

## 第一章 直流电机

**1-1.** 已知一直流电动机的铭牌数据如下:  $P_N = 7.5$  千瓦,  $U_N = 220$  伏,  $n_N = 1500$  转/分,

$\eta_N = 88.5\%$ , 试求该电机的额定电流和输出的额定转矩。

解: 直流电动机额定功率为轴上输出的机械功率:  $P_N = U_N I_N \eta_N$

由此可计算电机的额定电流为:

$$I_N = \frac{P_N}{\eta_N U_N} = \frac{7500}{0.885 \times 220} = 38.52(A)$$

电机的额定转矩为:

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{7.5}{1500} = 47.75(N \cdot m)$$

**1-2.** 一台直流发电机的部分定额数据如下:  $P_N = 180$  千瓦,  $U_N = 230$  伏,  $n_N = 1450$  转/

分,  $\eta_N = 89.5\%$  求:

(1) 该发电机的额定电流;

(2) 电流保持为额定值而电压下降为 100 伏时, 原动机的输出功率 (设此时  $\eta$  仍等于  $\eta_N$ )。

解: 直流发电机的额定功率为出线端输出的电功率:  $P_N = U_N I_N$

由此可得发电机的额定电流为:

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{180000}{230} = 782.6(A)$$

在费额定工况下, 发电机的输出功率的计算如下:

$$P_1 = \frac{U \cdot I_N}{\eta_N} = \frac{100 \times 782.6}{0.895} = 87.44(KW)$$

**1-3.** 一台直流电机  $p = 3$ , 电枢为单迭绕组, 总导体数  $Z=398$ , 一极下磁通  $\Phi=2.1 \times 10^6$  马,

当转速分别为 1500 转/分和 500 转/分时, 求电枢电势  $E_a$ 。

解: 电机感应电动势的计算与每极磁通和电枢转速的乘积成正比:

$$1500r/min: E_a = \frac{Z \cdot P}{60a} \Phi n = \frac{398 \times 3}{96 \times 3} \times 2.1 \times 10^{-2} \times 1500 = 208.95(V)$$

$$500 r/min: E_a = \frac{398 \times 3}{96 \times 3} \times 2.1 \times 10^{-2} \times 500 = 69.65(V)$$

1-4. 同上题, 设电枢电流  $I_a = 10$  安, 磁通  $\Phi$  保持不变, 问电枢产生的电磁转矩多大? 如将上述绕组改为单波绕组, 保持支路中电流不变, 问此时的电磁转矩又是多大?

解: 电磁转矩的大小与每极磁通和电枢电流相关, 与绕组形式无关, 故:

$$\text{单叠: } T_e = \frac{Z \cdot P}{2\pi a} \phi I_a = \frac{398 \times 3}{2\pi \times 3} \times 2.1 \times 10^{-2} \times 10 = 13.3(N \cdot m)$$

$$\text{单波: } T_e = \frac{Z \cdot P}{2\pi a} \phi I_a = \frac{398 \times 3}{2\pi \times 1} \times 2.1 \times 10^{-2} \times \frac{10}{2 \times 3} \times 2 = 13.3(N \cdot m)$$

1-5. 一台并励直流电动机, 在额定电压  $U_N = 220$  伏, 额定电流  $I_N = 80$  安的情况下运行,  $15^\circ\text{C}$  时电枢回路电阻  $R_a = 0.1$  欧, 励磁回路电阻  $r_f = 88.8$  欧, 额定负载时的效率  $\eta_N = 85\%$ , 试求:

(1) 额定输入功率; (2) 额定输出功率; (3) 总损耗; (4) 电枢回路铜损耗; (5) 励磁回路铜损耗; (6) 机械损耗和铁损耗之和。(需求  $75^\circ\text{C}$  时电阻  $R_{75} = \frac{T+75}{T+15} R_{15}$ , 式中常数  $T$ , 铜取  $234.5^\circ$ , 铝取  $228^\circ$ )。

