

第一章

1.2 一台直流发电机的数据为:额定功率 $P_N=12\text{ kW}$, 额定电压 $U_N=230\text{ V}$, 额定转速

$n_N=1\,450\text{ r/min}$, 额定效率 $\eta_N=83.5\%$ 。试求:

(1) 额定电流 I_N ;

(2) 额定负载时的输入功率 P_{1N} 。

解: (1) 直流发电机的: 额定功率 $P_N = U_N I_N$

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{12 \times 10^3}{230} = 52.17\text{ A}$$

$$(2) P_{1N} = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{12}{0.835} = 14.37\text{ KW}$$

1.3 一台直流电机, 已知极对数 $p=2$, 槽数 Z 和换向片数 K 均等于 22, 采用单叠绕组。

(1) 计算绕组各节距;

(2) 求并联支路数。

解: (1) 第一节距 $y_1 = \frac{Z}{2p} \pm \varepsilon = \frac{22}{4} - \frac{2}{4} = 5$, 为短距绕组。

单叠绕组的合成节距及换向器节距均为 1, 即 $y = y_K = 1$

第二节距 $y_2 = y_1 - y = 5 - 1 = 4$

(2) 并联支路数等于磁极数, 为 4。

1.4 一台直流电机的数据为: 极数 $2p=4$, 元件数 $S=120$, 每个元件的电阻为 $0.2\ \Omega$ 。当转速为 $1\,000\text{ r/min}$ 时, 每个元件的平均感应电动势为 10 V , 问当电枢绕组为单叠或单波绕组时, 电刷间的电动势和电阻各为多少?

解: 当电枢绕组为单叠绕组时, 绕组并联支路数等于磁极数, 为 4, 每一条支路串联的元件数为 30, 换向器上放置 4 个电刷, 假设一个电刷短路一个元件, 每一条支路有一个元件被短

路,则电刷间的电动势为

$$E_a = 29 \times 10 = 290 \text{ V};$$

每一条支路的电阻为 $R = 29 \times 0.2 = 5.8 \Omega$, 4 条并联支路的电阻,即电刷间的电阻为

$$R_a = \frac{R}{4} = \frac{5.8}{4} = 1.45 \Omega$$

当电枢绕组为单波绕组时, 绕组并联支路数为 2, 每一条支路串联的元件数为 60, 换向器上可以放置 4 个电刷, 至少短路 4 个元件, 则电刷间的电动势为

$$E_a = 58 \times 10 = 580 \text{ V}$$

每一条支路的电阻为 $R = 58 \times 0.2 = 11.6 \Omega$

$$\text{电刷间的电阻为 } R_a = \frac{R}{2} = \frac{11.6}{2} = 5.8 \Omega$$

1.5 略

1.6 一台直流电机, 极数 $2p=6$, 电枢绕组总的导体数 $N=400$, 电枢电流 $I_a=10 \text{ A}$, 气隙每极磁通 $\Phi=0.21 \text{ Wb}$ 。试求采用单叠绕组时电机的电磁转矩为多大? 如把绕组改为单波绕组, 保持支路电流 i_a 的数值不变, 电磁转矩又为多大?

解: 电枢绕组为单叠绕组时, 并联支路对数 $a=p=3$,

$$\text{电磁转矩 } T = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a = \frac{3 \times 400}{2 \times 3.1416 \times 3} \times 0.21 \times 10 = 133.69 \text{ N} \cdot \text{m}$$

如果把电枢绕组改为单波绕组, 保持支路电流 i_a 的数值不变, 则电磁转矩也不变, 仍为 $133.69 \text{ N} \cdot \text{m}$, 因为无论是叠绕组还是波绕组, 所有导体产生的电磁转矩的方向是一致的, 保持支路电流 i_a 不变, 就保持了导体电流不变, 也就保持了电磁转矩不变。

也可以用计算的方法: 单叠绕组时并联支路数为 6, 支路电流 $i_a = \frac{I_a}{6} = \frac{10}{6} \text{ A}$

改为单波绕组, 保持支路电流 i_a 的数值不变, 仍为 $\frac{10}{6} \text{ A}$, 而并联支路数为 2 ($a=1$),

$$\text{电枢电流 } I_a = 2i_a = \frac{10}{3} \text{ A}$$

$$\text{电磁转矩 } T = \frac{3 \times 400}{2 \times 3.1416 \times 1} \times 0.21 \times \frac{10}{3} = 133.69 \text{ N} \cdot \text{m}。$$

1.7 一台他励直流电机, 极对数 $p=2$, 并联支路对数 $a=1$, 电枢总导体数 $N=372$, 电枢回路总电阻 $R_a=0.208 \Omega$, 运行在 $U=220 \text{ V}$, $n=1500 \text{ r/min}$, $\Phi=0.011 \text{ Wb}$ 的情况下。 $P_{Fe}=362$

$W, P_{mec} = 204 \text{ W}$, 试问:

(1) 该电机运行在发电机状态还是电动机状态?

(2) 电磁转矩是多大?

(3) 输入功率、输出功率、效率各是多少?

解: (1) $E_a = \frac{pN}{60a} \Phi n = \frac{2 \times 372}{60 \times 1} \times 0.011 \times 1500 = 204.6 \text{ V}$, 低于电源电压 $U = 220 \text{ V}$,

所以电机运行在电动机状态。

$$(2) I_a = \frac{U - E_a}{R_a} = \frac{220 - 204.6}{0.208} = 74 \text{ A}$$

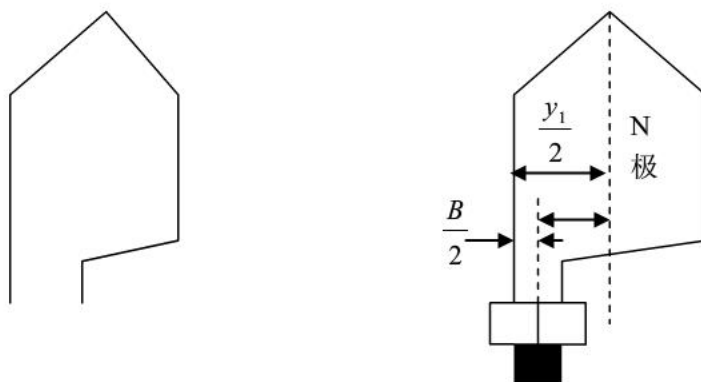
$$T = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a = \frac{2 \times 372}{2 \times 3.1416 \times 1} \times 0.011 \times 74 = 96.39 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$(3) \text{ 输入功率 } P_1 = UI = 220 \times 74 = 16280 \text{ W} = 16.28 \text{ KW}$$

$$\begin{aligned} \text{输出功率 } P_2 &= P_1 - P_{cua} - P_{Fe} - P_{mec} = 16280 - 74^2 \times 0.208 - 362 - 204 \\ &= 14575 \text{ W} = 14.575 \text{ KW} \end{aligned}$$

$$\text{效率 } \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{14.575}{16.28} = 0.895 = 89.5\%$$

1.8 如果直流电机的电枢绕组元件的形状如题 1.8 图所示, 则电刷应放在换向器的什么位置上?



题 1.8 图 某种电枢绕组元件的形状

解: 电刷在换向器的位置应使被电刷短路的元件感应电动势为零。对于对称元件, 电刷

中心线与磁极中心线重合。对于题中的不对称元件,当电枢旋转,使该元件中心线与 N 极中心线对齐时,电刷应将该元件短路,若换向片宽度为 B,则电刷中心线偏离磁极中心线的偏移量

$$\delta = \frac{y_1}{2} - \frac{B}{2}, y_1 \text{ 是元件第一节距。}$$

1.9 一台并励直流电动机的额定数据为: $U_N = 220 \text{ V}$, $I_N = 92 \text{ A}$, $R_a = 0.08 \Omega$,

$R_f = 88.7 \Omega$, $\eta_N = 86\%$,试求额定运行时:

- (1) 输入功率;
- (2) 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) 机械损耗与铁损耗之和。

解: (1) 输入功率 $P_1 = U_N I_N = 220 \times 92 = 20240 \text{ W} = 20.24 \text{ KW}$

$$(2) \text{ 输出功率 } P_2 = P_1 \eta = 20.24 \times 0.86 = 17.406 \text{ KW}$$

$$(3) \text{ 总损耗 } \Delta P = P_1 - P_2 = 20.24 - 17.406 = 2.834 \text{ KW}$$

$$(4) I_f = \frac{U_N}{R_f} = \frac{220}{88.7} = 2.48 \text{ A} \quad I_a = I_N - I_f = 92 - 2.48 = 89.52 \text{ A}$$

$$\text{电枢回路铜损耗 } P_{cua} = I_a^2 R_a = 89.52^2 \times 0.08 = 641 \text{ W}$$

$$(5) \text{ 励磁回路铜损耗 } P_{cuf} = I_f^2 R_f = 2.48^2 \times 88.7 = 545.5 \text{ W}$$

(6) 机械损耗与铁损耗之和为

$$P_{mec} + P_{Fe} = \Delta P - P_{cua} - P_{cuf} = 2834 - 641 - 545.5 = 1647.5 \text{ W}$$

1.10 一台并励直流电动机的额定数据为, $P_N=17\text{ kW}$, $I_N=92\text{ A}$, $U_N=220\text{ V}$,

$R_a=0.08\ \Omega$, $n_N=1500\text{ r/min}$,电枢回路总电阻 $R=0.1\ \Omega$,励磁回路电阻 $R_f=110\ \Omega$,试求:

(1)额定负载时的效率;

(2)额定运行时的电枢电动势 E_a ;

(3)额定负载时的电磁转矩。

解: (1)额定负载时的输入功率 $P_1 = U_N I_N = 220 \times 92 = 20240\text{ W} = 20.24\text{ KW}$

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_1} = \frac{17}{20.24} = 0.84 = 84\%$$

$$(2) I_f = \frac{U_N}{R_f} = \frac{220}{110} = 2\text{ A} \quad I_a = I_N - I_f = 92 - 2 = 90\text{ A}$$

$$E_a = U_N - R I_a = 220 - 0.1 \times 90 = 211\text{ V}$$

(3)额定负载时的电磁转矩

$$T = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{2\pi n / 60} = \frac{60 \times 17 \times 10^3}{2 \times 3.1416 \times 1500} = 1082\text{ N} \cdot \text{m}$$

1.11 一台并励直流发电机,电枢回路总电阻 $R_a=0.25\ \Omega$,励磁回路电阻 $R_f=44\ \Omega$,当端电压 $U_N=220\text{ V}$,负载电阻 $R_L=4\ \Omega$ 时,试求:

(1)励磁电流和负载电流;

(2)电枢电动势和电枢电流;

(3)输出功率和电磁功率。

$$\text{解: (1) } I_f = \frac{U_N}{R_f} = \frac{220}{44} = 5\text{ A} \quad I_L = \frac{U_N}{R_L} = \frac{220}{4} = 55\text{ A}$$

$$(2) I_a = I_L + I_f = 55 + 5 = 60\text{ A}$$

$$E_a = U_N + R_a I_a = 220 + 0.25 \times 60 = 235\text{ V}$$

(3) 输出功率 $P_2 = U_N I_L = 220 \times 55 = 12100 \text{ W} = 12.1 \text{ KW}$

$$\begin{aligned} \text{电磁功率 } P_M &= P_2 + P_{cua} + P_{cuf} = 12.1 + 60^2 \times 0.25 \times 10^{-3} + 5^2 \times 44 \times 10^{-3} \\ &= 12.1 + 0.9 + 1.1 = 14.1 \text{ KW} \end{aligned}$$

1.12 一台他励直流发电机,额定转速为 1000 r/min,当满载时电压为 220 V,电枢电流为 10 A,励磁电流保持为 2.5 A。已知在 n=750 r/min 时的空载特性如下表所列:

I_f/A	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	2.6	3.0	3.6	4.4
E_a/V	33	78	120	150	176	180	194	206	225

试求:

(1) 转速为额定、励磁电流保持 2.5 A 时的空载电动势;

(2) 如果将发电机改为并励,且 $n = n_N$,为保持同样的空载电动势,磁场回路的电阻应为多少?

(3) 如果保持磁场回路电阻不变,电机为并励,此时能够自励建压的临界转速为多少?

(4) 如果保持 $n = n_N$,电机为并励,此时能够自励建压的临界电阻为多少?

解: (1) $E_a = C_e \Phi n$ E_a 与 n 成正比,转速为额定、励磁电流保持 2.5 A 时的空载电动势为 $E_a = 176 \times \frac{1000}{750} = 234.7 \text{ V}$

(2) $I_f = 2.5 \text{ A}$, $n = 1000 \text{ r/min}$, $I_a = 10 \text{ A}$ 时的电压 $U = 220 \text{ V}$,可知电枢电阻压降为 $234.7 - 220 = 14.7 \text{ V}$, 电枢电阻为 $14.7/10 = 1.47 \Omega$,将发电机改为并励,设励磁电流要增加 X ,为 $(2.5 + X)$, X 比较小, 可以认为 E_a 与励磁电流成比例增大为 $\frac{234.7}{2.5} \times (2.5 + X)$,空载时电枢电流就是励磁电流,产生的电枢电阻压降为 $\frac{14.7}{10} \times (2.5 + X)$,保持同样的空载电动势 234.7 V 不变,得到方程式

$$\begin{aligned} \frac{234.7}{2.5} \times (2.5 + X) - \frac{14.7}{10} \times (2.5 + X) &= 234.7 \\ (938.8 - 14.7)X &= 36.75 \quad X = 36.75/924.1 = 0.0398 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_f = 2.5 + 0.0398 = 2.5398 \text{ A}$$

$$\text{磁场回路的电阻为 } R_f = \frac{234.7}{2.5398} = 92.4 \Omega$$

(3) 当磁场回路的电阻为 92.4Ω 不变时,要产生如表中的最小励磁电流 $0.4A$ 时,励磁绕组电压为 $0.4 \times 92.4 = 36.96V$,加上电枢电阻压降 $(14.7/10) \times 0.4$,其和即为电枢电动势

$$E_a = 36.96 + \frac{14.7}{10} \times 0.4 = 37.548V$$

此时电机能够自励建压的临界转速为

$$n = 750 \times \frac{37.548}{33} = 853.4r/min$$

若电机转速低于临界转速,励磁电流小于 $0.4A$,电压就建立不起来。

$$(4) \quad n = n_N = 1000r/min \quad I_f = 0.4A \quad \text{时}, \quad E_a = 33 \times \frac{1000}{750} = 44V, \text{减去电枢电阻}$$

压降 $(14.7/10) \times 0.4$,其差 $(44 - \frac{14.7}{10} \times 0.4) = 43.4V$ 即为励磁绕组电压,所以临界电阻为

$$R_{cf} = \frac{43.4}{0.4} = 108.5\Omega \quad \text{若励磁电阻大于 } 108.5\Omega, \text{ 电压就建立不起来。}$$

第二章

2.1 变压器能改变交流电的电压和电流,能不能改变直流电的电压和电流?为什么?

