

高等学校试用教材

电机及拖动基础

题 解

合肥工业大学

顾绳谷 姚守猷 张世栋 编

全国高等学校工业自动化专业教育委员会

前 言

《电机及拖动基础》是工业电气自动化专业一门较为重要的专业基础课。其内容理论性较强，也密切结合实际，一方面应通过一些实验加以验证，以加强实践能力的训练，另一方面应进行必要的计算与深入的思考，以加深理解和牢固掌握。

全国高等学校工业自动化专业教育委员会成立会议研究决定，编写该教材的《题解和实验指导书》，供广大师生参考。原教材中的所有思考题不编写答案。实验指导书有关内容，仅供参考，各兄弟院校可结合各自的设备条件灵活选用，并予以更新和提高。

为了深入掌握《电机及拖动基础》课程的有关内容，解决计算方法的基本问题，提高学生的运算能力，在课程的教学过程中，必须选择适当份量的课外作业，进行演习。

课程各章均附有习题作业，其主要内容为：

- (1) 运动方程式中各参数折算的计算；
- (2) 他励直流电动机工作特性的计算；
- (3) 他励直流电动机机械特性的计算；
- (4) 他励直流电动机过渡过程的计算；
- (5) 变压器工作特性的计算；
- (6) 异步电动机工作特性的计算；
- (7) 异步电动机机械特性的计算；
- (8) 异步电动机起动设备的计算；
- (9) 异步电动机过渡过程的计算；
- (10) 长时变化负载下电动机功率的计算；
- (11) 短时工作方式电动机功率的计算；
- (12) 断续工作方式电动机功率的计算；
- (13) 硬轴联结双电动机拖动系统机械特性的计算。

本《题解和实验指导书》由顾绳谷教授与姚守猷副教授主持编写，顾绳谷教授编写了其中拖动部份习题解答和实验指导书，张世栋同志编写了其中电机部分的习题解答和实验指导书。电机部分的习题解答由吴奕同志进行验算。

由于编写时间仓促，编写经验不足，本题解和实验指导书中还有不少错误和不妥之处，希望读者多予提出批评意见。

为方便读者，本书分《题解》和《实验指导书》两册出版。

目 录

第一章	直流电机	1
第二章	直流电机的电力拖动	8
第三章	变压器	24
第四章	三相异步电动机的基本原理	29
第五章	三相异步电动机的运行原理	35
第六章	三相异步电动机的机械特性及各种运转状态	44
第七章	三相异步电动机的起动及起动设备的计算	50
第九章	其他交流电动机	57
第十一章	多电动机拖动系统	59
第十二章	电力拖动系统电机的选择	64

编辑 全国高等学校工业自动化专业教育委员会
地址 安徽省合肥市电溪路合肥工业大学
电报挂号 1122

第一章 直流电机

1-11 一台直流电机, $2p=4$, $S=120$, 每个元件电阻为 0.2 欧, 当转速 $n=1000$ 转/分时, 每元件之平均电势为 10 伏。问当电枢绕组为单叠或单波时, 电刷端的电势和电阻各为多少?

解 单叠绕组的支路数等于电机的极对数。即 $a=p$

所以, 单叠绕组每条支路中元件数为

$$\frac{S}{2a} = \frac{120}{4} = 30$$

当转速为 $n=1000$ 转/分时, 其电刷端的电势为

$$E = 30 \times 10 = 300 \text{ 伏 (不考虑被电刷短路元件)}$$

电刷端的电阻为: (不考虑电刷接触电阻)

$$R = \frac{30 \times 0.2}{4} = 1.5 \text{ 欧}$$

单波绕组的支路数总是等于 1 , 即

$$a=1$$

所以, 单波绕组每条支路中元件数为

$$\frac{S}{2a} = \frac{120}{2 \times 1} = 60$$

当转速 $n=1000$ 转/分时, 其电刷端的电势为

$$E = 60 \times 10 = 600 \text{ 伏 (不考虑被电刷短路元件)}$$

电刷端的电阻为 (不考虑电刷的接触电阻)

$$R = \frac{60 \times 0.2}{2} = 6 \text{ 欧}$$

1-14 一台并励直流电动机在额定电压 $U_e = 220$ 伏和额定电流 $I_e = 80$ 安的情况下运行, 15°C 时的电枢绕组电阻 $r_a = 0.08$ 欧, $2\Delta U = 2$ 伏, 励磁绕组的电阻 $r_f = 88.8$ 欧, 额定负载时的效率 $\eta_e = 85\%$, 试求:

- (1) 额定输入功率; (2) 额定输出功率;
- (3) 总损耗; (4) 电枢回路铜耗;
- (5) 励磁回路铜耗; (6) 电刷接触损耗;
- (7) 附加损耗; (8) 机械损耗和铁耗之和。

解

(1) 额定输入功率: $P_1 = U_e I_e = 220 \times 80 = 17.6$ 千瓦

(2) 额定输出功率: $P_2 = P_e = P_1 \eta_e = 17.6 \times 85\% = 14.96$ 千瓦

(3) 总损耗: $\Sigma p = P_1 - P_2 = 17.6 - 14.96 = 2.64$ 千瓦

(4) 电枢回路铜耗:

电枢回路电阻按规定换算到 75°C 时数值。

$$r_{a(75^{\circ}\text{C})} = r_{a(15^{\circ}\text{C})} \frac{234.5 + 75^{\circ}}{234.5 + 15^{\circ}} = 0.08 \frac{234.5 + 75^{\circ}}{234.5 + 15^{\circ}} = 0.0992 \text{ 欧}$$

$$p_{\text{Cu}a} = I_a^2 r_{a(75^{\circ}\text{C})} = (I_e - I_f)^2 \cdot r_{a(75^{\circ}\text{C})} = (80 - 1.998)^2 \times 0.0992 = 603.56 \text{ 瓦}$$

(5) 励磁回路铜耗:

励磁绕组电阻按规定要换算 75°C 时数值

$$r_f(75^{\circ}\text{C}) = r_f(15^{\circ}\text{C}) \frac{234.5 + 75^{\circ}}{234.5 + 15^{\circ}} = 88.8 \frac{234.5 + 75^{\circ}}{234.5 + 15^{\circ}} = 110.1 \text{ 欧}$$

$$\text{励磁回路: } I_f = \frac{U_e}{r_f(75^{\circ}\text{C})} = \frac{220}{110.1} = 1.998 \text{ 安}$$

励磁回路铜耗:

$$p_{\text{Cu}f} = I_f^2 \cdot r_f(75^{\circ}\text{C}) = (1.998)^2 \times 110.1 = 439.5 \text{ 瓦}$$

(6) 电刷接触损耗:

$$p_s = 2\Delta U_s \times I_a = 2 \times (80 - 1.998) = 2 \times 78.002 = 156 \text{ 瓦}$$

(7) 附加损耗:

附加损耗是难于精确计算的, 国家标准 GB755-65 规定, 对于无补偿绕组的直流电机, 按额定容量的 1% 估算, 所以

$$p_{\Delta} = P_e \cdot 1\% = 14.96 \times 1\% = 149.6 \text{ 瓦}$$

(8) 机械损耗和铁耗之和:

$$\text{因为 } P_1 = p_{Fe} + p_{\Omega} + p_{\text{Cu}a} + p_{\text{Cu}f} + p_s + p_{\Delta} + P_2$$

$$\text{所以 } p_{Fe} + p_{\Omega} = P_1 - (P_2 + p_{\text{Cu}a} + p_{\text{Cu}f} + p_s + p_{\Delta})$$

$$= 17.6 \times 10^3 - (14.96 \times 10^3 + 603.56 + 439.5 + 156 + 149.6)$$

$$= 1291.34 \text{ 瓦}$$

$$\text{或 } p_{Fe} + p_{\Omega} = \Sigma p - (p_{\text{Cu}a} + p_{\text{Cu}f} + p_s + p_{\Delta})$$

$$= 2.64 \times 10^3 - (603.56 + 439.5 + 156 + 149.6) = 1291.34 \text{ 瓦}$$

1-21 一台他励直流电动机接在一个电压为 220 伏的电网上运行时, 电枢电流为 $I_a = 10$ 安, 电刷压降为 $2\Delta U_s = 2$ 伏, 电枢回路电阻为 0.5 欧, 试求该电动机内部反电势为多少? 假定由于某种原因, 电网电压下降为 190 伏, 但他励的励磁电流和负载转矩皆保持不变, 求达到新的平衡时, 电动机内部的反电势为多少?

解 他励直流电动机电势平衡方程式:

$$U = E_a + R_a I_a + 2\Delta U_s$$

该电动机内部反电势为

$$E_a = U - I_a R_a - 2\Delta U_s = 220 - 10 \times 0.5 - 2 = 213 \text{ 伏}$$

当电网电压下降为 190 伏时, 其他励的励磁电流和负载转矩不变, 即 Φ 和 I_a 不变, 所以此时电动机内部的反电势为

$$E_a = U - I_a R_a - 2\Delta U_s = 190 - 10 \times 0.5 - 2 = 183 \text{ 伏}$$

1-22 一台并励直流电动机, $P_e = 96$ 千瓦, $U_e = 440$ 伏, $I_e = 255$ 安, $I_f = 5$ 安, $n_e = 500$ 转/分, $r_a = 0.078$ 欧, 试求:

(1) 电动机的额定输出转矩;

(2) 在额定电流时的电磁转矩;

(3) 当 $I_a = 0$ 时电机的转速;

(4) 在总制动转矩不变的情况下, 当电枢中串入一电阻 0.1 欧而达到稳定时的转速。

解 已知额定转速 $n_e = 500$ 转/分, 即可求得额定角速度:

$$\Omega_e = 2\pi \frac{n_e}{60} = \frac{2\pi \times 500}{60} = 52.36 \text{ 弧度/秒}$$

(1) 额定输出转矩:

$$M_e = \frac{P_e}{\Omega_e} = \frac{96 \times 10^3}{52.36} = 1833.495 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

(2) 额定电流时的电磁转矩:

根据电势平衡方程式得

$$E = U - I_a r_a - 2\Delta U_s = 440 - (255 - 5)0.078 - 2 = 418.5 \text{ 伏}$$

$$\text{电磁转矩: } M = \frac{P_M}{\Omega_e} = \frac{EI_a}{2\pi \frac{n_e}{60}} = \frac{418.5 \times 250}{\frac{2\pi \times 500}{60}} = 1998.19 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