解: (1) 电动机的额定输入功率为:  $P_{1N} = U_N \cdot I_N = 220 \times 80 = 17.6(KW)$

(2) 额定输出功率为:  $P_N = P_{1N} \eta_N = 17.6 \times 0.85 = 14.96(KW)$

(3) 输入与输出功率之差为电机总损耗:  $\sum P = P_{1N} - P_N = 17.6 - 14.96 = 2.64(KW)$

(4) 电枢回路铜损耗为在电枢电阻上的损耗:  $P_{cua} = I_a^2 R_{a75^\circ\text{C}}$

$$R_{a75^\circ\text{C}} = \frac{235+75}{235+15} \times 0.1 = 0.124(\Omega)$$

$$r_{f75} = \frac{235+75}{235+15} \times 88.8 = 110(\Omega)$$

$$\text{并励直流电机的电流为 } I_N = I_a + I_f, \text{ 故电枢电流 } I_a = 80 - \frac{220}{110} = 78(A)$$

$$P_{cua} = 78^2 \times 0.124 = 754.4(W) = 0.7544(KW)$$

(5) 励磁铜损耗:  $P_{cuf} = I_f^2 r_{f75} = \left(\frac{U_N}{r_{f75}}\right)^2 r_{f75} = \frac{220^2}{110} = 440(W) = 0.44(KW)$

(6)  $P_m + P_{Fe} = \sum P - P_{cua} - P_{cuf} = 2.64 - 0.7544 - 0.44 = 1.4456(KW)$

1-6. 他励直流电动机  $P_N = 2.2$  千瓦,  $U_N = 220$  伏,  $n_N = 1500$  转/分,  $\eta_N = 86\%$ ,

$R_a = 1.813$  欧, 试求在额定运行时下列各物理量:

输入功率  $P_1$ , 电磁功率  $P_e$ , 电枢铜耗  $p_{Cua}$ , 空载损耗  $p_0$ , 电磁转矩  $T_e$ , 空载转矩  $T_0$ , 轴上输出转矩  $T_2$ 。

解：电动机输入功率为  $P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{2.2}{0.86} = 2.558(KW)$

电磁功率为  $P_e = E_a I_a$

电枢电流的计算为：  $I_a = \frac{P_1}{U_N} = \frac{2558}{220} = 11.628(A)$

电枢电势  $E_a = U_N - I_a R_a = 220 - 11.628 \times 1.813 = 198.92(V)$

则  $P_e = 198.92 \times 11.628 = 2313(W) = 2.313(KW)$

铜损耗  $P_{cua} = I_a^2 R_a = 11.628^2 \times 1.813 = 245.14(W)$

空载损耗：  $P_0 = P_e - P_N = 2.313 - 2.2 = 0.113(KW)$

电磁转矩为  $T_e = 9550 \frac{P_e}{n_N} = 9550 \times \frac{2.313}{1500} = 14.726(N \cdot m)$

空载转矩  $T_0 = 9550 \frac{P_0}{n_N} = 9550 \times \frac{0.113}{1500} = 0.7194(N \cdot m)$

输出转矩  $T_2 = T_e - T_0 = 14.726 - 0.7194 = 14(N \cdot m)$

**1-7.** 一台并励直流发电机的额定数据为：  $U_N = 230$  伏，  $I_{aN} = 15.7$  安，  $n_N = 2000$  转/分，

$R_a = 1$  欧，  $r_f = 610$  欧。已知电刷在几何中线上，且不考虑电枢反应影响即磁路饱和问题。

今欲将其改作电动机，接到 220 伏的电网上，当电枢电流与发电机额定负载下的电枢电流相同时，求电动机的转速。

解：并励直流发电机的转速特性为：  $n = \frac{U_{NM} - I_{aN} R_a}{C_e \phi_M}$

$$C_e \phi_M = C_e \phi_G \frac{U_{NM}}{U_{NG}} = \frac{U_{NG} + I_{aN} R_a}{n_{NG}} \frac{U_{NM}}{U_{NG}} = 0.12285 \times \frac{220}{230} = 0.1175 \quad ??? \text{理想}$$

**空载转速相同？**

$$n = \frac{220 - 15.7 \times 1}{0.1175} = 1738.7 \text{rpm}$$

**1-8.** 一台并励直流电动机的有关数据为：  $U_N = 220$  伏，  $I_{aN} = 75$  安，  $n_N = 1000$  转/

分，  $R_a = 0.26$  欧，  $r_f = 91$  欧，  $P_{Fe} = 600$  瓦，  $P_m = 198$  瓦。求电动机在额定负载下运

