

普通高等教育机电类规划教材

电机及拖动基础 习题集与实验 指导书

合肥工业大学 张松林 主编

机械工业出版社



TN3-44

Z24

429720

普通高等教育机电类规划教材

电机及拖动基础习题集与 实验指导书

主 编 张松林

副主编 张世栋

参 编 余应翱

高衡初

主 审 赵昌颖



00429720



机械工业出版社

本书是新编《电机及拖动基础》的配套教材，全书分习题集、实验指导书以及实验中基本物理量与特性测试方法等部分，内容丰富，涉及面广，以便更好地为课程学习服务。

本书除供高等学校工业自动化专业作配套教材之外，还可供其他相关专业师生、工程技术人员参考。

电机及拖动基础习题集与实验指导书

合肥工业大学 张松林 主编

*

责任编辑：王小东 版式设计：张世琴

封面设计：郭景云 责任校对：姚培新

责任印制：卢子祥

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

邮政编码：100037

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 15.25 · 字数 371 千字

1998年5月第1版第2次印刷

印数 4 001—10 000 定价：19.50 元

*

ISBN 7-111-05366-4/TM · 651（课）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

ISBN 7-111-05366-4



9 787111 053668 >



前 言

本书是新编《电机及拖动基础》的配套教材。全书分习题集、实验指导书以及实验中基本物理量与特性测试方法、附录等部分,以便更好地为课程学习服务。

本书所编内容除供高等学校工业自动化专业作配套教材用之外,还可供有关专业师生、工程技术人员及技师、高级工人作参考。

全书由合肥工业大学张松林任主编,张世栋任副主编。其中第10~12章由张松林编写;第1~6章由张世栋编写;第7、8章由余应翱编写;第9、13章由高衡初编写。实验指导书以及实验中基本物理量与特性测试方法、附录等内容分别由张松林、张世栋、余应翱分工协商编写而成。

本书稿经主编、副主编统稿之后,聘请哈尔滨工业大学赵昌颖教授审阅,并提出了许多宝贵的修改意见,编者表示衷心感谢。

本书的编写经历了较长时间的准备,参考了大量的有关教材和文献资料,在此一并向有关同志表示谢意。由于编者水平所限,书中难免有欠妥之处,敬请各方指正。

编者

1996年10月



目 录

前言

习题集部分 1

第 1 章 直流电机 1

1 例题 1

2 习题 9

3 注释 15

3.1 直流电机绕组左行与右行术语 解释 15

3.2 直流电机绕组电刷位置的 确定 16

3.3 电刷不在几何中心线上时直流电机 的电枢磁势和电枢反应 20

3.4 直流电机作发电机运行和作电动机 运行时的额定状态 23

第 2 章 变压器 25

1 例题 25

2 习题 30

3 注释 35

第 3 章 三相异步电动机的基本 原理 37

1 例题 37

2 习题 40

第 4 章 三相异步电动机的运行 原理 44

1 例题 44

2 习题 50

第 5 章 同步电动机及其它交流 电机 53

习题 53

第 6 章 控制电机 54

习题 54

第 7 章 电力拖动系统的动力学 基础 55

1 例题 55

2 习题 60

第 8 章 直流电动机的电力拖动 62

1 例题 62

2 习题 72

第 9 章 三相异步电动机的机械 特性及各种运转状态 78

1 例题 78

2 习题 89

3 注释 93

3.1 转子通入三相对称交流电时的物理 过程 93

3.2 机械特性的计算 94

第 10 章 三相异步电动机的起动及 起动设备的计算 96

1 例题 96

2 习题 105

3 注释 110

3.1 三相绕线转子异步电动机参量的 比例推移 110

3.2 三相绕线转子异步电动机 转子串对称有级电阻起动 的计算通式 114

第 11 章 三相异步电动机的 调速 118

1 例题 118

2 习题 126

3 注释 128

3.1 转矩为恒值的控制 128

3.2 最大转矩为恒值的控制 129

3.3 功率为恒值的控制 129

第 12 章 多电动机拖动系统 131

1 例题 131

2 习题 136

第 13 章 电力拖动系统电机的 选择 138

1 例题 138

2 习题 151

实验指导书部分	155	状态下机械特性的测定	186
电机及拖动基础实验教学的基本		实验十四 电轴系统示范实验	190
要求与注意事项	155	电机及拖动基础实验中基本物理量	
电机及拖动基础课程的实验	157	与特性测试方法	193
实验一 并励直流电动机工作特性的		1 绝缘电阻的测量	193
测定	157	2 电机绕组电阻的测量	194
实验二 直流发电机实验	159	3 他励直流电动机电枢电路与励磁	
实验三 单相变压器实验	161	电路电感的测定	195
实验四 三相变压器极性及其联结组的		4 电机温度的测量	200
测定	165	5 转速和转差率的测量	201
实验五 三相异步电动机实验	169	6 电机功率的测量	205
实验六 三相同步电动机的起动和		7 他励直流电动机飞轮矩的测定	
U形曲线的测定	173	方法	207
实验七 交流伺服电动机的特性		8 他励直流电动机机械特性的测定	
测定	176	方法	213
实验八 交(直)流测速发电机		9 他励直流发电机—电动机系统的	
实验	178	实验方法	215
实验九 自整角机实验	179	10 测定交流异步电动机各运转状态	
实验十 他励直流电动机在各种运转		下机械特性的实验方法	216
状态下机械特性的测定	181	附录	
实验十一 他励直流电动机飞轮矩和		1 常用电工仪表介绍	221
参数的测定	183	2 光学示波器	224
实验十二 他励直流发电机—电动机		3 PY1A 转矩转速测量仪	225
系统机械特性和过渡过程		4 电工设备文字符号与电工系统图	
的测定	184	图形符号	226
实验十三 绕线转子异步电动机在各种运转		参考文献	238

