

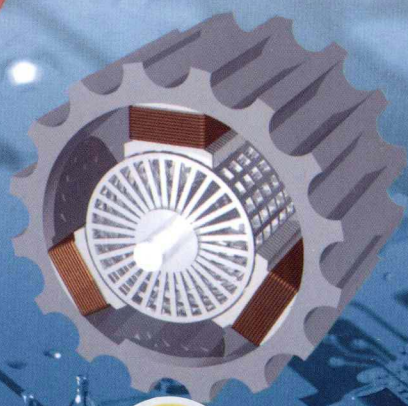
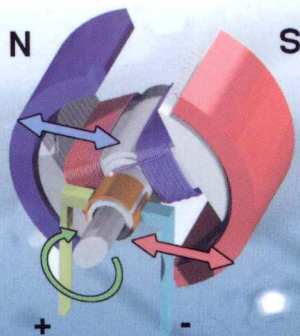
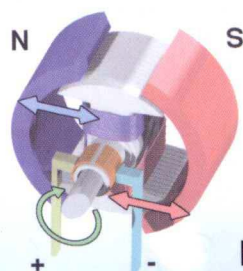


DIANQI
XINXILEI

普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

电机原理及拖动 习题解答与实验

■ 李爱平 边春元 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材

电机原理及拖动 习题解答与实验

李爱平 边春元 编著



机械工业出版社

本书为彭鸿才教授主编的《电机原理及拖动(第2版)》的配套教材,针对该教材课后思考题与习题作了比较详细的解答。全书分为两篇,第一篇内容包括主教材中思考题与习题的详细解答,对每章重点进行总结归纳提出学习要点,力求解题过程清晰;对于涉及知识较多的思考题,给出了教材参考页。尽量使读者在解题过程中加深对教材内容的理解。第二篇内容包括与课堂教学同步进行的电机原理及拖动实验教学,共设13个实验。每个实验按3个学时设计,可根据需要选做其中的10个实验。也可根据教学计划和实际需要灵活选做其中部分内容。

图书在版编目(CIP)数据

电机原理及拖动习题解答与实验/李爱平,边春元编著.
—北京:机械工业出版社,2009.8
普通高等教育“十一五”电气信息类规划教材
ISBN 978-7-111-28015-6

I. 电… II. ①李…②边… III. ①电机学-高等学校-教学参考资料②电力传动-高等学校-教学参考资料 IV. TM3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第142260号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:闫晓宇 责任编辑:闫晓宇 蔡家伦
版式设计:张世琴 责任校对:张莉娟
封面设计:张静 责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2009年10月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·11.5印张·281千字
标准书号:ISBN 978-7-111-28015-6
定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066 门户网: <http://www.cmpbook.com>
销售一部:(010) 68326294 教材网: <http://www.cmpedu.com>
销售二部:(010) 88379649 封面无防伪标均为盗版
读者服务部:(010) 68993821

前 言

本书是东北大学彭鸿才教授主编的《电机原理及拖动 第2版》的配套教材（本书中提及“主教材”时均指该书），本书针对该教材课后思考题与习题作了比较详细的解答，可以作为自动化类专业的辅助教材。

本书分为两篇，第一篇内容包括《电机原理及拖动 第2版》的思考题与习题的详细解答，对每章重点进行总结归纳提出学习要点，力求解题过程清晰；对于涉及知识较多的思考题，给出了教材参考页。尽量使读者在解题过程中加深对教材内容的理解。

本书第二篇内容包括与课堂教学同步进行的电机原理及拖动实验教学，共设13个实验。每个实验按3个学时设计，可根据需要选做其中的10个实验。也可根据教学计划和实际需要灵活选做其中部分内容。

“电机原理及拖动实验”是自动化专业电机原理及拖动技术基础课程的重要组成部分，也是学习研究电机理论的重要环节。它的先修课程是“电机原理及拖动”和“电工学”，它的实验也是在“电工原理”和“电子技术”等实验课的基础上进行的，比较接近工程实际。电机原理及拖动实验的目的在于通过实验验证和研究课堂讲授的电机基本理论，使学生掌握电机实验的基本方法和操作技能。培养学生能根据实验目的拟定实验线路、选择所需仪表、测取并分析研究实验数据，从而获得解决实际问题的初步能力。电机系统是一个包含了电、磁、力等物理量的综合系统，电机实验就是要使用合理的测量方法、正确的实验线路，通过适当的计算得出尽可能准确的数据，进而推导出符合实际的结论，培养学生分析和解决实际问题的基本能力。

本书由李爱平、边春元两位老师共同撰写完成，经彭鸿才、贺斌英老师审阅。在编写过程中赵苏老师在实验设备及数据处理中给予了很大帮助。编者在此对所有给予本书帮助和支持的人表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一篇 思考与习题解答

第一章 直流电机原理	1	四、变压器的负载运行	42
一、直流电机的基本结构	1	五、变压器的参数测定	43
二、直流电机的基本工作原理	1	六、变压器的标么值	44
三、直流电机的电枢绕组	1	七、变压器的运行特性	44
四、直流电机的磁场	2	八、三相变压器	44
五、电枢电动势与电磁转矩	2	九、特殊变压器	46
六、直流发电机和直流电动机	3	思考与习题解答	46
七、直流电机的工作特性	4	第五章 三相异步电动机原理	56
八、直流电机换向	5	一、异步电动机的用途、结构及基本 工作原理	56
思考与习题解答	6	二、交流电动机的绕组及其感应电动势	56
第二章 电力拖动系统的动力学 基础	13	三、交流电动机绕组的磁动势	57
一、典型生产机械的运动形式及转矩	13	四、转子不转时的异步电动机	58
二、电力拖动系统运动方程式	14	五、转子转动时的异步电动机	60
三、多轴系统转矩及飞轮力矩的折算	14	六、异步电动机的功率传递与转矩 平衡	61
四、负载的机械特性	16	思考与习题解答	62
思考与习题解答	17	第六章 三相异步电动机的电力 拖动	71
第三章 直流电动机的电力拖动	22	一、三相异步电动机的机械特性	71
一、他励直流电动机的机械特性	22	二、笼型异步电动机的起动	74
二、他励直流电动机的起动及反转	23	三、绕线转子异步电动机的起动	76
三、他励直流电动机的调速	24	四、三相异步电动机的调速	76
四、他励直流电动机的制动	25	五、三相异步电动机的各种运行状态	79
五、电力拖动系统的过渡过程	27	六、异步电动机拖动系统的机械过渡 过程及能量损耗	80
思考与习题解答	28	思考与习题解答	80
第四章 变压器	41	第七章 同步电动机	95
一、变压器的用途	41		
二、变压器的简单工作原理	41		
三、变压器的空载运行	41		