行时，输出转矩  $T_N$  和效率  $\eta_N$ 。

解：输入功率为  $P_{1a} = U_N \cdot I_N = 200 \times 75 = 16500(W) = 16.5(KW)$

输出功率为：

$$P_2 = P_{1a} - P_{cua} - P_{Fe} - P_m = 16500 - 75 \times 75 \times 0.26 - 600 - 198 = 14.2395(KW)$$

$$\text{输出转矩: } T_N = 9550 \frac{P_2}{n_N} = 9550 \frac{14.24}{1000} = 136(Nm)$$

$$\text{效率为: } \eta_N = \frac{P_2}{P_{1a} + P_{cuf}} = \frac{14239}{16500 + \frac{220^2}{91}} = 0.836$$

**1-9.** 两台完全相同的并励直流发电机，分别在 1000 转/分转速下，用他励方法作发电机空载试验。当电机 A 励磁电流为 1.4 安时，电枢端电压  $U_0$  即  $E_a$  为 195.83 伏；电机 B 的  $I_f = 1.3$  安时， $U_0 = 186.67$  伏，如将它们同轴联接，轴上不带任何负载，并联到 230 伏的电网上。

测得数据有  $n = 1200$  转/分， $I_{fA} = 1.4$  安， $I_{fB} = 1.3$  安， $R_{aA} = R_{aB} = 0.1$  欧。忽略磁饱和现象，问：

- (1) 哪一台是发电机，哪一台是电动机？
- (2) 机组的空载损耗是多少？
- (3) 只调节励磁电流大小能否改变两台电机的运行状态？
- (4) 在 1200 转/分时，两台电机能否同时从电网上吸收功率或向电网输送功率？

解：分别空载和机组运行时各自励磁电流相同，说明  $C_e \phi$  相同

$$\text{A: } C_e \phi_A = \frac{U_{0A}}{n_0} = \frac{195.83}{1000} = 0.19583$$

$$\text{B: } C_e \phi_B = \frac{U_{0B}}{n_0} = \frac{186.67}{1000} = 0.18667$$

$$(1) \text{ A: } I_{aA} = \frac{U_N - E_{aA}}{R_a} = \frac{U_N - C_e \phi_A n}{R_a} = \frac{230 - 0.19583 \times 1200}{0.1} = \frac{230 - 235}{0.1} = -50(A)$$

按电动惯例“-”说明 A 处于发电运行

$$\text{B: } I_{aB} = \frac{U_N - C_e \phi_B n}{R_a} = \frac{230 - 0.18667 \times 1200}{0.1} = \frac{230 - 224}{0.1} = 60(A)$$

说明 B 处于电动运行。

$$(2) \text{ 机组: } P_{1B} = U_N (I_{aB} + I_{fB}) = 230 \times (60 + 1.3) = 14.1(KW)$$

$$P_{2A} = U_N (I_{aA} + I_{fA}) = 230 \times (50 - 1.4) = 11.18(KW)$$

$$\begin{aligned}\sum P_0 &= P_{FeA} + P_{FeB} + P_{mA} + P_{mB} = P_{1B} - P_{2A} - P_{cuaA} - P_{cuaB} - P_{cufA} - P_{cufB} \\ &= 14.1 - 11.18 - 0.25 - 0.36 - 0.36 - 0.3 = 1.69(KW)\end{aligned}$$

也可不计  $P_{cuf}$  :

$$P_{1B} = U_N I_{aB} = 230 \times 60 = 13.8(KW)$$

$$P_{2A} = U_N I_{aA} = 230 \times 50 = 11.5(KW)$$

$$\sum P_0 = P_{1B} - P_{2A} - P_{cuaA} - P_{cuaB} = 13.8 - 11.5 - 0.25 - 0.36 = 1.69(KW)$$

(3) 由  $U = C_e \phi_B n + I_{aB} R_a$  与  $U = C_e \phi_A n - I_{aA} R_a$  可知

当  $I_{fB} \uparrow \rightarrow \phi_B \uparrow \rightarrow E_{aB} > U$  时 B 变为发电机

当  $I_{fA} \uparrow \rightarrow \phi_A \uparrow \rightarrow E_{aA} < U$  时 A 变为电动机