习题集部分

第1章 直流电机

1 例题

例 1-1 一台并励直流电动机在额定电压 $U_N = 220\text{V}$ 和额定电流 $I_N = 80\text{A}$ 的情况下运行, 15°C 时的电枢绕组电阻 $r_a = 0.08\Omega$, 电刷接触压降 $2\Delta U_s = 2\text{V}$, 励磁绕组的电阻 $R_f = 88.8\Omega$, 额定负载时的效率 $\eta_N = 85\%$, 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

$$P_1 = U_N I_N = 220 \times 80 \text{ kW} = 17.6 \text{ kW}$$

2. 额定输出功率

$$P_2 = P_N = P_1 \eta_N = 17.6 \times 85\% \text{ kW} = 14.96 \text{ kW}$$

3. 总损耗

$$\Sigma p = P_1 - P_2 = (17.6 - 14.96) \text{ kW} = 2.64 \text{ kW}$$

4. 电枢回路铜耗

电枢回路电阻按规定换算到 75°C 时数值

$$\begin{aligned} r_{a(75^\circ\text{C})} &= r_{a(15^\circ\text{C})} \frac{234.5 + 75^\circ}{234.5 + 15^\circ} \\ &= 0.08 \times \frac{234.5 + 75}{234.5 + 15} \Omega = 0.0992 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{\text{Cua}} &= I_a^2 r_{a(75^\circ\text{C})} = (I_e - I_f)^2 \times r_{a(75^\circ\text{C})} \\ &= (80 - 1.998)^2 \times 0.0992 \text{ W} = 603.56 \text{ W} \end{aligned}$$

5. 励磁回路损耗

励磁绕组电阻换算在 75°C 时的数值

$$R_{f(75^\circ\text{C})} = R_{f(15^\circ\text{C})} \frac{234.5 + 75^\circ}{234.5 + 15^\circ} = 88.8 \times \frac{234.5 + 75}{234.5 + 15} \Omega = 110.1 \Omega$$

励磁回路电流

$$I_f = \frac{U_N}{R_{f(75^\circ\text{C})}} = \frac{220}{110.1} \text{A} = 1.998 \text{A}$$

励磁回路铜耗

$$\begin{aligned} p_{\text{Cuf}} &= I_f^2 R_{f(75^\circ\text{C})} \\ &= (1.998)^2 \times 110.1 \text{W} = 439.5 \text{W} \end{aligned}$$

6. 电刷接触损耗

$$\begin{aligned} p_s &= 2\Delta U_s I_a \\ &= 2 \times (80 - 1.998) \text{W} = 156 \text{W} \end{aligned}$$

7. 附加损耗

附加损耗是难以精确计算的,按国家标准 GB775-65 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

$$p_\Delta = P_N \times 1\% = 14.96 \times 1\% \text{kW} = 149.6 \text{W}$$

8. 机械损耗和铁耗之和

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

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

$$\begin{aligned} &= [17.6 \times 10^3 - (14.96 \times 10^3 + 603.56 + 439.5 + 156 + 149.6)] \text{W} \\ &= 1291.34 \text{W} \end{aligned}$$

或

$$p_{\text{Fe}} + p_n = \Sigma p - (p_{\text{Cu a}} + p_{\text{Cuf}} + p_\Delta + p_s)$$

$$\begin{aligned} &= [2.64 \times 10^3 - (603.56 + 439.5 + 156 + 149.6)] \text{W} \\ &= 1291.34 \text{W} \end{aligned}$$

例 1-2 并励直流电动机,接电网电压 $U_N = 220 \text{V}$,额定电流 $I_N = 40 \text{A}$,电枢回路电阻 $r_{a(75^\circ\text{C})} = 0.5 \Omega$,电刷接触压降 $2\Delta U_s = 2 \text{V}$,额定转速 $n_e = 1000 \text{r/min}$,保持励磁电流 $I_f = 1.2 \text{A}$ 不变,电网电压下降到 190V ,求负载转矩一定时的转速。

解: 电枢电流

$$I_a = I_N - I_f = (40 - 1.2) \text{A} = 38.8 \text{A}$$

在额定电压 $U_N = 220 \text{V}$ 时的转矩

$$T = C_M \Phi I_a$$

在电压下降到 $U = 190 \text{V}$ 时的转矩

$$T_1 = C_M \Phi_1 I_{a1}$$

由于两种情况下,励磁电流不变,负载转矩一定,所以 $\Phi = \Phi_1$, $T = T_1$,则 $I_a = I_{a1}$,因此当电网电压下降到 190V 时电动机转速为:

$$\frac{n_1}{n_N} = \frac{U - I_a r_a - 2}{U_N - I_a r_a - 2} = \frac{190 - 38.8 \times 0.5 - 2}{220 - 38.8 \times 0.5 - 2} = 0.8489$$

$$n_1 = 0.8489 n_N = 0.8489 \times 1000 \text{r/min} = 848.9 \text{r/min}$$

例 1-3 在上题条件下,设励磁电流与端电压成正比,求此时电动机转速 n 及电枢电流 I_a 为多大?