(3) 当 $I_a = 0$ 时电机的转速

根据电势平衡方程式得

$$C_e \Phi = \frac{U - I_a r_a - 2\Delta U_s}{n} = \frac{418.5}{500} = 0.837$$

并励直流电动机当电网电压不变时, 则磁通 Φ 可视为不变的, 而 C_e 亦是一个常数。

所以, 当 $I_a = 0$ 时, 电机的转速为

$$n = \frac{U - I_a r_a - 2\Delta U_s}{C_e \Phi} = \frac{440}{0.837} = 525.68 \text{ 转/分}$$

(4) 在总制动转矩不变情况下, 则 I_a 不变; 而电网电压不变则 Φ 亦不变。所以 $C_e \Phi$ 亦不变。则在电枢中串入 0.1 欧电阻后达到稳定时的转速

$$n = \frac{U - I_a(r_a + 0.1) - 2\Delta U_s}{C_e \Phi} = \frac{440 - 250(0.078 + 0.1) - 2}{0.837} = 470.13 \text{ 转/分}$$

1-23 一台 Z_2-61 并励直流电动机的额定数据如下: $P_e = 17$ 千瓦, $U_e = 220$ 伏, $n_e = 3000$ 转/分, $I_e = 88.9$ 安, 电枢回路总电阻 $R_a = 0.0896$ 欧。励磁回路电阻 $R_f = 181.5$ 欧, 若忽略电枢反应的影响。试求:

(1) 电动机的额定输出转矩;

(2) 在额定负载时的电磁转矩;

(3) 额定负载时的效率;

(4) 在理想空载 ($I_a = 0$) 时的转速;

(5) 当电枢回路串入一电阻 $R = 0.15$ 欧时, 求额定转矩时的转速。

解

(1) 额定输出转矩

$$M_e = \frac{P_e}{\Omega_e} = \frac{P_e}{2\pi \frac{n_e}{60}} = \frac{17 \times 10^3}{2\pi \frac{3000}{60}} = 54.112 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

(2) 额定负载时的电磁转矩

$$\text{额定励磁电流: } I_f = \frac{U_e}{R_f} = \frac{220}{181.5} = 1.21 \text{ 安}$$

根据电势平衡方程式求得反电势

$$E = U - I_a R_a - 2\Delta U_s = 220 - (88.9 - 1.21)0.0896 - 2 = 210.14 \text{ 伏}$$

$$\text{电磁转矩 } M = \frac{P_M}{\Omega} = \frac{EI_a}{2\pi \frac{n}{60}} = \frac{210.14(88.9 - 1.21)}{2\pi \frac{3000}{60}} = 58.66 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

(3) 额定负载时的效率

$$\text{输入功率 } P_1 = U_e I_e = 220 \times 88.9 = 19.56 \text{ 千瓦}$$

所以额定负载下效率

$$\eta_e = \frac{P_e}{P_1} = \frac{17}{19.56} = 86.9\%$$

(4) 理想空载 ($I_a = 0$) 时的转速

额定负载时反电势为

$$E = C_e \Phi n = 210.14 \text{ 伏}$$

而额定转速 $n_e = 3000$ 转/分

$$\text{所以 } C_e \Phi = \frac{E}{n_e} = \frac{210.14}{3000} = 0.07$$

并励电动机当电网电压恒定不变, 则 $C_e \Phi$ 可视为不变的。

在理想空载 ($I_a = 0$) 时, 根据电势平衡方程 $U = E + I_a R_a + 2\Delta U_s$ 。

则可以认为 $U \approx E$

所以理想空载 ($I_a = 0$) 时的转速为

$$n = \frac{E}{C_e \Phi} = \frac{220}{0.07} = 3142.85 \text{ 转/分}$$

(5) 当电枢回路串入一电阻, $R_a = 0.15$ 欧时, 在额定转矩下的转速

根据电势平衡方程式得

$$E = U - I_a(R_a + R'_a) - 2\Delta U_s$$

而 $E = C_e \Phi n$

$$\begin{aligned} \text{所以 } n &= \frac{U - I_a(R_a + R'_a) - 2\Delta U_s}{C_e \Phi} = \frac{220 - 87.69(0.0896 + 0.15) - 2}{0.07} \\ &= 2814.14 \text{ 转/分} \end{aligned}$$

1-24 一台 220 伏的并励直流电动机, 电枢回路总电阻 $R_a = 0.316$ 欧, 空载时电枢电流 $I_{a0} = 2.8$ 安, 空载转速为 1600 转/分。

(1) 今欲在电枢负载电流为 52 安时, 将转速下降为 800 转/分, 问在电枢回路中须串入的电阻值为多大 (忽略电枢反应) ?

(2) 这时电源输入电枢回路的功率百分之几输入到电枢中? 这说明什么问题?

解 当电网电压不变情况下, 则并励直流电动机的励磁磁通 Φ 可视为不变的, 即 $C_e \Phi$ 值不变。

在空载时根据电势平衡方程式得:

$$U = E + I_a R_a + 2\Delta U_s$$

而 $E = C_e \Phi n$

所以 $C_e \Phi = \frac{U - I_a R_a - 2\Delta U_s}{n} = \frac{220 - 2.8 \times 0.316 - 2}{1600} = 0.136$

当电枢负载电流为 52 安时, 转速下降为 800 转/分 时, 电枢回路总电阻值为

$$R_a = \frac{U - 2\Delta U_s - C_e \Phi n}{I_a} = \frac{220 - 2 - 0.136 \times 800}{52} = 2.1 \text{ 欧}$$

则串入电枢回路电阻为

$$r_a = R_a - 0.316 = 1.784 \text{ 欧}$$

此时电源输入电枢回路的功率为

$$P_1 = UI = 220 \times 52 = 11.44 \text{ 千瓦}$$

而输入电枢中功率为

$$P'_1 = (U - I \cdot r_a) I = (220 - 52 \times 1.784) 52 = 6.61 \text{ 千瓦}$$

所以说输入电枢中功率只占电源输入电枢回路的功率百分数为

$$\frac{P'_1}{P_1} = \frac{6.61}{11.44} = 57.77\%$$

这说明电源输入电枢回路中 42.23% 功率消耗在外加电阻上。

1—25 一台并励直流电动机在某负载转矩时转速为 1000 转/分, 电枢电流为 40 安, 电枢回路总电阻 $R_a = 0.045$ 欧, 电网电压为 110 伏。当负载转矩增大到原来的 4 倍时, 电枢电流及转速各为多少? (忽略电枢反应)

解 并励直流电动机, 忽略电枢反应, 电网电压不变情况下, 可视为 $C_e \Phi$ 是不变的。

因为

$$M = C_m \Phi I_a$$

所以, 当负载转矩增大到原来的 4 倍时, 则电枢电流亦增加 4 倍, 即 $I_a = 160$ 安

因为 $C_e \Phi$ 可认为是一个常数

所以
$$\frac{E}{E'} = \frac{C_e \Phi n}{C_e \Phi n'} = \frac{n}{n'}$$

即
$$\frac{U - I_a R_a - 2\Delta U_s}{U - I'_a R_a - 2\Delta U_s} = \frac{n}{n'}; \frac{110 - 40 \times 0.045 - 2}{110 - 160 \times 0.045 - 2} = \frac{1000}{n'}; n' = 949.15 \text{ 转/分}$$

即当负载转矩增大到原来 4 倍时, 电枢电流亦增加 4 倍为 $I_a = 160$ 安, 而转速 $n' = 949.15$ 转/分

1—26 一台 Z₂-52 并励直流电动机, $P_e = 7.5$ 千瓦, $U_e = 110$ 伏, $I_e = 82.2$ 安, $n_e = 1500$ 转/分, 电枢回路总电阻 $R_a = 0.1014$ 欧, 励磁绕组电阻 $r_f = 46.7$ 欧, 忽略电枢反应作用;

(1) 求电动机电枢电流 $I_a = 60$ 安时的转速;

(2) 假若负载转矩不随转速而改变, 现在电机的主磁通减少 15%, 求达到稳定状态时的电枢电流及转速。

解 励磁电流:

$$I_f = \frac{U}{r_f} = \frac{110}{46.7} = 2.36 \text{ 安}$$

额定运行情况下:

$$C_e \Phi = \frac{U - I_a R_a - 2\Delta U_s}{N} = \frac{110 - (82.2 - 2.36) 0.1014 - 2}{1500} = 0.0667$$

并励直流电动机, 忽略电枢反应作用, 当电网电压不变情况下, 可认为 $C_e \Phi$ 是不变的。所以, 当电动机电枢电流 $I_a = 60$ 安时, 转速为

$$n = \frac{U - I_a R_a - 2\Delta U_s}{C_e \Phi} = \frac{110 - 60 \times 0.1014 - 2}{0.0667} = 1530 \text{ 转/分}$$

若负载转矩不随转速而改变, 当电动机主磁通减少 15%, 根据 $M = C_M \Phi I_a$, 则电枢电流要增加 15%, 即电枢电流为

$$I_a = (82.2 - 2.36) 1.15 = 91.82 \text{ 安}$$

这时转速为

$$n = \frac{U - I_a R_a - 2\Delta U_s}{C_e \Phi \times 0.85} = \frac{110 - 91.82 \times 0.1014 - 2}{0.0667 \times 0.85} = 1743.3 \text{ 转/分}$$

1—27 一台串励直流电动机, $U_c = 220$ 伏, $I_c = 40$ 安, $n_c = 1000$ 转/分, 电枢回路总电阻为 0.5 欧。假定磁路不饱和。

(1) 当 $I_a = 20$ 安时, 电动机的转速及电磁转矩为多大?

(2) 如果电磁转矩保持上述值不变, 而电压减低到 110 伏, 此时电动机的转矩及电流各为多大?

解 电势平衡方程式

$$U = E + I_a (R_a + R_f) + 2\Delta U_s$$

而

$$E = C_e n \Phi = C'_e n I_a \quad (\text{假定磁路不饱和})$$

在额定情况下:

$$C'_e = \frac{U - I_a (R_a + R_f) - 2\Delta U_s}{n I_a} = \frac{220 - 40 \times 0.5 - 2}{1000 \times 40} = 0.00495$$

(1) 当 $I_a = 20$ 安时,

电动机转速为

$$n = \frac{U - I_a (R_a + R_f) - 2\Delta U_s}{C'_e I_a} = \frac{220 - 20 \times 0.5 - 2}{0.00495 \times 20} = 2101 \text{ 转/分}$$

电动机转矩为

$$M = \frac{P_M}{\Omega} = \frac{E I_a}{\Omega} = \frac{C'_e n I_a^2}{2\pi \frac{n}{60}} = \frac{C'_e I_a^2 60}{2\pi} = \frac{0.00495 \times (20)^2 \times 60}{2\pi} = 18.7 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

如果电磁转矩保持上述值不变, 而假定磁路不饱和, 根据 $M = C_M \Phi I_a = C'_M I_a^2$, 则即使电压改变为 110 伏, 而其电流仍保持不变为 $I_a = 20$ 安, 而这时转速为

$$n = \frac{U - I_a (R_a + R_f) - 2\Delta U_s}{C'_e I_a} = \frac{110 - 20 \times 0.5 - 2}{0.00495 \times 20} = 989.89 \text{ 转/分}$$

1—28 一台并励直流电动机的数据如下: $U_c = 220$ 伏, 电枢回路总电阻 $R_a = 0.032$ 欧, 励磁回路总电阻 $R_f = 275$ 欧, 今将电机装在起重机上, 当使重物上升时, $U_a = U_c$, $I_a = 350$ 安, $n = 795$ 转/分。而将重物下放时 (重物负载不变, 电磁转矩也近似不变), 电压及励磁电流保持不变, 转速 $n = 300$ 转/分, 问电枢回路要串入多大的电阻?

解 当重物上升时, 其反电势为

$$E = U - I_a R_a - 2\Delta U_s = 220 - 350 \times 0.032 - 2 = 206.8 \text{ 伏}$$

并励直流电动机在当电网电压不变情况下忽略电枢反应则可认为 $C_e \Phi$ 是不变的

$$C_e \Phi = \frac{E}{n} = \frac{206.8}{795} = 0.26$$

这时电动机的电磁转矩为

$$M = \frac{EI_a}{\Omega} = \frac{206.8 \times 350}{2\pi \cdot \frac{795}{60}} = 869.4 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

当重物下放时，（重物负载不变，电磁转矩亦近似不变）。而电压及励磁电流保持不变，而转速降为300转/分，这时电动机的反电势为

$$E = C_e \Phi n = 0.26 \times 300 = 78 \text{ 伏}$$

因为，电磁转矩不变情况下，即 $M = C_m \Phi I_a$ 为常数，所以电流是不变的，仍为 $I_a = 350$ 安。

由于，重物下放时，旋转方向反了。此时电枢内反电势方向反了，根据电势平衡方程式可得

$$R_a = \frac{U - (-E) - 2\Delta U_s}{I_a} = \frac{220 + 78 - 2}{350} = 0.8457 \text{ 欧}$$

所以，当重物下降，在电压和励磁电流不变情况下，要使转速降为 $n = 300$ 转/分时，电枢回路需要串入电阻为

$$R = 0.8457 - 0.032 = 0.8139 \text{ 欧}$$

第二章 直流电机的电力拖动

2—1 起重机的传动机构如图2—1，图中各元件的数据如下表：

编号	名称	齿数	GD^2 (牛·米 ²)	重量 (牛)	直 径 (毫米)
1	电动机		5.59		
2	蜗杆	双头	0.98		
3	齿轮	15	2.94		
4	蜗轮	30	17.05		
5	卷筒		98.10		50
6	齿轮	65	294.00		
7	导轮		3.92		150
8	导轮		3.92		150
9	吊钩			490 (相当于50公斤重)	
10	重物 (负载)			19620 (相当于2000公斤重)	

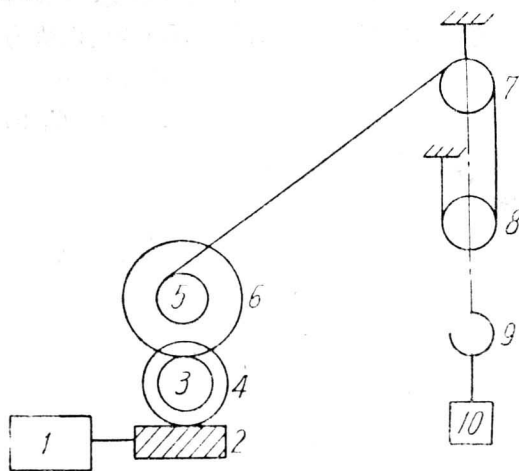


图2-1

若起吊速度为12米/分，传动机构效率：当起吊重物时 $\eta_c = 0.7$ ；当空钩提升时 $\eta_o = 0.1$ 。

计算：

- (1) 折算到电动机轴上的系统总飞轮矩；
- (2) 重物吊起及放下时折算到电动机轴上的阻转矩；
- (3) 空钩吊起及放下时折算到电动机轴上的阻转矩；
- (4) 阐明在(2)和(3)的各种情况下，电动机输入机械能还是输出机械能。

解 系统中转动部分的飞轮矩折算值 GD_a^2 为

$$GD_a^2 = 5.59 + 0.98 + \frac{2.94 + 17.05}{\left(\frac{30}{2}\right)^2} + \frac{98.1 + 294}{\left(\frac{30 \times 65}{2 \times 15}\right)^2} + \frac{3.92 + 3 \times 3.92}{\left(\frac{30 \times 65 \times 0.15}{2 \times 15 \times 0.5}\right)^2} = 6.79 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2$$