故能使两台电机运行状态互相转换

(4) 通过调节  $I_f$  可能使 A 与 B 同时吸电功率输出机械功率共同克服风阻, 摩擦等空载损耗

功率。不可能同时变为发电机向电网输送电功率, 因为无源动力。

**1-10.** 一台他励直流发电机由并励直流电动机拖动。发电机的  $P_N = 3.2$  千瓦,  $U_N = 230$  伏,

$I_N = 13.9$  安,  $n_N = 1450$  转/分,  $R_a = 1.74$  欧, 空载转矩为额定电流下发电机总制动转矩

的  $\frac{1}{26}$ 。电动机的  $P_N = 4$  千瓦,  $U_N = 220$  伏,  $I_N = 22.3$  安,  $n_N = 1500$  转/分,  $R_a = 0.934$

欧,  $I_{fN} = 0.77$  安,  $T_0 = 2.16$  牛·米。电动机接在电压等于其额定电压的电网上运行。

(1) 求发电机空载运行时的电动机转速。

(2) 发电机空载运行时, 要求机组转速等于发电机额定转速, 那么电动机电枢电流应为多少? (设电动机磁路不饱和)

(3) 为保证发电机在额定励磁和额定电枢电流下输出额定电压, 电动机的励磁电流和电枢电流应各为多少? (设调节电动机主磁通时磁路不饱和)

$$\text{解: } C_e \phi_M = \frac{U_{NM} - (I_{NM} - I_{fM}) R_{aM}}{n_{NM}} = \frac{220 - (22.3 - 0.77) \times 0.934}{1500} = 0.13326$$

$$C_e \phi_G = \frac{U_{NG} + I_{NG} R_{aG}}{n_{NG}} = \frac{230 + 13.9 \times 1.74}{1450} = 0.1753$$

$$T_{OG} = \frac{1}{26} (T_{OG} + T_{eG}) \quad \therefore T_{OG} = \frac{1}{25} T_{eG}$$

$$T_{eG} = 9.55 C_e \phi_G I_{NG} = 9.55 \times 0.1753 \times 13.9 = 23.27(N \cdot m)$$

$$T_{O\text{总}} = T_{OM} + T_{OG} = 2.16 + 0.931 = 3.091(N \cdot m)$$

$$\begin{aligned} (1) \quad n_0' &= \frac{U_{NM}}{C_e \phi_M} - \frac{R_{aM}}{C_e C_T \phi_M^2} T_{O\text{总}} \\ &= \frac{220}{0.13326} - \frac{0.934}{9.55 \times 0.13326^2} \times 3.091 = 1651 - 17 = 1634 r / \min \end{aligned}$$

$$(2) \quad n_M = n_{NG} = 1450 \text{ rpm 时 } C_e \phi_{0M} > C_e \phi_M$$

$$\therefore 1450 = \frac{220}{C_e \phi_{0M}} - \frac{0.934}{9.55 \times (C_e \phi_{0M})^2} \times 3.091$$

$$\therefore C_e \phi_{0M}^2 - 0.1517 C_e \phi_{0M} + 0.00021 = 0$$

$$C_e \phi_{0M} = 0.153$$

$$\text{故 } I_{a0} = \frac{T_{O\text{总}}}{9.55 C_e \phi_{0M}} = \frac{3.091}{9055 \times 0.153} = 2.15(A)$$

$$(3) \quad \text{为保证 G 额定运行, M 即 } n = n_{NG} = 1450 \text{ rpm}$$

$$\text{此时 } T_{eM} = T_{O\text{总}} + T_{OG} = 23.27 + 3.091 = 26.361(N \cdot m)$$

$$\therefore n = \frac{U_{NM}}{C_e \phi_{0M}} - \frac{R_{aM}}{9.55 (C_e \phi_{0M})^2} T_{eM}$$

$$1450 = \frac{220}{C_e \phi_{0M}} - \frac{0.934}{9.55 \times (C_e \phi_{0M})^2} \times 26.361$$

$$\therefore C_e \phi_{0M}^2 - 0.1517 C_e \phi_{0M} + 0.001778 = 0$$

$$\text{故 } C_e \phi_{0M} = 0.1389$$

$$I_{fM} = \frac{C_e \phi_{0M}}{C_e \phi_M} I_{fN} = \frac{0.1389}{0.13326} \times 0.77 = 0.8(A)$$

$$I_{aM} = \frac{T_{eM}}{C_e \phi_{0M}} = \frac{26.361}{9.55 \times 0.1389} = 19.87(A)$$