电动机的空载特性曲线为:

I_f/A	0.4	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3
E_a/V	83	125.5	158	182	191	198.6	204

解：额定电枢电流

$$I_a = I_N - I_f = 40 - 1.2 = 38.8A$$

在额定电压 $U_N = 220V$ 时电动机转矩

$$T = C_M \Phi I_a$$

在电压 $U = 190V$ 时电动机转矩

$$T_1 = C_M \Phi_1 I_{a1}$$

两种情况下，负载转矩一定， $T = T_1$ ，则得

$$I_{a1} = \frac{\Phi}{\Phi_1} I_a$$

当电网电压由 $U_N = 220V$ 下降到 $U = 190V$ 时，励磁电流与端电压成正比地变化，则

$$I_{f1} = I_f \frac{U}{U_N} = 1.2 \times \frac{190}{220} A = 1.036A$$

按空载特性数据画出的曲线如图 1-1 所示。

由曲线可得：

当 $I_f = 1.2A$ 时，对应 $E_a = 198.6V$

当 $I_{f1} = 1.036A$ 时，对应 $E_a = 185.24V$

$$\frac{\Phi}{\Phi_1} = \frac{198.6}{185.24} = 1.07$$

$$I_{a1} = \frac{\Phi}{\Phi_1} I_a = 1.07 \times 38.8A = 41.5A$$

$U_N = 220V$ 时电动机转速

$$n = \frac{U_N - I_a r_a - 2\Delta U_s}{C_N \Phi}$$

$U = 190V$ 时电动机转速

$$n_1 = \frac{U - I_{a1} r_a - 2\Delta U_s}{C_N \Phi_1}$$

$$\begin{aligned} \frac{n_1}{n} &= \frac{U - I_{a1} r_a - 2\Delta U_s}{U_N - I_a r_a - 2\Delta U_s} \frac{\Phi}{\Phi_1} \\ &= \frac{190 - 41.5 \times 0.5 - 2}{220 - 38.8 \times 0.5 - 2} \times 1.07 = 0.9 \end{aligned}$$

由此得：

$$n_1 = 0.9n = 0.9 \times 1000r/min = 900r/min$$

例 1-4 一台并励直流电动机， $P_N = 96kW$ ， $U_N = 440V$ ， $I_N = 255A$ ， $I_{fN} = 5A$ ， $n_N = 500r/min$ ， $r_a = 0.078\Omega$ ，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 $I_a = 0$ 时电动机的转速；

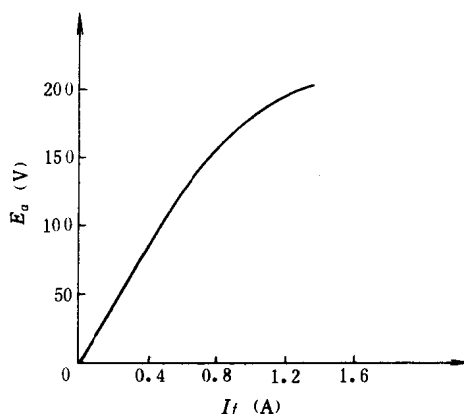


图 1-1 空载特性曲线

4. 在总制动转矩不变的情况下, 当电枢中串入一电阻 $r=0.1\Omega$, 达到稳定时的转速。

解: 已知额定转速 $n_N=500\text{r/min}$, 即可求得额定角速度

$$\Omega_N = 2\pi \frac{n_N}{60} = \frac{2\pi \times 500}{60} \text{rad/s} = 52.36 \text{rad/s}$$

1. 额定输出转矩

$$T_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{96 \times 10^3}{52.36} \text{N} \cdot \text{m} = 1833.46 \text{N} \cdot \text{m}$$

2. 额定电流时的电磁转矩

根据电动势平衡方程式得

$$\begin{aligned} E_a &= U - I_a r_a - 2\Delta U_s \\ &= [440 - (255 - 5) \times 0.078 - 2] \text{V} = 418.5 \text{V} \end{aligned}$$

电磁转矩

$$T = \frac{P_M}{\Omega_N} = \frac{E_a I_a}{\Omega_N} = \frac{418.5 \times 250}{52.36} \text{N} \cdot \text{m} = 1998.19 \text{N} \cdot \text{m}$$

3. 当 $I_a=0$ 时电动机的转速

根据电动势平衡方程式得

$$\begin{aligned} C_e \Phi &= \frac{U - I_a r_a - 2\Delta U_s}{n_r} \\ &= \frac{440 - (255 - 5) \times 0.078 - 2}{500} = 0.837 \end{aligned}$$

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 亦是常数, 所以当 $I_a=0$ 时, 电动机的转速为:

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

4. 在总制动转矩不变情况下, 当电网电压不变时, 则 Φ 不变, 因而 I_a 不变。由于 Φ 不变, $C_e \Phi$ 亦不变。而在电枢中串入电阻 $r=0.1\Omega$ 后达到稳定时的转速为:

$$\begin{aligned} n &= \frac{U - I_a(r_a + r) - 2\Delta U_s}{C_e \Phi} \\ &= \frac{440 - 250(0.078 + 0.1) - 2}{0.837} \text{r/min} = 470.13 \text{r/min} \end{aligned}$$

例 1-5 有一串励直流电动机, 额定电压 $U_N=110\text{V}$, 额定电流 $I_N=25\text{A}$, 额定转速 $n_N=1000\text{r/min}$, 电枢回路电阻 $r_a=0.34\Omega$, 如将该机改为他励, 测定在 $n=1000\text{r/min}$ 时的空载特性:

I_f/A	5	10	15	20	30	35
U_o/V	46.5	72	85	95	106	109

额定负载时电枢反应去磁作用与 1A 励磁电流相等效, 并假设电枢反应去磁作用与负载电流成正比, 试求 $I_N/2$ 和 $I_N/4$ 时的转速。

解: 额定电流 $I_N=25\text{A}$

$$\frac{1}{2} I_N = \frac{1}{2} \times 25\text{A} = 12.5\text{A}$$

串励直流电动机, 当电枢电流为 $I_N/2=12.5\text{A}$ 时, 励磁电流 $I_f=I_a=I_N/2=12.5\text{A}$ 。考虑电枢反应去磁作用, 额定负载时 $I_N=25\text{A}$ 时, 去磁作用为 1A 等效励磁电流, 现 $I_N/2=12.5\text{A}$ 时, 去磁作用与负载电流成正比, 即去磁作用为 $1\times(1/2)\text{A}$ 等效励磁电流。所以, 考虑电枢反应去磁作用, 当电枢电流为 $I_N/2=12.5\text{A}$ 时, 有效励磁电流:

$$I_f=(12.5-0.5)\text{A}=12\text{A}$$

按空载特性数据画出曲线, 如图 1-2 所示。

查得 $I_f=12\text{A}$ 时 $E_a=U_o=77.2\text{V}$, 算出:

$$C_e\Phi=\frac{E_a}{n}=\frac{77.2}{1000}=0.0772$$

当 $I_a=I_N/2$ 时的转速:

$$\begin{aligned} n &= \frac{U-I_a r_a-2}{C_e\Phi} \\ &= \frac{110-12.5\times 0.34-2}{0.0772} \text{r/min} \\ &= 1343.9 \text{r/min} \end{aligned}$$

电动机电枢电流为 $I_a=I_N/4=25/4(\text{A})=6.25\text{A}$, 电枢反应去磁作用为 $1\times(1/4)=0.25\text{A}$ 等效励磁电流, 此时考虑电枢反应去磁作用, $I_a=I_N/4=6.25\text{A}$ 时的有效励磁电流:

$$I_f''=(6.25-0.25)\text{A}=6\text{A}$$

由曲线查得 $I_f=6\text{A}$ 时, $E_a=U_o=55\text{V}$, 算出:

$$C_e\Phi=\frac{E_a}{n}=\frac{55}{1000}=0.055$$

当 $I_a=I_N/4$ 时的转速

$$\begin{aligned} n &= \frac{U-I_a r_a-2}{C_e\Phi} \\ &= \frac{110-6.25\times 0.34-2}{0.055} \text{r/min}=1925 \text{r/min} \end{aligned}$$

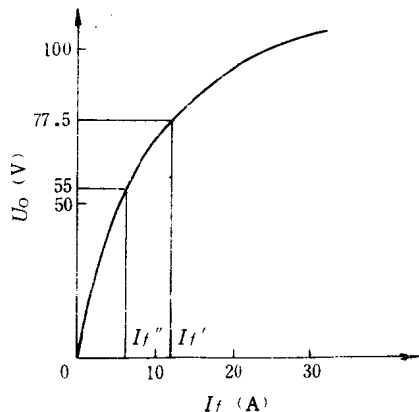


图 1-2 空载特性曲线

例 1-6 两台完全相同的并励直流电机, 机械上用同一轴联在一起, 并联于 230V 的电网。轴上不带其他负载, 在 1000r/min 时空载特性为:

I_f/A	2.5	3
U_o/V	179.2	186.67

电机 I 的励磁电流为 3A , 电机 II 的励磁电流为 2.5A , 电枢回路电阻 $r_a=0.136\Omega$, 转速为 1200r/min , 若忽略电枢反应的影响, 试问:

1. 哪一台是发电机? 哪一台是电动机?
2. 总的机械损耗和铁耗是多少?
3. 只调节励磁电流能否改变两机的运行状态 (保持转速不变)?
4. 是否可以在 1200r/min 时两台电机都从电网吸收功率或向电网送出功率?

解: 1. 两台电机的电动势

电机 I 励磁电流为 3A, 轴上并无其他负载, 忽略电枢反应, 由空载特性数据得 $E_1 = 186.67\text{V}$ 当转速为 1200r/min 时, 电机 I 的电动势:

$$E'_1 = 186.67 \times \frac{1200}{1000} \text{V} = 224\text{V}$$

电机 II 的励磁电流为 2.5A, 同样由空载特性数据得 $E_2 = 179.2\text{V}$, 当转速为 1200r/min 时, 电机 II 的电动势:

$$E'_2 = 179.2 \times \frac{1200}{1000} \text{V} = 215\text{V}$$

由于电机 I 电动势 $E'_1 = 224\text{V} > U_N = 220\text{V}$, 故电机 I 为发电机。

电机 II 电动势 $E'_2 = 215\text{V} < U_N = 220\text{V}$, 故电机 II 为电动机。

2. 总的机械损耗和铁损耗

电机 II 的电枢电流

$$I_{a2} = \frac{U_N - E'_2 - 2}{r_a} = \frac{220 - 215 - 2}{0.136} \text{A} = 22.05\text{A}$$

电机 II 的电磁功率

$$P_{M2} = E'_2 I_{a2} = 215 \times 22.05 \text{W} = 4742.64\text{W}$$

电机 I 的电枢电流

$$I_{a1} = \frac{E'_1 - U_N - 2}{r_a} = \frac{224 - 220 - 2}{0.136} \text{A} = 14.7\text{A}$$

电机 I 的电磁功率

$$P_{M1} = E'_1 I_{a1} = 224 \times 14.7 \text{W} = 3292.8\text{W}$$

由于两台电机同轴, 轴上不带其他负载, 电机 II 为电动机, 其电磁功率供电动机(电机 II)的铁耗及机械耗之外, 即为输出给发电机(电机 I)的机械功率, 即 $P_{M1} = p_{Fe1} + p_{a1} + P_{21}$

电机 I 为发电机, 输入机械功率减去发电机的铁耗及机械耗之外即为发电机的电磁功率, 即 $P_{M1} = P_{11} - p_{Fe1} - p_{a1}$

所以两机电磁功率之差即是两台电机的总的机械耗和铁耗

$$\begin{aligned} P_{M1} - P_{M2} &= p_{Fe1} + p_{a1} - P_{21} - P_{11} + p_{Fe1} + p_{a1} \\ &= (p_{Fe} + p_a)_1 + (p_{Fe} + p_a)_1 \\ &= (4742.64 - 3292.8) \text{W} = 1449.84\text{W} \end{aligned}$$

3. 对调两机励磁电流的大小, 就对调了两机的运行状态。

4. 在 1200r/min 时, 两台电机都可以从电网吸收功率作电动机运行, 但不能同时向电网送出电功率作发电机运行 (因两台电机都作为发电机运行, 则这两台电机无原动机拖动之)。

例 1-7 一台并励直流发电机的数据: $U_N = 230\text{V}$, 额定电枢电流 $I_{aN} = 15.7\text{A}$, $n_N = 2000\text{r/min}$, 电枢回路电阻 $r_a = 0.89\Omega$, 磁场回路电阻 $R_f = 610\Omega$, 一对磁极匝数 $w_f = 5520$ 匝, 极对数 $p = 2$, 额定负载时一对极下的交轴电枢反应去磁安匝 $F = 200$ 安匝, 今将其改为电动机运行, 接在 220V 电网上, 使其电枢电流与发电机额定负载下电枢电流相同, 励磁回路电阻保持不变, 求此时电动机转速 (设电动机运行时磁路磁导率 μ 和交轴电枢反应在去磁安匝下与原发电机一样)。

解: 发电机电动势平衡方程式

$$E_a = U + I_a r_a + 2$$

$$E_a = C_e n \Phi$$

所以发电机在额定运行下

$$\begin{aligned} C_e \Phi &= \frac{U_N + I_{aN} r_a + 2}{n_e} \\ &= \frac{230 + 15.7 \times 0.89 + 2}{2000} = 0.1229 \end{aligned}$$

此时发电机的励磁安匝

$$I_f = \frac{U}{R_f} = \frac{230}{610} \text{A} = 0.377 \text{A}$$

$$w_f I_f = 0.377 \times 5520 \text{ 安匝/对极} = 2081.04 \text{ 安匝/对极}$$

考虑额定负载时交轴电枢反应在去磁安匝下的实际励磁安匝

$$\begin{aligned} (w_f I_f)' &= w_f I_f - F \\ &= (2081.04 - 200) \text{ 安匝/对极} = 1881.04 \text{ 安匝/对极} \end{aligned}$$

今将电机作电动机运行, 电枢电流与发电机额定电枢电流相同, 接于 220V 电网电压, 得电动机运行时的反电动势为

$$\begin{aligned} E &= U - I_a r_a - 2 \\ &= (220 - 15.7 \times 0.89 - 2) \text{V} = 204.02 \text{V} \end{aligned}$$

作电动机运行时, 励磁安匝

$$I_f = \frac{U}{R_f} = \frac{220}{610} \text{A} = 0.36 \text{A}$$

$$w_f I_f = 0.36 \times 5520 \text{ 安匝/对极} = 1987.2 \text{ 安匝/对极}$$

由于电动机运行时, 交轴电枢反应去磁安匝 F 与原发电机一样, 所以此时电动机的实际励磁安匝为

$$(w_f I_f)' = w_f I_f - F = (1987.2 - 200) \text{ 安匝/对极} = 1787.2 \text{ 安匝/对极}$$

电动机运行时, 设磁路导磁率 μ 与原发电机一样, 所以

$$C_e \Phi' = C_e \Phi \frac{1787.2}{1881.04} = 0.1229 \times \frac{1787.2}{1881.04} = 0.1167$$

电动机的反电动势 $E = 204.02 \text{V}$, 所以电动机运行时的转速

$$n = \frac{E}{C_e \Phi'} = \frac{204.02}{0.1167} \text{r/min} = 1748.2 \text{r/min}$$

例 1-8 一台他励直流发电机, $U_N = 220 \text{V}$, $I_{aN} = 10 \text{A}$, $n_N = 1000 \text{r/min}$ 。每极励磁绕组有 850 匝, 励磁电流为 2.5A, 电枢回路电阻 $r_a = 0.4 \Omega$, 已知该发电机在 750r/min 时空载特性如下:

U_o/V	33	78	120	150	176	180	193.5	206	225
I_f/A	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	2.6	3	3.6	4.4

试求:

1. 空载端电压;
2. 额定负载时电枢反应的去磁安匝数;
3. 过载 25% 时的端电压 (设电枢反应正比于负载电流);

4. 励磁电流不变向, 而用调节转速方法、使发电机额定负载端电压调到 240V, 其转速应增加到多少?

5. 若转速不变 (为额定转速), 而用调节励磁电流的方法, 使发电机额定负载端电压调到 240V, 励磁电流应增加到多少? 在此时空载电压为多少?

解: 按空载特性数据画出曲线如图 1-3 所示。

1. 空载端电压

电机空载, 励磁电流为 2.5A, 转速为 750r/min, 产生的空载端电压查曲线得知为 176V, 折算到额定转速 $n_N=1000\text{r/min}$ 时的空载端电压为

$$U_o = E_a = 176 \times \frac{1000}{750} \text{V} = 234.66 \text{V}$$

2. 额定负载时电枢反应去磁安匝数

额定负载时发电机的电动势

$$\begin{aligned} E_a &= U_N + I_{aN}r_a + 2 \\ &= (220 + 10 \times 0.4 + 2) \text{V} = 226 \text{V} \end{aligned}$$

发电机额定负载时的电动势是在额定转速 $n_N=1000\text{r/min}$ 之下, 现折算到 750r/min 时为:

$$E_a = E_a \frac{750}{1000} = 226 \times \frac{750}{1000} \text{V} = 169.5 \text{V}$$

由图 1-3 曲线, 当 $E_a=169.5\text{V}$ 时所对应励磁电流为 $I_f=2.3\text{A}$, 而实际上额定负载时励磁电流 $I_{fN}=2.5\text{A}$, 因而二者之差 $I_{fN}-I_f=(2.5-2.3)\text{A}=0.2\text{A}$, 即为电枢反应去磁作用的等效励磁电流。

所以, 额定负载时, 电枢反应去磁作用的安匝数为

$$850 \times 0.2 \text{ 安匝/极} = 170 \text{ 安匝/极}$$

3. 过载 25% 时的端电压

过载 25% 时, 电枢反应去磁作用等效励磁电流为 $(1+0.25) \times 0.2\text{A}=0.25\text{A}$, 因而有效励磁电流:

$$I_f = (2.5 - 0.25) \text{A} = 2.25 \text{A}$$

由图 1-3 曲线可知, 当 $I_f=2.25\text{A}$ 时, 所对应的 $E_a=164\text{V}$, 所以其端电压

$$\begin{aligned} U &= \left[164 \times \frac{1000}{750} - I_{aN}(1+0.25) \times 0.4 - 2 \right] \text{V} \\ &= 212 \text{V} \end{aligned}$$

4. 欲使发电机额定负载端电压调到 240V 时的转速:

在额定转速 $n_N=1000\text{r/min}$ 之下的电动势

$$\begin{aligned} E_a &= U + I_{aN}r_a + 2 \\ &= (240 + 10 \times 0.4 + 2) \text{V} = 246 \text{V} \end{aligned}$$

若励磁电流不变, 其转速

$$n = 1000 \times \frac{246}{226} \text{r/min} = 1088 \text{r/min}$$

5. 若转速不变, 在额定转速下, 端电压调到 240V, 则其电动势 $E_a=246\text{V}$, 折算到

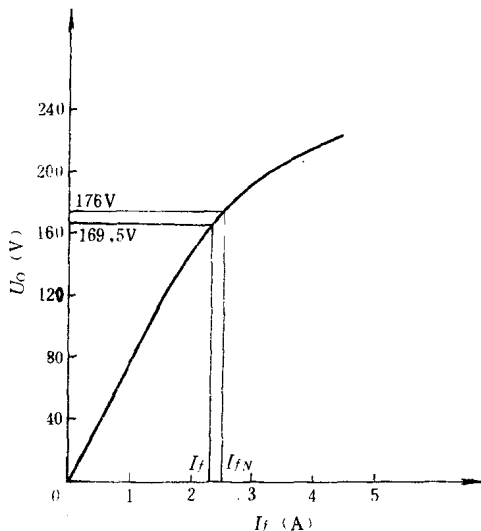


图 1-3 空载特性曲线

750r/min时电动势值:

$$E_a = 246 \times \frac{750}{1000} \text{V} = 184.5 \text{V}$$

由图 1-3 曲线得: $E_a = 184.5 \text{V}$ 所对应的 $I_f = 2.73 \text{A}$, 考虑电枢反应的去磁作用, 端电压调到 240V 时, 励磁电流应增加到:

$$I_f' = I_f + 0.2 = (2.73 + 0.2) \text{A} = 2.93 \text{A}$$

由图 1-3 曲线得: $I_f' = 2.93 \text{A}$ 对应的 $E_a' = 190 \text{V}$, 此时其空载电压为

$$U_o = 190 \times \frac{1000}{750} \text{V} = 253 \text{V}$$

例 1-9 一台积复励发电机负载运行, 并励绕组电流 $I_f = 1.7 \text{A}$, 串励绕组电流 $I_s = 9.5 \text{A}$, 端电压 $U = 200 \text{V}$, 若把串励磁场反向, 则需加 $I_f' = 2.3 \text{A}$, 才能保持 $U = 200 \text{V}$ 不变, 已知并励绕组每极匝数 $w_f = 1400$ 匝, 试求串励绕组匝数。

解: 积复励发电机的并励磁场与串励磁场为同向, 磁场为二者磁动势之和所产生, 所以积复励发电机的励磁磁动势为:

$$w_f I_f + w_s I_s$$

w_s 为串励绕组匝数。

当串励磁场反向时, 就成为差复励发电机, 磁场为二者之差所产生, 所以差复励发电机的励磁磁动势为:

$$w_f I_f - w_s I_s$$

发电机负载不变, 电枢电流不变, 则 I_s 不变。两种情况下 $U = 200 \text{V}$ 不变, 由于电枢电流没变, 故电动势亦不变。转速一定, 则 $C \Phi$ 不变, 所以两种情况下的磁动势不变, 即磁动势相等。

$$\begin{aligned} w_f I_f + w_s I_s &= w_f I_f' - w_s I_s \\ 2w_s I_s &= I_f' w_f - I_f w_f \\ &= (2.3 - 1.7) \times 1400 \end{aligned}$$

得串励绕组匝数:

$$w_s = \frac{(2.3 - 1.7) \times 1400}{2 \times 95} \text{匝} = 4.42 \text{匝} \quad \text{取 } 4.5 \text{匝}$$

2 习题

题 1-1 直流电机为何要装有换向器和电刷装置? 在直流电动机中, 换向器和电刷装置起什么作用?

题 1-2 如果将电枢绕组装在定子上, 磁极装在转子上, 换向器和电刷应怎样装置, 才能作直流电动机运行?

题 1-3 如何区别功率和容量? 为什么电机的容量用功率表示而不用容量表示?

题 1-4 直流电机的电枢绕组一般是闭合的。为什么? 在此闭合回路中有没有电动势, 为什么?

题 1-5 一台直流电动机, 其额定功率 $P_N = 160 \text{kW}$, 额定电压 $U_N = 220 \text{V}$, 额定效率 $\eta_N = 90\%$, 额定转速 $n_N = 1500 \text{r/min}$, 求该电动机的额定电流?

题 1-6 一台直流发电机, 其额定功率 $P_N=145\text{kW}$, 额定电压 $U_N=230\text{V}$, 额定转速 $n_N=1450\text{r/min}$, 求该发电机的额定电流?

题 1-7 一台直流发电机额定功率 $P_N=180\text{kW}$, 额定电压 $U_N=230\text{V}$, 额定转速 $n_N=1450\text{r/min}$, 额定效率 $\eta_N=89.5\%$, 求该发电机输出额定功率时所对应的输入功率和额定电流?

题 1-8 迭绕组和波绕组的元件联接规律有何不同? 同样极对数为 p 的单迭绕组和单波绕组的支路对数为何相差 p 倍?

题 1-9 为什么绕组元件的节距 y_1 等于或接近等于一个极距? 当绕组元件的节距 y_1 为短距或长距时为什么会削弱一部分电动势? 支路电动势是否亦会削弱?

题 1-10 在电动势的计算公式 $E_a=C_a n \Phi$ 中如何考虑绕组元件的跨距 y_1 为矩距或长距时的影响?

题 1-11 直流电机的元件电动势与电刷端的电动势有何区别? 计算公式 $E_a=C_a n \Phi$ 是计算何种电动势?

题 1-12 一台直流电动机, 四极, 额定数据为: $P_N=7.5\text{kW}$, $U_N=220\text{V}$, 效率为 83% , 转速为 1500r/min , 电枢绕组为单波绕组, 槽数 $Q=29$, 元件匝数 $w_p=4$ 匝, 试求:

1. 电动机的额定电流和额定输出转矩;
2. 换向片数 K , 绕组元件数 S , 总导体数 N 和绕组各节距。

题 1-13 在直流电动机中是否存在感应电动势? 如果有的话, 电动势的方向怎样?

题 1-14 一台直流发电机, $2p=4$, $2a=2$, $Q=35$, 每一槽内放有 12 根导体, 欲在 1450r/min 下产生 230V 电动势, 则每极磁通量应为多少?

题 1-15 一台四极直流电机, 采用单迭绕组, 若取下一只电刷, 或取下相邻两只电刷, 电机是否可以工作? 若采用单波绕组, 则情况又将如何?

题 1-16 为了在电刷端能获得最大感应电动势, 在展开图上电刷恰放在磁极轴线的位置上 (绕组元件对称, 通常在换向器上该条与磁极轴线相重合的线称为换向器上的几何中性线), 为什么?

题 1-17 如果直流电机电枢绕组元件的形状如图 1-4 所示, 则电刷应放在换向器上的什么位置?

题 1-18 若导线数和支路电流均不变, 将单波绕组改为单迭绕组时, 电机的额定容量有无改变?

题 1-19 一台四极直流发电机, 绕组为单迭, 空载电压为 220V 。现保持原来的转速和励磁电流不变, 要提高空载电压为 440V , 问电枢绕组如何改绕? 若保持电枢电流密度不变, 发电机的功率有何改变? 为什么?

题 1-20 四极直流发电机, 绕组形式为单波, $U_N=230\text{V}$, $n_N=800\text{r/min}$, 今欲改为 $U_N=230\text{V}$, $n_N=1600\text{r/min}$, 仍为四极, 绕组应如何改绕?

题 1-21 一台四极直流电机, 若有一磁极失磁, 将会产生什么后果?

题 1-22 一台四极直流电机, 单迭绕组, 若有一元件断线, 问电刷上的电压有何变化? 电流有何变化?



图 1-4 某种电枢绕组元件的形状

题 1-23 如果一台 p 对磁极的单迭绕组其电枢电阻为 r_a , 电枢电流为 I_a , 若把它改接为单波绕组, 试问电枢电阻和电枢电流将变为多少?

题 1-24 一台四极直流电动机, 试分析在下列情况下有无电磁转矩:

1. 有两个极的励磁绕组的极性相反, 使主磁极极性变为 N—N—S—S;
2. 主磁极极性和 1 相同, 但将两 N 极和两 S 极间的电刷拿掉, 另外两个电刷端加直流电压。

题 1-25 一台直流电机, $2p=6$, $2a=6$, 总导体数 $N=360$, 旋转角速度 $\Omega=40\pi\text{rad/s}$, 每极磁通量 $\Phi=0.0319\text{Wb}$, 试求:

1. 该电机的感应电动势;
2. 旋转角速度 $\Omega=333\pi\text{rad/s}$, 每极磁通量 $\Phi=0.0383\text{Wb}$ 时电机的感应电动势。

题 1-26 六极直流发电机, $n=900\text{r/min}$, 每极磁通量 $\Phi=0.044\text{Wb}$ 时, $E=230\text{V}$, 试求:

1. 若绕组形式为单迭时, 电枢绕组的导体数有多少?
2. 若绕组形式为单波时, 电枢绕组的导体数有多少?

题 1-27 直流电机在各种不同励磁方式下, 线路电流 I , 电枢电流 I_a , 励磁电流 I_f 三者之间的关系如何?

题 1-28 试述电机的空载特性与电机的磁化曲线有何区别? 又有何联系?

题 1-29 何谓电枢反应? 电枢反应对气隙磁场有什么影响? $E_a=C_a n \Phi$ 和 $T=C_M \Phi I_a$ 的计算式中, Φ 应该是什么磁通?

题 1-30 试画出下列两种情况下, 直流电机的主磁极磁场和电枢磁场分布曲线 [$B_{ox}=f(x)$ 和 $B_{ax}=f(x)$]。

1. 电刷位于换向器几何中性线位置时;
2. 电刷偏离换向器几何中性线 α 电角度位置时。

题 1-31 一台四极直流电动机, $P_N=75\text{kW}$, $U_N=220\text{V}$, 效率 $\eta_N=88.5\%$, 电枢直径 $D_a=29.4\text{cm}$, 电枢绕组形式为单波, 总导体数为 172 根, 试求额定情况下, 电枢线负荷 A 和电枢磁动势 F_a 。

题 1-32 决定电磁转矩大小的因素是什么? 电磁转矩的性质和电机运行方式有何关系?

题 1-33 一台并励直流电动机将其单迭绕组改绕成单波绕组, 试问对其电磁转矩会有什么影响?

题 1-34 直流电机的电磁功率是指什么? 如何说明在直流电动机中由电能转换为机械能?

题 1-35 一台直流电机, $2p=4$, $S=120$, 每个元件电阻为 0.2Ω , 当转速 $n=1000\text{r/min}$ 时, 每个元件的平均电动势为 10V , 问当电枢绕组为单迭及单波时, 电刷端的电动势和电阻各为多少?

题 1-36 一台直流电动机, 电枢电流为 15.4A , $2p=4$, 单波 $S=27$, 每元件匝数 $w_y=3$, 每极磁通量 $\Phi=0.025\text{Wb}$, 问电动机的电磁转矩为多少? 若同样元件数, 绕组改为单迭, 极数与励磁不变, 电磁转矩又为多少?

题 1-37 并励直流电动机的起动电流取决于什么? 正常工作时, 电枢电流又取决于什么?

题 1-38 串励直流电动机为什么不能空载运行? 和并励直流电动机比较, 串励直流电动机的运行性能有何特点?