



国家级职业教育规划教材
劳动保障部培训就业司推荐

高等职业技术学院电气自动化技术专业

电机控制与

可编程技术(西门子)

劳动保障部教材办公室组织编写

Dianqi Zidonghua Jishu Zhuanye

GZ_H

GaodengZhijyeJishuYuanxiao



中国劳动社会保障出版社

国家级职业教育规划教材

劳动保障部培训就业司推荐

高等职业技术学院电气自动化技术专业

电机控制与可编程技术 (西门子)

主编 傅大梅 刘 利

中国劳动社会保障出版社

中国劳动社会保障出版社
北京
地址：北京市惠新东街1号
邮编：100029
电话：010-64929211
010-64927085
http://www.class.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

电机控制与可编程技术(西门子)/傅犬梅,刘利主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2007

高等职业技术学院电气自动化技术专业

ISBN 978-7-5045-6615-7

I. 电… II. ①傅…②刘… III. 电机-可编程序控制器 IV. TM301.2 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 131786 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

北京宏伟双华印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 10.5印张 247千字

2007年11月第1版 2007年11月第1次印刷

定价:19.00元

读者服务部电话:010-64929211

发行部电话:010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话:010-64954652

前言

为贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》精神，坚持以就业为导向的职业教育办学方针，推进高等职业技术学院课程和教材改革，劳动和社会保障部教材办公室组织一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师与企业、行业一线专家，共同研究开发了电类专业课程的基础平台，涉及电工基础、模拟电子技术、数字电子技术、电工基本技能、金工实习等课程；还开发了电气自动化技术、应用电子、移动通信技术三个专业模块的课程。在课程开发的同时，编写了电类专业相关教材36种。

在教材的编写过程中，我们贯彻了以下编写原则：

第一，从职业（岗位）需求分析入手，参照国家职业标准《维修电工》《家用电子产品维修工》《电子设备装接工》《家用电器产品维修工》《用户通信终端（移动电话机）维修员》的要求，精选教材内容，切实落实“管用、够用、适用”的教学指导思想。

第二，体现以技能训练为主线、相关知识为支撑的编写思路，较好地处理了理论教学与技能训练的关系，有利于帮助学生掌握知识、形成技能、提高能力。

第三，按照教学规律和学生的认知规律，合理编排教材内容。尽量采用以图代文的编写形式，降低学习难度，提高学生的学习兴趣。

第四，突出教材的先进性，较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容，以期缩短学校教育与企业需要的距离，更好地满足企业用人的需求。

在上述教材的编写过程中，得到有关省市教育部门、劳动和社会保障部门以及一些高等职业技术学院的大力支持，教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作，在此我们表示衷心的感谢！同时，恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2007年6月

内 容 简 介

本书为国家级职业教育规划教材,根据高等职业技术学院电气自动化技术专业教学计划和教学大纲,由劳动和社会保障部教材办公室组织编写。主要内容包括直流电机的性能特点、使用场合,直流电机的启动、制动、调速方法;三相异步电动机的性能特点和使用场合;常用低压电器的功能、结构、原理、选用、安装方法;三相异步电动机基本控制线路的组成、工作原理及安装、调试方法;电气控制线路图的设计、绘制、识读方法;控制电机的基本结构、控制方法;西门子公司小型可编程控制器 S7-200 的软硬件功能、工作原理、指令系统、梯形图设计方法和编程软件的使用方法;PLC 在电机控制中的应用;PLC 在其他设备控制中的应用;PLC 的通信网络和通信程序的使用方法等。

本书为高等职业技术学院电气自动化技术专业教材,也可作为成人高校、广播电视大学、本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的相关专业教材,或作为自学用书。

本书由傅大梅、刘利主编,李金钟、陈亚林参编,由马健儿主审。其中傅大梅负责模块一、模块二和模块三的编写及全书的统稿工作,刘利负责模块四、模块五和模块六的编写,李金钟、陈亚林参加任务设计及编写工作。

目 录

模块一 直流电机的运行控制	(1)
任务一 直流电机的启动.....	(1)
任务二 直流电机的制动.....	(12)
任务三 直流电机的调速.....	(19)
思考与练习.....	(24)
模块二 三相异步电动机电气控制	(25)
任务一 三相异步电动机的启保停控制.....	(25)
任务二 三相异步电动机的正反转控制.....	(45)
任务三 三相异步电动机的顺序控制.....	(50)
任务四 三相异步电动机的减压启动控制.....	(54)
任务五 三相异步电动机的调速控制.....	(63)
任务六 三相异步电动机的电气制动控制.....	(69)
思考与练习.....	(73)
模块三 控制电机的应用	(75)
任务一 伺服电动机的应用.....	(76)
任务二 测速发电机的应用.....	(83)
任务三 步进电动机的应用.....	(87)
思考与练习.....	(93)
模块四 PLC 在三相异步电动机控制中的应用	(95)
任务一 电动机启保停控制.....	(95)
任务二 异步电动机的减压启动控制.....	(103)
任务三 异步电动机的顺序控制.....	(111)
任务四 异步电动机的正反转控制.....	(117)
思考与练习.....	(123)
模块五 PLC 在其他设备控制中的应用	(125)
任务一 十字路口交通信号控制.....	(125)
任务二 送料小车往返运动控制.....	(130)
任务三 多种液体混合系统控制.....	(137)
任务四 彩灯亮灭循环控制.....	(145)

思考与练习.....	(151)
模块六 PLC 的通信	(152)
任务 PLC 与计算机通信	(153)
思考与练习.....	(157)
附录 常用电气图形符号.....	(158)
参考文献.....	(161)

模块一 直流电机的运行控制

直流电机是将直流电能和机械能相互转换的旋转电机。直流电机既可作为发电机使用,也可作为电动机使用,其外形如图1—1和图1—2所示。用作直流发电机,可以得到直流电源;而作为直流电动机,由于其具有良好的调速性能,在许多调速性能要求较高的场合,得到了广泛使用。

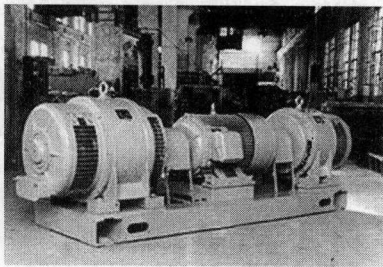


图1—1 直流发电机

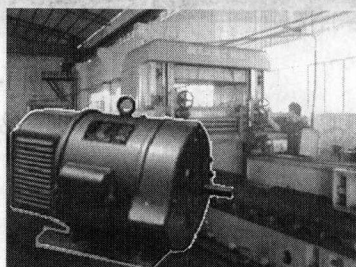


图1—2 直流电动机

任务一 直流电机的启动

◆ 知识点

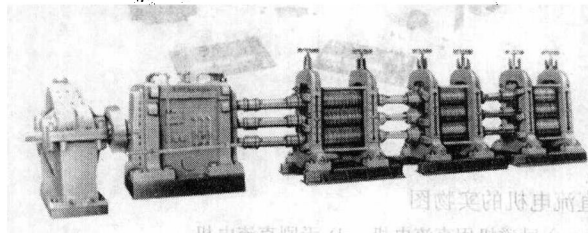
- 直流电机的外形和内部结构,各部件的作用
- 直流电机铭牌中型号和额定值的含义

◆ 技能点

- 直流电动机直接启动的接线操作方法
- 直流电动机串电阻启动的操作方法
- 直流电动机反转的接线操作运用

任务导入

直流电动机主要应用于轧钢机、电力机车、无轨电车、大中型龙门刨床等调速范围大的大型设备;还用于用蓄电池做电源的地方,如汽车、拖拉机等;在家用电器中也有广泛应用,如电动缝纫机、电动自行车、DVD、电动玩具等,如图1—3所示。在应用中,首先遇到的是直流电机的启动问题。本任务就是学会直流电动机的各种启动方法。



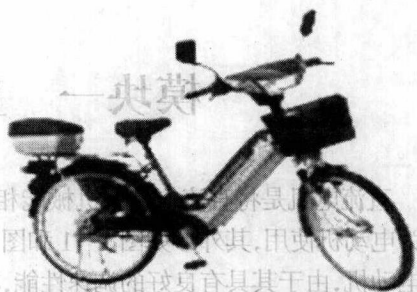
a)



b)



c)



d)

图 1—3 直流电动机的用途

a) 大型轧钢机 b) 地铁列车 c) 无轨电车 d) 电动自行车

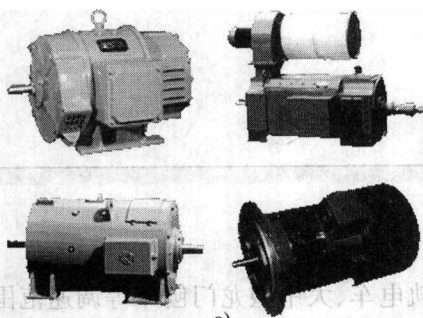
相关知识

一、直流电机的特点

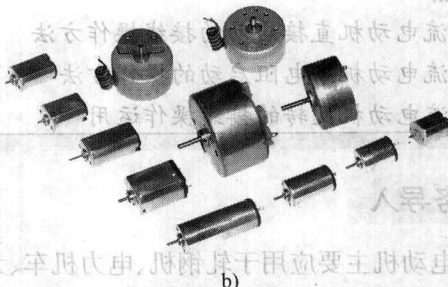
直流电动机有宽广的调速范围,平滑的无级调速特性;过载能力大,能承受频繁的冲击负载;可实现频繁的无级快速启动、制动和反转;能满足生产过程自动化系统各种不同的特殊运行要求。而直流发电机则能提供无脉动的大功率直流电源,且输出电压可以精确地调节和控制。但直流电机制造工艺复杂,消耗有色金属较多,生产成本低,在运行时由于电刷与换向器之间容易产生火花,因而可靠性较差,维护比较困难。