答:变压器能改变交流电的电压和电流,但不能改变直流电的电压和电流。因为变压器是应用电磁感应原理而工作的,只有当一次绕组接交流电源时,一次绕组才会流过交流电流,在铁心中产生变化的磁通,从而在二次绕组中产生感应电动势;如果一次绕组接直流电源,则一次绕组流过的是直流电流,在铁心中产生的磁通是恒定不变的,不能在二次绕组中产生感应电动势,所以变压器只能改变交流电的电压和电流,不能改变直流电的电压和电流。

2.2 变压器的铁心为什么要用硅钢片叠成而不用整块钢制成?

答:变压器的绕组流过交流电流时会在铁心中产生磁滞损耗和涡流损耗,统称为铁损耗。磁滞损耗与铁磁材料的磁滞回线面积有关,硅钢片的磁滞回线较窄,磁滞损耗较小。涡流损耗与铁磁材料的电阻成反比,与钢片厚度的平方成正比,硅钢片是在电工钢中加入少量的硅而制成,电阻率较大,用硅钢片叠成的铁心,铁损耗较小,所以变压器的铁心要用硅钢片叠

成而不用整块钢制成。

2.3 一台变压器额定电压为 220 /110 V ,若把二次绕组(110 V)接在 220 V 交流电源上,主磁通和励磁电流将如何变化?

答:若忽略变压器绕组漏阻抗压降,则绕组的端电压与感应电动势相等。正常工作时铁心磁路处于饱和状态。若把额定电压为 110 V 的二次绕组接在 220 V 交流电源上,二次绕组感应电动势将增大一倍,感应电动势与铁心磁通成正比,所以铁心磁通也将增大一倍,由于铁心磁路处于饱和状态,励磁电流将不只是增大一倍,而将增大许多倍。

2.4 一台变压器一次绕组额定电压为 220 V ,不小心把一次绕组接在 220 V 的直流电源上,会出现什么情况?

答:若把额定电压为交流 220 V 的变压器一次绕组接在 220 V 直流电源上时,铁心中产生的磁通将是恒定不变的,不会在一次绕组中产生感应电动势,一次绕组电流 $I_1 = \frac{U}{R_1}$,由于绕组电阻 R_1 比较小,则一次绕组电流会很大,大大超过其额定电流,很快会将变压器烧坏。

2.5 变压器空载运行时,功率因数为什么很低?这时从电源吸收的有功功率和无功功率都消耗在什么地方?

答:变压器空载电流 I_0 可分解为有功分量 I_{0a} 和无功分量 I_{0r} , I_{0a} 会产生铁损耗, I_{0r} 产生空载磁场, I_{0a} 与 I_{0r} 相比小很多, I_{0a} 约为 $0.01 I_{0r}$,

$\cos \varphi = \frac{I_{0a}}{I_0} \approx 0.01$,所以功率因数很低。空载时从电源吸收的有功功率转变为铁损耗,无功功率转变为绕组中的磁场贮能。

2.6 何谓变压器的主磁通?何谓变压器的漏磁通?它们各有什么特点?各起什么作用?

答:同时与一次和二次绕组相交链的磁通称为主磁通,只与一次绕组或只与二次绕组相交

链的磁通称为漏磁通。主磁通经过的是铁心磁路,磁阻小,磁通量大;漏磁通经过的磁路是空气或变压器油,磁阻大,磁通量小。主磁通起着传递电能的媒介作用;漏磁通不能传递能量,只产生电压降。

2.7 何谓变压器的励磁电抗 X_m ? 希望 X_m 是大好还是小好? 为什么?

答: 变压器的励磁电抗 X_m 是表示变压器绕组的励磁电流 I_0 在绕组中产生感应电动势

E_1 的电抗,即 $-\dot{E}_1 = \dot{I}_0(R_m + jX_m)$, $X_m \gg R_m$, 所以 $E_1 \approx I_0 X_m$, $X_m \approx \frac{E_1}{I_0}$, X_m 表示单位励

磁电流在绕组中产生的感应电动势, 因而希望 X_m 大好, X_m 越大, 同样的励磁电流在绕组中产生的感应电动势就越大。

2.8 电抗 X_1 、 X_2 的物理意义如何? 当负载变化时, 它们的数值变化吗? 为什么?

答: 电抗 X_1 是表示一次绕组电流 I_1 产生的漏磁通在一次绕组产生感应电动势 E_{σ_1} 的电抗, $E_{\sigma_1} = I_1 X_1$; 电抗 X_2 是表示二次绕组电流 I_2 产生的漏磁通在二次绕组产生感应电动势 E_{σ_2} 的电抗, $E_{\sigma_2} = I_2 X_2$ 。当负载变化时, X_1 、 X_2 数值不变, 因为漏磁通经过的是由空气和变压器油组成的线性磁路, 没有铁磁材料的饱和现象, 所以数值不变。

2.9 何谓折算? 变压器参数折算时应该遵循什么原则?

答: 折算是在保持变压器内部原有电磁关系不变的前提下, 把二次绕组的匝数变换为一次绕组的匝数, 并对二次电磁量进行折合的算法。折算时遵循的原则是保持原有电磁关系不变, 即磁动势不变, 输出功率不变, 铜损耗不变等等。

2.10 何谓标么值? 若一次电流的标么值为 0.5, 问二次电流的标么值为多少? 为什么?

答: 某一物理量的实际值与其基准值之比, 称为该物理量的标么值。若一次电流的标么值

为 0.5,则二次电流的标么值也为 0.5,因为忽略空载电流时,则磁动势平衡方程式为

$$I_1 N_1 = I_2 N_2 \quad I_2 = \frac{I_1 N_1}{N_2} = K I_1$$

$$I_1^* = \frac{I_1}{I_{1N}} = \frac{K I_1}{K I_{1N}} = \frac{I_2}{I_{2N}} = I_2^* \quad \text{即一次与二次电流的标么值相等。}$$

2.11 在一次侧和二次侧作空载试验时,从电源吸收的有功功率相同吗?测出的参数相同吗?

短路试验的情况又怎样?

答:在一次侧和二次侧作空载试验时,从电源吸收的有功功率相同,测出的参数中,变比相同,但励磁阻抗不相同,一次侧测得的励磁阻抗是二次侧测得的励磁阻抗的 K^2 ,因为无论是在一次侧或二次侧作空载试验时的电压都是其对应的额定电压,铁心磁通是额定磁通,铁损耗相同,所以从电源吸收的有功功率相同。在一次侧和二次侧作短路试验时,从电源吸收的有功功率也相同,一次侧测得的短路阻抗也是二次侧测得的短路阻抗的 K^2 。

2.12 准确地说变压器的变比是空载时一次、二次绕组感应电动势之比,还是负载时一次、二次电压之比?

答:准确地说变压器的变比是空载时一次、二次绕组感应电动势之比,不是负载时一次、二次电压之比。由于漏阻抗压降较小,可以近似认为变压器的变比是负载时一次、二次电压之比。

2.13 变压器的电压变化率的大小与哪些因素有关?

答:变压器的电压变化率与负载系数、短路阻抗和负载的功率因数有关。负载系数大,电压变化率大;短路阻抗大,电压变化率大;电阻性负载电压变化率较小,电感性负载电压变化率较大。

2.14 变压器的效率的高低与哪些因素有关?什么情况下变压器的效率最高?

答:变压器效率的高低与负载系数及功率因数有关。在不变损耗(铁损耗)与可变损耗(铜损耗)相等时变压器效率最高。

2.15 若三相变压器的一次、二次绕组线电动势 $\dot{E}_{UW}$ 领先 $\dot{E}_{uw}$ 90° , 试问这台变压器联结组标号的标号数是多少?

答: 将三相变压器的一次绕组线电动势 $\dot{E}_{UW}$ 作为时钟的长针指向钟面的“12”, 二次绕组线电动势 $\dot{E}_{uw}$ 落后 $\dot{E}_{UW}$ 90° , 作为时钟的短针指向钟面的“3”, 所以联结组标号的标号数是3。

2.16 变压器并联运行的条件是什么?其中哪一个条件要绝对满足?为什么?

答: 变压器并联运行的条件有三:一是各一次侧、二次侧额定电压分别相等,即变比相同;二是联结组相同;三是短路阻抗标么值相等。其中第二个条件联结组相同是要绝对满足,因为若联结组不同,表明并联变压器二次侧绕组线电动势之间有相位差,并联运行时在二次侧绕组线之间会产生电压差,而变压器短路阻抗较小,这样就会在绕组之间产生较大的环流,将绕组烧坏。

2.17 何谓变压器容量?何谓绕组容量?在双绕组变压器中它们是相等还是不相等?在自耦变压器中呢?

答: 变压器容量就是变压器的视在功率,单相变压器容量等于其端电压与电流的乘积。绕组容量等于其端电压与流过绕组电流的乘积。在双绕组变压器中变压器容量与绕组容量相等;在自耦变压器中它们不相等,变压器容量等于绕组容量加上传导容量,变压器容量大于绕组容量。

2.18 电压互感器和电流互感器在使用中应注意哪些事项?

答: 电压互感器在使用中二次侧不能短路,电流互感器在使用中二次侧不能开路,无论是电压互感器还是电流互感器在使用中二次侧都要接地。

2.19 电焊变压器外特性的特点是什么?

答: 电焊变压器的输出电压随焊接电流的增大而急剧下降,具有急剧下降的外特性。

2.20 一台三相电力变压器,额定容量 $S_N = 2\,000\text{ kV} \cdot \text{A}$,额定电压 $U_{1N}/U_{2N} = 6/0.4$

kV,Yd 接法,试求一次、二次绕组额定电流 I_{1N} 与 I_{2N} 各为多少?

解: 变压器额定容量 $S_N = \sqrt{3}I_{1N}U_{1N} = \sqrt{3}I_{2N}U_{2N}$

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} = \frac{2000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 6 \times 10^3} = 192.5\text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} = \frac{2000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 0.4 \times 10^3} = 2886.8\text{ A}$$

2.21 试计算下列各台变压器的变比 K:

(1) $U_{1N}/U_{2N} = 3\,300/220\text{ V}$ 的单相变压器;

(2) $U_{1N}/U_{2N} = 6/0.4\text{ kV}$ 的 Yy 接法的三相变压器;

(3) $U_{1N}/U_{2N} = 10/0.4\text{ kV}$ 的 Yd 接法的三相变压器。

解: (1) 单相变压器 $K = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{3300}{220} = 15$

(2) Yy 接法的三相变压器 $K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1N}/\sqrt{3}}{U_{2N}/\sqrt{3}} = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{6 \times 10^3}{0.4 \times 10^3} = 15$

(3) Yd 接法的三相变压器

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1N}/\sqrt{3}}{U_{2N}} = \frac{U_{1N}}{\sqrt{3}U_{2N}} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 0.4 \times 10^3} = 14.4$$

2.22 一台三相电力变压器 Yd 接法,额定容量 $S_N = 1\,000\text{ kV} \cdot \text{A}$,额定电压 $U_{1N}/U_{2N} = 10$

/3.3 kV,短路阻抗标么值 $Z_K^* = 0.053$,二次侧的负载接成三角形, $Z_L = (50 + j85)\Omega$,试求一

次侧电流、二次侧电流和二次侧电压?

解: $K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1N}/\sqrt{3}}{U_{2N}} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 3.3 \times 10^3} = 1.75$

$$U_K^* = \frac{U_K}{U_1} = \frac{I_{1N}Z_K}{U_1} = \frac{Z_K}{U_1/I_{1N}} = \frac{Z_K}{Z_{1N}} = Z_K^*$$

$$Z_K = \frac{Z_K^* U_1}{I_{1N}} = \frac{Z_K^* U_{1N} / \sqrt{3}}{I_{1N}} = \frac{Z_K^* U_{1N}}{\sqrt{3} I_{1N}} = \frac{Z_K^* U_{1N}}{S / U_{1N}}$$

$$= \frac{Z_K^* U_{1N}^2}{S} = \frac{0.053 \times (10 \times 10^3)^2}{1000 \times 10^3} = 5.3 \Omega$$

$$Z'_L = K^2 Z_L = 1.75^2 \times \sqrt{50^2 + 85^2} = 302 \Omega$$

忽略短路阻抗角与负载阻抗角的不同,则变压器一相的阻抗 Z 为

$$Z = Z_K + Z'_L = 5.3 + 302 = 307.3$$

$$I_1 = \frac{U_1}{Z} = \frac{U_{1N} / \sqrt{3}}{Z} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 307.3} = 18.79 A$$

$$I_2 = K I_1 = 1.75 \times 18.79 = 32.88 A$$

$$U_2 = I_2 Z_L = 32.88 \times \sqrt{50^2 + 85^2} = 32.88 \times 98.6 = 3242 V$$

2.23 一台单相双绕组变压器,额定容量为 $S_N = 600 \text{ kV} \cdot \text{A}$, $U_{1N}/U_{2N} = 35/6.3 \text{ kV}$,当有额定电流流过时,漏阻抗压降占额定电压的 6.5% ,绕组中的铜损耗为 9.5 kW (认为是 75°C 的值),当一次绕组接额定电压时,空载电流占额定电流的 5.5% ,功率因数为 0.10 。试求:

(1) 变压器的短路阻抗和励磁阻抗各为多少?

(2) 当一次绕组接额定电压,二次绕组接负载 $Z_L = 80 \angle 40^\circ \Omega$ 时的 U_2 、 I_1 及 I_2 各为多少?

$$\text{解: (1) } K = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{35 \times 10^3}{6.3 \times 10^3} = 5.56 \quad I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}} = \frac{600 \times 10^3}{35 \times 10^3} = 17.1 A$$

$$R_K = \frac{P_{cu}}{I_{1N}^2} = \frac{9.5 \times 10^3}{17.1^2} = 32.5 \Omega$$

$$U_K^* = \frac{I_{1N} Z_K}{U_{1N}} \quad Z_K = \frac{U_{1N} U_K^*}{I_{1N}} = \frac{35 \times 10^3 \times 0.065}{17.1} = 133 \Omega$$

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{133^2 - 32.5^2} = 129 \Omega$$

$$Z_K = R_K + jX_K = 32.5 + j129 \Omega$$

$$P_0 = U_{1N} I_0 \cos \varphi_0 = 35 \times 10^3 \times 17.1 \times 0.055 \times 0.1 = 3292 W$$

$$R_m = \frac{P_0}{I_0^2} = \frac{3292}{(17.1 \times 0.055)^2} = 3722 \Omega \quad Z_m = \frac{U_{1N}}{I_0} = \frac{35 \times 10^3}{17.1 \times 0.055} = 37214 \Omega$$

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} = \sqrt{37214^2 - 3722^2} = 37027 \Omega$$

$$Z_m = R_m + jX_m = 3722 + j37027 \Omega$$

$$(2) Z_L = 80 \angle 40^\circ$$

$$= 80 \times (\cos 40^\circ + j \sin 40^\circ) = 80 \times (0.76586 + j0.64279) = 61.3 + j51.4$$

$$Z'_L = K^2 Z_L = 5.56^2 \times (61.3 + j51.4) = 1895 + j1589 \Omega$$

$$\text{一相的阻抗 } Z \text{ 为 } Z = Z_K + Z'_L = (32.5 + j129) + (1895 + j1589) = 2582 \angle 40^\circ 42'$$

$$I_1 = \frac{U_{1N}}{Z} = \frac{35 \times 10^3}{2582} = 13.56 A \quad I_2 = KI_1 = 5.56 \times 13.56 = 75.4 A$$

$$U_2 = I_2 Z_L = 75.4 \times 80 = 6032 V$$

2.24 一台三相电力变压器 Yy 联结,额定容量为 $S_N = 750 \text{ kVA}$,额定电压 $U_{1N}/U_{2N} = 10$

/0.4 kV;在低压侧做空载试验时, $U_{20} = 400 \text{ V}$, $I_0 = 60 \text{ A}$,空载损耗 $P_0 = 3.8 \text{ kW}$;在高压侧做

短路试验时, $U_{1K} = 400 \text{ V}$, $I_{1K} = I_{1N} = 43.3 \text{ A}$,短路损耗 $P_K = 10.9 \text{ kW}$,铝线绕组,室温

20 °C,试求:

(1) 变压器各阻抗参数,求阻抗参数时认为 $R_1 \approx R_2'$, $X_1 \approx X_2'$,并画出 T 型等值电路图;

(2) 带额定负载, $\cos \varphi_2 = 0.8$ (滞后)时的电压变化率 Δu 及二次电压 U_2 ;

(3) 带额定负载, $\cos \varphi_2 = 0.8$ (超前)时的电压变化率 Δu 及二次电压 U_2 。

$$\text{解: (1) } K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1N} / \sqrt{3}}{U_{2N} / \sqrt{3}} = \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{10 \times 10^3}{0.4 \times 10^3} = 25$$

$$\text{低压侧的励磁电阻为 } R_m = \frac{P_0 / 3}{I_0^2} = \frac{3.8 \times 10^3 / 3}{60^2} = 0.352 \Omega$$

$$\text{励磁阻抗 } Z_m = \frac{U_2}{I_0} = \frac{400 / \sqrt{3}}{60} = 3.85 \Omega$$

$$\text{励磁电抗 } X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} = \sqrt{3.85^2 - 0.352^2} = 3.834 \Omega$$

折算到高压侧的励磁阻抗为

$$Z'_m = K^2 Z_m = 25^2 \times (0.352 + j3.834) = 220 + j239 \Omega$$

$$Z_K = \frac{U_{1K} / \sqrt{3}}{I_{1K}} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 43.3} = 5.33 \Omega \quad R_K = \frac{P_K / 3}{I_{1K}^2} = \frac{10.9 \times 10^3}{3 \times 43.3^2} = 1.94 \Omega$$

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{5.33^2 - 1.94^2} = 4.96 \Omega$$

$$R_{K75^\circ C} = \frac{228 + 75}{228 + \theta} R_K = \frac{228 + 75}{228 + 20} \times 1.94 = 2.37 \Omega$$

$$Z_{K75^\circ C} = \sqrt{R_{K75^\circ C}^2 + X_K^2} = \sqrt{2.37^2 + 4.96^2} = 5.5 \Omega$$

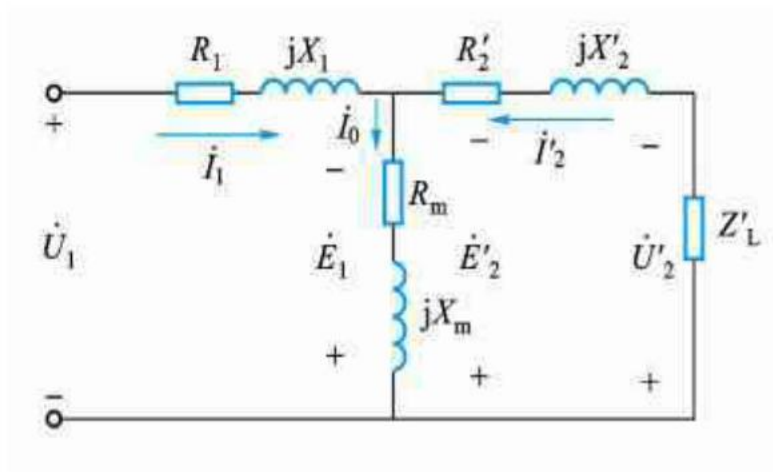
$$R_K = R_1 + R'_2 = 2R_1 \quad R_1 = \frac{R_K}{2} = \frac{2.37}{2} = 1.185 \Omega$$

$$\text{同理 } X_1 = \frac{X_K}{2} = \frac{4.96}{2} = 2.48 \Omega \quad Z_1 = R_1 + jX_1 = 1.185 + j2.48 \Omega$$

$$R_2 = \frac{R'_2}{K^2} = \frac{R_1}{K^2} = \frac{1.185}{25^2} = 0.0019 \Omega$$

$$X_2 = \frac{X'_2}{K^2} = \frac{X_1}{K^2} = \frac{2.48}{25^2} = 0.004 \Omega \quad Z_2 = R_2 + jX_2 = 0.0019 + j0.004 \Omega$$

T 型等值电路图如题 2.24 图



题 2.24 图

$$(2) \Delta u = \beta \left(\frac{I_{1N} R_K \cos \varphi_2 + I_{1N} X_K \sin \varphi_2}{U_1} \right) \times 100\%$$

$$= \frac{43.3 \times 2.37 \times 0.8 + 43.3 \times 4.96 \times 0.6}{10 \times 10^3 / \sqrt{3}} \times 100\% = 3.65\%$$

$$U_2 = (1 - \Delta u) \times \frac{U_{2N}}{\sqrt{3}} = \frac{400 \times (1 - 0.0365)}{\sqrt{3}} = 222.5V$$

$$(3) \Delta u = \frac{43.3 \times 2.37 \times 0.8 - 43.3 \times 4.96 \times 0.6}{10 \times 10^3 / \sqrt{3}} \times 100\% = -0.81\%$$

$$U_2 = \frac{400 \times (1 + 0.0081)}{\sqrt{3}} = 232.8V$$

2.25 两台三相变压器并联运行,有关数据如下:

$$S_{Na} = 1250 \text{ kV} \cdot \text{A}, U_{1N}/U_{2N} = 35/10.5 \text{ kV}, Z_{Ka}^* = 0.065, \text{Yd11}。$$

$$S_{Nb} = 2000 \text{ kV} \cdot \text{A}, U_{1N}/U_{2N} = 35/10.5 \text{ kV}, Z_{Kb}^* = 0.06, \text{Yd11}。$$

试求:

(1) 总输出为 3250 kV · A 时,每台变压器输出为多少?

(2) 在两台变压器均不过载的前提下,并联运行时的最大输出为多少?

$$\text{解: (1) } \frac{\beta_a}{\beta_b} = \frac{Z_{Kb}^*}{Z_{Ka}^*} = \frac{0.06}{0.065} = \frac{12}{13} \quad \beta_a = \frac{12}{13} \beta_b$$

$$S = S_{\alpha} + S_{\beta} = \beta_{\alpha} S_{N\alpha} + \beta_{\beta} S_{N\beta} = \frac{12}{13} \beta_{\beta} S_{N\alpha} + \beta_{\beta} S_{N\beta}$$

$$= \beta_{\beta} \left(\frac{12}{13} S_{N\alpha} + S_{N\beta} \right) = \beta_{\beta} \left(\frac{12}{13} \times 1250 + 2000 \right) = 3250$$

$$\beta_{\beta} = \frac{3250}{3153} = 1.031 \quad \beta_{\alpha} = \frac{12}{13} \times 1.031 = 0.95$$

$$S_{\alpha} = \beta_{\alpha} S_{N\alpha} = 0.95 \times 1250 = 1188 \text{ KVA}$$

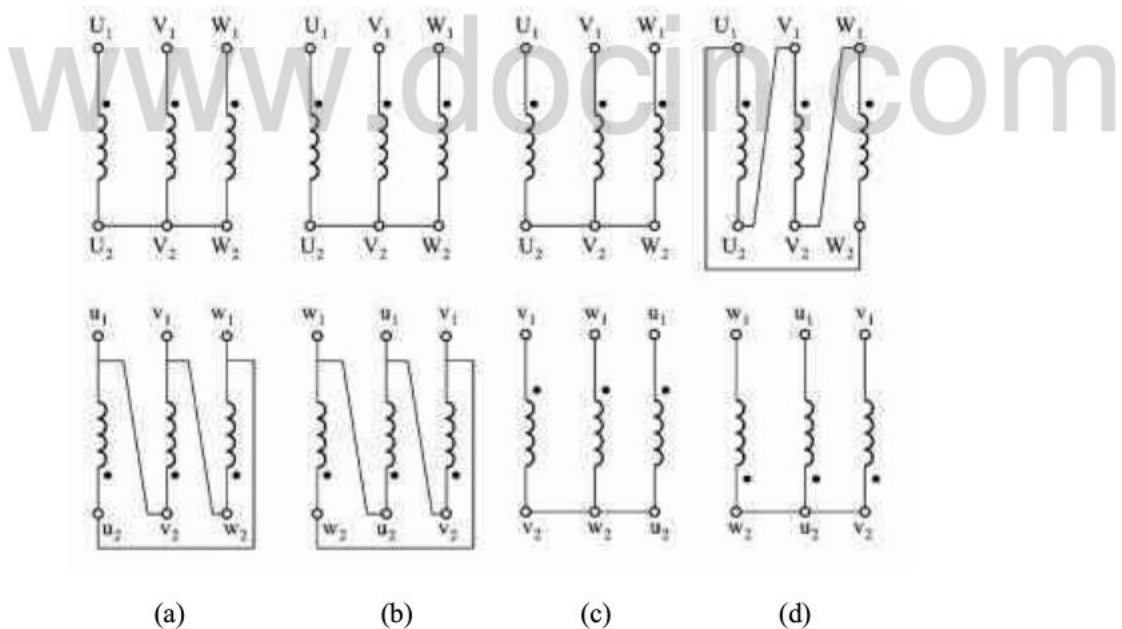
$$S_{\beta} = \beta_{\beta} S_{N\beta} = 1.031 \times 2000 = 2062 \text{ KVA}$$

$$(2) \text{ 两台变压器均不过载时, 令 } \beta_{\beta} = 1 \quad \text{则 } \beta_{\alpha} = \frac{12}{13}$$

$$S_{\alpha} = \frac{12}{13} \times 1250 = 1154 \text{ KVA}$$

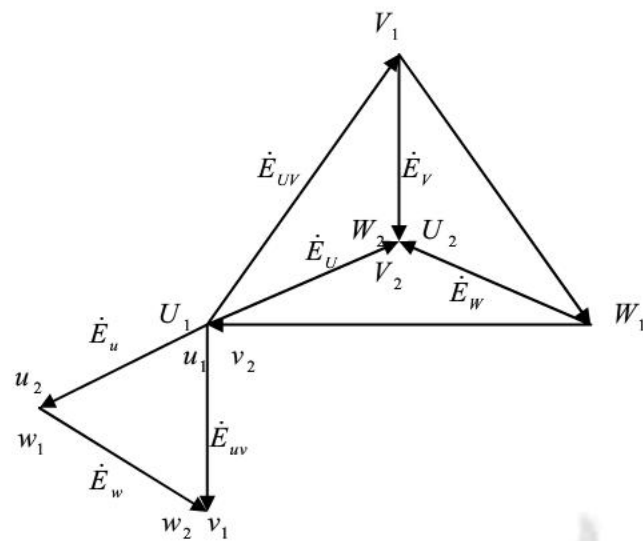
$$S = S_{\alpha} + S_{\beta} = 1154 + 2000 = 3154 \text{ KVA}$$

2.26 有四台三相变压器, 接线图如题 2.26 图所示, 通过画绕组电动势相量图, 确定它们的联结组标号。



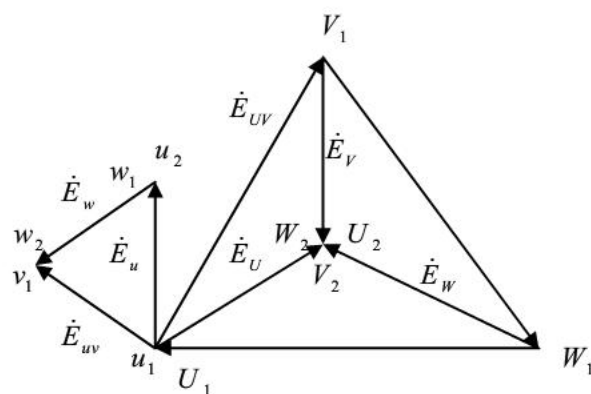
题 2.26 图 变压器接线图

解: 图(a)中的变压器绕组电动势相量图如下图



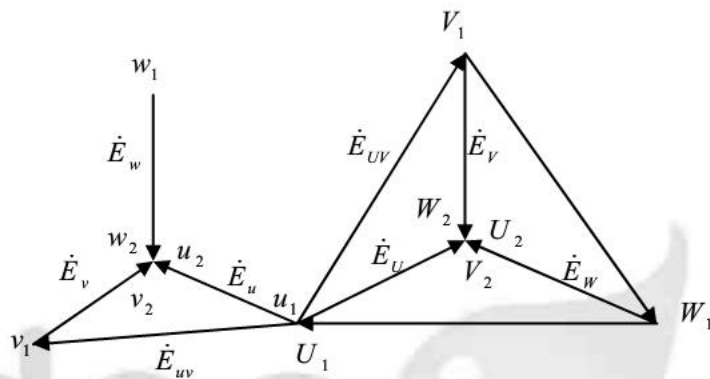
由图可见,一次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{UV}$ 与二次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{uv}$ 的相位差为 150° , 当 $\dot{E}_{UV}$ 指向时钟钟面“12”时, $\dot{E}_{uv}$ 则指向时钟钟面的“5”, 故标号数为 5, 变压器联结组标号是 Yd5。

图(b)中的变压器绕组电动势相量图如下图



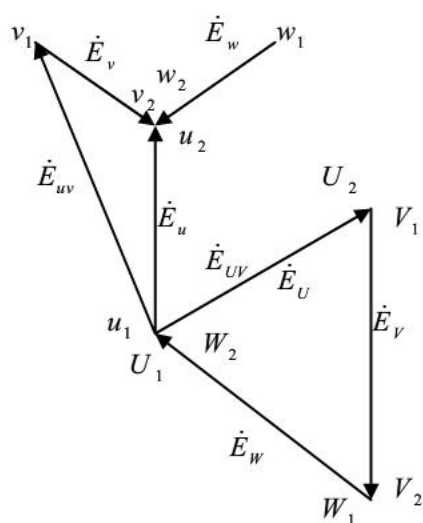
由图可见,一次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{UV}$ 与二次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{uv}$ 的相位差为 90° , 当 $\dot{E}_{UV}$ 指向时钟钟面“12”时, $\dot{E}_{uv}$ 则指向时钟钟面的“9”, 故标号数为 9, 变压器联结组标号是 Yd9。

图(c)中的变压器绕组电动势相量图如下图



由图可见,一次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{UV}$ 与二次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{uv}$ 的相位差为 120° , 标号数为 8, 变压器联结组标号是 Yy8。

图(d)中的变压器绕组电动势相量图如下图



由图可见,一次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{uv}$ 与二次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{uv}$ 的相位差为 90° , 标号为 9, 变压器联结组标号是 Dy9。

2.27 画出下列联结组标号变压器的接线图:

(1) Yd3;

(2) Dy1。

解: (1) Yd3, 表示变压器一次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{uv}$ 与二次绕组线电动势相量 $\dot{E}_{uv}$ 的相位差为 90° , 绕组电动势相量图如图(1)所示, 这样, 二次绕组线电动势相量图就有二个等边三角形, 即 $\Delta u_1 v_1 w_1$ 和 $\Delta u_1 v_1 w_1'$ 。

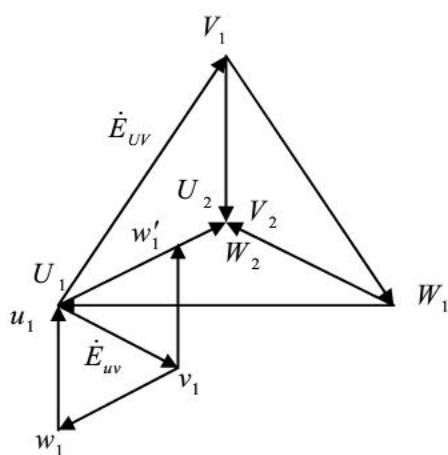


图 (1)

在 $\Delta u_1 v_1 w_1$ 中, u_1 点已确定, 则绕组 $u_1 u_2$ 的另一个端点 u_2 可以和 v_1 连接在一起, 也可以和 w_1 连接在一起, 所以变压器二次绕组 6 个端点连接规律如图(a)和图(b)所示。

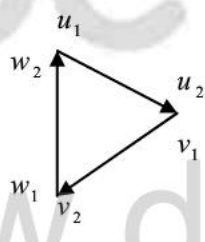


图 (a)

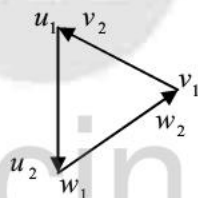


图 (b)

满足图(a)和图(b)要求的接线图分别如图(c)和图(d)所示。

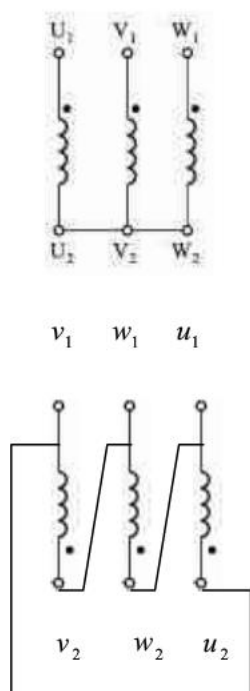
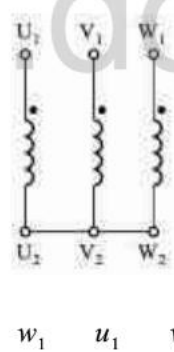


图 (c)



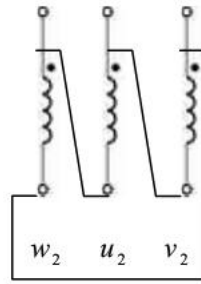


图 (d)

对 $\Delta u_1 v_1 w_1'$, 为了方便, 将 w_1' 改为 w_1 , 这样, 对应的二次绕组的六个端点也有两种组合, 分别如图(e)和图(f)所示。满足图(e)和图(f)要求的接线图分别如图(g)和图(h)所示。

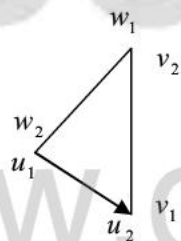


图 (e)

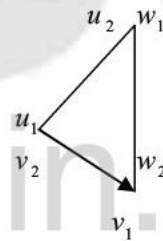


图 (f)

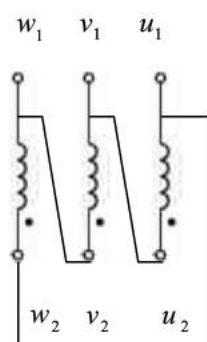
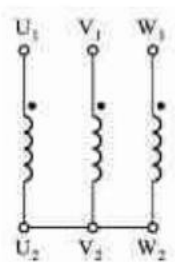
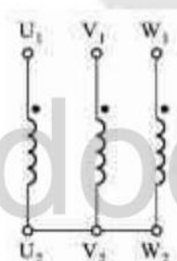


图 (g)



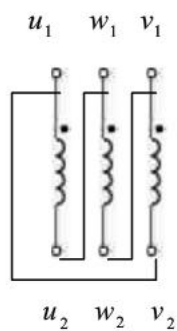


图 (h)

(2) 联结组为 Dy1 的变压器电动势相量图如图(2)所示,可得到表示二次侧电动势相量的两个等边三角形,即 $\Delta u_1 v_1 w_1$ 和 $\Delta u_1 v_1 w'_1$ 。

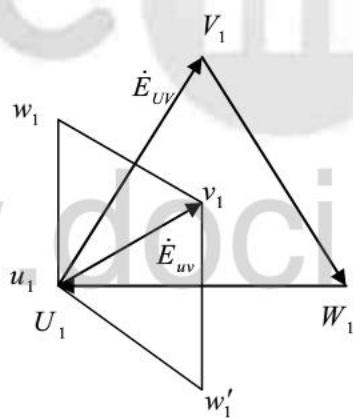


图 (2)

对二次侧线电动势相量 $\Delta u_1 v_1 w_1$,其相电动势相量与线电动势相量的关系如图(i)所示,对应的接线图如图(j)所示。

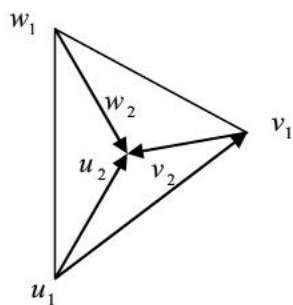


图 (i)

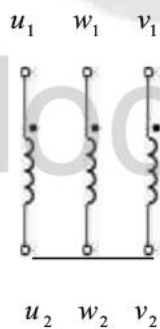
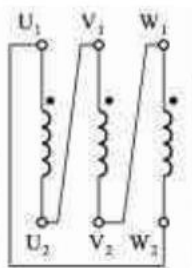
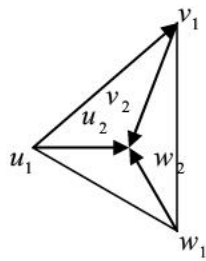
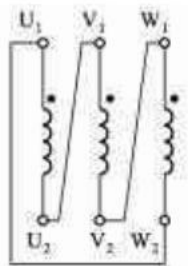


图 (j)

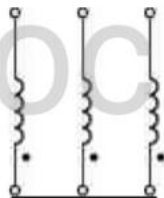
对线电动势相量 $\Delta u_1 v_1 w_1'$, 将 w_1' 改为 w_1 , 其相电动势相量与线电动势相量的关系如图(k)所示, 对应的接线图如图(m)所示。



图(k)



v_1 w_1 u_1



v_2 w_2 u_2

图 (m)

2.28 画出下列联结组标号变压器的接线图:

(1) Yy10 ;

(2) Dd6 。

解: (1) 联结组标号为 Yy10 的变压器电动势相量图如图(a)所示,得到二次侧电动势相量的两个等边三角形,即 $\Delta u_1 v_1 w_1$ 和 $\Delta u_1 v_1 w'_1$ 。

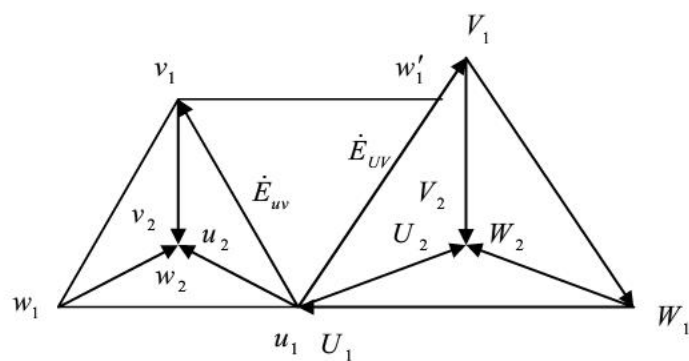


图 (a)

二次侧线电动势相量为 $\Delta u_1 v_1 w_1$ 的变压器,其接线图如图(b)所示。

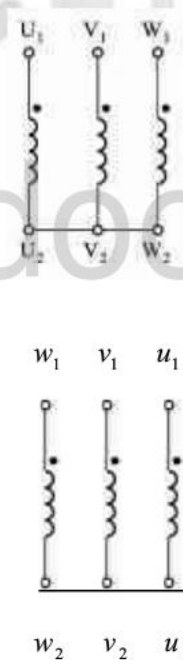


图 (b)

对线电动势相量 $\Delta u_1 v_1 w'_1$, 将 w'_1 改为 w_1 , 其对应的接线图如图(c)所示。

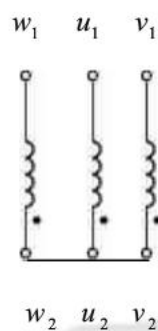
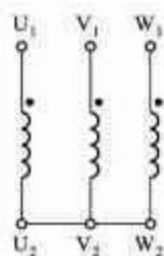


图 (c)

(2) 联结组标号为 Dd6 的变压器电动势相量图如图(d)所示, 得到二次侧电动势相量的两个等边三角形, 即 $\Delta u_1 v_1 w_1$ 和 $\Delta u_1 v_1 w'_1$ 。

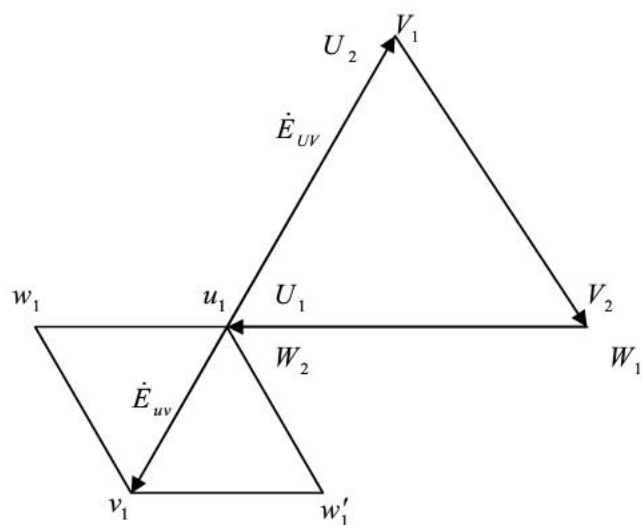
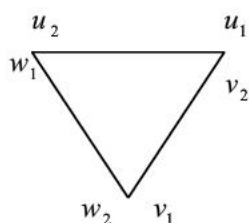
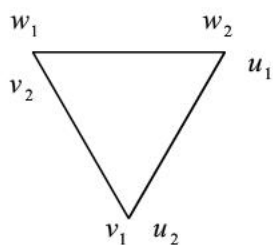


图 (d)

二次侧电动势相量为 $\Delta u_1 v_1 w_1$ 时,6 个端点的连接关系如图(e)和图(f)所示。

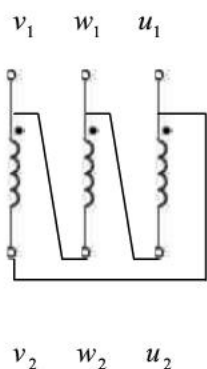
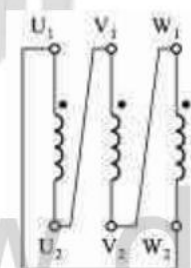


图(e)

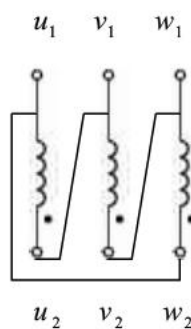
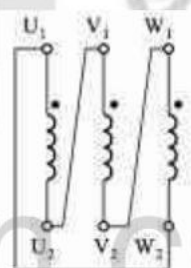


图(f)

与图(e)对应的变压器接线图如图(g)所示; 与图(f)对应的变压器接线图如图(h)所示。



图(g)



图(h)

二次侧电动势相量为 $\Delta u_1 v_1 w_1'$ 时, 将 w_1' 改为 w_1 , 6 个端点的连接关系如图(i)和图(j)所示。

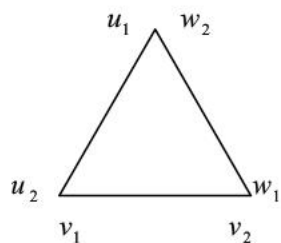


图 (i)

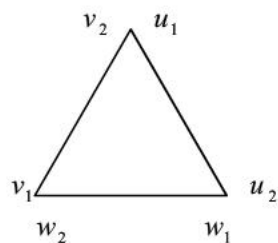


图 (j)

与图(i)对应的变压器接线图如图(k)所示; 与图(j)对应的变压器接线图如图(m)所示。

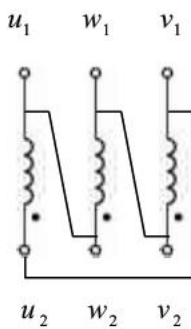
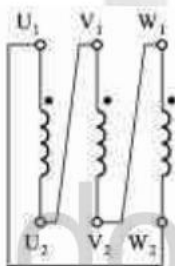


图 (k)

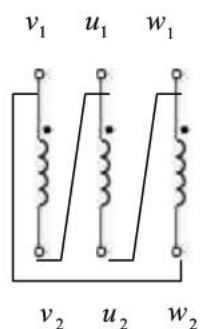
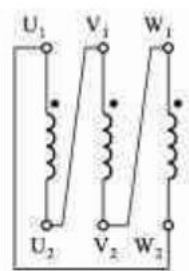


图 (m)

2.29 一台单相自耦变压器数据为 $U_1=220\text{ V}$, $U_2=180\text{ V}$, $I_2=400\text{ A}$,当不计损耗和漏阻抗压降时,试求:

(1)一次电流 I_1 和公共绕组部分的电流 I ;

(2)二次绕组容量 S_2 及传导容量 S_c 。

解: (1) $K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{180} = 1.22$

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{400}{1.22} = 327.3\text{ A} \quad I = I_2 - I_1 = 400 - 327.3 = 72.7\text{ A}$$

(2) $S_2 = IU_2 = 72.7 \times 180 \times 10^{-3} = 13\text{ KW}$

$$S_c = I_1 U_2 = 327.3 \times 180 \times 10^{-3} = 59\text{ KW}$$

第三章

3.1 三相异步电动机的结构主要是哪几部分?它们分别起什么作用?

答: 三相异步电动机的结构分定子和转子两部分,定、转子之间有空气隙。定子是由定子铁心、定子绕组和机座三个部分组成。定子铁心是磁路的一部分,同时用来嵌放定子绕

组;定子绕组通电时能产生磁场;机座用来固定与支撑定子铁心。转子部分有转子铁心和转子绕组。转子铁心也是磁路的一部分,同时用来嵌放转子绕组;转子绕组的作用是产生感应电动势、流过电流并产生电磁转矩。

3.2 异步电动机的基本工作原理是什么?为什么异步电动机在电动运行状态时,其转子的转速总是低于同步转速?

答:异步电动机是应用通电导体在磁场中产生电磁力的原理而工作的。电动机在工作时定子旋转磁场与转子之间要有相对切割运动,否则在转子绕组中不能产生感应电动势,不能产生电流,也就没有电磁转矩,所以在电动运行状态时,转子的转速不能等于同步转速,只能低于同步转速。

3.3 什么叫转差率?三相异步电动机的额定转差率为多少?为什么转差率是异步电动机最重要的一个技术参数?

答:旋转磁场转速即同步转速 n_1 与转子转速 n 之差($n_1 - n$)称为转差。转差($n_1 - n$)与同步转速 n_1 之比,称为转差率,用 s 表示,即

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

额定转差率 s_N 很小,约为0.015~0.05。转子转速 $n = n_1(1 - s)$,用转差率 s 能表示转子转速,转子的感应电动势也与转差率相关,所以转差率是最重要的一个技术参数。

3.4 已知一台三相异步电动机的额定功率 $P_N = 10 \text{ kW}$,额定电压 $U_N = 380 \text{ V}$,额定功率因数 $\cos \varphi_N = 0.75$,额定效率 $\eta_N = 86\%$,问其额定电流 I_N 为多少?

解:由 $P_N = \sqrt{3} U_N I_N \cos \varphi_N \eta_N \times 10^{-3} \text{ kW}$

$$\text{则有 } I_N = \frac{P_N \times 10^3}{\sqrt{3} U_N \eta_N \cos \varphi_N} = \frac{10 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.86 \times 0.75} = 23.6 \text{ A}$$

3.5 一台异步电动机定子绕组有6根引出线,其铭牌上标明“电压380/220 V,接法Y/ Δ ”。如果三相电源电压是380 V,定子绕组应采用哪种接法?出线盒内的接线端子应如何连接?

答:应采用Y接法,出线盒内三个绕组的末端 U_2 、 V_2 、 W_2 连接在一起,三个首端出线头 U_1 、 V_1 、 W_1 接三相电源,

3.6 三相异步电动机的定子绕组是如何组成的?按什么规律连接?有什么特点?

答:三相异步电动机的定子绕组由三个匝数相等、相位互差 120° 的绕组组成。三个绕组可以连接成Y联接(星形联接),也可以连接成 Δ 联接(三角形联接)。其特点是对称的三相绕组。

3.7 三相异步电动机铭牌上标注的额定功率 P_N 是输入功率还是输出功率?是电功率还是机械功率?

答:三相异步电动机铭牌上标注的额定功率 P_N 不是输入功率,而是输出功率,不是电功率,而是机械功率。

3.8 单相绕组通以单相交流电将在气隙中产生什么性质的磁场?三相对称绕组通以三相对称电流将在气隙中产生什么性质的磁场?两种磁场之间有何内在联系?

答:单相绕组通以单相交流电将在气隙中产生脉动磁场。三相对称绕组通以三相对称电流将在气隙中产生旋转磁场。脉动磁场可以分解为基波与高次谐波磁场,三相对称绕组的基波磁场叠加在一起就形成了基波旋转磁场。

3.9 三相旋转磁动势的幅值与极数及绕组系数之间有什么关系?

答:由三相旋转磁动势幅值表达式 $F_1 = 1.35 \frac{I_1 N_1}{p} k_{N1}$ 可知,磁动势幅值 F_1 与极对数 p 成反比关系,与绕组系数 k_{N1} 成正比。

3.10 若将三相异步电动机三相电源的任何两相引线对调,异步电动机转子的转向将作何变化?为什么?

答:若将三相异步电动机三相电源的任何两相引线对调,则电动机反转。因为当电动机定子绕组外接电源相序变化时,定子旋转磁场就反向,所以电动机也就反向旋转。

3.11 为什么三相异步电动机空载电流的标么值要比变压器的大?

答:变压器的磁路是铁心构成的磁路,磁阻小,产生一定的额定磁通所需要的励磁电流

比较小;而三相异步电动机的磁路中包含有定、转子之间的间隙,间隙的磁阻比较大,产生同样大小的额定磁通所需要的励磁电流就比较大,所以三相异步电动机空载电流的标么值要比变压器的大。

3.12 三相异步电动机转子绕组短路并堵转,若定子绕组加额定电压,将会产生什么后果?并分析原因。

答:当三相异步电动机转子绕组短路并堵转时,若定子绕组加额定电压,则流过绕组的电流会很大,使电动机发热严重,导致烧坏电动机。其原因是:转子绕组短路并堵转时,转子转速为零,旋转磁场与转子的相对切割速度为最大,在转子绕组中产生的感应电动势最大,转子电流最大,定子电流也就最大,约为额定电流的5~7倍,会烧坏电动机。

3.13 异步电动机的转差率 s 是如何定义的?电机运行时,转子绕组感应电动势、电流的频率 f_2 与定子频率 f_1 是什么关系?

答:转差率 s 的定义是转差 $(n_1 - n)$ 与同步转速 n_1 之比,即 $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$

电机运行时,转子绕组感应电动势的频率、电流的频率 f_2 与定子频率 f_1 成正比,即

$$f_2 = sf_1$$

3.14 异步电机的时空相量图中,哪些是时间相量,哪些是空间相量?

答:异步电机的时空相量图中,表示电流、电压、感应电动势的相量是时间相量,表示磁通、磁动势的相量是空间相量。

3.15 一台额定电压 380 V、星形联结的三相异步电动机,如果误连成三角形联结,并接到 380 V 的电源上,会有什么后果?为什么?

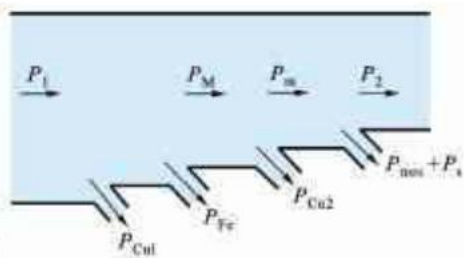
答:一台额定电压 380 V、星形联结的三相异步电动机,如果误连成三角形联结,并接到 380 V 的电源上,电动机被烧坏。因为额定电压 380 V、星形联结的三相异步电动机,其定子绕组额定电压为 220 V,若将星形联结的定子绕组误连成三角形联结,并接到 380 V 的电源上,这时定子绕组电压为 380 V,大大超过其额定电压,会使定子电流变得很大,会烧坏电动机。

3.16 一台额定电压 380 V、三角形联结的三相异步电动机,如果误连成星形联结,并接到 380 V 的电源上满载运行时,会有什么后果?为什么?

答: 额定电压 380 V 、三角形联结的三相异步电动机,如果误连成星形联结,并接到 380 V 的电源上满载运行时,电动机不能起动,不能运行。额定电压 380 V 、三角形联结的三相异步电动机,如果误连成星形联结,并接到 380 V 的电源上时,其一相绕组电压降为 $380/\sqrt{3}=220\text{V}$, 由于起动转矩与绕组电压的平方成正比, 这时起动转矩降低为原来的 $\frac{1}{3}$, 故而在满载时电动机不能起动,不能运行,时间一长会烧坏电动机。

3.17 三相异步电动机带恒转矩负载额定运行时,会产生哪些损耗?请画出功率流程图。

答: 电动机运行时的损耗有定子铜损耗 P_{Cu1} , 定子铁损耗 P_{Fe} , 转子铜损耗 P_{Cu2} , 机械摩擦损耗 P_{mec} , 附加损耗 P_s 。其功率流程图如题 3.17 图。



题 3.17 图

3.18 三相异步电动机的电磁功率、转子铜损耗和机械功率之间在数量上存在着什么关系?

答: 三相异步电动机的电磁功率、转子铜损耗和机械功率之间存在着比例关系,三者之比为 $1:s:(1-s)$ 。

3.19 三相异步电动机负载运行时,其 T 形等值电路为什么不能简化成一字形等值电路?

答: 在电动机 T 形等值电路中,转子的等值电阻为 $\frac{R'_2}{s}$, s 很小,约为 0.015~0.05, $\frac{R'_2}{s}$ 就比较大, 转子阻抗 $Z'_2 = \frac{R'_2}{s} + X'_2$ 也就比较大。励磁阻抗 Z_m 与 Z'_2 相并联, Z_m 与 Z'_2 相比, 并没有大到可以去掉而对电路没有影响的程度,所以不能去掉励磁阻抗而将 T 形等值电路简化成一字形等值电路。

3.20 异步电动机的过载倍数 λ_m 、起动转矩倍数 K_T 有何意义?它们是否越大越好?

答: 异步电动机的过载倍数 λ_m 表示电动机的过载能力,用最大转矩 T_m 与额定转矩 T_N 之比来表示,即

$$\lambda_m = \frac{T_m}{T_N}$$

起动转矩倍数 K_T 表示电动机起动时带负载的能力,等于起动转矩 T_{st} 与额定转矩 T_N 之比,即

$$K_T = \frac{T_{st}}{T_N}$$

λ_m 较大时,电动机的过载能力较大, K_T 较大时,电动机起动时带负载的能力较大,但它们不是越大越好,因为电动机的最大转矩 T_m 是一定的, λ_m 过大时, T_N 就小,电动机带额定负载的能力降低,这是不可取的,一般 λ_m 为 1.8~2.2, K_T 为 2 左右。

3.21 异步电动机带负载起动,负载越大,起动电流是不是越大?为什么?

答: 异步电动机带负载起动, 起动电流与负载大小无关,并不是负载越大,起动电流就越大。

转子电流 $\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{20}}{\frac{R_2}{s} + jX_{20}}$, 起动时 $s=1$, 起动时的转子电流 $\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{20}}{R_2 + jX_{20}}$, 与负载

无关,所以起动电流即定子电流 $\dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + (-\dot{I}_2')$ 也与负载无关,只不过负载越大, 起动加速度就变小, 起动时间变长。

3.22 异步电动机在何种条件下的机械特性是固有机械特性?

答: 异步电动机定子绕组接额定频率的额定电压,定、转子回路不串接任何元器件得到的机械特性就是固有机械特性。

3.23 试简述三相异步电动机的运行性能优劣主要通过哪些技术指标来反映?

答: 三相异步电动机的运行性能优劣主要通过功率因数和效率等技术指标来反映, 功率因数越高, 运行性能越优越; 效率越高, 能量利用率高, 运行性能越优越。另外, 最大转矩 T_m 越大, 电动机带负载能力越大; 起动转矩 T_{st} 越大, 电动机带负载起动能力越大。

3.24 三相异步电动机 T 形等值电路的参数主要通过什么实验来测定?

答: 三相异步电动机 T 形等值电路的参数主要通过空载实验和短路实验来测定。通过空载实验测定电动机的励磁阻抗 $Z_m = R_m + jX_m$ 和铁损耗 P_{Fe} 及机械损耗 P_{mec} 。通过短路实验测定电动机的短路阻抗 $Z_K = R_K + jX_K = (R_1 + R_2') + j(X_1 + X_2')$, 短路实验又称堵转实验。

3.25 为什么三相异步电动机的功率因数总是滞后的?

答: 三相异步电动机要从电网吸收滞后的励磁电流产生磁场; 定子和转子绕组都是感性负载, 所以三相异步电动机的功率因数总是滞后的。

3.26 为什么要进行频率折算? 折算应遵循什么样的基本原则?

答: 三相异步电动机运行时, 定子电流频率为 f_1 , 转子电流频率为 $f_2 = sf_1$, 定、转子电流频率不相等, 对不同频率的电量列出的方程组不能联立求解, 也不能根据它们求出等值电路和相量图。所以要把转子的频率折合, 使定、转子有相同的频率。频率折算的原则是保持转子磁动势 $\dot{F}_2$ 不变, 也就是保持转子电流 $\dot{I}_2$ 不变。

3.27 说明三相异步电动机等值电路中, 参数 R_1 、 X_1 、 R_2' 、 X_2' 、 R_m 、 X_m 各代表什么意义? 三相异步电动机转子附加电阻 $[(1-s)/s] R_2'$ 是如何产生的? 它代表什么物理意义?

答: R_1 、 X_1 分别表示三相异步电动机定子一相绕组的电阻和电抗; R'_2 、 X'_2 分别表示转子一相绕组的电阻和电抗折算到定子的折算值; R_m 、 X_m 分别表示励磁电阻和电抗。转子附加电阻 $[(1-s)/s] R'_2$ 是频率折算产生的, 它代表了电动机输出的机械功率

$$P_m = 3 \left(\frac{1-s}{s} \right) R'_2 I_2'^2$$

3.28 一台三相异步电动机, 额定运行时转速 $n_N = 1450 \text{ r/min}$, 问这时传递到转子的电磁功率有百分之几消耗在转子电阻上? 有百分之几转化成机械功率?

$$\text{解: } s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0.033$$

电磁功率 P_M 、总机械功率 P_m 、转子铜损耗 P_{cu2} 之间的比例为 $P_M : P_m : P_{cu2} = 1 : (1-s) : s$, 所以传递到转子的电磁功率中有 3.3% 消耗在转子电阻上, 有 96.7% 转化成机械功率。

3.29 一台三相异步电动机, 额定功率 $P_N = 25 \text{ kW}$, 额定电压 $U_N = 380 \text{ V}$, 额定转速 $n_N = 1470 \text{ r/min}$, 额定效率 $\eta_N = 86\%$, 额定功率因数 $\cos \varphi_N = 0.86$, 求电动机额定运行时的输入功率 P_1 和额定电流 I_N 。

$$\text{解: } P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{25}{0.86} = 29.07 \text{ kW}$$

$$I_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi_N \eta_N} = \frac{25 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.86 \times 0.86} = 51.36 \text{ A}$$

3.30 一台三相异步电动机, 额定功率 $P_N = 7.5 \text{ kW}$, 额定电压 $U_N = 380 \text{ V}$, 额定转速 $n_N = 971 \text{ r/min}$, 额定功率因数 $\cos \varphi_N = 0.786$, 定子三角形联结。额定负载运行时, 定子铜损耗 $P_{cu1} = 386 \text{ W}$, 铁损耗 $P_{Fe} = 214.5 \text{ W}$, 机械损耗 $P_{mec} = 100 \text{ W}$, 附加损耗 $P_s = 112.5 \text{ W}$, 求额定负载运行时:

- (1) 转子电流频率;
- (2) 转子铜损耗;
- (3) 电磁功率;
- (4) 定子电流;
- (5) 效率;
- (6) 画出功率流程图, 标明各部分功率及损耗。

解: (1) $s_N = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1000 - 971}{1000} = 0.029$ $f_2 = s_N f_1 = 0.029 \times 50 = 1.45 \text{ HZ}$

(2) 电磁功率 $P_M = P_N + P_{mec} + P_s + P_{cu2} = P_N + P_{mec} + P_s + s_N P_M$

$(1 - s_N) P_M = P_N + P_{mec} + P_s$

$P_M = \frac{P_N + P_{mec} + P_s}{1 - s_N} = \frac{7.5 \times 10^3 + 100 + 112.5}{1 - 0.029} = \frac{7712.5}{0.971} = 7943 \text{ W} = 7.943 \text{ KW}$

