

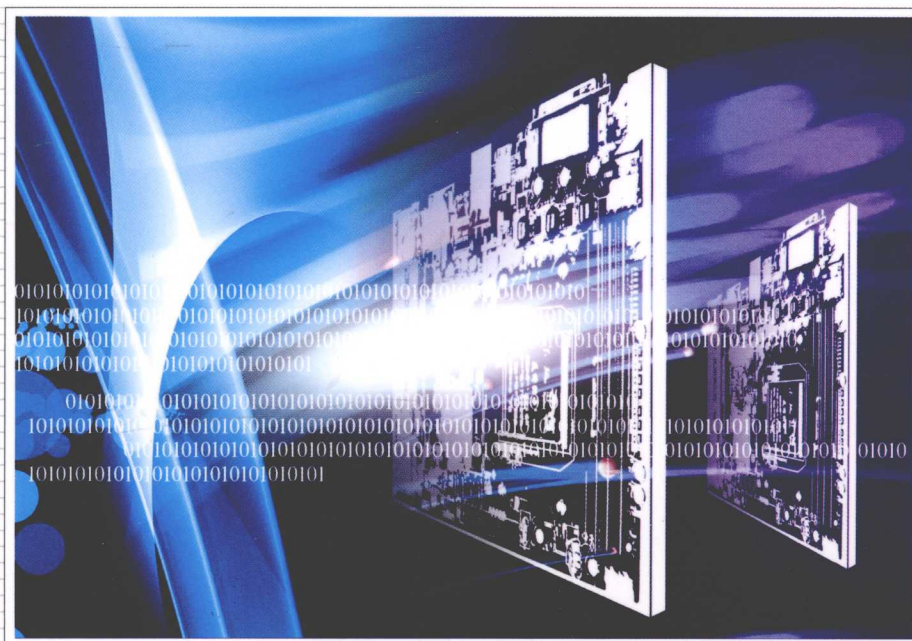


中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

电机与控制

dianji yu kongzhi

■ 主编 陈 键



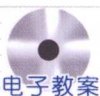
 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

封面设计: OOICA原创任玮



中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

- ☐ 数控车工
- ☐ 车工工艺与技能训练
- ☐ 钳工工艺学
- ☐ 电工学
- ☐ 电焊工工艺与技能训练
- ☐ AutoCAD2009
- ☐ 液压与气压传动
- ☐ 电器PLC控制技术
- ☐ 电工电子技术及应用
- ☐ 机电设备概论
- ☐ 铣工工艺与技能训练
- ☐ 机械加工技术
- ☐ 设备控制技术
- ☐ 极限配合与技术测量
- ☐ 极限配合与技术测量学习与实训
- ☐ 数控机床加工技术
- ☐ 金属切削原理与刀具
- ☐ 金属加工常识
- ☐ 电工技能与实训
- ☐ 电子技能与实训
- ☐ 电子电器应用维修概论
- ☐ 电子整机装配工艺与技能训练
- ☐ 家用电器技术基础与维修技术
- ☐ 电工仪表与测量
- ☐ 传感器及应用
- ☒ 电机与控制
- ☐ 通用电工电子仪表应用实训



免费电子教案下载地址

www.bitpress.com.cn



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

通信地址: 北京市海淀区中关村南大街5号

邮政编码: 100081

咨询电话: (010)68944990 68944919

网 址: www.bitpress.com.cn

ISBN 978-7-5640-2435-2



9 787564 024352 >

定价: 12.00元

21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

电 机 与 控 制

主 编 陈 键

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书是根据教育部颁布的《中等职业教育电子电器应用与维修专业教学指导方案》中主干课程《电机与控制教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的，其任务是使学生掌握从事电子电器应用与维修工作所必需的基本技能，初步形成解决实际问题的能力，为学习专业知识和培训职业技能打下基础。

根据中等职业教育培养目标，结合“维修电工”初、中级职业资格证书考核要求，此次定稿致力于培养学生的基本技能，力求反映新知识、新技术、新工艺、新方法，用定性的分析来阐明物理概念，避免过多的数学分析，使学生好学、乐学。加重了实践技能训练环节的比例，突出学生知识个性培养，加强了对基本控制环节、典型设备电气控制的分析，努力使学生对所学知识能举一反三、融会贯通，达到“维修电工”初、中级职业资格证书的要求。

