U_m \sin \theta$

直轴磁路输出电压有效值  $U_c = U_m \cos \theta$

$U_m$  最大的输出电压有效值

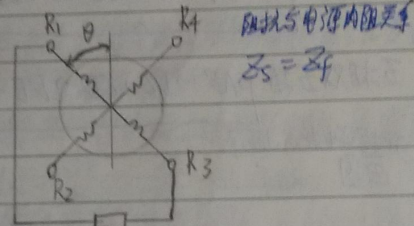
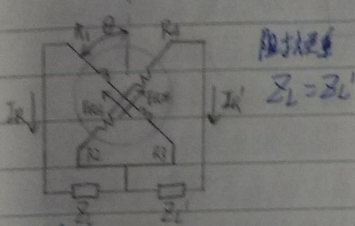
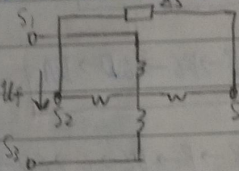
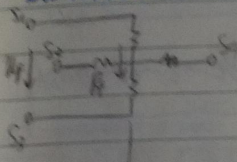
$\theta$  转子相对于基准磁路轴线转动的角度

结果  $\rightarrow$  两种情况都是对的

$U_m = k U_f$ ,  $U_f$  为励磁电压有效值,  $k$  为变比, 等于输出绕组和励磁绕组有效匝数之比

原边补偿的正交轴旋转变压器

原边补偿的正交轴旋转变压器  $k = \frac{U_m}{U_f}$



证明

补偿阻抗  $Z_S$  与负载阻抗  $Z_L$  相等, 转子交轴磁势完全抵消, 直轴磁势将被励磁绕组的磁势抵消, 不会引起转子特性的畸变。

补偿  $\text{阻抗}$  等于励磁电源内阻抗  $Z_f$  时, 负载电流产生的交轴磁势完全被抵消, 从而消除了输出特性的畸变, 实现完全补偿。

### 画星时序图

Date: \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_

1. 先写出所有星电状态和通电顺序

单拍: A、B、C、A、B、C、A...

三相单拍:  $A \rightarrow B \rightarrow C$

四相单拍:  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$

= 三相单三拍

五相单拍:  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$

双拍

三相双三拍:  $AB \rightarrow BC \rightarrow CA$

三相六拍:  $A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CA$

四相双四拍:  $AB \rightarrow BC \rightarrow CD \rightarrow DA$

四相八拍:  $A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CD \rightarrow D \rightarrow DA$

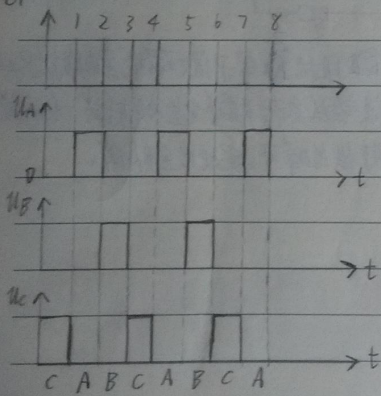
五相十拍:  $A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CD \rightarrow D \rightarrow DE \rightarrow E \rightarrow EA$

五相双五拍:  $AB \rightarrow BC \rightarrow CD \rightarrow DE \rightarrow EA$

根据通电状态、顺序

2. 画图. 三相单三拍

五相十拍



第六章

无刷直流电动机

Date: \_\_\_\_\_ Page: \_\_\_\_\_

1. 无刷直流电动机的工作原理 P192

无刷直流电动机采用霍尔元件做传感器，通电后霍尔元件会根据转子的实际位置发出信号，使定子绕组依次通电，定子绕组产生一个步进式旋转磁场，定子和转子之间的电磁转矩  $T = K \sin \theta$  使永磁转子不断旋转。

2. 控制电路中的开关 1:01:20  
三极管的导通角、磁状态角 P194

定义式：讲X中都有

无刷直流电动机每相绕组通电时，转子所转过的空间电角度称为导通角，记为  $\alpha_c$

对于三相和四相电机，有  $\alpha_c = \frac{360^\circ}{m} = \frac{2\pi}{m}$ ， $m$  为电机相数。

无刷直流电动机中的电枢磁势在空间保持某一状态时，转子所转过的空间电角度称为磁状态角/状态角，记为  $\alpha_m$ 。  $\alpha_m = \frac{360^\circ}{N} = \frac{2\pi}{N}$

$N = mK$ ， $m$  为电枢绕组的相数， $K$  为电枢绕组导通的状态系数，一般  $K=1$  或  $K=2$ ， $K=1$  称为单拍制， $K=2$  称为双拍制。

~~3. 控制电路中的开关~~

导通角：无刷直流电动机每相绕组通电时，

转子所转过的空间电角度  $\alpha_c = \frac{360^\circ}{m}$   $m$  (电机相数)

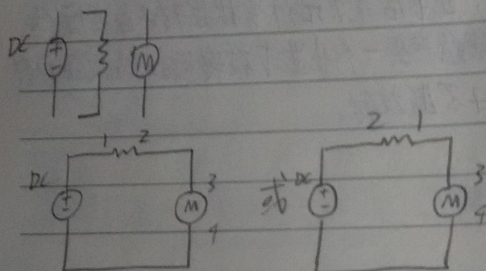
磁状态角：无刷直流电动机中的电枢磁势在空间保持某一状态时，

转子所转过的空间电角度  $\alpha_m$ 。

$\alpha_m = \frac{360^\circ}{N} = \frac{2\pi}{N}$   $N = mK$

Date. \_\_\_\_\_ Page. \_\_\_\_\_

两台相同的电磁式直流电动机均以串励的形式工作，用导线将其接成两种不同的转速。



1.16. 解: (1) 由  $U_{a1} = I_{a1} R_a + E_a$ ,  $E_a = K_e \omega_{01}$ ,  $\omega_{01} = \frac{2\pi n_{01}}{60}$  得

$$K_e = 0.22$$

$$U_{a2} = 70V \text{ 时, } \omega_{02} = \frac{U_{a2}}{K_e} = 318.18 \text{ rad/s}, n_{02} = \frac{\omega_{02}}{2\pi} \times 60 = 3093.94 \text{ r/min}$$

$$I_s = \frac{U_{a2}}{R_a} = \frac{70}{80} \text{ A} = 0.875 \text{ A} \quad K_t = K_e = 0.22 \text{ N}\cdot\text{m/A}$$

$$T_s = K_t I_s = 0.22 \times 0.875 \text{ N}\cdot\text{m} = 0.1925 \text{ N}\cdot\text{m}$$

(2)  $U_{a3} = 70V$  时,  $\omega_{03} = \frac{U_{a3}}{K_e} = 318.18 \text{ rad/s} \quad n_{03} = 3093.94 \text{ r/min}$

$$I_s' = \frac{U_{a3}}{R_a + R_i} = \frac{70}{80 + 50} \text{ A} = 0.54 \text{ A}$$

$$T_s' = K_t I_s' = 0.22 \times 0.54 = 0.1188 \text{ N}\cdot\text{m}$$

(3) (1) 情况下,  $T_e = K_t I_{a2}' = 0.04 \text{ N}\cdot\text{m}$

$$I_{a2}' = 0.18 \text{ A} \quad E_{a2}' = U_{a2} - I_{a2}' R_a = 55.6 \text{ V}$$

$$E_{a2}' = K_e \omega_{02}' \quad \omega_{02}' = 252.73 \text{ rad/s} \quad n_{02}' = 2414.62 \text{ r/min}$$

(2) 情况下,  $T_e = K_t I_{a3}' = 0.04 \text{ N}\cdot\text{m}$

$$I_{a3}' = 0.18 \text{ A} \quad E_{a3}' = U_{a3} - I_{a3}' (R_a + R_i) = 46.6 \text{ V}$$

$$E_{a3}' = K_e \omega_{03}' \quad \omega_{03}' = 211.82 \text{ rad/s} \quad n_{03}' = 2023.7 \text{ r/min}$$

第七章 直线电动机

直线电动机动态方程的列写

动态时, 电机的力平衡方程  $f = Bl i = m \frac{dv}{dt} + MV + F_c$   
 令  $MV=0, F_c=0$ , 得  $f = Bl i = m \frac{dv}{dt}$  得  $i = \frac{m}{Bl} \frac{dv}{dt}$  ①

动态时, 电机的电压平衡方程  $U = Ra i + La \frac{di}{dt} + E$

由  $E = BLv$  得  $U = Ra i + La \frac{di}{dt} + BLv$  ②

联立①②得  $U = \frac{mLa}{Bl} \frac{d^2v}{dt^2} + \frac{mRa}{Bl} \frac{dv}{dt} + BLv$

进行拉氏变换, 可得直线直流电动机的传函为

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{\frac{mLa}{Bl} s^2 + \frac{mRa}{Bl} s + 1}$$

第八章 测量元件. 无.

疑问.  $n$ . 是否取整数? 4 舍 5 入?

自控元件. 1~11章

习题 1, 2, 3, 4, 5, 9

习题 6

重点 1, 3, 5, 9

11, 16

2-4

3-1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 12 + 11 题

电机作用

5-8, 启动转矩计算

9. 作业是哪些. 旋变. 控制式伺服电机

5-12

问. 作业哪些

1-3, 12

3-1

09-1-4

1-8, 9

2-4

3 + 11 题

1-16

9-3, 4.

