

电力电子 应用技术



教育部高等学校自动化专业
教学指导分委员会规划
工程应用型自动化专业系列教材

郭荣祥 崔桂梅 主编

014034970



教育部高等学校自动化专业
教学指导分委员会规划
工程应用型自动化专业系列教材

电力电子 应用技术

TM1-43
92

DIANLI DIANZI YINGYONG JISHU

郭荣祥 崔桂梅 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING



北航

C1714534

TM 1-43
P2

078280110

内容简介

本书是教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会设立的“工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设”专项研究课题系列教材之一。全书贯彻“理论与应用相统一、教学与实际相结合、工程应用特点明显”的指导思想,介绍了电力电子器件及变流原理、基本变换电路、主要控制技术和应用案例。

全书共分十章。第1章为绪论,主要介绍电力电子技术的基本概念、电力电子变流技术基本原理、主要应用领域及本书的学习方法。第2章介绍作为变流开关的各种电力电子器件。第3章介绍整流电路及其应用。第4章介绍交流—交流变换电路及其应用。第5章介绍直流—直流变换电路及其应用。第6章介绍逆变电路及其应用。第7章介绍PWM原理与控制技术及其应用。第8章介绍电力电子器件的驱动技术、保护措施、串并联连接。第9章介绍软开关技术。第10章介绍电力电子系统的电磁兼容性及抗干扰措施。书后的附录介绍了电力电子电路的仿真。

本书既可作为工程应用型高等院校自动化、电气工程及其自动化等电类专业本科生的教材,也可供研究生及从事相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子应用技术/郭荣祥,崔桂梅主编.--北京:
高等教育出版社,2013.12
ISBN 978-7-04-038673-8

I. ①电… II. ①郭…②崔… III. ①电力电子技术
-高等学校-教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第252386号

策划编辑 王耀锋 责任编辑 王耀锋 封面设计 张雨薇 版式设计 杜微言
插图绘制 尹莉 责任校对 张小镝 责任印制 田甜

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京铭传印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 26.5
字 数 590千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2013年12月第1版
印 次 2013年12月第1次印刷
定 价 38.40元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 38673-00

工程应用型自动化专业 课程体系研究与教材建设委员会

主任委员：吴 澄(清华大学)

副主任委员：韩九强(西安交通大学)

萧德云(清华大学)

薛安克(杭州电子科技大学)

专家委员(按姓氏笔画):

王 普(北京工业大学)

刘小河(北京信息科技大学)

吴晓蓓(南京理工大学)

赵光宙(浙江大学)

彭 瑜(上海工业自动化仪表研究院)

韩力群(北京工商大学)

任德祥(上海宝钢集团)

吴重光(北京化工大学)

张德江(长春工业大学)

凌志浩(华东理工大学)

谢克明(太原理工大学)

戴先中(东南大学)

委员(按姓氏笔画):

于微波(长春工业大学)

王 俊(合肥学院)

王再英(西安科技大学)

王建华(上海应用技术学院)

艾 红(北京信息科技大学)

张丽香(山西大学工程学院)

李现明(山东大学)

陈在平(天津理工大学)

周亚军(杭州电子科技大学)

胡向东(重庆邮电大学)

聂诗良(西南科技大学)

黄 坚(南京工程学院)

韩 颖(高等教育出版社)

孔亚广(杭州电子科技大学)

王万良(浙江工业大学)

王存旭(沈阳工程学院)

白 晶(北华大学)

许晓峰(沈阳工程学院)

李全利(哈尔滨理工大学)

汪贵平(长安大学)

陈桂友(山东大学)

罗 敏(湖北汽车工业学院)

徐昱琳(上海大学)

崔桂梅(内蒙古科技大学)

黄江平(华东交通大学)

薛为民(北京联合大学)

秘 书:韩 颖(兼)(高等教育出版社)

出版说明

为了适应高等工程教育改革,满足社会对工程应用型自动化专业人才的需要,在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士的领导下,设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”专项研究课题,从全国高等院校遴选了既有工程研究实践背景、又有教材编写经验的专家教授,以及企业界知名特邀代表共 40 余人,对工程应用型自动化专业的课程体系、教学内容进行系统深入的调查、分析和研究,提出了工程应用型自动化专业课程体系结构和系列教材的三级目录。采用个人报名、专家推荐、“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审相结合的方式,组织编写出版一套工程应用特点明显、国内一流的工程应用型自动化专业系列教材。

工程应用型自动化专业系列教材力求达到理论与应用相统一、教学与实际相结合、工程应用特点明显、国内一流。通过对人才市场需求、专业培养定位、自动化技术发展动态的分析研究,提出从实际工程应用自动化系统出发,结合系统中涉及的单元技术与理论方法,聚类归纳工程应用型自动化专业的课程体系结构,凝练解决自动化应用系统问题的每门课程的内容与知识点,使学生能够学以致用,能够解决工程实际应用问题。经过 40 多位专家教授的辛勤劳作,第一批 19 本工程应用型自动化专业系列教材于 2010 年陆续出版。为了满足不同应用背景、不同应用层次的工程需要,部分应用面广的同类教材有两种版本可供选用。

本系列教材主要内容覆盖自动化应用系统涉及的实用技术、理论与方法、器件与工具等内容。第一批教材包括针对自动化系统数据获取部分的机器视觉技术及应用、现代检测技术及应用等;系统驱动部分的电机与拖动、电力电子技术、电力拖动自动控制系统等;系统控制方法部分的自动控制原理、过程控制、运动控制等;控制器硬件设计部分的单片机原理、嵌入式系统、DSP 原理、可编程控制器等;自动化系统部分的计算机控制、自动化系统集成、自动控制工程设计、自动化专业实践初步等;数据处理部分的控制工程数据库技术等。

本系列教材的主要特色在于注重课程体系的应用系统性和技术先进性,注重培养学生的自动化系统的集成组态设计能力和前瞻意识。课程体系按系统单元划分,教材章节按解决问题所需的知识安排,培养学生解决工程实际应用问题的针对性和有效性。在教材章节上尽可能引入相关新技术、新理论、新方法和新器件,培养学生利用新知识解决问题的思维方式和实际应用创新能力。

如何培养适应信息时代要求的工程师是我国高等工程教育改革的核心,也是本系列教材编写的主导思想。通过本系列教材的学习,使学生能够具备一个工程师进行自动化系统或相应系统设计开发以及选型集成的基本创新能力。本系列教材主要面向工程应用型自动化及相关专业的大学生和研究生。我们希望本套工程应用型系列教材的出版,能够有力促进我国高等院校工

程应用型自动化专业人才培养质量的提高,也能为广大科技工作者和工程技术人员提供参考和帮助。

感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持。欢迎提出宝贵批评意见和建议,请将您的建议反馈至 hanying@hep.com.cn。

“十二五”期间,教育部大力推进职业教育改革,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

教育部启动了“十二五”期间教材建设规划,《工程应用型自动化专业课程体系建设与教材建设委员会》成立,为教材建设提供了有力支持。2009年12月

序 一

自动化技术在我国现代化建设进程中具有重要地位。五十多年来,自动化技术对我国社会主义现代化建设的众多领域发挥了重要作用,产生了深远影响。最具代表性的两弹一星的成功发射、载人飞船的顺利返回、嫦娥探月的环绕飞行等充分体现了自动化技术在国家重大工程应用中的示范作用。自动化技术也有力地推动着我国整体工业的发展和改变着人们的生活方式,如集成制造系统的普及推广使机械加工制造自动化程度达到了更高的水平,服务机器人代替家政进入了家庭,改善了人们的生活环境,如此等等。

我国正在全面建设小康社会,走新型工业化道路,促进信息化与工业化的“两化”融合,实现工业、农业、国防和科学技术现代化。在此进程中,自动化技术起着不可替代的桥梁作用。这就迫切需要高等学校自动化专业办学机构和广大教师进行深入研究和探索,如何能够为各行各业输送大量具有工程实践能力和应用创新能力的工程应用型自动化专业高级技术人才。在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士领导下,针对我国高等教育发展快、规模大、社会各行各业对工程应用型自动化专业人才需求量大的特点,按照大众化高等教育阶段分类指导的思想和原则,抓住有利时机,成立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”,对工程应用型自动化专业的知识体系、课程体系、能力培养等进行了有益的探索,为工程应用型自动化专业人才培养、教材建设奠定了基础。

工程应用型自动化专业涉及面广、行业多,其人才培养模式与课程体系涉及的因素众多复杂,包括如何结合通识教育,拓宽应用口径、突出专业重心、强化实践教学、理论联系实际、提高应用创新能力等,其中构建既不照搬研究型、也不雷同技能训练型的工程应用型自动化专业课程体系,编写一套有利于促进面向不同行业、应对不同层次问题的工程应用型学生个性发展的一流教材尤为重要,着力培养学生由解决工程实际问题到提出新问题的探索思维方式,即运用知识的创新能力。“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在对工程应用型自动化专业课程体系研究的基础上,从全国遴选有工程应用背景、有教材编写经验的教授与专家,组织编写了这套工程应用型自动化专业系列教材,这对工程应用型自动化专业人才的创新能力培养具有重要意义。作为长期从事自动化专业高等教育和研究队伍中的一员,在本系列教材即将付印之际,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写工作的各位老师致以崇高的敬意!

希望广大教师、学生和科技人员积极使用这套教材,并提出宝贵意见。



2009年12月于北京

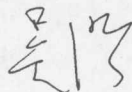
序 二

工程应用型自动化专业系列教材是“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在组织实施全国高等学校自动化专业系列教材之后,按照《自动化学科专业发展战略研究报告》分层次、多模式、多规格培养的指导思想 and 原则,结合《高等学校本科自动化指导性专业规范》实施的又一套工程应用特点明显、国内一流的自动化专业系列教材。该系列教材力求达到教学与实际相结合、理论与应用相统一、案例教学与知识传授并举,培养学生解决实际问题的能力和运用新知识的集成创新能力,使工程应用型自动化专业的学生能够真正成为解决实际工程应用问题的工程师。

我国工程应用型自动化专业以往的课程体系与知识体系基本照搬研究型自动化专业课程体系,带有浓厚的“理论的应用、应用的理论”内容,工程应用特点不明显。这也正是规划工程应用型自动化专业系列教材所面临的主要问题。为此,设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”的专项研究课题,成立了以西安交通大学韩九强教授、杭州电子科技大学薛安克教授、清华大学萧德云教授负责的联合研究小组,介入的高校达40多所,从全国遴选出40多名有工程实际背景和教材编写经历的教授和企业界知名代表。通过对工程应用型自动化专业的课程体系的深入研究,提出从实际工程应用自动化系统涉及的技术与理论方法出发,按自动化系统的组成,归纳分类工程应用型自动化专业的课程体系结构;分应用层次和对象功能凝练解决自动化应用系统中工程问题的知识内容与教材体系,建立知识传授与创新能力培养相结合的课程体系结构。以此为基础,组织规划了涵盖自动化应用系统涉及的数据获取、系统驱动、控制方法、数据处理、控制器设计、系统集成等20多门课程内容的系列教材。从数据获取到数据处理,从控制方法到控制器设计,从系统集成到组态工具,从课程体系到三级目录起草,先后经过了6次全国会议的认真研讨,凝聚着40多位专家教授的辛劳。教材主编采取个人申请,“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审确定,至此,第一批审定通过的19本工程应用型自动化专业系列教材于2010年陆续出版问世。

工程应用型自动化专业系列教材的出版,对工程应用型自动化专业知识体系的更新、教学方式的改变、工程实践的强化将起到积极的推动作用。但本系列教材从体系结构到每本教材的三级目录组成,以至每本教材的具体内容都可能存在许多不当之处,恳请使用本系列教材的老师、学生及各界人士不吝批评指正。

教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会主任委员



2009年12月于清华大学

前 言

电力电子技术是利用电力电子开关器件进行电能变换和控制的技术。电能作为目前使用最方便和最清洁的二次能源,在推动社会进步、促进科学技术发展和提高人民生活水平方面发挥着极为重要的作用。现代社会几乎所有领域都需要利用电力电子技术对电能进行处理,电力电子技术已成为当今社会的重要支撑技术,未来90%的电能都将通过电力电子技术处理后再加以利用。目前,电力电子技术已在电气传动、电源技术、电力系统等领域获得极为广泛的应用,并且在未来的发展中会得到进一步的拓展和延伸。自动化技术中,电力电子技术已成为其重要的组成部分。

目前,自动化类的从业人员众多、涉及行业广泛,各层次自动化人才的需求旺盛,特别是既有理论基础、又有实践能力的工程应用型人才,备受生产企业青睐。作为自动化、电气工程及其自动化专业的一门重要的专业基础课,电力电子技术课程的地位举足轻重。本书作为工程应用型自动化专业系列教材之一,定位于工程应用型高等院校,以培养工程实施型人才为主要目标,注重应用能力的培养。内容的编排上,始终贯穿开关变流的概念,以开关器件为基础,以变流电路为重点,结合应用案例,重点分析工作原理及各种电路的特点,为后续课程的学习及实际工作奠定坚实的基础。

全书共分十章。第1章是绪论,讲述电力电子技术的基本概念、开关变流原理、电力电子技术的主要应用及本书的主要内容和学习方法。第2章是电力电子器件,以不可控器件、半控型器件、全控型器件为主线,对各种器件的结构作简要介绍,着重介绍其外特性和主要参数、各种器件的特点和应用场合,并给出一些品牌的产品型号,使学生对器件参数建立起数量上的概念。第3章至第6章讲述四大类变换电路(AC/DC、AC/AC、DC/DC、DC/AC),并在每一章的后面安排几节专门介绍其应用。第7章讲述PWM变流技术。从PWM逆变电路讲起,从最初的追求输出电压波形正弦,到电流波形正弦,再到三相旋转磁场逼近圆形,产生了一系列相应的PWM控制技术。把PWM控制技术应用于整流电路得到了性能更优的PWM整流电路,应用于交交直接变频电路则产生了矩阵式变频电路。本章最后几节介绍了PWM变流电路的应用案例。第8章讲述了应用电力电子器件时涉及的驱动、保护、串并联问题。第9章讲述软开关技术。介绍了硬开关和软开关的概念,结合DC/DC和AC/DC变换电路讲述无源软开关技术、有源软开关技术和谐振型软开关技术。第10章讲述电力电子装置应用时不能回避的电磁兼容性和抗干扰措施。包括电磁兼容的概念、电磁干扰源、干扰耦合途径及抑制干扰的措施。

本书建议讲授40~48学时,另加8学时实验,各院校可根据具体情况而定。前八章为主讲内容,后两章为选讲内容。前八章中的一些内容也可根据专业情况和前后课程的开设情况进行取舍,后两章的内容根据具体情况可作简要介绍。

本书第1章由崔桂梅编写,第2章、第8章由杨培宏编写,第3章、第9章主要由田海编写(其中3.11节由杨培宏编写,3.10节、3.12节、9.2节、9.3节由郭荣祥编写),第4章、第5章主要由李仲德编写(其中4.6节由杨培宏编写,4.5节、4.7节、5.8节由郭荣祥编写),第6章、第7章、第10章主要由郭荣祥编写(其中6.5节、7.10节由杨培宏编写)。附录中的仿真由刘丕亮编写。全书由郭荣祥统稿、定稿。

在本书的编写过程中,工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会委员及系列教材编写组成员提出了许多中肯的意见,山东大学控制学院张庆范教授和中国矿业大学的徐昊教授对本书提出了许多宝贵的意见和合理的建议,在此表示衷心的感谢。本书的编写同时也得到了内蒙古科技大学教材基金的资助和内蒙古科技大学信息工程学院的大力支持。退休教师陈洪礼教授、张遇杰教授对本教材的编写给予了指导,研究生章鲁浩、刘立轩、涂正宏同学为本书的绘图和文稿录入付出了辛勤的劳动,在此深表谢意。

限于作者的学识水平,书中一定存在不足、疏漏之处,恳请读者谅解并予指正,我们将不胜感谢。联系邮箱:hongri307@163.com。

编者

2013年8月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4.3 电力场效应晶体管	24
1.1 电力电子技术的概念	1	2.4.4 绝缘栅双极型晶体管	
1.2 变流原理——开关变流	2	(IGBT)	27
1.2.1 最简单的变流电路	2	2.4.5 功率集成模块(PIM)和智能	
1.2.2 单相桥式变流电路	3	功率模块(IPM)	31
1.2.3 三相桥式变流电路	3	2.5 其他全控型电力电子器件	34
1.3 电力电子技术的主要应用		2.5.1 静电感应晶体管	34
领域	5	2.5.2 静电感应晶闸管	35
1.3.1 电气传动和电力牵引	5	2.5.3 集成门极换流晶闸管	35
1.3.2 电力系统及可再生能源	6	2.5.4 电子注入增强栅晶体管	36
1.3.3 各种电源装置	7	2.6 宽禁带电力电子器件	36
1.4 本教材的主要内容及学习		2.6.1 碳化硅器件	37
方法	8	2.6.2 氮化镓(GaN)器件	38
习题和思考题	9	2.6.3 金刚石器件	38
第 2 章 电力电子器件	10	本章小结	38
2.1 电力电子器件概述	10	习题和思考题	39
2.2 不可控器件	11	第 3 章 AC/DC 变换电路	40
2.2.1 电力二极管的基本结构	11	3.1 单相可控整流电路	40
2.2.2 电力二极管的基本特性	11	3.1.1 单相半波可控整流电路	41
2.2.3 电力二极管的主要参数	12	3.1.2 单相桥式可控整流电路	48
2.3 半控型器件	13	3.1.3 单相桥式半控整流电路	56
2.3.1 晶闸管的基本结构	14	3.1.4 单相全波可控整流电路	59
2.3.2 晶闸管的基本特性	15	3.2 三相可控整流电路	61
2.3.3 晶闸管的主要参数	16	3.2.1 共阴极三相半波可控整流	
2.3.4 晶闸管的派生器件	18	电路	61
2.4 典型全控型器件	20	3.2.2 共阳极三相半波可控整流	
2.4.1 门极可关断晶闸管	20	电路	68
2.4.2 电力晶体管(GTR)	22	3.2.3 三相桥式全控整流电路	69

影响	77	并联连接	111
3.3.1 重叠导电期间电压、电流波形 及换相压降	77	3.9.2 三相桥式可控整流电路的 串联连接	112
3.3.2 换相重叠角 γ 的大小	79	3.9.3 串联多重连接整流电路的 顺序控制	115
3.4 具有电容性负载的不可控整流 电路	79	3.10 整流电路在电气传动中的 应用案例——晶闸管直流电动 机系统	116
3.4.1 电容滤波的单相桥式不可控 整流电路	80	3.10.1 晶闸管不可逆直流调速 系统	117
3.4.2 电容滤波的三相桥式不可控 整流电路	81	3.10.2 晶闸管可逆直流调速 系统	123
3.5 晶闸管的驱动控制	84	3.11 整流电路在电力系统中的应 用案例——高压直流输电 技术	125
3.5.1 同步信号为锯齿波的触发 电路	85	3.12 整流电路在电源技术中的 应用案例——电解电源和 电弧炉直流电源	127
3.5.2 集成触发器	88	3.12.1 电解电源	127
3.5.3 数字触发器	88	3.12.2 电弧炉直流电源	128
3.6 全控整流电路的有源逆变	89	本章小结	128
3.6.1 有源逆变的工作原理	90	习题和思考题	129
3.6.2 三相整流电路的有源逆变 状态	93	第4章 AC/AC 变换电路	131
3.6.3 逆变失败及防止方法	95	4.1 交流无触点开关	131
3.7 整流电路的谐波及功率因数	97	4.1.1 晶闸管交流无触点开关	131
3.7.1 谐波及功率因数	97	4.1.2 全控型器件交流无触点 开关	133
3.7.2 相控整流电路交流侧谐波和 功率因数分析	100	4.2 恒频变压交流变换电路	134
3.7.3 整流输出电压和电流的 谐波	101	4.2.1 单相相控式交流调压电路	134
3.7.4 抑制谐波及提高功率因数的 措施	103	4.2.2 单相斩控式交流调压电路	137
3.8 三相半波可控整流电路的 并联连接电路	106	4.2.3 三相交流调压电路	138
3.8.1 直接并联的六相半波可控 整流电路	106	4.3 相控式交交变频电路——周 波变流器	143
3.8.2 带平衡电抗器的双反星形 可控整流电路	107	4.3.1 单相交交变频电路	143
3.9 多重化整流电路	111		
3.9.1 三相桥式可控整流电路的			

4.3.2 三相交交变频电路	148	5.5 带隔离变压器的 DC/DC 变换	
4.4 交流调功电路	150	电路	171
4.5 AC/AC 变换电路在电气传动		5.5.1 单端正激变换器	172
方面应用举例——异步电动机		5.5.2 双管正激变换器	175
软起动器	151	5.5.3 单端反激变换器	176
4.6 AC/AC 变换电路在电力系统		5.5.4 半桥变换器	178
中的应用	153	5.5.5 全桥变换器	180
4.6.1 无功功率补偿	153	5.6 同步整流电路	181
4.6.2 可控串联补偿	155	5.6.1 同步整流技术概述	181
4.7 AC/AC 变换电路在电源		5.6.2 同步整流电路的基本原理	182
技术中的应用	156	5.7 分布式电源	183
4.7.1 调整变压器抽头型交流		5.7.1 分布式电源概述	183
稳压电源	157	5.7.2 分布式电源的结构	184
4.7.2 变压器绕组组合型交流		5.7.3 分布式电源的应用	185
稳压电源	157	5.8 DC/DC 变换在电力系统和	
本章小结	158	电源技术中的应用	187
习题和思考题	159	5.8.1 太阳能光伏发电	187
第 5 章 DC/DC 变换电路	160	5.8.2 开关电源	187
5.1 直流降压斩波电路(Buck		5.8.3 蓄电池充电电源	188
电路)	160	5.8.4 焊机电源	189
5.1.1 负载电流连续时的工作		本章小结	190
原理	162	习题和思考题	190
5.1.2 负载电流断续时的工作		第 6 章 DC/AC 变换电路	192
原理	162	6.1 逆变电路的分类和控制方式	192
5.2 直流升压斩波电路(Boost		6.1.1 逆变电路的分类	192
电路)	163	6.1.2 逆变电路的控制方式	193
5.3 直流升降压斩波电路	164	6.2 电压型逆变电路	193
5.3.1 升降压斩波电路	164	6.2.1 单相电压型逆变电路	193
5.3.2 Cuk 斩波电路	166	6.2.2 三相电压型逆变电路	198
5.3.3 Sepic 斩波电路和 Zeta 斩波		6.2.3 方波逆变器输出电压波形	
电路	167	分析	201
5.4 可逆斩波电路	168	6.3 电流型逆变电路	202
5.4.1 电流可逆斩波电路	168	6.3.1 单相电流型逆变电路	202
5.4.2 桥式可逆斩波电路	170	6.3.2 三相电流型逆变电路	203

6.4 逆变电路在中高压电气传动方面的应用案例——多电平逆变电路	209	7.4.1 单相桥式 PWM 逆变电路	232
6.4.1 中压电压等级问题	209	7.4.2 三相桥式 PWM 逆变电路	234
6.4.2 二极管钳位型三电平逆变电路	210	7.5 PWM 逆变电路的其他控制方法	236
6.4.3 电容钳位型多电平逆变电路	212	7.5.1 电流跟踪型 PWM 控制技术	236
6.4.4 具有独立直流电源的级联型多电平逆变电路	213	7.5.2 电压空间矢量 PWM(SVPWM) 控制技术	238
6.5 逆变电路在电力系统中的应用案例——静止同步补偿器	215	7.6 PWM 整流电路	244
6.6 逆变电路在电源技术中的应用案例	216	7.6.1 PWM 整流电路的结构和工作原理	245
6.6.1 感应加热电源	216	7.6.2 PWM 整流电路的控制	249
6.6.2 交流方波电源	218	7.7 矩阵式变频电路	252
6.6.3 IGBT 逆变式电阻焊机电源	218	7.8 PWM 变流电路在电气传动方面的应用案例——交直交变频器	253
本章小结	219	7.9 PWM 变流电路在电源技术方面的应用案例——不间断电源和应急电源	255
习题和思考题	219	7.9.1 UPS 电源	255
第 7 章 PWM 原理与控制技术	221	7.9.2 EPS 电源	257
7.1 PWM 控制的基本原理	222	7.9.3 UPS、EPS 的选择和使用时应注意的问题	257
7.2 SPWM 波形的生成方法	223	7.10 PWM 变流电路在电力系统中的应用案例	258
7.2.1 等面积法(计算法)	223	7.10.1 PWM 变流电路在交流输电系统中的应用案例	258
7.2.2 调制法	224	7.10.2 PWM 变流电路在交流配电系统中的应用案例	260
7.2.3 低次谐波消去法	228	7.10.3 PWM 变流电路在风力发电系统中的应用案例	264
7.3 PWM 控制技术中的基本概念	229	本章小结	265
7.3.1 载波比和调制深度	230	习题和思考题	266
7.3.2 同步调制、异步调制和分段同步调制	230	第 8 章 电力电子器件应用基础	268
7.3.3 单极性调制和双极性调制	231	8.1 电力电子器件驱动技术	268
7.4 PWM 逆变电路	232		

8.1.1 电力电子器件驱动 电路概述	268	第 10 章 电磁兼容性和抗干扰	305
8.1.2 晶闸管的门极驱动要求	269	10.1 电磁兼容基本概念	305
8.1.3 GTO 门极驱动	270	10.2 电力电子电路的电磁干 扰源	306
8.1.4 GTR 基极驱动	271	10.2.1 自然干扰源	306
8.1.5 电力 MOSFET 栅极驱动	272	10.2.2 人为干扰源	306
8.1.6 IGBT 栅极驱动	273	10.3 电磁干扰耦合途径	307
8.2 电力电子器件的保护	275	10.3.1 传导耦合	307
8.2.1 过电压保护	275	10.3.2 辐射耦合	310
8.2.2 过电流保护	276	10.3.3 电磁干扰耦合模式	310
8.2.3 过热保护	277	10.4 电磁干扰抑制技术	311
8.3 缓冲与吸收电路	278	10.4.1 抑制干扰的基本原则	311
8.4 电力电子器件的串联和并联	279	10.4.2 电力电子系统的接地 技术	311
8.4.1 电力电子器件的串联	279	10.4.3 电力电子系统的电磁 屏蔽	316
8.4.2 电力电子器件的并联	281	10.4.4 电力电子系统中的滤波	317
本章小结	282	本章小结	320
习题和思考题	283	习题和思考题	320
第 9 章 软开关变换技术	284	附录 电力电子电路的仿真	322
9.1 开关损耗和软开关的基本 概念及类型	284	附录 1 电力电子器件仿真模型	322
9.1.1 开关损耗和硬开关	284	附录 1.1 二极管的仿真模型	323
9.1.2 软开关的概念	286	附录 1.2 晶闸管的仿真模型	324
9.1.3 软开关电路的类型	287	附录 1.3 门极可关断晶闸管 (GTO)的仿真模型	326
9.2 无源软开关技术	288	附录 1.4 金属-氧化物-半导体场效 应晶体管(MOSFET)的仿真 模型	328
9.2.1 吸收电路	288	附录 1.5 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)的仿真模型	330
9.2.2 无源软开关技术	289	附录 2 整流电路的仿真	332
9.3 有源软开关技术	294	附录 2.1 单相半波可控整流 电路的仿真	332
9.4 谐振型软开关技术	296		
9.4.1 DC/DC 变换中的软开关 技术	296		
9.4.2 DC/AC 变换中的软开关 技术	301		
本章小结	303		
习题和思考题	303		

附录 2.2 单相桥式全控整流 电路的仿真	336	附录 4.1 降压斩波电路的仿真	365
附录 2.3 单相桥式半控整流 电路的仿真	340	附录 4.2 升压斩波电路的仿真	368
附录 2.4 单相全波可控整流 电路的仿真	342	附录 4.3 升降压斩波电路的 仿真	370
附录 2.5 三相半波可控整流 电路的仿真	343	附录 4.4 电流可逆斩波电路的 仿真	373
附录 2.6 三相桥式全控整流 电路的仿真	347	附录 5 逆变电路的仿真	374
附录 2.7 交流侧电抗影响整流 电路的仿真	350	附录 5.1 电压型逆变电路的 仿真	375
附录 2.8 带电容滤波的单相 不可控整流电路仿真	351	附录 5.2 电流型逆变电路的 仿真	379
附录 2.9 全控整流电路的有源 逆变仿真	354	附录 6 PWM 变流电路的仿真	383
附录 2.10 三相半波可控整流电路有源 逆变的仿真模型	356	附录 6.1 单相桥式 PWM 逆变 电路的仿真	383
附录 3 交流调压电路的仿真	358	附录 6.2 三相桥式 PWM 逆变 电路的仿真	385
附录 3.1 单相交流调压电路的 仿真	358	附录 6.3 PWM 整流电路的仿真	387
附录 3.2 单相斩控式交流调压 电路	359	附录 7 软开关电路的仿真	389
附录 3.3 三相交流调压电路的 仿真	363	附录 7.1 无源软开关的仿真	389
附录 4 DC/DC 变换电路的仿真	365	附录 7.2 有源软开关电路仿真	393
		附录 7.3 零电压开关准谐振电路 的仿真	395
		附录 7.4 谐振直流环电路的 仿真	397
		术语索引	399
		参考文献	401

第 1 章 绪 论

在自动化领域,工业生产中广泛应用的电力传动系统是由电源装置、电动机、检测环节和控制装置等部分组成,如图 1.1 所示。高性能的电源装置是由电力电子器件组成的电力电子变流电路。电力系统中,电能质量的提高、电力的传输及洁净能源的并网越来越多地依靠电力电子技术来完成,而各种控制装置及检测环节所使用的电源也是由电力电子电路变换而来。生活和工业生产中广泛应用的各类电源(开关电源、UPS 电源、电池充电电源、工业电解电镀电源、直流电焊机电源、交流稳压电源、感应加热电源等)都是电力电子产品。因而,电力电子技术在日常生活和工业生产中,特别是自动化领域和电力系统中具有越来越重要的地位。



图 1.1 电力拖动自动控制系统框图

1.1 电力电子技术的概念

什么是电力电子技术? 电力电子技术就是利用电力电子器件对电能的形式进行变换和控制的技术。IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers)电力电子学会在网站上给出的定义是:电力电子技术是把电子电路应用到电能变换中的技术。

电能的形式有两种:直流和交流。因此,电能形式的变换可以分为四大类:交流变直流(AC/DC)、直流变交流(DC/AC)、交流变交流(AC/AC)、直流变直流(DC/DC)。把交流电变换成固定或可调的直流电即为 AC/DC 变换,称之为整流,实现整流的电路为整流电路或整流器。把直流电变换成频率、电压固定或可调的交流电,即 DC/AC 变换,称之为逆变,实现逆变的电路为逆变电路或逆变器。逆变是整流的逆过程。把一种形式的交流电变换为另一种形式的交流电即为 AC/AC 变换。因为交流电有电压、频率、相数等多个参数,其变换电路也有多种形式。只改变电压大小不改变频率的变换电路为交流调压电路,电压和频率都改变的交流变换电路为变频电路,或称变频器。把固定或变化的直流电压变换成可调或恒定的直流电压,称之为 DC/DC 变换,完成其变换的电路称之为直流调压器。采用斩波和脉宽调制原理的 DC/DC 变换电路称为直流斩波电路或直流斩波器。上述电能形式的变换称为变流,由电力电子器件组成的完成上述各种变换的电路称之为电力电子变流电路。电能的变换也可采用其他方式,但目前主要是利用电力电