二、直流电机的结构

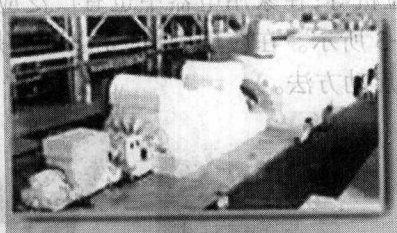
如图 1—4 所示是直流电机的实物图。



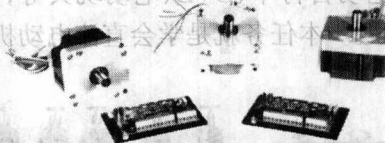
a)



b)



c)



d)

图 1—4 直流电机的实物图

a) 普通直流电机 b) 微型直流电机 c) 励磁机用直流电机 d) 无刷直流电机

直流电机主要由两大部分组成:静止部分(称为定子)和转动部分(称为转子),定子部分主要由主磁极、换向磁极、机座和电刷组成;转子部分主要由电枢铁心、电枢绕组、换向器和转轴等组成,如图 1—5 所示。

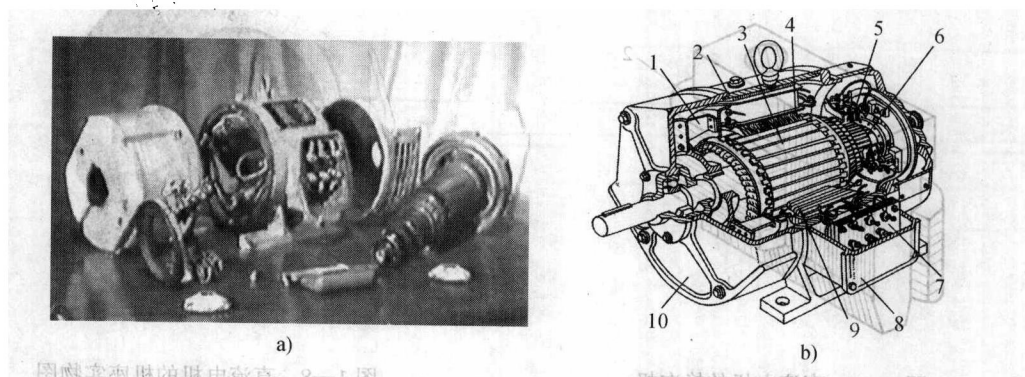


图 1—5 直流电机的结构图

a) 结构实物 b) 结构示意图

1—风扇 2—机座 3—电枢 4—主磁极 5—刷架 6—换向器
7—接线板 8—出线盒 9—换向极 10—端盖

1. 定子部分

(1) 主磁极。主磁极的作用是产生主磁场。它由主磁极铁心和励磁绕组两部分组成,其结构如图 1—6 所示。

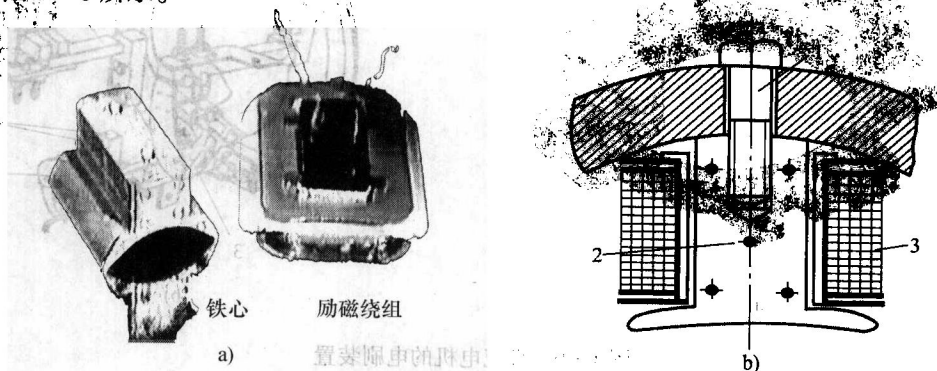


图 1—6 直流电机的主磁极

a) 结构实物 b) 结构示意图

1—固定主磁极的螺钉 2—主磁极铁心 3—励磁绕组

(2) 换向极。换向极的作用是用以改善换向。换向极装在两主磁极之间,它也是由铁心和绕组两部分构成,换向极绕组与电枢绕组相串联,其结构如图 1—7 所示。

(3) 机座。机座通常由铸钢或厚钢板焊成,如图 1—8 所示。它有两个用处,一个是用来固定主磁极、换向极和端盖,另一个用处是作为磁路的一部分。

(4) 电刷装置。电刷装置是把直流电压、直流电流引入或引出的装置,电刷装置由电刷、刷握、刷杆、座圈和弹簧压板等组成。

电刷由石墨制成,放在刷握内,用弹簧压紧在换向器上,刷握固定在刷杆上,刷杆装在刷架上,彼此之间都绝缘。刷架装在端盖或轴承内盖上,调整位置以后,将它固定。其结构如图 1—9 所示。

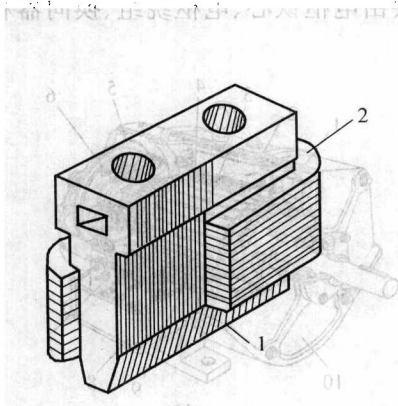


图 1—7 直流电机的换向极
1—铁心 2—绕组

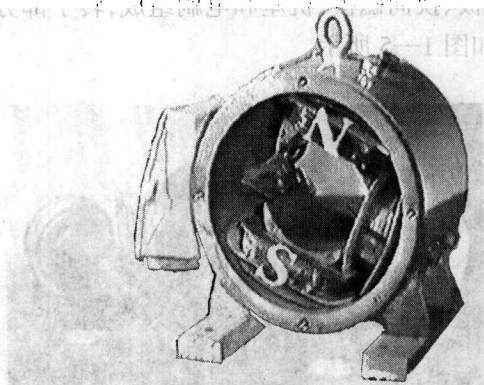


图 1—8 直流电机的机座实物图

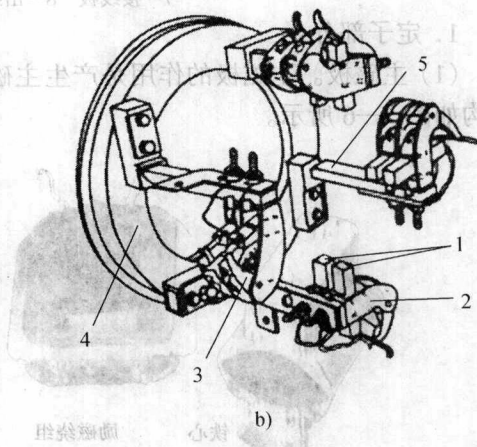
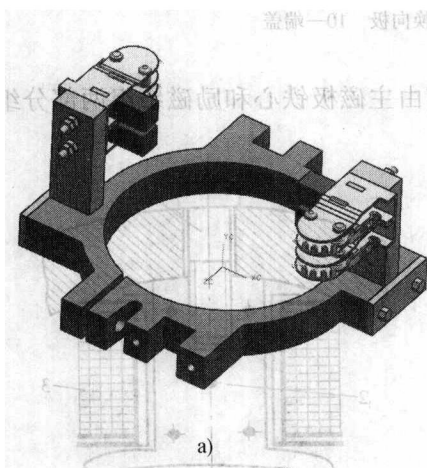


图 1—9 直流电机的电刷装置

a) 结构实物 b) 结构示意

1—电刷 2—刷握 3—弹簧压板 4—座圈 5—刷杆

2. 转子部分

(1) 电枢铁心。电枢铁心的作用是一方面嵌放电枢绕组,另一方面是作为磁路的一部分。它由厚的硅钢片冲成一定形状的电枢铁心片叠装而成,如图 1—10 所示。

(2) 电枢绕组。它是用绝缘铜线绕成一定形状的电枢元件(即线圈)嵌放在电枢铁心槽中,电枢绕组的作用是产生感应电动势和电磁转矩,从而实现机电能量转换。其实物如图 1—11 所示。

(3) 换向器。对于直流发电机,是将电枢绕组中的交变电动势转换成直流,由电刷引到外电路,即整流作用;对于直流电动机,是将外加的直流电动势逆变成交流。其结构如图 1—12 所示。

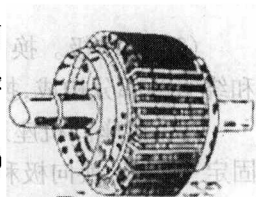
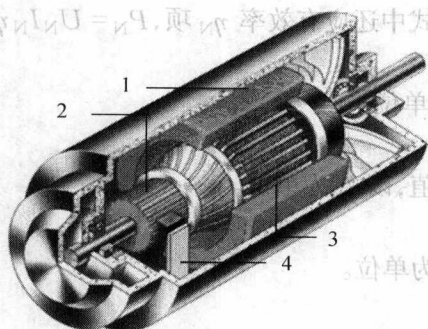


图 1—10 电枢铁心



直流发电机

图 1—11 电枢绕组实物图

1—磁场结构 2—整流器 3—电枢(线圈) 4—炭刷

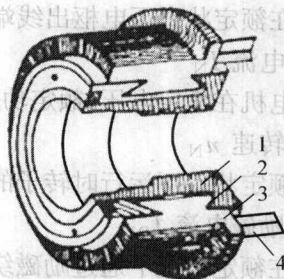


图 1—12 换向器结构图

1—V 形套筒 2—云母环 3—换向片 4—连接片

三、直流电机的铭牌数据

额定值是制造厂对各种电气设备(本模块指直流电机)在指定工作条件下运行时所规定的一些量值。在额定状态下运行时,可以保证各电气设备长期可靠地工作,并具有优良的性能。额定值也是制造厂和用户进行产品设计或检验的依据。额定值通常标在各电气设备的铭牌上,故又叫铭牌值。通常所标位置如图 1—13 所示。

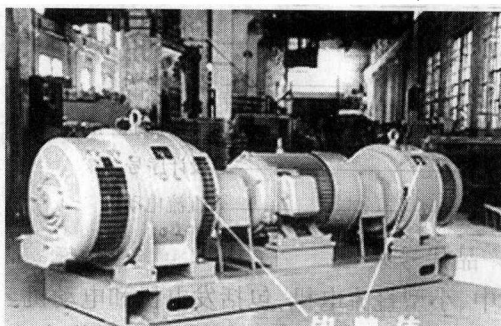


图 1—13 直流电机的铭牌值

直流电机铭牌上的主要指标见表 1—1,其中主要电性能指标说明如下:

表 1—1

直流电机的铭牌值

直流电动机			
型号	Z4-112/2-1	励磁方式	并励
额定功率	5.5 kW	励磁电压	180 V
额定电压	440 V	励磁电流	0.4 A
额定电流	15 A	额定效率	81.2%
额定转速	3 000 r/min	绝缘等级	B 级
额定工作制	连续	出厂日期	××××年××月

××××电机厂

1. 额定功率 P_N

它是指电机在铭牌规定的额定状态下运行时电机的输出功率,以 W、kW、MW 为单位。对于直流发电机, P_N 是指输出的电功率,它等于额定电压和额定电流的乘积,即 $P_N = U_N I_N$;

对于直流电动机, P_N 是指输出的机械功率, 所以在公式中还应有效率 η_N 项, $P_N = U_N I_N \eta_N$ 。

2. 额定电压 U_N

它是指在额定状态下电枢出线端的电压, 以 V 为单位。

3. 额定电流 I_N

它是指电机在额定电压、额定功率时的电枢电流值, 以 A 为单位。

4. 额定转速 n_N

它是指额定状态下运行时转子的转速, 以 r/min 为单位。

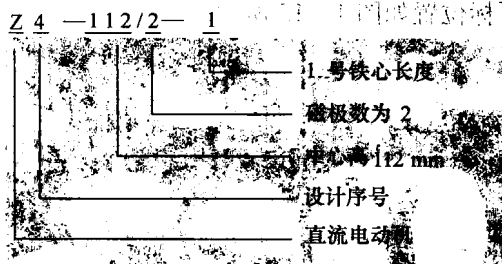
5. 额定励磁电流 I_{fN}

它是指在额定状态下通过励磁绕组的电流, 以 A 为单位。

电机在实际运行时, 由于负载的变化, 往往不总是在额定状态下运行。如果流过电机的电流小于额定电流, 称为欠载运行; 超过额定电流, 称为过载运行。长期过载或欠载运行都不好, 长期过载有可能因过热而烧坏电机; 长期欠载, 则电机得不到充分利用, 效率降低, 不经济。电机在接近额定的状态下运行, 才是合理的。

四、直流电机型号

电机型号由若干字母和数字所组成, 用以表示电机的系列和主要特点。根据电机的型号, 便可以从相关手册及资料中查出该电机的有关技术数据。电机型号的含义如下:



下面列出一些常见的产品代号系列:

Z2 系列是一般用途的中、小型直流电机, 包括发电机和电动机。

Z 和 ZF 系列是一般用途的大、中型直流电机系列。Z 是指直流电动机系列; ZF 是指直流发电机系列。

ZZJ 系列是专供起重冶金工业用的专用直流电动机。

ZT 系列是用于恒功率且调速范围比较大的拖动系统里的广调速直流电动机。

ZQ 系列是电力机车、工矿电机车和蓄电池供电电车用的直流牵引电动机。

ZH 系列是船舶上各种辅助机械用的船用直流电动机。

ZU 系列是用于龙门刨床的直流电动机。

ZA 系列是用于矿井和有易爆气体场所的防爆安全型直流电动机。

ZKJ 系列是冶金、矿山挖掘机用的直流电动机。

五、直流电机的励磁方式

直流电机产生磁场的励磁绕组的接线方式称为励磁方式, 实质上就是励磁绕组和电枢绕组如何连接, 就决定了它是什么样的励磁方式。直流电机的励磁方式主要有他励式、自励式, 而自励式又分为并励式、串励式、复励式三种。

1. 他励式

励磁绕组不与电枢绕组连接, 而单独由其他电源供电的直流电机称为他励式直流电机。

2. 并励式

励磁绕组与电枢绕组并联的直流电机,称为并励式直流电机。

3. 串励式

励磁绕组与电枢绕组串联再接通直流电源的直流电机,称为串励式直流电机。由于串励式直流电机作为发电机用时,其电压大小随负载变化而有较大的变化,故一般不用作发电机,只作电动机使用。串励式直流电动机广泛应用于交通运输。

4. 复励式

复励式直流电机上有两个励磁绕组,一个和电枢并联,另一个和电枢串联。

各种励磁方式接线图如图 1—14 所示。

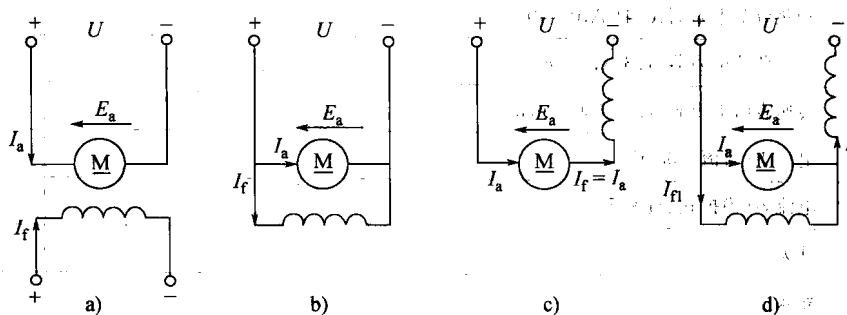


图 1—14 直流电机的励磁方式

a) 他励 b) 并励 c) 串励 d) 复励

六、直流电机的工作原理

电动机的基本工作原理是:载流导体在磁场中受电磁力的作用。如图 1—15 所示为直流并励电动机的工作原理图。并励电动机的励磁绕组与电枢绕组并联,由同一直流电源供电。接通直流电源后,励磁绕组中流过励磁电流 I_f ,建立主磁场 Φ ;电枢绕组中流过电枢电流 I_a ,电枢电流与主磁场作用产生电磁转矩 T ,使电枢朝 T 的方向以转速 n 旋转,将电能转换为机械能,带动生产机械工作。

电动机通电旋转后,电枢导体切割主磁场,产生电枢电动势 E_a ,此电动势的方向与电枢电流 I_a 的方向相反,称为反电动势。电源电压 U 除了提供电枢内阻压降 $I_a R_a$ 外,主要用来与电枢电动势 E_a 相平衡。其电压方程式为

$$U = E_a + I_a R_a \quad (1-1)$$

式中 E_a ——电枢电动势, V;

I_a ——电枢电流, A;

R_a ——电枢内阻, Ω 。

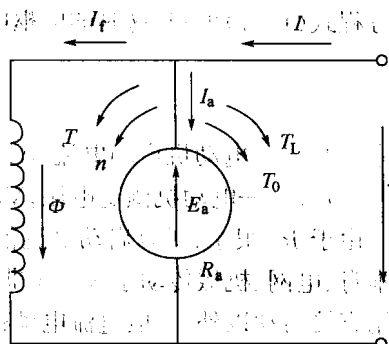


图 1—15 直流并励电动机的工作原理图

任务实施

一、工具、器材准备

直流电机启动技能训练使用的设备、工具和材料见表1—2。

表1—2 直流电机启动技能训练使用的设备、工具和材料

序号	名称及说明	数量
1	励磁电源(直流,220 V)	1
2	电枢电源(直流可调,40~230 V)	1
3	直流他励电动机(185 W)	1
4	励磁调节电阻器(0.41 A,0~900 Ω)	1
5	电枢调节电阻器(1.3 A,0~90 Ω)	1
6	转速表(1 800 r/min,3 600 r/min)	1
7	电压表(直流,500 V)	1
8	电流表(模拟式、直流 5 A)	1
9	开关	2
10	导线	若干

二、任务分析

电动机启动是指电动机接到规定电源后,转速从零上升到稳态转速的过程。

如果直接加额定电压启动,在电动机启动的瞬间, $n=0$,所以 $E_a=0$,由直流电动机的电压方程式(1—1)可知,这时的电枢电流为

$$I_{st} = \frac{U_N}{R_a} \quad (1-2)$$

式中 I_{st} ——电动机启动电流,A;

U_N ——电动机额定电压,V。

由于 R_a 很小,所以启动电流很大,可达额定电流的10~20倍。太大的启动电流会对电机本身、电网、机械传动系统产生非常大的危害,甚至毁坏电机。所以,除了小容量电动机可以采用直接启动以外,一般直流电动机不允许直接启动。由式(1—2)可知,直流电动机的启动方法有电枢串电阻启动和减压启动两种。

1. 电枢串电阻启动

启动时,电枢回路串接可变电阻 R_{st} (称为启动电阻),电动机加额定电压,这时的启动电流为

$$I_{st} = \frac{U_N}{R_{st} + R_a}$$

选择合适的启动电阻阻值,使启动电流 I_{st} 限制在电动机允许的范围內。

电动机启动后,开始加速,随着转速的升高,电枢反电动势增大,电枢电流减小,转速上升速度慢下来。因此,随着转速的升高,应把启动电阻 R_{st} 平滑地减小,直到稳定运行时全部切除。

电枢回路串电阻启动时,设备简单,初始投资较小,但在启动过程中能量消耗较多,常用在中小容量启动不频繁的直流电动机。

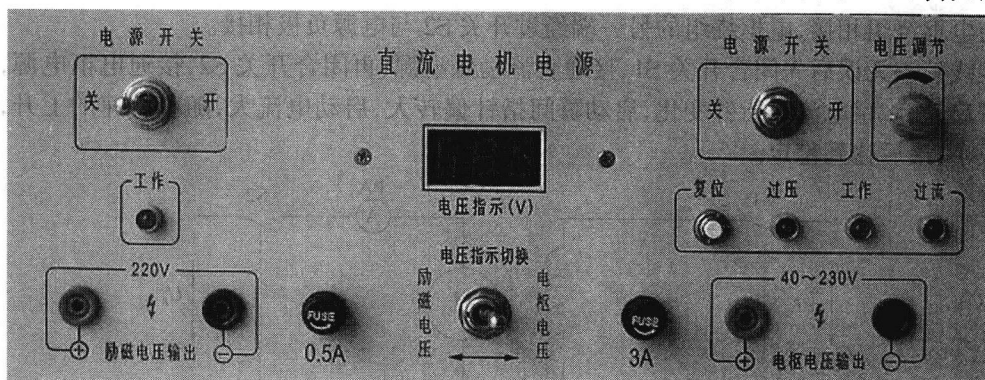
2. 减压启动

由式(1—2)可知,启动电流与电枢电压成正比,因此,降低电枢电压可以降低启动电流。采用减压启动时,直流电动机的电枢回路由专用可调直流电源供电。在实际的驱动系统中,电压的升高是由自动控制环节自动调节的,它能保证电压连续升高,并在整个启动过程中保持电枢电流为最大允许值,从而使系统在恒定的加速转矩下迅速启动,是一种比较理想的启动方法。

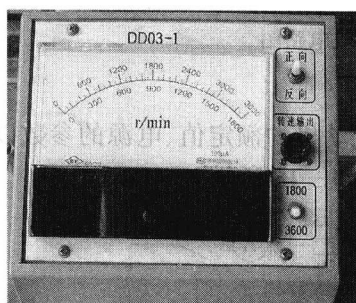
三、操作方法

1. 学会认识直流电机及相关设备的规格、量程和额定值

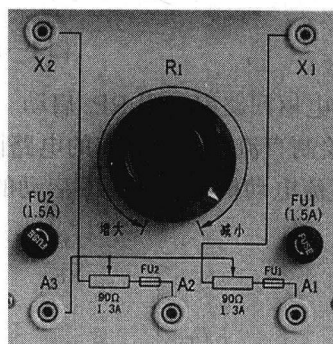
实验设备如图 1—16 所示,读出以下设备的规格、量程和额定值,并填写以下内容:



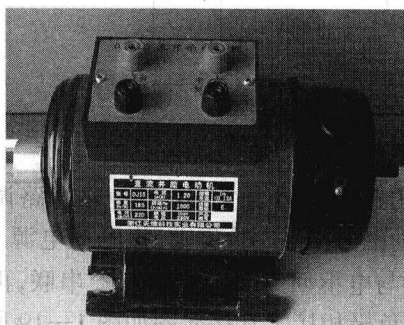
a)



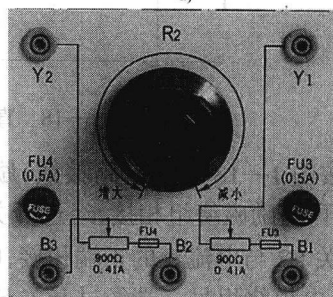
b)



d)



c)



e)

图 1—16 直流电机及相关设备

a) 直流电机电源 b) 转速表 c) 直流并励电动机 d) 电枢回路调节电阻器 e) 励磁回路调节电阻器

- (1) 直流励磁电源电压 $U_f = \underline{\hspace{2cm}}$ V;
 (2) 直流电枢电源电压 $U_a = 0 \sim \underline{\hspace{2cm}}$ V;
 (3) 励磁调节电阻 $RP_f = 0 \sim \underline{\hspace{2cm}}$ Ω ;
 (4) 电枢调节电阻 $RP_a = 0 \sim \underline{\hspace{2cm}}$ Ω ;
 (5) 转速表的测速范围 $n = 0 \sim \underline{\hspace{2cm}}$ r/min;
 (6) 直流电动机的额定值: $P_N = \underline{\hspace{2cm}}$ kW; $U_N = \underline{\hspace{2cm}}$ V; $I_N = \underline{\hspace{2cm}}$ A, $n_N = \underline{\hspace{2cm}}$ r/min。

2. 直接启动(可选做)

按图 1—17 所示接线,励磁电源 U_f 正极经过开关 S1 与励磁绕组相接,再经过开关 S1 后接到励磁电源 U_f 的负极;将电枢电源 U_a 的正极经过开关 S2 与电流表的正端相接,电流表的负端与电枢绕组相接,电枢绕组的另一端经过开关 S2 与电源负极相接。

接线检查无误后先闭合开关 S1,接通直流励磁电源;再闭合开关 S2,接通电枢电源,电动机即可启动,观察电流表指针变化,启动瞬间指针偏转大,启动电流大,随着转速的上升,电流很快减小,最后达到稳定。

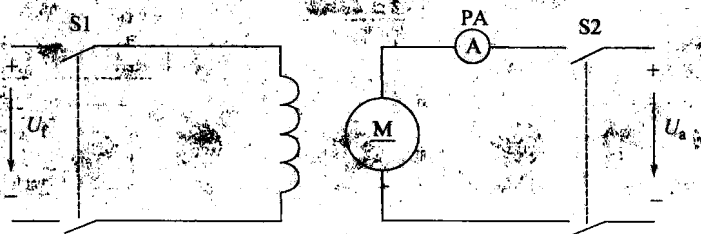


图 1—17 直接启动电动机电路图

3. 在电枢回路串电阻 RP_a 启动

(1) 绘制直流电动机串电阻的电路图。根据直流电动机的额定值、电源的参数以及任务要求,绘制直流电动机串电阻 RP_a 启动的工作电路,如图 1—18 所示。

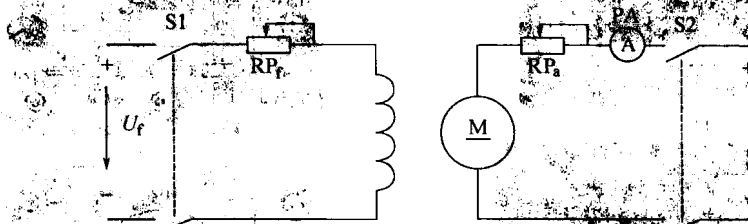


图 1—18 直流他励电动机串电阻启动电路图

(2) 按图 1—18 所示电路接线,励磁电源 U_f 的正极经过开关 S1 与励磁回路调节电阻 RP_f 串联,再与励磁绕组相接,经过开关 S1 后接到励磁电源 U_f 的负极;将电枢电源 U_a 的正极经过开关 S2 与电流表的正端相接,电流表的负端与电枢回路调节电阻 RP_a 串联,再与电枢绕组串联,电枢绕组另一端经过开关 S2 与电枢电源负极相接。其接线图如图 1—19 所示。

启动电动机前,务必将 RP_f 的阻值调到最小, RP_a 的阻值调到最大。并检查接线是否准确,电流表的接线、量程选择是否正确,电动机励磁回路接线是否牢靠。

(3) 先闭合开关 S1,接通直流励磁电源;再闭合开关 S2,接通电枢电源;启动瞬间观测电