转子铜损耗 $P_{cu2} = s_N P_M = 0.029 \times 7943 = 230 \text{ W}$

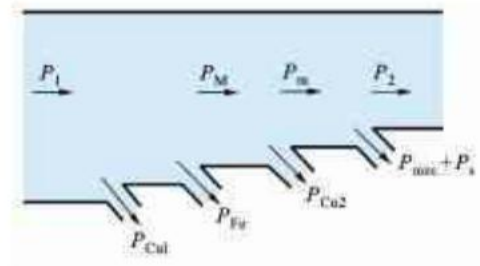
(3) 电磁功率 $P_M = 7.943 \text{ KW}$

(4) $P_1 = P_M + P_{cu1} + P_{Fe} = 7943 + 386 + 214.5 = 8543.5 \text{ W}$

$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi_N} = \frac{8543.5}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.786} = 16.5 \text{ A}$

(5) 效率 $\eta = \frac{P_N}{P_1} = \frac{7.5}{8.5435} = 0.878$

- (6) 功率流程图如题 3.30 图



题 3.30 图

3.31 一台四极三相异步电动机,额定功率 $P_N=55\text{ kW}$,额定电压 $U_N=380\text{ V}$,额定负载运行时,电动机的输入功率 $P_1=59.5\text{ kW}$,定子铜损耗 $P_{cu1}=1091\text{ W}$,铁损耗 $P_{Fe}=972\text{ W}$,机械损耗 $P_{mec}=600\text{ W}$,附加损耗 $P_s=1100\text{ W}$ 。求额定负载运行时:

- (1) 额定转速;
- (2) 电磁转矩;
- (3) 输出转矩;
- (4) 空载转矩。

解: (1) $P_M = P_1 - P_{cu1} - P_{Fe} = 59500 - 1091 - 972 = 57437\text{ W}$

$$P_{cu2} = P_M - P_N - P_{mec} - P_s = 57437 - 55000 - 600 - 1100 = 737\text{ W}$$

$$P_{cu2} = s_N P_M \quad s_N = \frac{P_{cu2}}{P_M} = \frac{737}{57437} = 0.0128$$

$$n_N = n_1(1 - s_N) = 1500(1 - 0.0128) = 1480.8\text{ r/min}$$

$$(2) \text{ 电磁转矩 } T = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{P_N + P_{mec} + P_s}{\Omega} = \frac{55000 + 600 + 1100}{2\pi \times \frac{1480}{60}} = 365.84\text{ N}\cdot\text{m}$$

$$(3) \text{ 输出转矩 } T_2 = \frac{P_N}{\Omega} = \frac{55000}{2\pi \times \frac{1480}{60}} = 354.87\text{ N}\cdot\text{m}$$

$$(4) \text{ 空载转矩 } T_0 = T - T_2 = 365.84 - 354.87 = 10.97\text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\text{或者 } T_0 = \frac{P_0}{\Omega} = \frac{P_{mec} + P_s}{\Omega} = \frac{600 + 1100}{2\pi \times \frac{1480}{60}} = 10.97\text{ N}\cdot\text{m}$$

3.32 一台八极三相异步电动机,额定功率 $P_N=200\text{ kW}$,额定电压 $U_N=380\text{ V}$,额定转速 $n_N=735\text{ r/min}$,过载倍数 $\lambda_m=2.2$,求:

- (1) 该电动机转矩的实用公式;
- (2) 当 $s=0.015$ 时的电磁转矩;
- (3) 电动机拖动 $1200\text{ N}\cdot\text{m}$ 负载时的转速。

解: (1) $s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{750 - 735}{750} = 0.02$

$$T_N = \frac{P_N \times 10^3}{2\pi \times \frac{n_N}{60}} = 9550 \times \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{200}{735} = 2598.6 \text{ N.m}$$

$$T_m = \lambda_m T_N = 2.2 \times 2598.6 = 5717 \text{ N.m}$$

$$s_m = s_N (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0.02 \times (2.2 + \sqrt{2.2^2 - 1}) = 0.083$$

转矩的实用公式 $T = \frac{2T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 5717}{\frac{s}{0.083} + \frac{0.083}{s}} = \frac{11434}{\frac{s}{0.083} + \frac{0.083}{s}}$

$$(2) \quad T = \frac{11434}{\frac{0.015}{0.083} + \frac{0.083}{0.015}} = \frac{11434}{5.71} = 2002 \text{ N.m}$$

(3) 利用机械特性的线性表达式,认为转矩与转速成正比,即

$$\frac{T}{s} = \frac{T_N}{s_N} \quad s = \frac{T}{T_N} s_N = \frac{1200}{2598.6} \times 0.02 = 0.009$$

$$n = n_1(1 - s) = 750 \times (1 - 0.009) = 743.25 \text{ r/min}$$

3.33 一台四极三相异步电动机,额定功率 $P_N = 25 \text{ kW}$,额定电压 $U_N = 380 \text{ V}$,额定转速 $n_N = 1450 \text{ r/min}$,过载倍数 $\lambda_m = 2.6$,求:

(1) 额定转差率;

(2) 额定转矩;

(3) 最大转矩;

(4) 临界转差率。

解: (1) 额定转差率 $s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_N} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0.033$

$$(2) \text{ 额定转矩 } T_N = 9550 \times \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{25}{1450} = 164.66 \text{ N.m}$$

$$(3) \text{ 最大转矩 } T_m = \lambda_m T_N = 2.6 \times 164.66 = 428.12 \text{ N.m}$$

$$(4) \text{ 临界转差率 } s_m = s_N (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0.033 \times (2.6 + \sqrt{2.6^2 - 1}) = 0.165$$

3.34 一台八极三相异步电动机,额定功率 $P_N = 10 \text{ kW}$, 额定电压 $U_N = 380 \text{ V}$, 额定转

速 $n_N = 720 \text{ r/min}$, 过载倍数 $\lambda_m = 2.2$, 求:

(1) 最大转矩;

(2) 临界转差率;

(3) 电磁转矩实用公式。

$$\text{解: (1) } s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{750 - 720}{750} = 0.04$$

$$T_N = 9550 \times \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{10}{720} = 132.64 \text{ N.m}$$

$$\text{最大转矩 } T_m = \lambda_m T_N = 2.2 \times 132.64 = 291.8 \text{ N.m}$$

$$(2) \text{ 临界转差率 } s_m = s_N (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0.04 \times (2.2 + \sqrt{2.2^2 - 1}) = 0.166$$

$$(3) \text{ 电磁转矩实用公式 } T = \frac{2T_m}{\frac{s}{s_m} + \frac{s_m}{s}} = \frac{2 \times 291.8}{\frac{s}{0.166} + \frac{0.166}{s}} = \frac{583.6}{\frac{s}{0.166} + \frac{0.166}{s}}$$

3.35 设一台三相异步电动机的铭牌标明其额定频率 $f_N = 50 \text{ Hz}$, 额定转速 $n_N = 965 \text{ r/min}$,

问电动机的极对数和额定转差率为多少? 若另一台三相异步电动机极数为 $2p=10$, $f_N =$

50 Hz , 转差率 $s_N = 0.04$, 问该电动机的额定转速为多少?

答: 额定频率 $f_N = 50 \text{ Hz}$, 额定转速 $n_N = 965 \text{ r/min}$ 的电动机, 其同步转速 $n_1 = 1000 \text{ r/min}$,

$$\text{由 } n_1 = \frac{60f}{P} \text{ 可知, } P = \frac{60f}{n_1} = \frac{60 \times 50}{1000} = 3,$$

$$\text{额定转差率 } s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 965}{1000} = 0.035$$

当电动机极数为 $2p=10$, $f_N = 50 \text{ Hz}$, 转差率 $s_N = 0.04$ 时, 电动机的额定转速为

$$n_N = n_1 (1 - s_N) = \frac{60f}{P} (1 - s) = \frac{60 \times 50}{5} \times (1 - 0.04) = 576 \text{ r/min}$$

3.36 一台三相异步电动机, 额定数据为: $U_N = 380 \text{ V}$, $f_N = 50 \text{ Hz}$, $P_N = 7.5 \text{ kW}$,

$n_N=962 \text{ r/min}$, 定子绕组为三角形联结, $\cos \varphi_N=0.827$, $P_{cu1}=470 \text{ W}$, $P_{Fe}=234 \text{ W}$,

$P_s=80 \text{ W}$, $P_{mec}=45 \text{ W}$ 。试求:

- (1) 电动机极数;
- (2) 额定运行时的 s_N 和 f_2 ;
- (3) 转子铜损耗 P_{cu2} ;
- (4) 效率 η ;
- (5) 定子电流 I_1 。

解: (1) $n_N=962 \text{ r/min}$ 的电动机, 其同步转速 $n_1=1000 \text{ r/min}$,

$$P = \frac{60f}{n_1} = \frac{60 \times 50}{1000} = 3, \text{电动机是 6 极电机;}$$

$$(2) s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 962}{1000} = 0.038 \quad f_2 = s_N f_1 = 0.038 \times 50 = 1.9 \text{ HZ}$$

$$(3) P_m = P_N + P_{mec} + P_s = 7500 + 45 + 80 = 7625 \text{ W}$$

$$\text{由 } P_m : P_m : P_{cu2} = 1 : (1-s) : s$$

$$\text{就有 } \frac{P_{cu2}}{P_m} = \frac{s}{1-s} \quad P_{cu2} = \frac{s}{1-s} P_m = \frac{0.038}{1-0.038} \times 7625 = 301 \text{ W}$$

$$(4) P_1 = P_N + P_{cu1} + P_{Fe} + P_{cu2} + P_{mec} + P_s = 7500 + 470 + 234 + 301 + 45 + 80 = 8630 \text{ W}$$

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_1} = \frac{7500}{8630} = 0.87$$

$$(5) \text{定子电流 } I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_N \cos \varphi_N} = \frac{8630}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.872} = 15.86 \text{ A}$$

3.37 已知一台三相异步电动机的数据为: $P_N=17 \text{ kW}$, $U_N=380 \text{ V}$, 定子三角形联结,

4 极, $I_N=19 \text{ A}$, $f_N=50 \text{ Hz}$ 。额定运行时, 定子铜损耗 $P_{cu1}=470 \text{ W}$, 转子铜损耗

$P_{cu2}=500 \text{ W}$; 铁损耗 $P_{Fe}=450 \text{ W}$, 机械损耗 $P_{mec}=150 \text{ W}$, 附加损耗 $P_s=200 \text{ W}$ 。试求:

(1) 电动机的额定转速 n_N ;

(2) 负载转矩 T_2 ;

(3) 空载转矩 T_0 ;

(4) 电磁转矩 T 。

解: (1) $P_M = P_N + P_{cu2} + P_{mec} + P_s = 17000 + 500 + 150 + 200 = 17850 \text{ W}$

$$P_{cu2} = s_N P_M \quad s_N = \frac{P_{cu2}}{P_M} = \frac{500}{17850} = 0.028$$

$$n_N = n_1(1 - s_N) = 1500(1 - 0.028) = 1458 \text{ r/min}$$

$$(2) \text{ 负载转矩 } T_2 = 9550 \times \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{17}{1458} = 111.35 \text{ N.m}$$

$$(3) \text{ 空载转矩 } T_0 = 9550 \times \frac{P_0}{n_N} = 9550 \times \frac{P_{mec} + P_s}{n_N} = 9550 \times \frac{0.15 + 0.2}{1485} = 2.29 \text{ N.m}$$

$$(4) \text{ 电磁转矩 } T = T_2 + T_0 = 111.35 + 2.29 = 113.64 \text{ N.m}$$

6.4 一台他励直流电动机的额定数据为: $P_N = 54 \text{ kW}$, $U_N = 220 \text{ V}$, $I_N = 270 \text{ A}$,

$n_N = 1150 \text{ r/min}$ 。估算额定运行时的 E_{aN} , 再计算 $C_e \Phi_N$ 、 T_N 、 n_0 , 最后画出固有机械特性。

解: 估算额定运行时的 $E_{aN} = 0.95 U_N = 0.95 \times 220 = 209 \text{ V}$

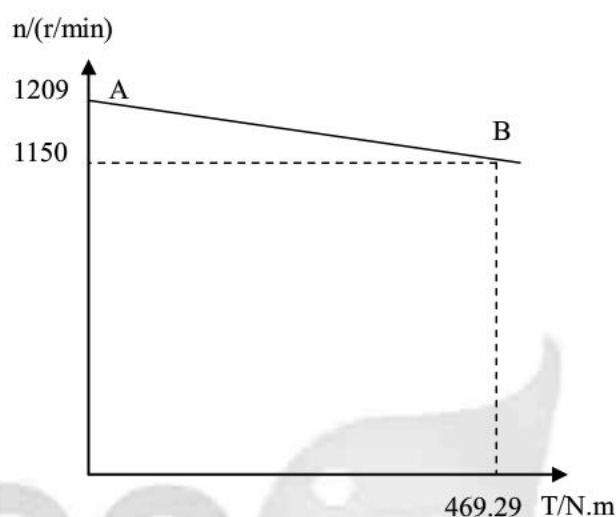
$$C_e \Phi_N = \frac{E_{aN}}{n_N} = \frac{209}{1150} = 0.182 \text{ V/(r/min)}$$

$$T_N = C_T \Phi_N I_N = 9.55 C_e \Phi_N I_N = 9.55 \times 0.182 \times 270 = 469.29 \text{ N.m}$$

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{220}{0.182} = 1209 \text{ r/min}$$

在 n - T 直角坐标系中过点 A(1209,0)和点 B(1150,469.29)作直线,该直线就是他励直流电动机

的固有机械特性,如题 6.4 图所示。



题 6.4 图

6.5 一台他励直流电动机的额定数据为: $P_N=7.5 \text{ kW}$, $U_N=220 \text{ V}$, $I_N=40 \text{ A}$,

$n_N=1\,000 \text{ r/min}$, $R_a=0.5 \, \Omega$ 。拖动 $T_L=0.5 \, T_N$ 恒转矩负载运行时电动机的转速及电枢电流是多大?

解: $E_{aN} = C_e \Phi_N n_N = U_N - R_a I_N = 220 - 0.5 \times 40 = 200 \text{ V}$

$$C_e \Phi_N = \frac{E_{aN}}{n_N} = \frac{200}{1000} = 0.2 \text{ V/r} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{220}{0.2} = 1100 \text{ r/min}$$

由 $T = C_T \Phi_N I_a$ 可知,当 $T_L=0.5 \, T_N$ 时, $I_a = 0.5 I_N = 0.5 \times 40 = 20 \text{ A}$

$$n = n_0 - \Delta n = n_0 - \frac{R_a}{C_e \Phi_N} I_a = 1100 - \frac{0.5 \times 20}{0.2} = 1100 - 50 = 1050 \text{ r/min}$$

6.6 画出习题 6.4 中那台电动机电枢回路串入 $R=0.1 R_a$ 和电压降到 $U=150 \text{ V}$ 的两条人为机械特性曲线。

解：电枢回路串入电阻 $R=0.1 R_a$ 后的总电阻为 $R' = R + R_a = 1.1 R_a$ ，设带额定负载时的转

$$\text{速降为 } \Delta n, \text{ 则 } \frac{\Delta n}{\Delta n_N} = \frac{R'}{R_a} = 1.1 \quad \Delta n = 1.1 \Delta n_N = 1.1 \times (1209 - 1150) = 65 \text{ r/min}$$

$$n = n_0 - \Delta n = 1209 - 65 = 1144 \text{ r/min}$$

在 n - T 直角坐标系中,过点 $C(1209,0)$ 和点 $D(1144,469.29)$ 作出的直线就是电动机电枢回路串

电阻时的人为机械特性,如题 6.6 图所示。

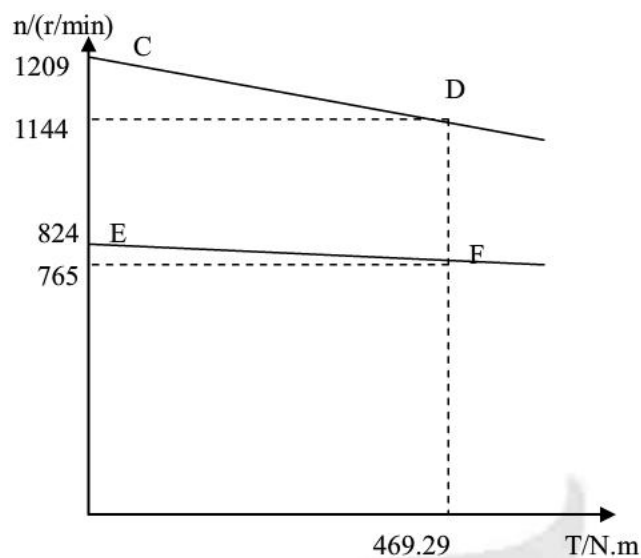
$$\text{设电压降到 } U=150 \text{ V 时的理想空载转速为 } n'_0, \text{ 则有 } \frac{n'_0}{n_0} = \frac{U}{U_N}$$

$$n'_0 = \frac{U}{U_N} \times n_0 = \frac{150}{220} \times 1209 = 824 \text{ r/min}$$

$$\text{带额定负载时的转速为 } n = n'_0 - \Delta n_N = 824 - 59 = 765 \text{ r/min}$$

过点 $E(824,0)$ 和点 $F(765,469.29)$ 作出的直线就是电动机降压时的人为机械特性,如题 6.6 图

所示。



题 6.6 图

6.9 一台他励直流电动机的额定数据为: $P_N=7.5 \text{ kW}$, $U_N=220 \text{ V}$, $I_N=85.2 \text{ A}$, $n_N=750 \text{ r/min}$, $R_a=0.13 \Omega$ 。拟采用三级起动,最大起动电流限制在额定电流的 2.5 倍,求各段的起动电阻值为多少。

解: 最大起动电流 $I_1 = 2.5I_N = 2.5 \times 85.2 = 213 \text{ A}$

$$\text{最大起动电阻 } R_3 = \frac{U_N}{I_1} = \frac{220}{213} \approx 1\Omega$$

$$\text{起动电流比 } \beta = \sqrt[3]{\frac{R_3}{R_a}} = \sqrt[3]{\frac{1}{0.13}} \approx 2$$

$$R_1 = \beta R_a = 2 \times 0.13 = 0.26 \Omega$$

$$\text{第一段外串电阻为 } R_{\Omega 1} = R_1 - R_a = 0.26 - 0.13 = 0.13 \Omega$$

$$R_2 = \beta^2 R_a = 4 \times 0.13 = 0.52 \, \Omega$$

$$\text{第二段外串电阻为 } R_{\Omega 2} = R_2 - R_1 = 0.52 - 0.26 = 0.26 \, \Omega$$

$$R_3 = \beta^3 R_a = 8 \times 0.13 = 1.04 \, \Omega$$

$$\text{第三段外串电阻为 } R_{\Omega 3} = R_3 - R_2 = 1.04 - 0.52 = 0.52 \, \Omega$$

6.10 一台他励直流电动机的额定数据为: $P_N = 17 \text{ kW}$, $U_N = 220 \text{ V}$, $I_N = 90 \text{ A}$,

$n_N = 1500 \text{ r/min}$, $R_a = 0.147 \, \Omega$ 。试计算:

(1) 直接起动时的电流为多少?

(2) 若限制最大起动电流为额定电流的两倍,有几种方法可以做到?并计算出所采用方法的参数为多少。

$$\text{解: (1) 直接起动时的电流为 } I_{st} = \frac{U_N}{R_a} = \frac{220}{0.147} = 1496.6 \text{ A}$$

(2) 限制最大起动电流为额定电流的两倍,有两种方法,一是降低电源电压,二是电枢回路串电阻。

$$\text{电源电压应降低为 } U = 2I_N R_a = 2 \times 90 \times 0.147 = 26.5 \text{ V}$$

$$\text{电枢回路串入电阻为 } R = \frac{U_N}{2I_N} - R_a = \frac{220}{2 \times 90} - 0.147 = 1.222 - 0.147 = 1.075 \Omega$$

6.11 一台他励直流电动机额定功率 $P_N = 29 \text{ kW}$, $U_N = 440 \text{ V}$, $I_N = 76 \text{ A}$, $n_N = 1000 \text{ r/min}$, $R_a = 0.376 \Omega$ 。采用电枢回路串电阻方法调速,已知最大静差率为 $\delta_{\max} = 30\%$,试计算:

- (1) 调速范围;
- (2) 电枢回路串入的最大电阻值;
- (3) 拖动额定负载转矩运行在最低转速时电动机输出功率和外串电阻上消耗的功率。

$$\text{解: (1) } E_{aN} = C_e \Phi_N n_N = U_N - R_a I_N = 440 - 0.376 \times 76 = 411 \text{ V}$$

$$C_e \Phi_N = \frac{E_{aN}}{n_N} = \frac{411}{1000} = 0.411 \text{ V/r} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\Delta n_N = \frac{R_a}{C_e \Phi_N} I_N = \frac{0.376}{0.411} \times 76 = 70 \text{ r/min}$$

$$n_0 = n_N + \Delta n_N = 1000 + 70 = 1070 \text{ r/min}$$

$$\text{调速范围 } D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_{\max} \delta_{\max}}{\Delta n_N (1 - \delta_{\max})} = \frac{1000 \times 0.3}{70 \times (1 - 0.3)} = 6.12$$

$$(2) \quad n_{\min} = \frac{n_{\max}}{D} = \frac{1000}{6.12} = 163 \text{ r/min}$$

$$\Delta n = n_0 - n_{\min} = 1070 - 163 = 907 \text{ r/min}$$

带额定负载电枢回路串入最大电阻 R 与不串电阻时的转速降落之比为

$$\frac{\Delta n}{\Delta n_N} = \frac{R + R_a}{R_a} \quad R = R_a \left(\frac{\Delta n}{\Delta n_N} - 1 \right) = 0.376 \times \left(\frac{907}{70} - 1 \right) = 4.496 \Omega$$

$$(3) T_N = C_T \Phi_N I_N = 9.55 C_e \Phi_N I_N = 9.55 \times 0.411 \times 76 = 298 \text{ N.m}$$

拖动额定负载转矩运行在最低转速时电动机输出功率为

$$P_2 = T_N \Omega = T_N \times \frac{2\pi n}{60} = 298 \times \frac{2 \times 3.1416 \times 163}{60} = 5086 \text{ W} = 5.086 \text{ KW}$$

外串电阻上消耗的功率为

$$\Delta P = I_N^2 R = 76^2 \times 4.496 = 25968 \text{ W} = 25.968 \text{ KW}$$

6.13 一台他励直流电动机的铭牌数据如下:额定功率 $P_N=40 \text{ kW}$, $U_N=220 \text{ V}$,

$I_N=200 \text{ A}$, $n_N=1000 \text{ r/min}$, $R_a=0.1 \Omega$ 。生产工艺要求最大静差率 $\delta_{\max}=20\%$,现采用降

低电源电压调速,计算:

(1)系统能达到的调速范围是多少?

(2)上述调速范围内电源电压最小值与最大值是多少?

$$\text{解: (1) } C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.1 \times 200}{1000} = 0.2 \text{ V/r.min}^{-1}$$

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{220}{0.2} = 1100 \text{ r/min} \quad \Delta n_N = n_0 - n_N = 1100 - 1000 = 100 \text{ r/min}$$

$$D = \frac{n_{\max} \delta_{\max}}{\Delta n_N (1 - \delta_{\max})} = \frac{1000 \times 0.2}{100 \times (1 - 0.2)} = 2.5$$

$$(2) n_{\min} = \frac{n_{\max}}{D} = \frac{1000}{2.5} = 400 \text{ r/min} \quad n_{0\min} = n_{\min} + \Delta n_N = 400 + 100 = 500 \text{ r/min}$$

$$\frac{n_{0\min}}{n_0} = \frac{U}{U_N} \quad \text{则 } U = U_N \frac{n_{0\min}}{n_0} = 220 \times \frac{500}{1100} = 100 \text{ V}$$

所以在调速范围内电源电压最小值是 100V,最大值是 220V。

6.16 他励直流电动机, $P_N=18 \text{ kW}$, $U_N=220 \text{ V}$, $I_N=94 \text{ A}$, $n_N=1000 \text{ r/min}$,在额定负

载下,问:

(1)想降速至 800 r/min 稳定运行,外串多大电阻?采用降压方法,电源电压应降至多少伏?

(2)想升速到 1 100 r/min 稳定运行,弱磁系数 Φ / Φ_N 为多少?

解: (1) $E_{aN} = 0.95U_N = 0.95 \times 220 = 209 V$

$$C_e \Phi_N = \frac{E_{aN}}{n_N} = \frac{209}{1000} = 0.209 V / r \cdot \min^{-1}$$

$$R_a = \frac{U_N - E_{aN}}{I_N} = \frac{220 - 209}{94} = 0.117 \Omega$$

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{220}{0.209} = 1052.6 \text{ r/min} \quad \Delta n_N = n_0 - n_N = 1052.6 - 1000 = 52.6 \text{ r/min}$$

转速降至 800 r/min 时的 $\Delta n = n_0 - n = 1052.6 - 800 = 252.6 \text{ r/min}$

对应的外串电阻为 R , 则有 $\frac{\Delta n}{\Delta n_N} = \frac{R + R_a}{R_a}$

$$R = \left(\frac{\Delta n}{\Delta n_N} - 1 \right) R_a = \left(\frac{252.6}{52.6} - 1 \right) \times 0.117 = 0.445 \Omega$$

采用降压方法时 $n'_0 = n + \Delta n_N = 800 + 52.6 = 852.6 \text{ r/min}$

$$\frac{n'_0}{n_0} = \frac{U}{U_N} \quad U = U_N \frac{n'_0}{n_0} = 220 \times \frac{852.6}{1052.6} = 178 V$$

(2) 转速公式 $n = \frac{U - R_a I_a}{C_e \Phi}$, 额定转速 $n_N = \frac{U_N - R_a I_a}{C_e \Phi_N}$, 这样转速与磁通成反比, 即

$$\frac{\Phi}{\Phi_N} = \frac{n_N}{n} = \frac{1000}{1100} = 0.91$$

6.19 一台他励直流电动机 $P_N=13 \text{ kW}$, $U_N=220 \text{ V}$, $I_N=68.7 \text{ A}$, $n_N=1500 \text{ r/min}$, $R_a=0.195 \Omega$, 拖动一台吊车的提升机构, 吊装时用抱闸抱住, 使重物停在空中。若提升某重物吊装时抱闸坏了, 需要用电动机把重物吊在空中不动, 已知重物的负载转矩 $T_L = T_N$, 问此时电动机电枢回路应串入多大电阻?

$$\text{解: } C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.195 \times 68.7}{1500} = 0.1377 \text{ V/r} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{220}{0.1377} = 1598 \text{ r/min} \quad \Delta n_N = n_0 - n_N = 1598 - 1500 = 98 \text{ r/min}$$

当电枢回路串入电阻 R 使重物吊在空中不动时, $n=0$, 则 $\Delta n = n_0 - n = n_0 = 1598 \text{ r/min}$

$$\frac{R + R_a}{R_a} = \frac{\Delta n}{\Delta n_N} \quad R = \left(\frac{\Delta n}{\Delta n_N} - 1 \right) R_a = \left(\frac{1598}{98} - 1 \right) \times 0.195 = 2.98 \Omega$$

6.20 一台他励直流电动机拖动某起重机提升机构, 他励直流电动机的 $P_N=30 \text{ kW}$, $U_N=220 \text{ V}$, $I_N=158 \text{ A}$, $n_N=1000 \text{ r/min}$, $R_a=0.069 \Omega$, 当下放某一重物时, 已知负载转矩 $T_L=0.7 T_N$, 若欲使重物在电动机电源电压不变时以 $n=-550 \text{ r/min}$ 转速下放, 问电动机可能运行在什么状态? 计算该状态下电枢回路应串入的电阻值是多少?

$$\text{解: } C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{220 - 0.069 \times 158}{1000} = 0.209 \text{ V} / \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{220}{0.209} = 1053 \text{ r/min} \quad \Delta n_N = n_0 - n_N = 1053 - 1000 = 53 \text{ r/min}$$

$$\text{拖动负载转矩 } T_L = 0.7 T_N \text{ 时的转速降为 } \Delta n = \Delta n_N \times \frac{T_L}{T_N} = 53 \times 0.7 = 37.1 \text{ r/min}$$

欲使重物在电动机电源电压不变时以 $n = -550 \text{ r/min}$ 转速下放, 电动机可运行在转速反向

的反接制动状态, 即倒拉反转运行状态, 这时转速降为 $\Delta n' = n_0 - n = 1053 - (-550) = 1603 \text{ r/min}$

$$\text{电枢回路应串入的电阻为 } R, \text{ 则有 } \frac{R + R_a}{R_a} = \frac{\Delta n'}{\Delta n}$$

$$R = \left(\frac{\Delta n'}{\Delta n} - 1 \right) R_a = \left(\frac{1603}{37.1} - 1 \right) \times 0.069 = 2.912 \Omega$$

6.21 一台他励直流电动机, $P_N = 29 \text{ kW}$, $U_N = 440 \text{ V}$, $I_N = 76 \text{ A}$, $n_N = 1000 \text{ r/min}$,

$R_a = 0.377 \Omega$, 试求:

(1) 电动机在回馈制动状态下工作, $I_a = -60 \text{ A}$, 电枢电路不串电阻, 求电动机的转速及电动机向电网回馈的功率;

(2) 电动机带位能性负载在能耗制动状态下工作, 转速 $n = -500 \text{ r/min}$, $I_a = I_N$, 求电枢电路串入的电阻及电动机轴上的输出转矩;

(3) 电动机在反接制动状态下工作, $n = -600 \text{ r/min}$, $I_a = 50 \text{ A}$, 求电枢电路串入的电阻、电动机轴上的输出转矩、电网供给的功率、从轴上输入的功率、在电枢电路中电阻上消耗的功

率,

解: (1)电动机在回馈制动状态下工作时,

$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - R_a I_N}{n_N} = \frac{440 - 0.377 \times 76}{1000} = 0.411 \text{ V} / \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{440}{0.411} = 1070 \text{ r/min} \quad \text{当 } I_a = -60 \text{ A 时}$$

$$n = n_0 - \frac{R_a I_a}{C_e \Phi_N} = 1070 - \frac{0.377 \times (-60)}{0.411} = 1070 + 55 = 1125 \text{ r/min}$$

电动机向电网回馈的功率 $P = UI = 440 \times 60 = 26400 \text{ W} = 26.4 \text{ KW}$

(2)能耗制动时 $U=0$, 电枢电路串入的电阻为 R_1 , 则有

$$R_1 + R_a = \frac{E_a}{I_a} = \frac{C_e \Phi_N n}{I_a} = \frac{0.411 \times 500}{76} = 2.7 \Omega \quad R_1 = 2.7 - 0.377 = 2.323 \Omega$$

电动机轴上的输出转矩 $T = C_T \Phi_N I_a = 9.55 C_e \Phi_N I_a = 9.55 \times 0.411 \times 76 = 298 \text{ N} \cdot \text{m}$

(3)在电枢电路串入较大电阻 R_2 , 使电动机工作在转速反向的反接制动状态, 即倒拉反转运

行状态, $n = -600 \text{ r/min}$ 时转速降为 $\Delta n = n_0 - n = 1070 - (-600) = 1670 \text{ r/min}$

$$\text{由 } \Delta n = \frac{R_2 + R_a}{C_e \Phi_N} I_a \quad \text{得到 } (R_2 + R_a) = \frac{\Delta n \times C_e \Phi_N}{I_a} = \frac{1670 \times 0.411}{50} = 13.7 \Omega$$

$$R_2 = 13.7 - 0.377 = 13.323 \Omega$$

电动机轴上的输出转矩 $T = C_T \Phi_N I_a = 9.55 C_e \Phi_N I_a = 9.55 \times 0.411 \times 50 = 196 \text{ N} \cdot \text{m}$

电网供给的功率 $P_1 = UI \times 10^{-3} = 440 \times 50 \times 10^{-3} = 22 \text{ KW}$

从轴上输入的功率为

$$P_2 = T\Omega \times 10^{-3} = T \times \frac{2\pi n}{60} \times 10^{-3} = \frac{196 \times 2 \times 3.1416 \times 600}{60} \times 10^{-3} = 12.3 \text{ KW}$$

电枢电路中电阻上消耗的功率为

$P_{cu} = I_a^2 (R_2 + R_a) = 50^2 \times 13.7 = 34250 \text{ W} = 34.25 \text{ KW}$, 从上面的计算中可以看出, 电网供给的功率和轴上输入的功率全部转变为电枢电路中电阻上的消耗功率。

7.33 三相笼型异步电动机: $P_N = 110 \text{ kW}$, 定子 Δ 联结, 额定电压 $U_N = 380 \text{ V}$, 额定转速

$n_N = 740 \text{ r/min}$, 额定效率 $\eta_N = 86\%$, 额定功率因数 $\cos \varphi_N = 0.82$, 起动电流倍数 $K_I = 6.4$, 起动

转矩倍数 $K_T = 1.8$ 试求:

(1) 直接起动时的起动电流和起动转矩;

(2) 若供电变压器允许起动电流限定在 480 A 以内, 负载转矩 T_L 为 $750 \text{ N} \cdot \text{m}$ 时, 问能否采用 Y- Δ 降压起动方法起动?

解: (1)
$$I_N = \frac{P_N \times 10^3}{\sqrt{3} U_N \eta_N \cos \varphi_N} = \frac{110 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.86 \times 0.82} = 237 \text{ A}$$

$$T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{110}{740} = 1419.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$I_{st} = K_I I_N = 6.4 \times 237 = 1516.8 \text{ A}$$

$$T_{st} = K_T T_N = 1.8 \times 1419.6 = 2555.28 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 若采用 Y- Δ 降压起动方法起动, 则起动电流和起动转矩都降低为直接起动时的 $\frac{1}{3}$,

即
$$I'_{st} = \frac{I_{st}}{3} = \frac{1516.8}{3} = 505.6 \text{ A} \quad T'_{st} = \frac{T_{st}}{3} = \frac{2555.28}{3} = 851.76 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Y- Δ 降压起动时, 虽然起动转矩大于负载转矩, 但是起动电流超过变压器允许的起动电流, 所

以不能采用 Y-Δ 降压起动方法起动。

7.35 三相笼型异步电动机,已知 $U_N=6\text{ kV}$, $n_N=1450\text{ r/min}$, $I_N=20\text{ A}$, Δ 联结,

$\cos\varphi_N=0.87$, $\eta_N=87.5\%$, $K_I=7$, $K_T=2$ 。试求:

(1) 额定转矩 T_N ;

(2) 电网电压降到多少伏以下就不能拖动额定负载起动?

(3) 采用 Y-Δ 起动时初始起动电流为多少?当 $T_L=1.1 T_N$ 时能否起动?

(4) 采用自耦变压器降压起动,并保证在 $T_L=0.5 T_N$ 时能可靠起动,自耦变压器的降压比

K_A 为多少?电网供给的最初起动电流是多少?

解: $P_N = \sqrt{3}U_N I_N \cos\varphi_N \eta_N = \sqrt{3} \times 6000 \times 20 \times 0.87 \times 0.875 = 158218\text{ W} = 158.218\text{ kW}$

$$(1) \text{ 额定转矩 } T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{158.218}{1450} = 1042\text{ N} \cdot \text{m}$$

$$(2) \text{ 起动转矩与电压的平方成正比, } T_{st} = K_T T_N \left(\frac{U_1}{U_N} \right)^2 = T_N$$

$$U_1 = \frac{U_N}{\sqrt{K_T}} = \frac{6000}{\sqrt{2}} = 4243\text{ V} \quad \text{当电网电压降到 } 4243\text{ V} \text{ 以下就不能拖动额定负载起动。}$$

(3) 直接起动时的起动电流和起动转矩分别为

$$I_{st} = K_I I_N = 7 \times 20 = 140\text{ A} \quad T_{st} = K_T T_N = 2 \times 1042 = 2084\text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{采用 Y-}\Delta \text{ 起动时初始起动电流为 } I'_{st} = \frac{I_{st}}{3} = \frac{140}{3} = 46.7\text{ A}$$

$$\text{起动转矩为 } T'_{st} = \frac{T_{st}}{3} = \frac{2084}{3} = 695 \text{ N} \cdot \text{m} \quad T_L = 1.1 T_N = 1.1 \times 1042 = 1146.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

不能采用 Y-Δ 起动方法起动 $T_L = 1.1 T_N$ 的负载;

$$(4) T'_{st} = K_A^2 T_{st} = K_A^2 K_T T_N \geq T_L = 0.5 T_N \quad 2 K_A^2 \geq 0.5 \quad K_A \geq 0.5$$

$$\text{当 } K_A = 0.5 \text{ 时, 起动电流为 } I'_{st} = K_A^2 I_{st} = 0.5^2 \times 140 = 35 \text{ A}$$

7.37 三相笼型异步电动机 $P_N = 160 \text{ kW}$, 定子 Y 联结, 额定电压 $U_N = 380 \text{ V}$, 额定电流

$I_N = 288 \text{ A}$, 额定转速 $n_N = 1490 \text{ r/min}$, 起动电流倍数 $K_I = 6.9$, 起动转矩倍数 $K_T = 2.1$ 。试

求:

(1) 直接起动时的起动电流和起动转矩;

(2) 若把起动电流限定在 1400 A 以内时, 采用定子串电抗起动, 定子回路每相应串入的电抗值为多大?

$$\text{解: (1) } T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{160}{1490} = 1025.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

直接起动时的起动电流和起动转矩分别为 $I_{st} = K_I I_N = 6.9 \times 288 = 1987.2 \text{ A}$

$$T_{st} = K_T T_N = 2.1 \times 1025.5 = 2153.55 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 若把起动电流限定在 1400 A 以内, 采用定子串电抗起动时的起动电流与直接起动时的起动电流之比为 $K = \frac{1400}{1987.2} = 0.7$, 忽略定子电阻, 则电抗器上的电压降为

$$U_X = (1 - K) U_N = (1 - 0.7) \times 220 = 66 \text{ V} \quad \text{电抗值为 } X = \frac{66}{1400} = 0.047 \Omega$$

7.38 一台绕线转子三相异步电动机 $P_N = 37 \text{ kW}$, 额定电压 $U_{1N} = 380 \text{ V}$, 额定转速

$n_N = 1441 \text{ r/min}$, $E_{2N} = 316 \text{ V}$, $I_{2N} = 74 \text{ A}$, 过载倍数 $\lambda_m = 3.0$, 起动时负载转矩

$T_L = 0.76 T_N$ 。求: 转子串电阻三级起动时的起动电阻。

$$\text{解: } s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1441}{1500} = 0.039 \quad R_2 = \frac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3} I_{2N}} = \frac{0.039 \times 316}{\sqrt{3} \times 74} = 0.096 \Omega$$

选取 $T_1 = 0.85 T_m = 0.85 \lambda_m T_N = 0.85 \times 3 T_N = 2.55 T_N$

$$T_2 = 1.2 T_L = 1.2 \times 0.76 T_N = 0.912 T_N \quad \beta = \frac{T_1}{T_2} = \frac{2.55 T_N}{0.912 T_N} = 2.8$$

各段外串电阻分别为 $R_{\Omega 1} = \beta R_2 - R_2 = (\beta - 1) R_2 = 1.8 \times 0.096 = 0.1728 \Omega$

$$R_{\Omega 2} = \beta R_{\Omega 1} = 2.8 \times 0.1728 = 0.4838 \Omega$$

$$R_{\Omega 3} = \beta R_{\Omega 2} = 2.8 \times 0.4838 = 1.3546 \Omega$$

7.41 一台三相绕线转子异步电动机,定子绕组 Y 联结,主要数据为: $P_N = 22 \text{ kW}$,

$U_{1N} = 380 \text{ V}$, $n_N = 710 \text{ r/min}$, $\lambda_m = 2.8$, $E_{2N} = 161 \text{ V}$, $I_{1N} = 49.8 \text{ A}$, $I_{2N} = 90 \text{ A}$,电动机拖

动反抗性恒转矩负载 $T_L = 0.82 T_N$,要求反接制动时 $T = 2.0 T_L$,求:

(1) 转子每相串入的电阻值。

(2) 若电动机停车时不及时切断电源,电动机最后结果如何?

$$\text{解: (1) } s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{750 - 710}{750} = 0.0533 \quad R_2 = \frac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3} I_{2N}} = \frac{0.0533 \times 161}{\sqrt{3} \times 90} = 0.055 \Omega$$

$$s = \frac{T}{T_N} s_N = \frac{0.82 T_N}{T_N} s_N = 0.82 \times 0.0533 = 0.0437$$

固有机械特性上的临界转差率为

$$s'_m = s_N (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0.0533 \times (2.8 + \sqrt{2.8^2 - 1}) = 0.289$$

制动开始瞬间的转差率为 $2 - 0.0437 = 1.9563$ 要求制动转矩 $T = 2.0 T_L$

$$\text{由 } T = \frac{2 T_m}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}} \text{ 得到 } T(s_m^2 + s^2) = 2 T_m s_m s \text{ 即 } s_m^2 - 2 \frac{T_m}{T} s_m s + s^2 = 0$$

$$s_m = \frac{2 \frac{T_m}{T} s \pm \sqrt{(2 \frac{T_m}{T} s)^2 - 4 s^2}}{2} = s \left[\frac{T_m}{T} \pm \sqrt{\left(\frac{T_m}{T}\right)^2 - 1} \right]$$

$$= 1.9563 \times \left[\frac{2.8}{2 \times 0.82} \pm \sqrt{\left(\frac{2.8}{2 \times 0.82}\right)^2 - 1} \right]$$

括号中取“+”时 $s_m = 6.025$, 取“-”时 $s_m = 0.626$, 若取 $s_m = 6.025$, $s_m > s$, 电动机工作在机械特性的直线段, 制动转矩会逐渐减小, 制动效果较差, 若取 $s_m = 0.626$, $s_m < s$, 电动机工作在机械特性的曲线段, 制动转矩会逐渐增大, 制动效果较好, 所以取 $s_m = 0.626$,

反接制动时在转子回路串入电阻, 临界转差率与转子回路电阻成正比, 但最大电磁转矩 T_m

保持不变, 设转子回路应串入电阻值为 R_Ω , 则有 $\frac{s'_m}{s_m} = \frac{R_2}{R_2 + R_\Omega}$

$$R_\Omega = \frac{R_2 (s_m - s'_m)}{s'_m} = \frac{0.055 \times (0.626 - 0.289)}{0.289} = 0.064 \Omega$$

若取 $s_m = 6.025$, 则转子回路应串入电阻值为

$$R_\Omega = \frac{R_2 (s_m - s'_m)}{s'_m} = \frac{0.055 \times (6.025 - 0.289)}{0.289} = 1.09 \Omega$$

(2) 若取 $s_m = 0.626$, 即转子回路串入电阻值 0.064Ω , 当制动到停车时, 即 $n=0$, $s=1$ 时的制动转矩为

$$T = \frac{2T_m}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}} = \frac{2 \times 2.8T_N}{0.626 + \frac{1}{0.626}} = 2.5T_N > T_L = 0.82T_N, \text{ 所以电动机停车时不切断电源, 电动机}$$

会反转。

若取 $s_m = 6.025$, 即转子回路串入电阻值 1.09Ω 时制动转矩为

$$T = \frac{2T_m}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}} = \frac{2 \times 2.8T_N}{6.025 + \frac{1}{6.025}} = 0.9T_N > T_L = 0.82T_N$$

所以电动机停车时不切断电源, 电动机也会反转。

7.43 起重机由一台三相绕线转子异步电动机拖动, 其数据为: $P_N = 75 \text{ kW}$, $U_{1N} = 380 \text{ V}$,

$n_N = 970 \text{ r/min}$, $E_{2N} = 392 \text{ V}$, $I_{2N} = 121 \text{ A}$, $\lambda_m = 2.5$ 。已知电动机升降重物时负载转

矩 $T_L = 0.76 T_N$, 求:

(1) 在固有机械特性上运行时的转速;

(2) 当转子每相串入电阻为 0.66Ω 时的转速;

(3) 当下放重物转速为 970 r/min 时, 转子回路每相应串入多大电阻?

$$\text{解: (1) } s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 970}{1000} = 0.03 \quad R_2 = \frac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3} I_{2N}} = \frac{0.03 \times 392}{\sqrt{3} \times 121} = 0.056 \Omega$$

$$T_L = 0.76 T_N \text{ 时的转差率为 } s = \frac{T}{T_N} s_N = \frac{0.76 T_N}{T_N} s_N = 0.76 \times 0.03 = 0.0228$$

$$n = n_1(1 - s) = 1000 \times (1 - 0.0228) = 977.2 \text{ r/min}$$

(2) 转子每相串入电阻值为 0.66Ω 时的转差率为 s_A , 则有

$$\frac{s_A}{R_2 + R} = \frac{s}{R_2} \quad s_A = \frac{s(R_2 + R)}{R_2} = \frac{0.0228 \times (0.056 + 0.66)}{0.056} = 0.29$$

$$n_A = n_1(1 - s_A) = 1000 \times (1 - 0.29) = 710 \text{ r/min}$$

$$(3) \text{ 下放重物电动机转速为 } 970 \text{ r/min} \text{ 时的转差率为 } s_B = \frac{1000 - (-970)}{1000} = 1.97$$

$$\text{转子回路每相应串入电阻值为 } R_B = \frac{R_2(s_B - s)}{s} = \frac{0.056 \times (1.97 - 0.0228)}{0.0228} = 4.78 \Omega$$