全书内容具有通用性、典型性、实用性，是广大电气运行与控制专业技术人员在生产实践中广为使用与应该掌握的知识。

本书可作为三年制中等职业教育电气类专业的教材，也可供相关专业的师生、从事现场工作的电气工程人员参考。

版权专用 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与控制/陈键主编. —北京: 北京理工大学出版社,
2009. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2435 - 2

I. 电… II. 陈… III. 电机—控制系统—专业学校—教材 IV. TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 112134 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / [http://www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 7.5

字 数 / 180 千字

版 次 / 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 12.00 元

责任校对/陈玉梅

责任印制/母长新

图书出现印装质量问题，本社负责调换

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的初级阶段。目前,中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社组织编写了《21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入:

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式,注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学,吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时,为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际,注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入,在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想,在本系列教材的内容编写上,我们坚持以下一些原则:

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上,根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性,以相关行业和区域经济状况为依托,特别强调面向岗位群体的指向性,淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势,保证学生的岗位适应能力得到训练,使其有较强的择业能力,从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时,注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容,但随着社会发展和科技进步,及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”,“人有我精”或“众有我新”,科学预测人才需求远景和人才培养的周期性,以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向,参考发达地区的发展历程,力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快,科技迅猛发展引起技术手段不断更新,用人机制的改革使人才转岗频繁,由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽,当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中取职业教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基本理论,基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;中等职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

前 言



本书是根据教育部颁布的《中等职业教育电子电器应用与维修专业教学指导方案》中主干课程《电机与控制教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的，其任务是使学生掌握从事电子电器应用与维修工作所必需的基本技能，初步形成解决实际问题的能力，为学习专业知识和培训职业技能打下基础。

根据中等职业教育培养目标，结合“维修电工”初、中级职业资格证书考核要求，此次定稿致力于培养学生的基本技能，力求反映新知识、新技术、新工艺、新方法，用定性的分析来阐明物理概念，避免过多的数学分析，使学生好学、乐学。加重了实践技能训练环节的比例，突出学生知识个性培养，加强了对基本控制环节、典型设备电气控制的分析，努力使学生对所学知识能举一反三、融会贯通，达到“维修电工”初、中级职业资格证书的要求。

全书内容具有通用性、典型性、实用性，是广大电气运行与控制专业技术人员在生产实践中广为使用与应该掌握的知识。

本书可作为三年制中等职业教育电气类专业的教材，也可供相关专业的师生、从事现场工作的电气工程人员参考。

应该说，本书亦有诸多不尽完善，一些深层次的技术内容还应当拓展，图解的含义、选择画面的角度及其透视效果等，的确存在不少缺陷，这些有待修订时提高。由于编者水平有限，难免存在错误、不足与疏漏，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 直流电动机	1
第一节 直流电动机的结构和分类	1
第二节 直流电机的基本原理与结构	3
第三节 直流电动机的启动、反转和调速	7
第四节 其他类型的直流电动机	11
第五节 直流电动机常见故障的检修	15
第二章 单相异步电动机	19
第一节 单相异步电动机的基本结构和工作原理	19
第二节 单相异步电动机的分类	26
第三节 单相异步电动机的反转和调速	31
第四节 单相异步电动机常见故障的检修	36
第三章 单相串励电动机	41
第一节 单相串励电动机的基本结构和工作原理	41
第二节 单相串励电动机的运行特性	43
第三节 单相串励电动机的反转和调速	44
第四节 单相串励电动机常见故障的检修	46
第四章 三相异步电动机	47
第一节 三相异步电动机的结构与工作原理	47
第二节 三相异步电动机的运行特性	55
第三节 三相异步电动机的反转、启动和调速	56

第五章 其他类型的电动机简介	60
第一节 单相同步电动机	60
第二节 步进电动机	62
第六章 日用电器中的电动机及其控制	66
第一节 洗衣机电动机及其控制	66
第二节 电风扇电动机及其控制	72
第三节 空调器电动机及其控制	82
第四节 其他家用电器中的电动机原理及其控制	85
第七章 电动机维修实训	91
实训一 直流电动机维修实训	91
实训二 单相异步电动机维修实训	96
实训三 洗衣机电动机的检修实训	98
实训四 电冰箱与空调器控制电路实训	103
附 录	104

直流电动机



本章概述

直流电动机使用直流电源,与交流异步电动机相比,直流电动机具有更好的启动和运行性能,因此直流电动机应用在要求携带方便、在特殊场合使用或对电动机的性能要求较高的家用电器中,例如电子音像设备、办公设备、清洁、美容保健、医疗用的器械、仪器仪表、电动玩具等。



学习目标

1. 了解直流电动机的结构和分类;
2. 掌握直流电动机的基本原理与结构;
3. 掌握直流电动机的常见故障及检修。

* * * * *

第一节 直流电动机的结构和分类

一、直流电动机的基本结构

直流电动机的基本结构也是由定子、转子和结构件(端盖、轴承等)三大部分所组成。图 1-1 是一台电磁式直流电动机的结构示意图。

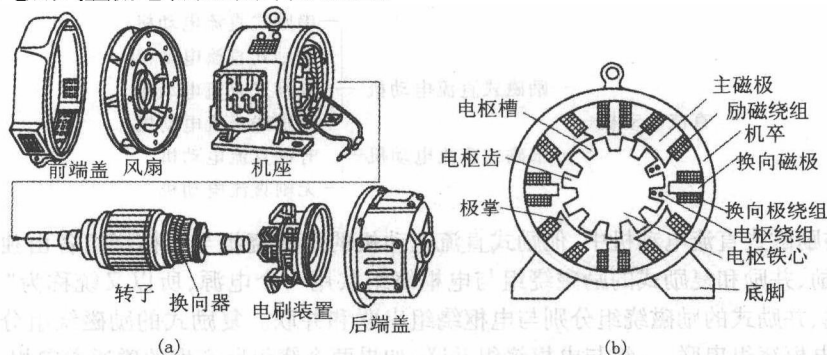


图 1-1 电磁式直流电动机结构图

(a) 立体图;(b) 剖面图

1. 定子

定子包括机座、主磁极、换向磁极、前、后端盖和电刷装置等几个部分。

(1) 主磁极 主磁极的作用是产生主磁场,由主磁极铁芯和主磁极绕组两部分组成,主磁极安装在机座上。直流电动机的机座也是磁路的一个组成部分,因此由铁磁性材料制成。日用电器使用的直流电动机多为永磁式直流电动机,其主磁极用永久磁铁制成。

(2) 换向磁极 直流电动机的换向是一个比较复杂的过程。在换向时,会在电刷与换向器的接触面上产生火花,不利于电动机的运行,因此一般的直流电动机上都装有换向磁极来减小火花,以改善电动机的换向性能。换向磁极也由铁芯和绕组构成,安装在两个相邻的主磁极间的中性线上(如图 1-1(b)所示)。换向磁极的绕组一般与电枢绕组串联。在日用电器中使用的永磁式直流电动机的功率较小,由于结构限制一般不装换向磁极。

(3) 端盖和电刷装置 在前、后端盖内装有轴承,用以支撑电枢。后端盖上还固定有电刷装置。电刷装置由电刷、刷握、刷杆、刷杆座、弹簧等组成,电刷(碳刷)放在刷握内,由弹簧对电刷产生径向压力以和换向器保持紧密接触。刷握固定在刷杆上,刷杆则固定在刷杆座上,从而构成一个部件整体(如图 1-1(a)所示)。

2. 转子(电枢)

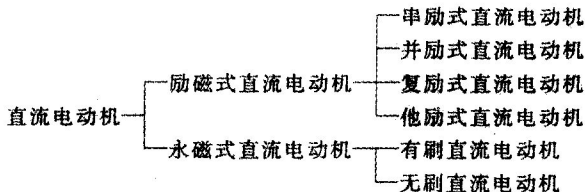
根据对直流电动机运转原理的分析,可见转子是直流电动机实现能量转换的枢纽,所以又称之为“电枢”。电枢包括电枢铁芯、电枢绕组及换向器。

(1) 电枢铁芯和电枢绕组 电枢绕组由嵌放在电枢铁芯槽内的线圈按一定规律连接而成,线圈嵌入铁芯槽后用槽楔压紧。铁芯槽有直槽和斜槽之分。

(2) 换向器 换向器也是直流电动机的一个关键部件,电枢绕组的线头接到换向器的铜片上,换向器与电刷保持滑动接触,使电枢电路与外电路保持接通,并将外电路的直流电流转换成电枢电路的交流电流。换向器由铜片和云母片一片隔一片均匀地排列成圆形,再经过压装而成。

二、直流电动机的分类

根据定子磁场的不同,直流电动机主要可分为永磁式和励磁(电磁)式两大类,永磁式可分为有(电)刷和无(电)刷两类,而励磁式根据励磁绕组通电方式的不同,又可分为串励、并励、复励和他励四类。



在四类励磁式直流电动机中,他励式直流电动机的励磁绕组与电枢绕组各由独立的电源供电,而串励、并励和复励式的励磁绕组与电枢绕组共用一个电源,所以又统称为“自励式”。其中串励式、并励式的励磁绕组分别与电枢绕组串联和并联。复励式的励磁绕组分为两个绕组,一组与电枢绕组串联,一组与电枢绕组并联;如果两个绕组所产生的磁通方向相一致,则称为积复励;如果两个绕组所产生的磁通方向相反,则称为差复励。励磁式直流电动机的绕组连接方式如图 1-2 所示。

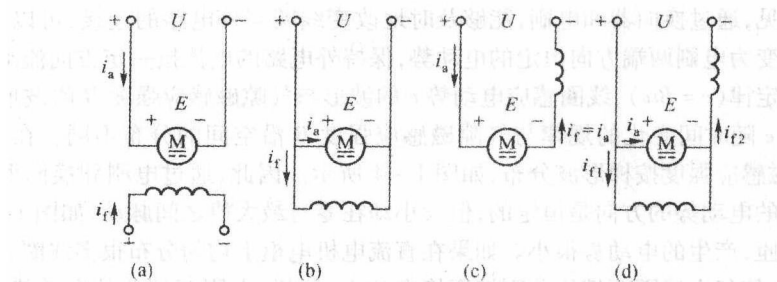


图 1-2 励磁式直流电动机的绕组连接方式

(a) 他励式; (b) 并励式; (c) 串励式; (d) 复励式

第二节 直流电机的基本原理与结构

直流电机是根据导体切割磁力线产生感应电动势和载流导体在磁场中受电磁力的作用这两条基本原理制造的。因此,从结构上看,任何电机都包括磁路和电路两部分;从原理上讲,任何电机都体现了电和磁的相互作用。

一、直流电机的工作原理

1. 直流发电机工作原理

两极直流发电机原理如图 1-3 所示。图中 N、S 是一对在空间固定不动的磁极,磁极可以由永久磁铁制成,也可以在磁极铁芯上绕以通有直流电流的励磁绕组来产生 N、S 极。在 N、S 磁极之间装有铁磁性物质构成的圆柱体,圆柱体外表面开槽并在其中嵌放线圈 abcd,整个圆柱体可在磁极内部旋转,能够转动的部分称为转子或电枢。电枢线圈 abcd 的两端分别与固定在轴上相互绝缘的两个半圆铜环(换向片)相连接,构成了简单的换向器。换向器通过静止不动的电刷 A 和 B,将电枢线圈与外电路相接。

电枢由原动机拖动,以恒定转速按逆时针方向旋转。当线圈有效边 ab 和 cd 切割磁力线时,便在其中产生感应电动势,其方向用右手定则确定。如图 1-3 所示瞬间,导体 ab 中的电动势方向由 b 指向 a,导体 cd 中的电动势则由 d 指向 c,从整个线圈来看,电动势的方向为 d 指向 c 通过端部连接线 cb,再由 b 指向 a。因此外电路中的电流自换向片 1 流至电刷 A,然后经过负载流至电刷 B 和换向片 2,进入线圈。此时,电流流出线圈处的电刷 A 为正电位,用“+”表示;而电流流入线圈处的电刷 B 则为负电位,用“-”表示。也就是电刷 A 相当于电源的正极,电刷 B 相当于电源的负极。

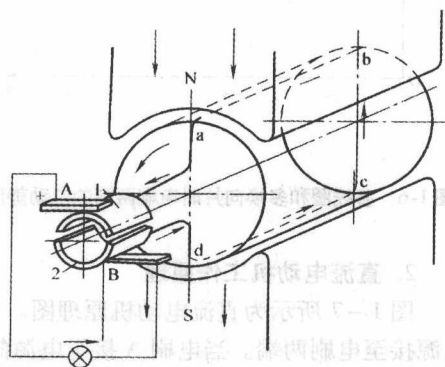


图 1-3 直流发电机工作原理

电枢旋转 180° 后,导体 ab 和 cd 以及换向片 1 和 2 的位置同时互换,电刷 A 通过换向片 2 与导体 cd 相连接,此时由于导体 cd 取代了原来 ab 转到 N 极下,所以电刷 A 的极性仍然为正;同时电刷 B 通过换向片 1 与导体 ab 相连接,而导体 ab 此时已转到 S 极下,因此,电刷 B 的极

性仍然为负。可见,通过换向器和电刷,能够及时地改变线圈与外电路的连接,可以使线圈产生的交变电动势变为电刷两端方向恒定的电动势,保持外电路的电流按一定方向流动。

由电磁感应定律($e = Blv$),线圈感应电动势 e 的波形与气隙磁感应强度 B 的波形相同,即线圈感应电动势 e 随时间变化的规律与气隙磁感应强度 B 沿空间的分布不同。在直流电机中,磁极下气隙磁感应强度按梯形波分布,如图 1-4 所示。因此,通过电刷和换向器的作用,电刷两端所得到的电动势的方向是恒定的,但大小却在零与最大值之间脉动,如图 1-5 所示。由于线圈只有一匝,产生的电动势很小。如果在直流电机电枢上均匀分布很多线圈,并相应增多换向片的数目,使每个线圈两端均分别接至换向片上,这样,电刷两端总的电动势脉动值将显著减小,如图 1-6 所示,同时其值也大为增加。由于直流电机中线圈、换向片数目很多,因此,可以认为电刷两端的电动势是恒定的直流电动势。

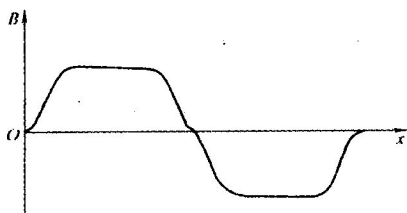


图 1-4 直流电机气隙磁感应强度 B 分布波形

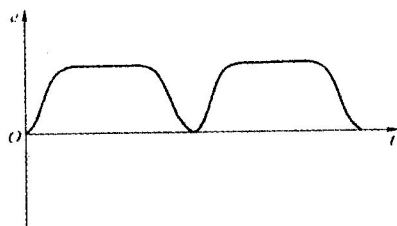


图 1-5 直流发电机电枢两端电动势波形

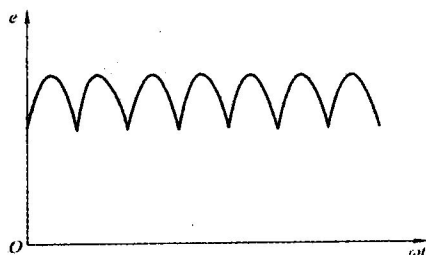


图 1-6 多线圈和多换向片时电刷两端的电动势波形

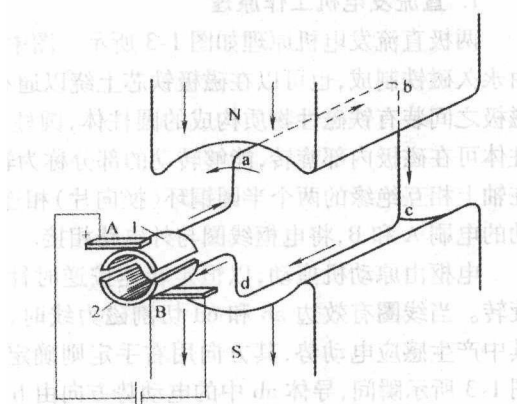


图 1-7 直流电动机工作原理

2. 直流电动机工作原理

图 1-7 所示为直流电动机原理图。直流电动机基本结构与发电机完全相同,只是将直流电源接至电刷两端。当电刷 A 接至电源的正极,电刷 B 接至负极,电流将从电源正极流出,经过电刷 A、换向片 1、线圈 abcd 到换向片 2 和电刷 B,最后回到负极。根据电磁力定律,载导体在磁场中受电磁力的作用,力的方向由左手定则确定。如图 1-7 所示导体 ab 所受电磁力方向向左,而导体 cd 所受电磁力的方向向右,这样就产生了一个转矩。在此转矩的作用下,电枢便按逆时针方向旋转起来。当电枢从图 1-7 所示的位置转过 90° 时,电刷不与换向片接触而与换向片间的绝缘物接触,这时线圈中电流为零,因而电枢旋转的转矩消失。由于机械惯

性,电枢仍能转过一个角度,使电刷 A、B 分别与换向片 2、1 接触,于是线圈中又有电流流过。此时电流从正极流出,经过电刷 A、换向片 2、线圈到换向片 1 和电刷 B,最后回到电源负极,此时导体 ab 中的电流改变了方向,同时导体 ab 已由 N 极下转到 S 极下,其所受电磁力方向向右。同时,处于 N 极下的导体 cd 所受的电磁力方向向左。因此,在转矩的作用下,电枢继续沿着逆时针方向旋转。因此电枢便一直旋转下去,这就是直流电动机的基本原理。

由上可知,直流电动机电刷位置固定,直流电流经电刷和换向片接入处于 N 极(或 S 极)下的线圈,而不是恒接入某个线圈,所以产生的转矩是脉动的。如果每极换向片数增至 8 片以上(相应也增加线圈数),就可得到几乎不变的转矩。

直流电机可作发电机运行,也可作电动机运行,这就是直流电机的可逆原理。如果原动机拖动电枢旋转,通过电磁感应,将机械能转换为电能供给负载,这就是发电机;如果由外部电源供给电机,由于载流导体在磁场中受到电磁力的作用,产生电磁转矩拖动负载转动,又成为直流电动机。

二、直流电动机的电磁转矩和电压平衡方程

1. 电磁转矩

和交流电动机一样,直流电动机的电磁转矩也是载流的转子导体在磁场中受电磁力作用而产生的,所以电磁转矩 T 与磁通 Φ 及电枢电流 I_a 成正比。即

$$T = C_T \Phi I_a \quad (1-1)$$

式中 C_T 为与电机结构有关的转矩常数。

2. 电枢电动势

当直流电动机转动时,电枢绕组因切割磁感应线而产生的感应电动势称为电枢电动势,电枢电动势也与磁通 Φ 成正比,而且还与导体切割磁感应线的速度(即电动机的转速 n)成正比,即

$$E = C_e \Phi n \quad (1-2)$$

式中 C_e 为电动势常数,也是取决于电机的结构。

3. 电枢回路的电压平衡方程式

由直流电动机的电枢回路(如图 1-8 所示),可列出电枢回路的电压平衡方程式

$$U = E + R_a I_a \quad (1-3)$$

$$\text{或} \quad I_a = \frac{U - E}{R_a} \quad (1-4)$$

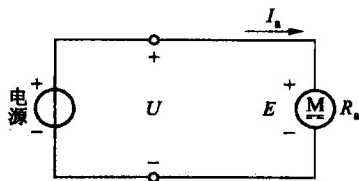


图 1-8 直流电动机的电枢回路

式中的 U 为电源电压, R_a 为电枢回路的电阻,通常 R_a 很小,所以 E 与 U 很接近,由图可见 E 为反电动势,即与外加电压的方向相反。

例 1-1 一台直流电动机在正常运行时外加直流电源电压为 220V,电枢电流为 10 A,电枢电阻为 0.5Ω,试求反电动势。

解: $E = U - R_a I_a = (220 - 0.5 \times 10) \text{ V} = 215 \text{ V}$

三、直流电动机的机械特性

1. 他励(并励)式电动机的机械特性

直流电动机的机械特性也是指其转矩 T 与转速 n 之间的关系。在他励(或并励)式直流

电动机中,如果励磁电压不变,磁通 Φ 也就恒定不变。由式(1-1)、(1-2)、(1-3)可推出

$$n = \frac{E}{C_e \Phi} = \frac{U - R_a I_a}{C_e \Phi} = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a}{C_e C_T \Phi^2} T = n_0 - \Delta n \quad (1-5)$$

将式(1-5)所示的 $T-n$ 关系用曲线画出,就是直流电动机的机械特性曲线,如图 1-9 所示。

由式(1-5)中的第一项 n_0 :若 $T=0$,则 $n=U/(C_e \Phi)=n_0$, n_0 为曲线与纵坐标轴的交点,称为“理想空载转速”,当 $U、\Phi$ 不变时, n_0 为一定值。

由式(1-5)中的第二项 Δn :因磁通 Φ 恒定, $C_e、C_T$ 为常数, R_a 为电枢回路的电阻,也基本为一定值,所以 $R_a/(C_e C_T \Phi^2)$ 可视为常数,转速降 $\Delta n \propto T$, $T-n$ 之间为线性关系,由图 1-9 可见直流电动机的机械特性曲线为一条略为下垂的直线。这是因为 R_a 很小,所以 Δn 也很小,随着转矩 T 的增加而转速 n 略有下降。一般从空载到满载,电动机的转速降 Δn 仅为额定转速的 5%~10%。由此可见,(他励、并励式)直流电动机具有较“硬”的机械特性,因而被广泛应用于要求转速较稳定且调速范围较大的场合。

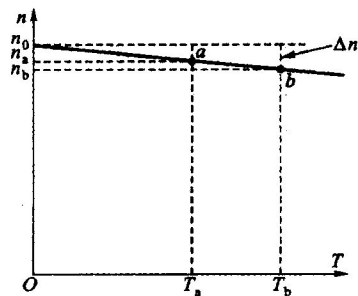
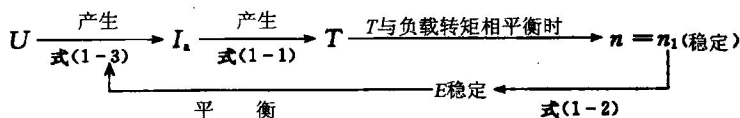


图 1-9 直流电动机的机械特性

注:所谓“硬”的机械特性,是指机械特性曲线的工作段较接近于水平,即当负载转矩在一定范围内变化时,转速的变化很小。反之,所谓机械特性很“软”,是指机械特性曲线的工作段斜率较大,在负载转矩变化时引起的转速变化较大。

综合式(1-1)~式(1-5)所反映的直流电动机内部各物理量之间的关系,可分析直流电动机在运行时内部各物理量的调节和能量平衡的关系。

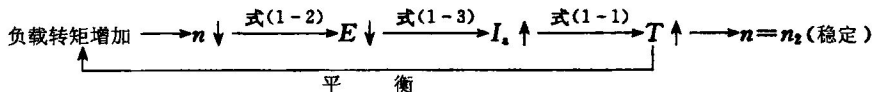
(1) 当电动机稳定运行时



设此时工作点为(如图 1-9 所示)机械特性曲线上的 a 点。

(2) 当电动机的负载变化时(以负载增加造成转速下降为例)

电动机内部的自动调节过程为



调节后电动机的工作点为(如图 1-9 所示)机械特性曲线的 b 点。

注:①以上分析是以磁通 Φ 恒定为前提;②数字为公式号,即由该公式反映前、后两个物理量之间的因果关系。

由以上分析可见,直流电动机的反电动势 E (式(1-2))的作用是:当电动机的机械负载变化时,通过 E 的变化反映到电枢电路,引起电流的变化。当电动机转轴上输出的机械功率增加时,电动机电枢电路输入的电功率也要相应增加,以实现能量的平衡。电动机的工作磁场是实现机-电能量转换的“媒介”,而电枢反电动势 E 可视为实现这一转换的标志。

永磁式直流电动机的主磁极用永久磁铁制成,其磁场基本恒定,因此永磁式直流电动机的机械特性和他励(并励)式直流电动机的机械特性基本一致。

在此需要指出的是:他励或并励式直流电动机在运行时,切不可断开其励磁绕组,否则励磁电流为零,铁芯中仅剩微弱的剩磁,因磁通 Φ 小,反电动势 E 也很小,在电源电压 U 一定时,电枢电流 $I_a = (U - E)/R_a$ 将骤升,转矩 T 也因 I_a 的升高而急剧上升,以致超过安全限度,这种现象称之为“飞车”,是很危险的。飞车现象在电动机空载或轻载运行时更容易发生,而在满载运行时则出现另一种可能:因磁通 Φ 减少的程度大于 I_a 增加的程度,从而使转矩 T 反而减小,造成电动机堵转(所谓“堵转”,是指电动机带负载时,若电动机的动力转矩小于负载转矩,导致电动机转动不起来,转速为零)。堵转时因, $n = 0, E = 0$, 堵转电流 $I_a = U/R_a$ 同样很大。无论哪一种情况,都会造成电动机严重损坏甚至引起严重的事故。所以励磁式直流电动机一般设有失磁保护,当电动机的工作磁场消失时能自动切断电源使电动机自动停机。当然永磁式直流电动机一般没有这个问题。

2. 串励式电动机的机械特性

串励式直流电动机的励磁绕组与电枢绕组串联,励磁电流就是电枢电流,其特点是工作磁通 Φ 随负载变化。当负载增加时,电流增加,若磁路未饱和,可认为磁通 Φ 与电枢电流成正比,则电磁转矩大大增加(因 $T = C_T \Phi I_a, \Phi \propto I_a$, 所以 $T \propto I_a^2$), 转速 n 随之显著下降;反之若负载减小,电流减小,磁场减弱,转矩下降,转速却急剧上升。可见串励式直流电动机具有软的机械特性,由图 1-10 可见,电动机空载时转速很高,满载时转速很低。这种机械特性对电动工具很适用。串励式直流电动机适用于负载经常变化而对转速不要求稳定的场合,当负载增加时,转速将自动降低,而其输出功率却变化不大。

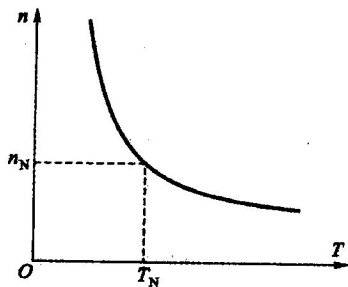


图 1-10 串励式直流电动机的机械特性

因串励式直流电动机的电磁转矩与电枢电流的平方成正比,因此当转矩增加很多时,电流却增加不多,所以串励式直流电动机具有较强的过载能力。但是在轻载时转速将很高,空载时将出现“飞车”,因此绝不允许空载或轻载运行,在启动时至少要带上 20% ~ 30% 的额定负载。此外,还规定这种电动机与负载之间只能是齿轮或联轴器传动,而不能用皮带传动,以防皮带滑脱而造成“飞车”事故。

至于复励式直流电动机的机械特性,则介于上述两种电动机的机械特性之间,适用于启动转矩较大而转速变化不大的负载。

第三节 直流电动机的启动、反转和调速

一、直流电动机的启动

直流电动机从接通电源开始,转子转速由静止升高到额定值的过程,称为启动过程。启动过程中,不但转速在变化,电流、转矩也在变化。直流电动机有全压启动、变阻器启动和降压启动三种方法。