电动机转速 n 为

$$n = \frac{60}{2\pi} \left(\frac{2 \times 12}{60} \right) \left(\frac{1}{0.5/2} \right) \times \frac{65}{15} \times \frac{30}{2} = 994 \text{ 转/分}$$

系统中直线运动部分的飞轮矩的折算值 GD_b^2 为

$$GD_b^2 = 365 \frac{\left(19620 + 490 + \frac{2 \times 3.92}{0.15^2} \right) \left(\frac{12}{60} \right)^2}{994^2} = 0.302 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2$$

(1) 折算到电动机轴上的系统总飞轮矩 GD^2 为

$$GD^2 = GD_a^2 + GD_b^2 = 6.79 + 0.302 = 7.092 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2$$

(2) 折算到电动机轴上的阻转矩

1) 重物吊起时

$$M_z = 9.55 \frac{\left(19620 + 490 + \frac{2 \times 3.92}{0.15^2}\right) \left(\frac{12}{60}\right)}{994 \times 0.7} = 56.2 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

2) 重物下放时

$$M'_z = 9.55 \frac{\left(19620 + 490 + \frac{2 \times 3.92}{0.15^2}\right) \left(\frac{12}{60}\right)}{994} \left(2 - \frac{1}{0.7}\right) = 22.45 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

(3) 折算到电动机轴上的阻转矩

1) 空钩吊起时

$$M_{z0} = 9.55 \frac{\left(490 + \frac{2 \times 3.92}{0.15^2}\right) \frac{12}{60}}{994 \times 0.1} = 16.1 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

2) 空钩下放时

$$M'_{z0} = 9.55 \frac{\left(490 + \frac{2 \times 3.92}{0.15^2}\right) \times \frac{12}{60}}{994} \left(2 - \frac{1}{0.1}\right) = -12.88 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

(4) 重物吊起时, 电动机输出机械能;

重物下放时, 电动机输入机械能;

空钩吊起时, 电动机输出机械能;

空钩下放时, 电动机输出机械能, 即输入负的机械能。

2-2 图2-2为一龙门刨床的主传动机构图, 齿轮1与电动机轴直接联接, 各齿轮有下列数据(见下表)

代号	名称	GD^2 (牛·米 ²)	重量 (牛)	齿数
1	齿轮	8.25		20
2	齿轮	40.20		55
3	齿轮	19.60		38
4	齿轮	56.80		64
5	齿轮	37.30		30
6	齿轮	137.20		78
G_1	工作台		14715 (相当于1500公斤重)	
G_2	工件		9810 (相当于1000公斤重)	

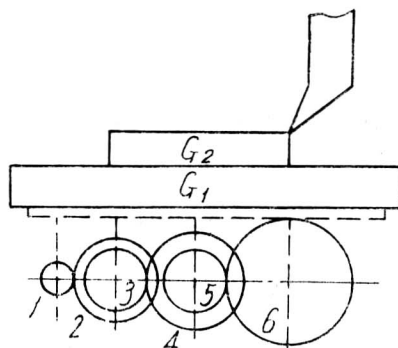


图 2-2

切削力 $F_z = 9810$ 牛; 切削速度 $v_z = 43$ 米/分; 传动效率为 0.8; 齿轮 6 的节距为 20 毫

米；电动机电枢的飞轮矩为 $230 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2$ ；工作台与机床身的摩擦系数为 0.1 。

试计算：

- (1) 折算到电动机轴上的系统总飞轮矩及负载转矩；
- (2) 切削时电动机输出的功率；
- (3) 空载不切削要求工作台有 2 米/秒^2 的加速度时的电动机转矩。

解 (1) 电动机转速 n 为

$$n = \frac{55}{20} \times \frac{64}{38} \times \frac{78}{30} \times \frac{43}{78 \times 0.02} = 332 \text{ 转/分}$$

折算到电动机轴上的系统总飞轮矩 GD^2 为

$$\begin{aligned} GD^2 = & 230 + 8.25 + \frac{40.2 + 19.6}{\left(\frac{55}{20}\right)^2} + \frac{56.8 + 37.3}{\left(\frac{55 \times 64}{20 \times 38}\right)^2} + \frac{137.2}{\left(\frac{55 \times 64 \times 78}{20 \times 38 \times 30}\right)^2} \\ & + 365 \times \frac{\left(14715 + 9810\right) \left(\frac{43}{60}\right)^2}{332^2} = 293.19 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2 \end{aligned}$$

折算到电动机轴上的负载转矩 M_z 为

$$M_z = 9.55 \times \frac{\left[9810 + (14715 + 9810) \times 0.1\right] \left(\frac{43}{60}\right)}{332 \times 0.8} = 316 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

(2) 切削时电动机输出的功率 P 为

$$P = \frac{316 \times 332}{9550} = 11 \text{ 千瓦}$$

$$(3) \frac{dn}{dt} = \frac{55}{20} \times \frac{64}{38} \times \frac{78}{30} \times \frac{1}{78 \times 0.02} \left(\frac{dv_z}{dt}\right) \times 60$$

$$= \frac{55}{20} \times \frac{64}{38} \times \frac{78}{30} \times \frac{2 \times 60}{78 \times 0.02} = 927 \text{ (转/分)/秒}$$

空载不切削时，折算到电动机轴上的负载转矩 M_{z0} 为

$$M_{z0} = 9.55 \times \frac{(14715 + 9810) \times 0.1 \times \frac{43}{60}}{332 \times 0.8} = 63.2 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

此时电动机转矩 M 为

$$M = M_{z0} + \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = 63.2 + \frac{293.19}{375} \times 927 = 788.2 \text{ 牛} \cdot \text{米}$$

2—3 他励直流电动机的铭牌数据：

$$P_e = 1.75 \text{ 千瓦}, U_e = 110 \text{ 伏}, I_e = 20.1 \text{ 安}$$

$n_e = 1450$ 转/分, 试计算:

- (1) 固有特性曲线, 并用座标纸画出;
- (2) 50% 额定负载时的转速;
- (3) 转速为 1500 转/分 时的电枢电流值。

解 $R_a = 0.5 \left(\frac{U_e I_e P_e}{I_e^2} \right) = 0.5 \left(\frac{110 \times 20.1 - 1.75 \times 1000}{20.1^2} \right) = 0.57 \text{ 欧}$

$$C_e \Phi_e = \frac{110 - 20.1 \times 0.57}{1450} = 0.068$$

$$n_o = \frac{110}{0.068} = 1620 \text{ 转/分}$$

$$C_M \Phi_e = 9.55 C_e \Phi_e = 9.55 \times 0.068 = 0.65$$

(1) 固有特性方程式为

$$n = 1620 - \frac{0.57}{0.068} I_a = 1620 - 8.38 I_a$$

或写成

$$n = 1620 - \frac{8.38}{0.65} M = 1620 - 12.9 M$$

用座标纸画出从略。

(2) 50% 额定负载时, $I_a = 0.5 \times 20.1 = 10.05$ 安, 此时转速为

$$n = 1620 - 8.38 \times 10.05 = 1535.7 \text{ 转/分}$$

(3) 当 $n = 1500$ 转/分 时,

$$1500 = 1620 - 8.38 I_a$$

$$I_a = \frac{1620 - 1500}{8.38} = 14.3 \text{ 安}$$

2—4 他励直流电动机的铭牌数据同上, 试计算磁通为 $80\% \Phi_e$ 时及电枢电压为 50% 时的人为特性, 并用座标纸画出。

解 (1) 当 $\Phi = 0.8 \Phi_e$ 时, 人为特性方程式为

$$n = \frac{110}{0.8 \times 0.068} - \frac{0.57}{0.8 \times 0.068} I_a = 2025 - 10.5 I_a$$

或写成

$$n = 2025 - \frac{10.5}{0.65 \times 0.8} M = 2025 - 20.2 M$$

用座标纸画出从略。

(2) $U = 0.5U_e = 0.5 \times 110 = 55$ 伏时, 人为特性方程式为

$$n = \frac{55}{0.068} - 8.38I_a = 810 - 8.38I_a$$

或写成

$$n = 810 - 12.9M$$

用坐标纸画出从略。

2—5 题 (2—3) 中的电动机用于起吊及下放重物的起重机,

(1) 当额定负载时, 电枢电路串有 $50\%R_e$ 或 $15\%R_e$ ($R_e = \frac{U_e}{I_e}$) 时电动机稳定运转转速为多少? 各处于何种运转状态?

(2) 在快速下放重物时, 如采用电枢加反向额定电压时负载为 30% 额定负载, 计算电动机的下放转速; 此时电动机在何种状态下运行?

(3) 当额定负载时, 如电枢无外加电压, 电枢并联电阻 $0.5R_e$ 时, 电动机稳定转速为多少? 电动机处于何种运转状态?

解 $R_e = \frac{110}{20.1} = 5.47$ 欧

(1) 当额定负载时 $I_a = 20.1$ 安,

(a) 当 $R_\Omega = 0.5R_e$ 时,

$$n = 1620 - \frac{5.47 \times 0.5 + 0.57}{0.068} \times 20.1 = 643 \text{ 转/分}$$

此时电动机处于电动状态下运行以起吊重物。

(b) 当 $R_\Omega = 1.5R_e$ 时,

$$n = 1620 - \frac{5.47 \times 1.5 + 0.57}{0.068} \times 20.1 = -975 \text{ 转/分}$$

此时电动机处于反接制动 (转速反向的反接制动) 状态下运行以下放重物。

(2) $U = -110$ 伏, $I_a = 0.3I_e = 0.3 \times 20.1 = 6.03$ 安,

$$n = -1620 - \frac{6.03 \times 0.57}{0.068} = -1670.5 \text{ 转/分}$$

此时电动机处于回馈制动状态下运行以下放重物。

(3) $U = 0$, $R_\Omega = 0.5R_e = 0.5 \times 5.47 = 2.735$ 欧,

$$n = -\frac{2.735 + 0.57}{0.068} \times 20.1 = -978 \text{ 转/分}$$

此时电动机处于能耗制动状态下运行以下放重物。

2—6 他励直流电动机的数据如下:

$$P_e = 10 \text{ 千瓦}, U_e = 220 \text{ 伏}, I_e = 53.7 \text{ 安}, n_e = 3000 \text{ 转/分}$$

试计算并作出下列机械特性:

(1) 固有特性;

(2) 当电枢电路总电阻为 $50\%R_e$ 时的人为特性;

(3) 当电枢电路总电阻为 $150\%R_e$ 时的人为特性;

(4) 当电枢电路端电压 $U = 50\%U_e$ 时的人为特性;

(5) 当 $\Phi = 80\% \Phi_e$ 时的人为特性。

解

$$R_a = 0.5 \left(\frac{220 \times 53.7 - 10 \times 1000}{53.7^2} \right) = 0.315 \text{ 欧}$$

$$C_e \Phi_e = \frac{220 - 53.7 \times 0.315}{3000} = 0.0677$$

$$C_M \Phi_e = 9.55 \times 0.0677 = 0.647$$

$$n_0 = \frac{220}{0.0677} = 3250 \text{ 转/分}$$

(1) 固有特性方程式为

$$n = 3250 - \frac{0.315}{0.0677} I_a = 3250 - 4.65 I_a$$

或写成

$$n = 3250 - \frac{4.65}{0.647} M = 3250 - 7.2 M$$

绘制从略。

(2) 当 $R_a + R_Q = 0.5 R_e = 0.5 \times \frac{220}{53.7} = 2.05$ 欧时, 人为特性方程式为

$$n = 3250 - \frac{2.05}{0.0677} I_a = 3250 - 30.3 I_a$$

或写成

$$n = 3250 - \frac{30.3}{0.467} M = 3250 - 64.8 M$$

绘制从略。

(3) 当 $R_a + R_Q = 1.5 R_e = 1.5 \times \frac{220}{53.7} = 6.15$ 欧时, 人为特性方程式为

$$n = 3250 - \frac{6.15}{0.0677} I_a = 3250 - 90.9 I_a$$

或写成

$$n = 3250 - \frac{90.9}{0.467} M = 3250 - 194.4 M$$

绘制从略。

(4) 当 $U = 0.5 U_e = 0.5 \times 220 = 110$ 伏时, 人为特性方程式为

$$n = \frac{110}{0.0677} - 4.65 I_a = 1625 - 4.65 I_a$$

或写成

$$n = 1625 - 7.2 M$$

(5) 当 $\Phi = 0.8 \Phi_e$ 时, 人为特性方程式为

$$n = \frac{220}{0.8 \times 0.0677} - \frac{0.315}{0.0677 \times 0.8} I_a = 4062.5 - 5.81 I_a$$

或写成

$$n = 4062.5 - \frac{5.81}{0.647 \times 0.8} M = 4062.5 - 11.25 M$$

绘制从略。

2-7 在上题各种情况下, 求额定电流 I_e 时电动机稳定运转的转速。

解 当 $I_a = I_e = 53.7$ 安时,

$$(1) \quad n = 3250 - 4.65 \times 53.7 = 3000 \text{ 转/分}$$

$$(2) \quad n = 3250 - 30.3 \times 53.7 = 1625 \text{ 转/分}$$

$$(3) \quad n = 3250 - 90.9 \times 53.7 = -1625 \text{ 转/分}$$

$$(4) \quad n = 1625 - 4.65 \times 53.7 = 1375 \text{ 转/分}$$

$$(5) \quad n = 4062.5 - 5.81 \times 53.7 = 3750.5 \text{ 转/分}$$

2-8 他励电动机的数据为:

$P_e = 29$ 千瓦, $U_e = 440$ 伏, $I_e = 76$ 安, $n_e = 1000$ 转/分, $R_a = 0.065 R_e$, 若忽略空载损耗。

(1) 电动机以转速 500 转/分 吊起 $M_z = 0.8 M_e$, 求这时串接在电枢电路内的电阻 R_Ω ;

(2) 用哪几种方法可使负载 ($0.8 M_e$) 以 500 转/分 的转速下放? 求每种方法电枢电路内的串接电阻值;

(3) 在 500 转/分 时, 吊起负载 $M_z = 0.8 M_e$, 忽将电枢反接, 并使电流不超过 I_e , 求最后稳定下降转速。

解

$$R_a = 0.065 \times \frac{440}{67} = 0.376 \text{ 欧}$$

$$C_e \Phi_e = \frac{440 - 76 \times 0.376}{1000} = 0.4114$$

$$(1) \quad R_\Omega = \frac{U_e - C_e \Phi_e n}{0.8 I_e} - R_a = \frac{440 - 0.4114 \times 500}{0.8 \times 76} - 0.376 = 3.48 \text{ 欧}$$

(2) 可用下列两法, 电动机分别运行在

(a) 反接制动状态下, 此时

$$R_\Omega = \frac{U_e + C_e \Phi_e n}{0.8 I_e} - R_a = \frac{440 + 0.4114 \times 500}{0.8 \times 76} - 0.376 = 10.24 \text{ 欧}$$

(b) 能耗制动状态下, 此时 $U = 0$, 则

$$R_\Omega = \frac{C_e \Phi_e n}{0.8 I_e} - R_a = \frac{0.4114 \times 500}{0.8 \times 76} - 0.376 = 3 \text{ 欧}$$

$$(3) \quad R_\Omega + R_a = \frac{-U_e - C_e \Phi_e n}{-I_e} = \frac{440 + 0.4114 \times 500}{76} = 8.49 \text{ 欧}$$

$$n = \frac{-440 - 0.8 \times 76 \times 8.49}{0.4114} = 2320 \text{ 转/分}$$

2-9 他励直流电动机的数据为: