



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材
国家工科电工电子教学基地教材

电工电子基础

Circuit Principle and Motor Control

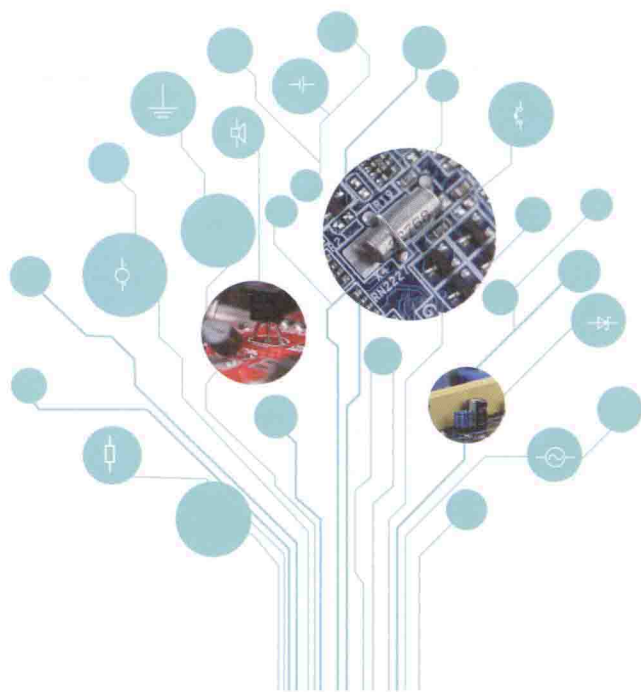
电路原理与电机控制

李承 徐安静 主编

Li Cheng Xu Anjing

林红 张鄂亮 李群 张浩 周鑫霞 参编

Lin Hong Zhang Eliang Li Qun Zhang Hao Zhou Xinxia



清华大学出版社



教育部高等学校电子信息类专业教学指导
高等学校电子信息类专业系列教材

Circuit Principle and Motor Control

电路原理与电机控制

李承 徐安静 主编

Li Cheng Xu Anjing

林红 张鄂亮 李群 张浩 周鑫霞 参编

Lin Hong Zhang Eliang Li Qun Zhang Hao Zhou Xinxia

清华大学出版社

内 容 简 介

本书主要内容包括电路基本概念,等效电路,电路一般分析方法,交流电路分析,三相电路分析,动态电路分析,非正弦电路分析,双口网络,磁路与变压器、交流异步电动机原理、特性、启动与制动,交流电动机继电-接触控制,可编程控制器原理与应用等。

本书较全面地介绍了电路分析核心内容,同时考虑到不同专业特点,介绍了电路原理与电机控制等。书中每章有小结、习题,其中绝大部分习题都附有答案,便于教学和自学。本书可作为高等学校机电类专业电路或电工技术等课程的教材,也可作为电类专业少学时电路课程教学参考用书;还可供有关工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电路原理与电机控制/李承,徐安静主编.--北京:清华大学出版社,2014

高等学校电子信息类专业系列教材

ISBN 978-7-302-36951-6

I. ①电… II. ①李… ②徐… III. ①电路理论—高等学校—教材 ②电机—控制系统—高等学校—教材 IV. ①TM13 ②TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 135679 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:23

字 数:573 千字

版 次:2014 年 12 月第 1 版

印 次:2014 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00 元

产品编号:057279-01

高等学校电子信息类专业系列教材

一 顾问委员会

谈振辉	上海交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科技大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

一 编审委员会

主 任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘 旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委 员	王志华	清华大学	宋 梅	北京邮电大学
	韩 焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪 伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾 云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢 泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴 瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李 晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡 毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江 毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	谢凯年	赛灵思公司
	刘铁根	天津大学	张伟刚	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	宋 峰	南开大学
	苑立波	哈尔滨工程大学	靳 伟	香港理工大学
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

序

FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新兴的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

前言

PREFACE

本教材分为上、下两篇,分别介绍了电路与电机控制两部分基本内容。

电路理论作为一门独立的学科大约形成于 20 世纪 30 年代。在此之前,它是物理学中电磁学的一个分支。电路理论是研究电路的基本规律及其计算方法的学科,在经历了近一个世纪的漫长发展道路后,它已发展成为一门具有完整体系的学科,并且在生产实践中获得了极其广泛的应用。

德国物理学家基尔霍夫(G. R. Kirchhoff)的成果为电路理论发展奠定了基础。1847 年,刚满 23 岁的大学生基尔霍夫发表了划时代论文“研究电流线性分布所得到的方程的解”,文中提出了分析电路的第一定律(电流定律 KCL)和第二定律(电压定律 KVL),同时确定了网孔回路分析法的原理。后人曾从麦克斯韦方程组推导出电路理论体系的 KCL 和 KVL,这充分表明了电磁场问题与电路问题之间存在着必然的内在联系。电路理论的发展过程中,经历了经典电路理论发展阶段、现代电路理论发展阶段和电路与系统理论发展阶段。从电路理论发展进程及其所包含的内容来看,人们常把欧姆(1827 年)和基尔霍夫(1847 年)的贡献作为这门学科的起点,从这个起点到 20 世纪 50 年代的这一段时期称为“经典电路理论发展阶段”,20 世纪 60 年代到 70 年代这一段时期称为“近代电路理论发展阶段”,而 20 世纪 70 年代以后的时期称为“电路与系统理论发展阶段”。目前,电路理论已成为现代科学技术基础理论中一门活跃、举足轻重而又有着广阔发展前景的引人瞩目的学科。

电机的发展大体上可以分为四个阶段:直流电机、交流电机、控制电机和特种电机。

异步电机是由意大利物理学家和电气工程师费拉里斯于 1885 年发明的。在 1888 年提出的实验报告中,对旋转磁场作了严格的科学描述,为后来开发异步电动机、自起动电动机奠定了基础。费拉里斯所提出的旋转磁场理论以及他所开发的产品在科学上的价值远远超过物质上的价值。一年之后,Mikhail Dolivo-Dobrovolsk 发明笼型异步电机。异步电机发展迅速,对于相同大小的异步电机,额定功率由 1897 年的 5.5kW 发展到 1976 年的 74.6kW。现在,鼠笼型异步电机是使用最广泛的异步电机。

电动机作为最主要的电能转换为机械能的装置,应用范围已遍及国民经济的各个领域和人们的日常生活。无论是在工农业生产,交通运输,国防,航空航天,医疗卫生,商务和办公设备中,还是在日常生活的家用电器和消费电子产品中,都大量使用着各种各样的电动机。据资料显示,在所有动力资源中,百分之九十以上来自电动机。同样,我国生产的电能中有百分之六十是用于电动机的。电动机已经与人类的生存活动密不可分。电机的继电器-接触控制至今依然是电机控制中主要控制形式之一。

本书可作为工科学生学习电路与电机控制课程的教材,电路部分主要内容有电路基本

概念、等效电路、电路的一般分析方法、交流电路分析、三相电路分析、动态电路分析、非正弦电路分析、双口网络等；电机与控制部分主要内容有磁路与变压器、交流异步电动机原理、电动机特性、电动机启动与制动、交流电动机继电-接触控制、可编程控制器原理与应用。

本教材是为我校机电专类生学习电路、电机控制课程而编写的，内容的取舍、安排主要考虑了内容要适合高等学校相关专业对电路、电工教学的需要，特别是学科交叉与融合的需要，同时也体现本学科的研究成果与技术发展现状。

根据对我校机电类学生的教学要求，在教材编写中，对传统的教材内容做了精选，将学生最需要的基础知识和本课程的核心内容部分都做了一定的加深或扩充，同时力求明了、便于学生学习。本书的特点有：

(1) 加强并突出了电路原理部分的内容，使学生对电路原理的内容有更多、更深的了解与掌握。加强了受控源和双口网络等问题讨论，使电路原理部分的内容更完整。

(2) 精简了有关电机的内容。实际教学中，突出重点，精简内容，本教材主要讨论了异步电动机，没有讨论直流电机和控制电机等内容。同时，突出了电机传动与控制内容。

(3) 考虑到 PLC 的实用性，在最后一章还是编入了 PLC 原理与应用，不同专业可以根据需要取舍。

在编写中，我们力求体现内容丰富、重点突出、适应性强、体现发展等特点。既处理好重要内容、较重要内容与一般内容的关系；也处理好打好基础、面向应用与新技术介绍的关系。立足于有利于学生建立坚实基础、增强创新意识、培养实践能力；立足于有利于学生学以致用，为解决实际工程问题打下基础。

本书由华中科技大学电工学课程组编写，其中张鄂亮编写了第 1、5、8 章，李群编写了第 2、3 章，李承编写了第 4、9、12 章，徐安静编写了第 6 章，林红编写了第 7、10 章，张浩编写了第 11 章，周鑫霞编写了第 13 章。李承、徐安静任主编，并负责全书统稿。

由于工作繁忙，加上编者水平所限，错误与疏漏之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2014 年 10 月于华中科技大学

目录

CONTENTS

上篇 电路原理

第 1 章 电路的基本概念与基本定律	3
1.1 电路组成与电路模型	3
1.1.1 电路的组成	3
1.1.2 电路模型	4
1.2 电路的基本物理量及其参考方向	4
1.2.1 电流及其参考方向	4
1.2.2 电压及其参考方向	5
1.2.3 功率与关联参考方向	6
1.3 电阻元件与欧姆定律	7
1.3.1 线性电阻	7
1.3.2 非线性电阻	7
1.4 独立电源	8
1.4.1 理想电压源	8
1.4.2 理想电流源	9
1.4.3 实际电源的电压源模型与电流源模型	10
1.5 基尔霍夫定律	11
1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	12
1.5.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	13
本章小结	14
习题	15
第 2 章 电路中等效的问题	17
2.1 二端网络的端口等效	17
2.2 电阻元件的串并联等效	18
2.2.1 电阻元件的串联与等效	18
2.2.2 电阻元件的并联与等效	19
2.3 电源的等效变换	20
2.3.1 电压源的串联和并联	20
2.3.2 电流源的并联和串联	22
2.3.3 戴维南电路、诺顿电路及其等效变换	23
2.4 受控电源与二端网络输入电阻	26
2.4.1 受控电源	26
2.4.2 二端网络的输入电阻	32

2.5 电路的星形连接与三角形连接的等效变换	34
2.5.1 三端电路的等效概念	34
2.5.2 星形连接与三角形连接电路的等效变换	34
本章小结	37
习题	38
第3章 电路的一般分析方法	41
3.1 支路分析法	41
3.1.1 支路分析法的概念	41
3.1.2 支路分析法应用举例	43
3.2 回路分析法	45
3.2.1 回路分析法的概念	45
3.2.2 回路分析法应用举例	47
3.3 节点分析法	49
3.3.1 节点分析法的概念	49
3.3.2 节点分析法应用举例	50
*3.4 电路拓扑的概念	53
3.4.1 图的基本概念	53
3.4.2 有向图关联关系的矩阵表示	57
*3.5 割集分析法	61
本章小结	63
习题	64
第4章 线性电路的基本定理	67
4.1 替代定理	67
4.1.1 替代定理内容	67
4.1.2 替代定理举例	68
4.2 叠加定理	69
4.2.1 叠加定理的内容	69
*4.2.2 电路的几个线性关系	72
4.3 戴维南定理与诺顿定理	74
4.3.1 戴维南定理	74
4.3.2 诺顿定理	79
4.3.3 最大功率传输	82
*4.4 特勒根定理	85
4.4.1 特勒根定理	85
4.4.2 特勒根定理应用举例	85
4.5 互易定理	87
4.5.1 网络的互易性	87
4.5.2 互易定理	87
4.5.3 应用举例	89
本章小结	89
习题	90

第 5 章 电路的暂态过程分析	94
5.1 电容元件与电感元件	94
5.1.1 电容元件	94
5.1.2 电感元件	97
5.2 换路定则与电压和电流初值的确定	100
5.2.1 换路与换路定则	100
5.2.2 电路中电压与电流初始值的确定	101
5.3 一阶电路的零输入响应	104
5.3.1 一阶 RC 电路的零输入响应	104
5.3.2 一阶 RL 电路的零输入响应	107
5.4 一阶电路的零状态响应	109
5.4.1 一阶 RC 电路的零状态响应	109
5.4.2 一阶 RL 电路的零状态响应	111
5.5 一阶电路的全响应与三要素法	112
5.5.1 一阶电路的全响应	112
5.5.2 一阶电路分析的三要素法	113
* 5.6 阶跃函数与一阶电路的阶跃响应	117
5.6.1 阶跃函数的概念与应用	117
5.6.2 一阶电路的单位阶跃响应	118
5.6.3 RC 电路对矩形脉冲的响应	118
* 5.7 冲激函数与一阶电路的冲激响应	121
5.7.1 冲激函数的概念	121
5.7.2 一阶电路的冲激响应	123
* 5.8 二阶电路的零输入响应	125
本章小结	128
习题	129
第 6 章 正弦稳态电路分析	132
6.1 正弦量的概念	132
6.1.1 正弦量的三要素	132
6.1.2 正弦量的相位差	134
6.2 正弦量的相量表示	135
6.2.1 复数的四种形式	135
6.2.2 正弦量的相量表示	137
6.3 电阻、电感、电容元件电压电流关系的相量形式	138
6.3.1 电阻元件电压电流关系的相量形式	138
6.3.2 电感元件电压电流关系的相量形式	138
6.3.3 电容元件电压电流关系的相量形式	140
6.4 基本定律的相量形式	142
6.4.1 阻抗与导纳及欧姆定律的相量形式	142
6.4.2 基尔霍夫定律的相量形式	143
6.5 相量法分析正弦稳态电路	143
6.5.1 阻抗串并联的基本公式	143
6.5.2 电阻、电感、电容元件串联电路的分析	144

6.5.3	电阻、电感、电容元件并联电路的分析	148
6.5.4	复杂正弦稳态电路的分析	149
6.6	相量图法分析正弦稳态电路	151
6.7	正弦稳态电路中的功率	154
6.7.1	瞬时功率	154
6.7.2	平均功率	156
6.7.3	无功功率	157
6.7.4	视在功率	158
6.7.5	复功率	159
6.8	功率因数的提高	160
6.8.1	提高功率因数的意义	160
6.8.2	提高功率因数的方法	161
6.9	正弦稳态电路中的谐振	162
6.9.1	串联谐振	163
6.9.2	并联谐振	165
6.10	耦合电感	167
6.10.1	互感现象	167
6.10.2	耦合电感及电压电流关系	168
6.10.3	同名端及其判别	169
6.10.4	耦合系数	171
6.11	耦合电路分析	171
6.11.1	耦合电感的等效处理	171
6.11.2	两个线圈的串联	172
6.11.3	两个线圈的并联	174
6.11.4	耦合电路分析举例	175
	本章小结	177
	习题	179
第7章	三相电路	185
7.1	三相电源	185
7.1.1	三相对称电源	185
7.1.2	三相电源的连接	186
7.2	负载作星形连接的三相电路分析	188
7.2.1	三相四线制系统	188
7.2.2	三相三线制系统	190
7.3	负载作三角形连接的三相电路分析	192
7.4	三相电路的功率	194
7.4.1	三相平均功率、无功功率和视在功率	194
7.4.2	对称负载的三相功率	194
7.4.3	三相功率的测量	196
	本章小结	198
	习题	198
第8章	非正弦周期电流电路	202
*8.1	非正弦周期量的分解	202

8.2 非正弦周期量的有效值与功率	205
8.2.1 非正弦周期量的有效值	205
8.2.2 非正弦周期量的功率	205
8.3 非正弦周期电流电路的计算	207
本章小结	210
习题	210
第9章 二端口网络	212
9.1 二端口网络的概念	212
9.1.1 四端网络与二端口网络	212
9.1.2 二端口网络的几个概念与端口特性	213
9.2 二端口网络参数	214
9.2.1 二端口网络的阻抗参数	214
9.2.2 二端口网络的导纳参数	217
9.2.3 二端口网络的 H 混合参数	219
9.2.4 二端口网络的 T 传输参数	221
9.2.5 二端口网络各参数之间的关系	222
9.3 二端口网络的连接	224
9.3.1 二端口网络的级联	224
9.3.2 二端口网络的串联	224
9.3.3 二端口网络的并联	226
9.4 有载二端口网络	228
9.4.1 有载二端口网络的输入、输出阻抗	228
9.4.2 有载二端口网络的一般问题分析	230
本章小结	232
习题	232

下篇 电机控制

第10章 磁路与变压器	239
10.1 磁路的基本概念	239
10.1.1 磁路中的基本物理量	239
10.1.2 磁性材料的基本特性	241
10.2 磁路的基本定理	243
10.2.1 磁路的欧姆定律	243
10.2.2 磁路中的基尔霍夫定律	244
10.3 交流铁心线圈电路	246
10.3.1 电磁关系和电压电流关系	246
10.3.2 电磁功率损耗	247
10.3.3 等效电路	248
10.4 变压器	249
10.4.1 变压器的工作原理	249
10.4.2 变压器的三种变换关系	251
10.4.3 变压器的外特性	253
10.4.4 变压器的损耗与效率	254

10.5 电磁铁	255
10.5.1 直流电磁铁	255
10.5.2 交流电磁铁	256
本章小结	257
习题	258
第 11 章 交流异步电动机	261
11.1 三相异步电动机的工作原理	261
11.1.1 三相异步电动机的组成	261
11.1.2 三相异步电动机转动原理	264
11.2 三相异步电动机的电路分析	267
11.2.1 定子电路分析	267
11.2.2 转子电路分析	268
11.3 三相异步电动机的转矩与机械特性	270
11.3.1 电磁转矩	270
11.3.2 机械特性	270
11.4 三相异步电动机的起动	274
11.4.1 起动特性	274
11.4.2 常用起动方法	274
11.5 三相异步电动机的调速与制动	280
11.5.1 异步电动机调速的实现	280
11.5.2 几种常用的调速方法	280
11.5.3 异步电动机的制动原理	281
11.5.4 几种常用的制动方法	281
11.6 三相异步电动机的铭牌数据与选择	282
11.6.1 三相异步电动机的基本参数	283
11.6.2 异步电动机的选择	285
11.7 单相异步电动机	286
11.7.1 单相脉动磁场	286
11.7.2 电容分相式单相异步机	287
11.7.3 罩极式异步电动机	287
本章小结	288
习题	289
第 12 章 继电器-接触器控制	291
12.1 常用控制电器	291
12.1.1 按钮	291
12.1.2 组合开关	291
12.1.3 闸刀开关	292
12.1.4 行程开关	293
12.1.5 交流接触器	293
12.1.6 中间继电器	293
12.1.7 时间继电器	294
12.1.8 热继电器	295
12.1.9 熔断器	296

12.1.10 自动空气断路器	297
12.2 异步电动机的继电器接触控制电路	298
12.2.1 电气原理图	298
12.2.2 异步电动机单向直接启动控制	299
12.2.3 异步电动机正反转的控制线路	301
12.2.4 行程控制	302
12.2.5 时间控制	303
12.3 应用举例	305
12.3.1 三台电动机顺序启动	305
12.3.2 小型起重设备的控制线路	306
12.3.3 机床润滑定时给油自动控制	307
本章小结	307
习题	308
第 13 章 可编程控制器	310
13.1 可编程控制器的基本结构和工作原理	311
13.1.1 可编程控制器的基本结构	311
13.1.2 可编程控制器的工作原理	313
13.1.3 可编程控制器的功能特点	315
13.2 可编程控制器内部的主要部件	316
13.2.1 输入(X)与输出(Y)继电器	316
13.2.2 辅助继电器(M)	317
13.2.3 定时器(T)	318
13.2.4 计数器(C)	319
13.2.5 数据寄存器(D)	320
13.2.6 状态继电器(S)	320
13.3 可编程控制器的指令系统	321
13.3.1 PLC 的指令系统	322
13.3.2 使用可编程控制器的注意事项	327
13.4 可编程控制器的应用	329
13.4.1 三相异步电动机基本控制线路	329
13.4.2 步进梯形图指令与状态转移图	332
13.4.3 利用 PLC 实现生产过程控制的步骤	337
本章小结	338
习题	338
部分习题答案	340
参考文献	351

上篇

ARTICLE

电路原理