一、同步电动机的结构及工作原理	95	六、步进电动机	104
二、同步电动机的电动势相量图	95	七、单相异步电动机	104
三、同步电动机的功率关系、转矩 平衡和功(矩)角特性	96	八、直线电动机	104
四、同步电动机的励磁调节与U形 特性曲线	97	思考与习题解答	105
五、同步电动机起动简介	98		
思考与习题解答	98		
第八章 控制电机	103	第九章 电力拖动系统中的电动机 选择	107
一、控制电机的特点	103	一、一般概念	107
二、测速发电机	103	二、电动机的发热、冷却规律	108
三、伺服电动机	103	三、电动机的工作制	109
四、旋转变压器	104	四、连续工作制下电动机容量的选择	109
五、自整角机	104	五、短时工作制下电动机容量的选择	110
		六、断续周期工作制电动机 容量的选择	111
		思考与习题解答	112
第二篇 电机拖动实验			
第十章 电机实验理论	115	第十二章 变压器实验	138
一、引言	115	一、单相变压器的参数测定	138
二、电机拖动实验安全操作规程	115	二、三相变压器极性和联结组的测定	142
三、电机实验的特点、性质和 目的	116		
四、电机实验的方法	117	第十三章 交流电机及拖动实验	147
五、电机实验的注意事项	122	一、三相异步电动机的参数测定	147
六、实验前预习及实验报告	122	二、三相异步电动机的转子开路实验	153
七、电机实验的基本步骤	123	三、三相异步电动机的机械特性研究	159
		四、绕线转子三相异步电动机的机械 特性的研究	162
		五、三相异步电动机的效率测定	164
第十一章 直流电机及拖动实验	124	第十四章 交流同步电机实验	169
一、他励直流电动机试运转实验	124	一、同步发电机的参数测定	169
二、他励直流发电机特性实验	127	二、同步电动机实验	172
三、他励直流电动机的机械特性	131	参考文献	177
四、他励直流电动机在不同状态下的 运转实验	135		

第一篇 思考与习题解答

第一章 直流电机原理

【学习要点】 本章主要阐述直流电机内部电磁关系及其基本工作原理，空载磁场、电枢磁场、电枢反应的概念；了解直流电机的电压、转矩、功率平衡关系。重点要求掌握直流电机基本结构、工作原理、电枢反应及直流电机可逆性等方面的内容。

一、直流电机的基本结构

直流电机由定子和转子两大部分组成，由气隙将定、转子分隔开。在直流电机正常运行时，静止的部件称为定子，旋转运动的部件称为转子。定子部分包括机座、主磁极、励磁绕组、换向极、换向绕组、电刷装置；转子部分包括电枢铁心、电枢绕组、换向器、风扇、转轴、轴承等。

二、直流电机的基本工作原理

1. 掌握相关的物理学定律

电磁感应定律、电磁力定律、全电流定律在了解直流电机工作原理和分析电机运行状态时需要经常使用，应熟练掌握。

在磁场中运动的导体，如果导体长度、导体运动速度、磁场的磁感应强度三者互相垂直，则导体中的感应电动势方向用右手定则确定。

在磁场中的载流导体，如果导体长度与磁场的磁感应强度互相垂直，则导体所受电磁力的方向由左手定则确定。

2. 了解电机内电路和外电路的区别

电刷所连接的外电路，电动势、电流是直流；而内电路每槽导体中的电动势、电流是交流。

3. 了解电机铭牌数据

掌握电机铭牌数据中的额定值，如：额定功率的定义，对于发电机是指电刷两端输出的电功率；而对于电动机是指电机轴上输出的机械功率。

额定电流值与电枢电流值是否相等，取决于电机本身的结构。对于他励和串励直流电机，两者相等；而对于并励和复励直流电机，两者是不相等的。

三、直流电机的电枢绕组

电枢绕组是直流电机关键的电磁感应部件，也是实现机电能量转换的枢纽，因其重要性

故称为“电枢”。电枢绕组的构成,应能产生足够的感应电动势,并允许通过一定量的电枢电流,从而产生所需的电磁转矩和电磁功率。

直流电机的电枢绕组有单叠绕组和单波绕组等形式。重点掌握单叠绕组的结构和绕制方法。

单叠绕组的特点是相邻元件(线圈)相互叠压,合成节距与换向节距均为1,后面元件的首端紧迭在前一元件的末端。对于单叠绕组,在同一极下的元件组成一条支路,因此支路对数等于磁极对数,也等于电刷的对数。每条支路分别连接两个极性不同的电刷;每个电刷连接两条支路。

四、直流电机的磁场

1. 直流电机空载

直流电机不带负载运行称为直流电机空载。对于直流发电机来说,空载时电刷两端开路,电枢电流 $I_a = 0$;对于直流电动机来说,空载时电机轴上不带负载,电枢电流很小,可以忽略不计, $I_a \approx 0$ 。

2. 空载磁场

当直流电机空载时,电机内部只有励磁电流产生的磁场存在,这个由励磁绕组流过电流产生的磁场是直流电机的主磁场,也称为空载磁场。

3. 电枢磁场

直流电机带负载以后,电枢绕组有电流通过也会建立磁场,由电枢电流建立的磁场称为电枢磁场,电枢磁场在空间静止,如果电刷位于电机的几何中线上,则电枢磁场与空载磁场正交。

4. 电枢反应

当电机带上负载后,电机的合成磁场由空载磁场和电枢磁场共同决定,电枢磁场的出现,使空载磁场波形发生畸变,这种现象称为电枢反应。

五、电枢电动势与电磁转矩

1. 电枢电动势

电枢旋转时气隙磁场在电枢绕组中感应的电动势称为电枢电动势,其值为直流电机正、负电刷之间的感应电动势,即电枢绕组每条支路的感应电动势。电枢电动势具有以下性质:

- 1) 发电机的电枢电动势与电枢电流方向相同,为电源电动势;
- 2) 电动机的电枢电动势与电枢电流方向相反,为反电动势。

电枢电动势的计算:先求出一根导体在一个极距范围内(即正、负两电刷之间)切割气隙磁通产生的平均感应电动势,再乘以一个支路里总的导体数。即:

一根导体

$$e_{av} = B_{av} \times l \times v$$

$$e_{av} = \frac{\Phi}{\tau l} \times l \times 2p\tau \frac{n}{60} = 2p\Phi \frac{n}{60}$$

电枢电动势

$$E_a = \frac{N}{2a} e_{av} = \frac{N}{2a} 2p\Phi \frac{n}{60} = \frac{pN}{60a} \Phi n = C_e \Phi n$$

2. 电磁转矩

电枢绕组中有电枢电流流过时,在磁场内受电磁力的作用,该力与电枢铁心半径之积称

为电磁转矩。电磁转矩具有以下性质：

- 1) 发电机的电磁转矩与转速方向相反，为制动转矩；
- 2) 电动机的电磁转矩与转速方向相同，为驱动转矩。

电磁转矩的计算：先求出一根导体所受平均电磁力，再由 N 个导体所受总的电磁力乘以电枢铁心的半径，得到总的电磁转矩。即：

一根导体的平均电磁力

$$f_{av} = B_{av} l_i a$$

作用在电枢上的总电磁力

$$f = f_{av} N = B_{av} l_i a N$$

总的电磁转矩

$$T = f \frac{D}{2} = B_{av} l_i a N \frac{D}{2}$$

即

$$T = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a = C_T \Phi I_a$$

式中，电动势常数与转矩常数的数学关系为 $C_T = 9.55 C_e$ 。

六、直流发电机和直流电动机

1. 直流发电机

直流发电机是根据电磁感应原理将机械能转换为电能的旋转机械，按照励磁方式的不同可以分为他励、并励、复励直流发电机。对于并励直流发电机可以通过自励建立正常的输出电压，但是自励必须满足三个必要条件：第一，发电机要有剩磁；第二，剩磁磁场方向与剩磁电流方向一致，能使电枢电动势增加；第三，励磁回路总电阻必须小于临界电阻。

直流发电机的空载特性曲线与磁化曲线形状相同；外特性是一条略微下垂的近似直线。

直流发电机电压平衡方程式： $U = E_a - I_a R_a$

直流发电机转矩平衡方程式： $T_1 = T + T_0$

直流发电机功率平衡方程式： $P_1 = P_2 + p_{cu} + p_{Fe} + p_m + p_s = P_M + p_0$

直流发电机的输入机械功率与电磁功率和空载损耗（包括铁损、机械损耗）相平衡；输出功率为电磁功率减去绕组铜损。

2. 直流电动机

直流电动机是根据电磁力定律将电能转换为机械能的旋转机械，按照励磁方式的不同直流电动机也可以分为他励、并励、复励直流电动机。

直流电动机电压平衡方程式： $U = E_a + I_a R_a$

直流电动机转矩平衡方程式： $T = T_2 + T_0$

直流电动机功率平衡方程式： $P_1 = P_2 + p_{Fe} + p_m + p_s + p_{cu} = P_M + p_{cu}$

直流电动机的输入电功率与电磁功率和绕组铜损相平衡；输出机械功率为电磁功率减去空载损耗（包括铁损、机械损耗），当负载为额定负载时其输出功率为额定功率 P_N 。

3. 直流电机的可逆原理

一台电机既可作为发电机运行，又可作为电动机运行，这就是直流电机的可逆原理。以他励直流电机为例，一台他励直流发电机并联于直流电网上运行，电压保持不变，减少原动机的输出功率，发电机的转速下降。当转速下降到一定程度使得发电机的电动势等于电网电压时，发电机输出电流为 0，发电机输出的电功率也为 0，此时原动机输入的机械功率仅用来补偿电机的空载损耗。如果保持电网电压不变，继续降低原动机的输入功率，电枢电动势

将低于电网电压, 这时电流反向, 电网向电机输入电功率, 电机进入电动机状态运行。这一物理过程也可以反过来, 使电机从电动机状态转变到发电机状态。

4. 直流电机的电磁功率

直流电机是一个机电能量转换设备, 由机械能转换为电能或电能转换为机械能的那部分功率称为电磁功率, 电磁功率是由于电和磁的相互作用产生的。

从发电机的角度看, 电磁功率是转换成电功率的那部分输入机械功率;

从电动机的角度看, 电磁功率是转换成机械功率的那部分输入电功率。

电磁功率的数学表达式:

$$P_M = E_a I_a = C_e \Phi n I_a = \frac{2\pi}{60} C_T \Phi n I_a = T \Omega$$

上式说明直流电机的机电能量可以互相转换, 但是直流发电机和直流电动机的电枢电动势和电磁转矩的意义不同, 因此功率流向是不同的。

七、直流电机的工作特性

1. 直流发电机

直流发电机的四个基本物理量: 电枢端电压 U , 电枢电流 I_a , 励磁电流 I_f , 发电机转速 n (其中转速 n 由原动机拖动, 可视为不变的量)。

1) 空载特性: 当 $n = n_N$, $I = 0$, 空载电压是励磁电流的函数, 即 $U_0 = f(I_f)$ 。其形状与磁化曲线一致, 如图 1-1 所示。

2) 外特性: 当 $n = n_N$, $I_f = I_{fN}$, 输出端电压是输出电流的函数, 即: $U = f(I)$, 其形状如图 1-2 所示。

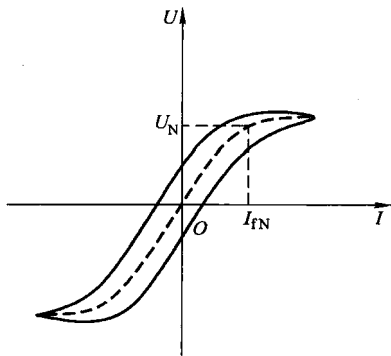


图 1-1 直流发电机空载特性

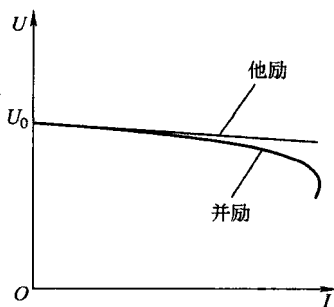


图 1-2 直流发电机外特性

3) 调节特性: 当 $n = C_1$, $U = C_2$, 为维持输出端电压不变, 励磁电流随负载电流变化的函数关系, 即 $I_f = f(I)$, 其形状如图 1-3 所示。

4) 电压调整率 (电压变化率): 从直流发电机空载到负载, 端电压下降的程度由电压变化率来表示, 一般他励直流发电机的电压变化率约为 5% ~ 10%, 其数学表达式为

$$\Delta U = \frac{U_0 - U_N}{U_N} \times 100\%$$

2. 直流电动机

直流电动机的工作特性,是指在 $U = U_N$, $I_f = I_{fN}$ 时,电机转速 n 、电磁转矩 T 和电机效率随输出功率 P_2 的变化而变化的函数关系(由于电流容易测量,且与功率基本呈线性关系,所以横坐标用电流代替功率)。

1) 转速特性:当 $U = U_N$, $I_f = I_{fN}$ 时,转速与电枢电流的函数关系为 $n = f(I_a)$,如图 1-4 所示。

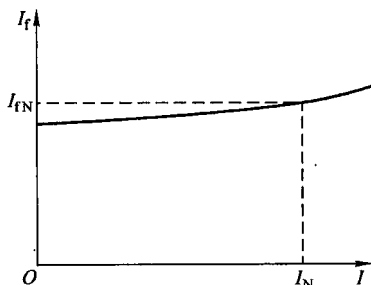


图 1-3 直流发电机调节特性

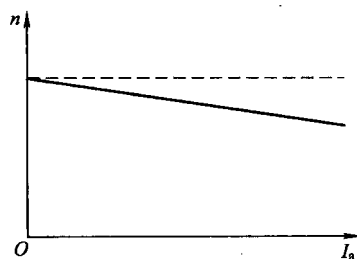


图 1-4 直流电动机转速特性

2) 转矩特性:当 $U = U_N$, $I_f = I_{fN}$ 时,转矩与电枢电流的函数关系为 $T = f(I_a)$,如图 1-5 所示。

3) 效率特性:当 $U = U_N$, $I_f = I_{fN}$ 时,电机效率与电枢电流的函数关系为 $\eta = f(I_a)$,如图 1-6 所示。

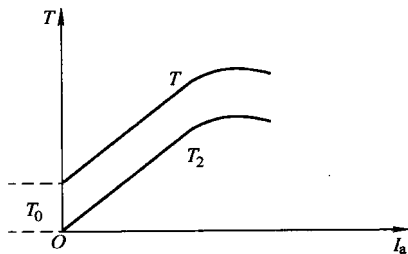


图 1-5 直流电动机转矩特性

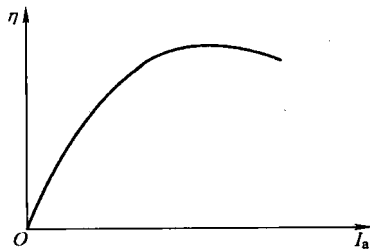


图 1-6 直流电动机效率特性

当电动机的不变损耗与可变损耗相等时,电机效率达到最大值。

八、直流电机换向

直流电机的某一个元件经过电刷,从一条支路换到另一条支路时,元件里的电流方向改变,即直流电机换向。

1. 直线换向

当换向元件中合成电动势 $\Sigma e = 0$ 时,换向元件中的电流随时间作线性变化。

2. 延迟换向

当换向元件中合成电动势 $\Sigma e > 0$ 时,换向元件中的电流随时间不再呈线性变化,出现电流延迟现象。

3. 超越换向

当换向元件中合成电动势 $\Sigma e < 0$ 时, 换向元件中的电流随时间不再呈线性变化, 出现电流超前现象。

思考与习题解答

1-1 说明直流电机电刷和换向器的作用, 在发电机中它们是怎样把电枢绕组中的交流电动势变成刷间直流电动势的? 在电动机中, 刷间电压本来就是直流电压, 为什么仍需要电刷和换向器?

答: 直流电机的电刷是连接内电路和外电路的装置, 换向器可以实现交、直流电动势电流的转换。在直流发电机中换向器连接的电枢元件在不同磁极下产生不同方向的交变电动势, 而电刷位置是固定的, 每个旋转到该位置的换向片输出电动势极性是一致的, 通过静止的电刷可以得到极性固定的电枢电动势。在电动机中刷间电压是直流, 根据电磁力定律(左手定则)在旋转的电枢元件中, 只有不断改变电流方向才能保证每根导体在任意时刻受到相同方向的电磁力, 因此需要电刷和换向器将刷间的直流电转换成旋转元件中的交变电流, 电枢才能连续旋转, 保证电机正常运行。

1-2 判断直流电机在下列情况下电刷两端电压的性质:

(1) 磁极固定, 电刷与电枢同向同速旋转。

(2) 电枢固定, 电刷与磁极同向同速旋转。

答: (1) 交流; (2) 直流。

1-3 他励直流发电机, 额定容量 $P_N = 14\text{kW}$, 额定电压 $U_N = 230\text{V}$, 额定转速 $n_N = 1450\text{r/min}$, 额定效率 $\eta_N = 85.5\%$, 试求电机的额定电流 I_N 及额定状态下的输入功率 P_1 。

解:

1) 求电机额定电流

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{14\text{kW}}{230\text{V}} = 60.87\text{A}$$

2) 额定状态下的输入功率

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{14\text{kW}}{0.855} = 16.37\text{kW}$$

1-4 他励直流电动机, $P_N = 1.1\text{kW}$, $U_N = 110\text{V}$, $I_N = 13\text{A}$, $n_N = 1500\text{r/min}$, 试求电动机的额定效率 η_N 及额定状态下的总损耗功率 Σp 。

解:

1) 求电动机额定效率

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_1} = \frac{P_N}{I_N U_N} = \frac{1.1\text{kW}}{13\text{A} \times 110\text{V}} = 76.92\%$$

2) 额定状态下总的损耗功率

$$\Sigma p = P_1 - P_N = I_N U_N - P_N = 13\text{A} \times 110\text{V} - 1.1\text{kW} = 330\text{W}$$

1-5 直流电机的主磁路包括哪几部分? 磁路未饱和时, 励磁磁动势主要消耗在磁路的哪一部分?

答: 直流电机主磁路包括 N 极铁心—气隙—电枢齿—电枢轭—相邻 S 极电枢齿—气隙—S 极铁心—定子轭—回到 N 极。在磁路不饱和时励磁磁动势主要消耗在两段气隙上。

1-6 直流电机的励磁磁动势是怎么样产生的, 它与哪些量有关? 电机空载时气隙磁通密度是如何分布的?

答: 励磁磁动势由励磁电流产生, 其数值与励磁电流和励磁绕组匝数有关。电机空载时磁通密度波形近似于钟形波。

1-7 什么是直流电机磁路饱和系数? 饱和系数的过高和过低对电机有何影响?

答: 磁路饱和系数描述了磁路的饱和程度。如果饱和系数过大说明电机磁路处于过饱和状态, 磁路磁

阻增大、铁损增加、电机效率下降；饱和系数过低说明电机磁路欠饱和，励磁电流的变化易引起磁通的波动影响电机稳定性，同时由于铁心未能充分利用，造成材料浪费。

1-8 一单叠绕组，槽数 $Z=20$ ，极数 $2p=4$ ，试绘出绕组展开图及并联支路图。

解：计算绕组节距 $y_1 = \frac{Z}{2p} = \frac{20}{4} = 5$ ，绕组展开图

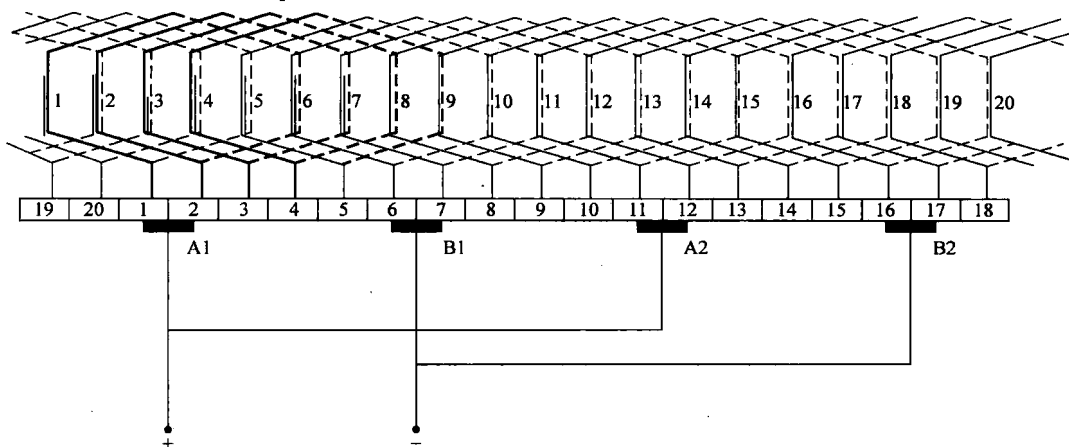


图 1-7 绕组展开图

并联支路如图 1-8 所示

1-9 主教材（第 20 页）中的图 1-12 所示单叠绕组，去掉 A_2B_2 两组电刷，对电机的电压，电流及功率有何影响？

答：去掉两组电刷后的并联支路图如图 1-9 所示。

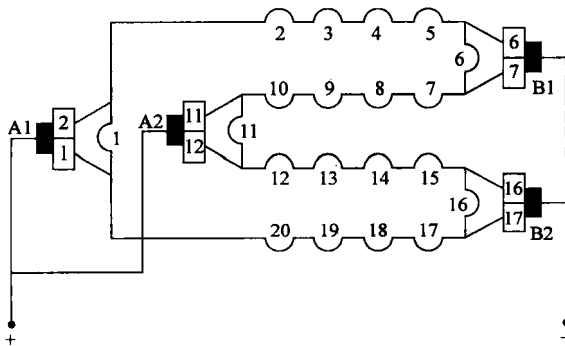


图 1-8 并联支路图

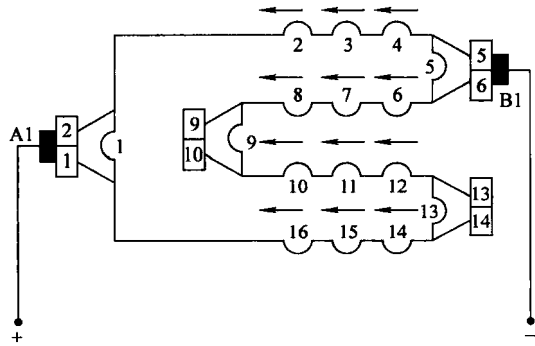


图 1-9 去掉两组电刷后的并联支路图

电压不变；电流为原电流的 $1/2$ ；功率为原功率的 $1/2$ 。

1-10 何谓电枢反应，以直流电动机为例说明在什么情况下只有交轴反应？在什么情况下出现直轴反应？

答：当电机带上负载后，电机的合成磁场由空载磁场和电枢磁场共同决定，电枢磁场的出现，使主磁场波形发生畸变，这种现象称为电枢反应。当电刷位于几何中线上时，只有交轴电枢反应；当电刷偏离几何中线时存在交轴电枢反应和直轴电枢反应。

1-11 直流电机交轴反应对磁场波形有何影响，考虑磁路饱和时和不考虑磁路饱和时，交轴反应有何不同？

答: 电枢反应使主磁场钟形波发生扭曲。对直流发电机来说前极尖去磁; 后极尖增磁, 对直流电动机来说情形与之相反。不考虑磁路饱和时, 发电机前、后极尖的去磁和增磁相等, 极下总磁通不变; 考虑饱和时去磁大于增磁, 总磁通有所减少。

1-12 直流发电机中是否有电磁转矩? 如果有, 它的方向怎样? 直流电动机中是否有感应电动势? 如果有, 它的方向怎样?

答: 直流发电机中有电磁转矩, 其方向与电机转速方向相反, 是制动转矩; 直流电动机中有电枢电动势, 其方向与电源电压方向相反。

1-13 直流电机中感应电动势是怎样产生的? 它与哪些量有关、在发电机和电动机中感应电动势各起什么作用?

答: 直流电机电枢绕组导体在旋转中切割主磁场磁力线产生感生电动势, 对于结构一定的电机, 感生电动势的大小与磁通量和电机的转速有关。在发电机中它是电源电动势, 可以提供输出电能; 在电动机中它是反电动势, 可以抑制电枢电流, 使其不会过高。

1-14 直流电机中电磁转矩是怎样产生的? 它与哪些量有关、在发电机和电动机中电磁转矩各起什么作用?

答: 在磁场中的电枢元件导体流过电流时会受到电磁力的作用, 在电机结构一定时, 电磁力的大小与磁场磁感应强度和导体中电流的强弱有关, 总的电磁力与电枢半径的乘积即电磁转矩。在发电机中的电磁转矩与电机转速方向相反, 是制动转矩; 在电动机中的电磁转矩与电机转速方向相同, 是拖动转矩。

1-15 怎样判断一台直流电机是工作在发电机状态还是电动机状态?

答: 电磁转矩与电机旋转方向相同, 电机处于电动机状态; 电磁转矩与电机旋转方向相反, 电机处于发电机状态。

1-16 在直流电机中, 证明 $E_a I_a = T \Omega$, 从机电能量转换的角度说明该式的物理意义。

答: 证明电磁功率计算公式:

$$E_a I_a = C_e \Phi n I_a = \frac{pN}{60a} \Phi \frac{60}{2\pi} \Omega I_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a \Omega = C_T \Phi I_a \Omega = T \Omega$$

电磁功率依靠磁场作用进行机电能量交换, 磁场对电系统和机械系统的作用与反作用表现在感应电动势和电磁转矩上。磁场与交链绕组发生相对运动产生感应电动势, 只要有感应电动势电机就能从电系统吸收或向其送出电能; 绕组中通过电流并与气隙磁场相互作用产生电磁转矩, 通过电磁转矩电机能向机械系统送出或从其吸收机械能。电机通过电动势和转矩进行能量交换, 具体表现在电磁功率既可以用电功率 $E_a I_a$ 来表示, 也可以用机械功率 $T \Omega$ 来表示。

1-17 并励直流发电机必须满足哪些条件才能建立起正常的输出电压?

答: 满足三个基本条件: ①要有剩磁; ②剩磁电压方向与建立磁场的电压方向一致; ③励磁回路总电阻要小于临界电阻。

1-18 并励直流发电机正转时能够自励, 反转后是否还能自励? 若在反转的同时把励磁绕组的两个端子反接, 是否可以自励? 电枢端电压是否改变方向?

答: 不能自励。因为反转后剩磁方向与建立磁场的电压方向不一致, 不能满足自励的基本条件。如果电机反转的同时将励磁绕组反接是可以自励的, 但电枢端电压的方向与正转时相反。

1-19 一台直流发电机, 当分别把它接成他励和并励时, 在相同的负载情况下, 电压调整率是否相同? 如果不同, 哪种接法电压调整率更大? 为什么?

答: 他励直流发电机和并励直流发电机在相同负载的情况下电枢电流是不同的, 并励发电机由于电枢电流除了提供负载电流以外还要供给发电机本身的励磁电流, 所以电压调整率要比他励发电机大。

1-20 一台直流电动机, 拖动一台直流发电机。当发电机负载增加时, 电动机的电流和机组转速如何变化? 说明其物理过程。

答: 发电机负载增加 (即电流增大), 其制动电磁转矩也增大, 则拖动它的电动机必须增加拖动转矩

与之平衡。因此在磁通不变时,电动机电枢电流也增大,机组转速会下降;如果要维持机组转速不变,可以减小电动机电枢回路的电阻或者提升电动机的端电压。

1-21 一台并励直流发电机, $P_N = 16\text{kW}$, $U_N = 230\text{V}$, $I_N = 69.6\text{A}$, $n_N = 1600\text{r/min}$, 电枢回路电阻 $R_a = 0.128\Omega$, 励磁回路电阻 $R_f = 150\Omega$, $\eta_N = 85.5\%$, 试求额定工作状态下的励磁电流、电枢电流、电枢电动势、电枢铜损、输入功率、电磁功率。

解:

1) 额定工作状态下的励磁电流

$$I_{fN} = \frac{U_N}{R_f} = 230\text{V}/150\Omega = 1.53\text{A}$$

2) 额定工作状态下的电枢电流

$$I_{aN} = I_N + I_{fN} = (69.6 + 1.53)\text{A} = 71.13\text{A}$$

3) 额定工作状态下的电枢电动势

$$E_{aN} = U_N + I_{aN}R_a = 230\text{V} + 71.13\text{A} \times 0.128\Omega = 239.1\text{V}$$

4) 额定工作状态下的电枢铜损

$$p_{\text{CuN}} = I_{aN}^2 R_a = 71.13\text{A}^2 \times 0.128\Omega = 647.61\text{W}$$

5) 额定工作状态下的输入功率

$$P_1 = \frac{P_N}{\eta_N} = \frac{16\text{kW}}{0.855} = 18.71\text{kW}$$

6) 额定工作状态下的电磁功率

$$P_M = E_{aN} I_{aN} = 239.1\text{V} \times 71.13\text{A} = 17\text{kW}$$

1-22 如何改变他励、并励和串励直流电动机的旋转方向?

答: 将电枢端电压接线或者励磁电压接线之一反接。

1-23 他励直流电动机正在运行时, 励磁回路突然断线会有什么现象发生?

答: 飞车事故。

1-24 判断下列两种情况下哪一种可以使接在电网上的直流电动机变为发电机: (1) 加大励磁电流 I_f , 使 Φ 增加, 试图使 $E_a > U_0$; (2) 在电动机轴上外加一个转矩使旋转速度上升, 使 $E_a > U_0$ 。

答: (2)

1-25 他励直流电动机, 在拉断电枢回路电源瞬间 (n 未变), 电机处于什么运行状态, 端电压多大?

答: 发电制动状态, 端电压为 E_a 。

1-26 直流电动机电磁转矩是拖动性质的, 电磁转矩增加时, 转速似乎应该上升, 但从机械特性上看, 电磁转矩增加时, 转速反而下降, 这是什么原因?

答: 当磁通不变时电磁转矩的增加是靠电枢电流的增加来实现的, 电枢电流的增加同时也会导致电枢回路电阻压降的增加, 由于电源电压不变, 电枢电动势 $E_a = U - I_a R_a$ 下降, 而电枢电动势 $E_a = C_e \Phi n$, 因为式中磁通不变所以转速下降。

1-27 说明直流电动机理想空载转速 n_0 的物理意义?

答: 理想空载转速是当 $E_a = U$ 时的一种理想状态, 此时电枢电流为 0, 电磁转矩为 0, 电动机没有能量输出, 输入功率用于克服电动机的空载损耗。依靠电动机本身是无法达到理想空载转速的, 必须加外力拖动。

1-28 与他励、并励直流电动机相比, 串励直流电动机的工作特性有何特点?

答: 串励直流电动机的工作特性很软, 它的起动转矩较大, 其理想空载转速为无穷大。串励直流电动机适合起动困难永不空载的情况。

1-29 并励直流电动机 $P_N = 7.5\text{kW}$, $U_N = 220\text{V}$, $I_N = 40.6\text{A}$, $n_N = 3000\text{r/min}$, $R_a = 0.213\Omega$, 额定励磁电流 $I_{fN} = 0.683\text{A}$, 不计附加损耗, 求电机在额定状态下的电枢电流、额定效率、输出转矩、电枢铜损、励

磁铜损、空载损耗、电磁功率、电磁转矩及空载转矩。

解：求额定状态下下列参数。

1) 电枢电流

$$I_{aN} = I_N - I_{fN} = (40.6 - 0.683) \text{ A} = 39.917 \text{ A}$$

2) 额定效率

$$\eta_N = \frac{P_N}{U_N I_N} = \frac{7.5 \text{ kW}}{220 \text{ V} \times 40.6 \text{ A}} = 83.97\% \approx 84\%$$

3) 输出转矩

$$T_{2N} = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \frac{7.5 \text{ kW}}{3000 \text{ r/min}} = 23.875 \text{ N} \cdot \text{m}$$

4) 电枢铜损

$$p_{Cu} = I_{aN}^2 R_a = 39.917 \text{ A}^2 \times 0.213 \Omega = 339.39 \text{ W}$$

5) 励磁铜损

$$p_f = U_f I_{fN} = 220 \text{ V} \times 0.683 \text{ A} = 150.26 \text{ W}$$

6) 空载损耗

$$p_0 = \frac{P_N}{\eta_N} - p_{Cu} - p_f - P_N = \frac{7.5 \text{ kW}}{0.84} - 339.39 \text{ W} - 150.26 \text{ W} - 7.5 \text{ kW} = 938.92 \text{ W}$$

7) 电磁功率

$$P_M = P_N + p_0 = 7500 \text{ W} + 938.92 \text{ W} = 8438.92 \text{ W}$$

8) 电磁转矩

$$T_N = 9550 \frac{P_M}{n_N} = 9550 \frac{8438.92 \times 10^{-3} \text{ kW}}{3000 \text{ r/min}} = 26.86 \text{ N} \cdot \text{m}$$

9) 空载转矩

$$T_0 = T_N - T_{2N} = (26.86 - 23.875) \text{ N} \cdot \text{m} = 2.985 \text{ N} \cdot \text{m}$$

1-30 并励直流发电机 $P_N = 2.7 \text{ kW}$, $U_N = 110 \text{ V}$, $n_N = 1150 \text{ r/min}$, $R_a = 0.02 \Omega$, $I_{fN} = 5 \text{ A}$, 把它接在 110 V 直流电网上, 试求额定电枢电流时的电机转速。

解:

$$\text{发电机额定电流: } I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{2.7 \text{ kW}}{110 \text{ V}} = 24.545 \text{ A}$$

$$\text{发电机电枢电流: } I_{aN} = I_N + I_{fN} = (24.545 + 5) \text{ A} = 29.545 \text{ A}$$

$$\text{电机的电动势常数: } C_e \Phi_N = \frac{U_N + I_a R_a}{n_N} = \frac{110 \text{ V} + 29.545 \text{ A} \times 0.02 \Omega}{1150 \text{ r/min}} = 0.096 \text{ V} \cdot \text{min/r}$$

$$\text{作为电动机时转速: } n = \frac{U_N - I_a R_a}{C_e \Phi_N} = \frac{110 \text{ V} - 29.545 \text{ A} \times 0.02 \Omega}{0.096} = 1140 \text{ r/min}$$

1-31 一台他励直流电动机 $P_N = 1.1 \text{ kW}$, $U_N = 110 \text{ V}$, $I_N = 13 \text{ A}$, $n_N = 1500 \text{ r/min}$, $R_a = 1 \Omega$, 将它用作他励直流发电机, 并保持 $n = n_N$, $\Phi = \Phi_N$, $I_a = I_{aN}$ 时, 求电机的输出电压。

解:

$$\text{直流电动机电枢电动势: } E_{aN} = U_N - I_{aN} R_a = 110 \text{ V} - 13 \text{ A} \times 1 \Omega = 97 \text{ V}$$

$$\text{电动势常数: } C_e \Phi_N = \frac{E_{aN}}{n_N} = \frac{97 \text{ V}}{1500 \text{ r/min}} = 0.065 \text{ V} \cdot \text{min/r}$$

$$\text{转速不变、磁通不变, 直流发电机电枢电动势: } E_{aG} = E_{aN} = 97 \text{ V}$$

$$\text{发电机输出电压: } U_G = E_{aG} - I_{aN} R_a = 97 \text{ V} - 13 \text{ A} \times 1 \Omega = 84 \text{ V}$$

1-32 并励直流电动机 $P_N = 96 \text{ kW}$, $U_N = 440 \text{ V}$, $I_N = 255 \text{ A}$, $I_{fN} = 5 \text{ A}$, $n_N = 500 \text{ r/min}$, $R_a = 0.078 \Omega$, 试求 (1) 额定输出转矩; (2) 额定电磁转矩; (3) 空载转矩; (4) 理想空载转速; (5) 实际空载转速。

解:

(1) 额定输出转矩

$$T_{2N} = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{96 \text{ kW}}{500 \text{ r/min}} = 1833.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 额定电磁转矩

$$\text{额定电枢电流: } I_{aN} = I_N - I_{fN} = (255 - 5) \text{ A} = 250 \text{ A}$$

$$\text{磁通不变的电动势常数: } C_e \Phi_N = \frac{U_N - I_{aN} R_a}{n_N} = \frac{440 \text{ V} - 250 \text{ A} \times 0.078 \Omega}{500 \text{ r/min}} = 0.84 \text{ V} \cdot \text{min/r}$$

$$\text{磁通不变的转矩常数: } C_T \Phi_N = 9.55 C_e \Phi_N = 9.55 \times 0.84 \text{ V} \cdot \text{min/r} = 8.02 \text{ V} \cdot \text{min/r}$$

$$\text{额定电磁转矩: } T_N = C_T \Phi_N I_{aN} = 8.02 \times 250 \text{ N} \cdot \text{m} = 2005 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(3) 空载转矩

$$T_0 = T_N - T_{2N} = (2005 - 1833.6) \text{ N} \cdot \text{m} = 171.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(4) 理想空载转速

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} = \frac{440}{0.84} \text{ r/min} = 523.8 \text{ r/min}$$

(5) 实际空载转速

$$n' = n_0 - \frac{R_a}{C_e \Phi_N \times C_T \Phi_N} \times T_0 = 523.8 \text{ r/min} - \frac{0.078 \Omega}{0.84 \text{ V} \cdot \text{min/r} \times 8.02 \text{ V} \cdot \text{min/r}} \times 171.4 \text{ N} \cdot \text{m} = 521.8 \text{ r/min}$$

1-33 并励直流电动机 $U_N = 220 \text{ V}$, $I_N = 81.7 \text{ A}$, $\eta_N = 85\%$, 电枢电阻 $R_a = 0.1 \Omega$, 励磁回路电阻 $R_f = 88.8 \Omega$ 。试画出功率流程图, 并求出额定输入功率, 额定输出功率, 总损耗, 电枢回路铜损, 励磁回路铜损, 机械损耗与铁损之和 (不计附加损耗)

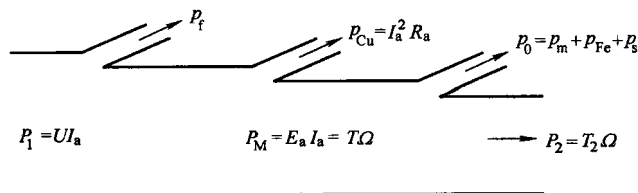


图 1-10 功率流程图

解:

1) 功率流程图如图 1-10 所示。

2) 额定输入功率

$$P_1 = U_N I_N = 220 \text{ V} \times 81.7 \text{ A} = 17.97 \text{ kW}$$

3) 额定输出功率

$$P_N = P_1 \times \eta_N = 17.97 \text{ kW} \times 0.85 = 15.27 \text{ kW}$$

4) 总损耗

$$\Sigma p = P_1 - P_N = (17.97 - 15.27) \text{ kW} = 2.7 \text{ kW}$$

5) 额定励磁电流:

$$I_{fN} = \frac{U_N}{R_f} = \frac{220 \text{ V}}{88.8 \Omega} = 2.477 \text{ A}$$

6) 电枢回路铜损

$$p_{Cu} = (I_N - I_{fN})^2 \times R_a = (81.7 \text{ A} - 2.477 \text{ A})^2 \times 0.1 \Omega = 627.7 \text{ W}$$

7) 励磁回路铜损

$$p_f = U_N I_{fN} = 220 \text{ V} \times 2.477 \text{ A} = 544.94 \text{ W}$$

8) 机械损耗与铁损之和 (忽略附加损耗)

$$p_0 = p_m + p_{Fe} = \Sigma p - p_{Cu} - p_f = (2700 - 627.7 - 544.94) \text{ W} = 1527.36 \text{ W}$$

1-34 一台并励直流电动机 $P_N = 75 \text{ kW}$, $U_N = 440 \text{ V}$, $I_N = 191 \text{ A}$, $I_{fN} = 4 \text{ A}$, $R_a = 0.082 \Omega$, $n_N = 750 \text{ r/min}$, 不计电枢反应影响, 试求: (1) 额定输出转矩; (2) 额定电磁转矩; (3) 理想空载转速; (4) 实际空载电流及空载转速。

解: