



普通高等教育
“十一五”国家级
规划教材



普通高等教育
电气工程与自动化类
“十一五”规划教材

Power Electronics

电力电子技术

第5版

王兆安 刘进军 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材

电力电子技术

第5版

主 编	王兆安	刘进军
参 编	杨 旭	卓 放
	裴云庆	王 跃



机械工业出版社

本书是在普通高等教育“九五”国家重点教材《电力电子技术》(第4版)(王兆安、黄俊主编,机械工业出版社,2000年出版,曾于2002年获国家优秀教材一等奖)的基础上改编的,是“十一五”国家级规划教材。本教材补充了最新内容,并对原有内容作了适当调整。内容包括:各种电力电子器件、整流电路、逆变电路、直流-直流变流电路、交流-交流变流电路、PWM控制技术、软开关技术、电力电子器件应用的共性问题、电力电子技术的应用等。本书对电力电子技术的内容进行了精选,体现了最新技术的发展。通过这次改版,全书结构更加合理,层次分明,更适合于大学本科教学。

采用该书的西安交通大学“电力电子技术”课程是首批国家精品课程,课程网站有电子教案(课程网址:<http://pel-course.xjtu.edu.cn>),可供选用。书末附有教学实验。

本书适用于电气工程及其自动化专业、自动化专业以及工科引导性专业目录中的电气工程与自动化专业及其他相关专业的本科生,也可供相近专业选用或供工程技术人员参考。

本书配有免费电子课件(中英文),欢迎选用本书作教材的老师登录www.cmpedu.com下载或发邮件到 yu57sh@163.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/王兆安,刘进军主编. —5版. —北京:机械工业出版社,2009.5(2010.1重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 普通高等教育电气工程与自动化类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-26806-2

I. 电… II. ①王…②刘… III. 电力电子学—高等学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第053787号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:于苏华 王雅新 版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:王洪流 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2010年1月第5版第3次印刷

184mm×260mm·17.75印张·438千字

标准书号:ISBN 978-7-111-26806-2

定价:29.00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

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

全国高等学校电气工程与自动化系列教材 编 审 委 员 会

主任委员 汪樾生 浙江大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王兆安 西安交通大学

王孝武 合肥工业大学

田作华 上海交通大学

刘 丁 西安理工大学

陈伯时 上海大学

郑大钟 清华大学

赵光宙 浙江大学

赵 曜 四川大学

韩雪清 机械工业出版社

委 员 (按姓氏笔画排序)

戈宝军 哈尔滨理工大学

王钦若 广东工业大学

吴 刚 中国科技大学

张纯江 燕山大学

张晓华 哈尔滨工业大学

邹积岩 大连理工大学

陈庆伟 南京理工大学

夏长亮 天津大学

萧蕴诗 同济大学

韩 力 重庆大学

熊 蕊 华中科技大学

方 敏 合肥工业大学

白保东 沈阳工业大学

张化光 东北大学

张 波 华南理工大学

杨 耕 清华大学

陈 冲 福州大学

范 瑜 北京交通大学

章 兢 湖南大学

程 明 东南大学

雷银照 北京航空航天大学

序

随着科学技术的不断进步，电气工程与自动化技术正以令人瞩目的发展速度，改变着我国工业的整体面貌。同时，对社会的生产方式、人们的生活方式和思想观念也产生了重大的影响，并在现代化建设中发挥着越来越重要的作用。随着与信息科学、计算机科学和能源科学等相关学科的交叉融合，它正在向智能化、网络化和集成化的方向发展。

教育是培养人才和增强民族创新能力的基础，高等学校作为国家培养人才的主要基地，肩负着教书育人的神圣使命。在实际教学中，根据社会需求，构建具有时代特征、反映最新科技成果的知识体系是每个教育工作者义不容辞的光荣任务。

教书育人，教材先行。机械工业出版社几十年来出版了大量的电气工程与自动化类教材，有些教材十几年、几十年长盛不衰，有着很好的基础。为了适应我国目前高等学校电气工程与自动化类专业人才培养的需要，配合各高等学校的教学改革进程，满足不同类型、不同层次的学校在课程设置上的需求，由中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科教学委员会、中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会、机械工业出版社共同发起成立了“全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会”，组织出版新的电气工程与自动化类系列教材。这套教材基于“**加强基础，削枝强干，循序渐进，力求创新**”的原则，通过对传统课程内容的整合、交融和改革，以不同的模块组合来满足各类学校特色办学的需要。并力求做到：

1. 适用性：结合电气工程与自动化类专业的培养目标、专业定位，按技术基础课、专业基础课、专业课和教学实践等环节，进行选材组稿。对有的具有特色的教材采取一纲多本的方法。注重课程之间的交叉与衔接，在满足系统性的前提下，尽量减少内容上的重复。

2. 示范性：力求教材中展现的教学理念、知识体系、知识点和实施方案在本领域中具有广泛的辐射性和示范性，代表并引导教学发展的趋势和方向。

3. 创新性：在教材编写中强调与时俱进，对原有的知识体系进行实质性的改革和发展，鼓励教材涵盖新体系、新内容、新技术，注重教学理论创新和实践创新，以适应新形势下的教学规律。

4. 权威性：本系列教材的编委由长期工作在教学第一线的知名教授和学者组成。他们知识渊博，经验丰富。组稿过程严谨细致，对书目确定、主编征集、资料申报和专家评审等都有明确的规范和要求，为确保教材的高质量提供了有力保障。

此套教材的顺利出版，先后得到全国数十所高校相关领导的大力支持和广大骨干教师的积极参与，在此谨表示衷心的感谢，并欢迎广大师生提出宝贵的意见和建议。

此套教材的出版如能在转变教学思想、推动教学改革、更新专业知识体系、创造适应学生个性和多样化发展的学习环境、培养学生的创新能力等方面收到成效，我们将会感到莫大的欣慰。

全国高等学校电气工程与自动化系列教材编审委员会

汪植生 陈时 郑大钟

第5版前言

本教材第4版出版以来,受到读者的广泛欢迎和好评,每年的发行量5~6万册,绝大部分高等院校都采用本书做教材,其累计发行量(含前3版)已超过90万册。该教材于2002年荣获“全国普通高等学校优秀教材一等奖”的称号,是普通高等教育“九五”国家级重点教材。

电力电子技术是一门发展非常迅速的技术,本教材的第4版自2000年出版以来,电力电子技术取得了长足的进步和发展。为此,有必要对教材内容进行更新和调整,第5版教材就是在这种背景下诞生的,同时也被列入了“十一五”国家级规划教材。

如第4版前言所述,本教材的第1和第2版《半导体变流技术》,其内容都是以半控型器件晶闸管为主展开的。第3版顺应了学科名称的变化,教材更名为《电力电子变流技术》,增加了全控型器件的内容,但全书仍以晶闸管为主要内容。第4版才真正完成了从半控型器件到全控型器件的过渡,教材也更名为《电力电子技术》。从第3版到第4版教材的变化很大,是完全重新编写的。应该说,在教材第4版出版后的8年里,虽然电力电子技术发生了不小的变化,但是作为大学的教材,尤其是作为专业基础课的教材,应保持相对的稳定,不能变化过快。因此,本教材的第5版大量地保留了第4版的内容,将原来的概述部分改为第1章绪论。考虑到学生学习方便,将原第1章电力电子器件的后几节单独成第9章放到了后面。对第4版教材的主体部分,即原第2~5章的顺序重新调整,将原第8章的组合变流电路的部分内容充实后改成了应用,充分体现了电力电子技术的工程性和应用性。

本教材第5版的第1、4、7章和结束语由王兆安编写,第2、9章和第10.6节由刘进军编写,第3章和第10.1节由卓放编写,第5章、第10.3节和第10.7节由王跃编写,第6章、第10.2节和第10.5节由裴云庆编写,第8章和第10.4节以及教学实验由杨旭编写。全书由王兆安、刘进军统稿。

黄俊教授是本教材第1版和第2版的主编、第3版的第一作者、第4版的第二主编,对本教材作出了历史性的贡献。由于年事已高,黄俊教授已不再参加第5版的编写工作,也不再署名,但他仍给本教材的作者以很大的指导和支持。同时他还承担了本书的审稿工作。

葛文运教授是本教材第1版和第2版主要作者之一,在教材第5版的成书过程中,葛文运教授承担了组织工作,在校稿等工作中葛老师付出了辛勤的劳动和汗水。

在此，本版教材的全体作者谨向黄俊教授和葛文运教授致以崇高的敬意。同时对本教材第1版和第2版的其他作者表示衷心的感谢。

西安交通大学电力电子与新能源技术研究中心秘书阎欢为本教材的编辑出版进行了大量的组织协调工作，还绘制了部分插图，在此表示衷心的感谢。

作者

2008年12月于

西安交通大学

第 4 版前言

由黄俊主编的《半导体变流技术》作为工业电气自动化专业的全国统编教材，于 1980 年由机械工业出版社出版。1986 年出版了第 2 版。在 1994 年出版第 3 版时，为了向学科名称靠拢，更名为《电力电子变流技术》，由黄俊、王兆安合编。到 1999 年为止，该教材先后印刷 21 次，累计发行量达 47.7 万余册，为全国高等院校普遍采用。该教材先后获国家教委优秀教材奖，机械工业部优秀教材一等奖，国家优秀教学成果二等奖。

由于电力电子技术的发展十分迅速，目前第 3 版教材的内容已显陈旧，急需更新内容。本教材的第 4 版就是在这一背景下问世的。由于本教材良好的基础和本课程的重要性，本教材第 4 版被教育部列为普通高等教育“九五”国家级重点教材。考虑到“电力电子技术”作为一个学科已深入人心，其核心内容就是变流技术，况且电力电子器件在本教材中也占有一定篇幅，同时本课程已由一门专业课程演变为专业基础课程，因此将第 4 版书名改为《电力电子技术》。这样的名称更具有基础性和普遍性，和学科名称一致，读者更容易理解。

1994 年原国家教委提出并开始实施“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”，1996 年正式批准了工科 41 个教改项目。1998 年 8 月，教育部颁布了新的专业目录，把原强电各专业合并为电气工程及其自动化专业，把原工业自动化专业和自动控制专业合并为自动化专业，在同时公布的工科引导性专业目录中，又把电气工程及其自动化专业和自动化专业的一部分（实际上就是原工业自动化专业）进一步合并为电气工程与自动化专业。按照新的专业目录，本教材主要适用于电气工程及其自动化专业、自动化专业，以及引导性专业目录中电气工程与自动化专业，也可适用于其他相关专业。由于本教材属于专业基础课教材，且基础好，改革思路符合技术进步潮流及教学改革的要求，本教材已被教育部批准列为“面向 21 世纪课程教材”。

本教材第 1 版和第 2 版均以晶闸管整流电路为核心，第 3 版补充了自关断器件和 PWM 逆变电路等新内容，但全书格局没有根本性改变。本次修订在保持原书循序渐进、适于教学等优点的同时，对教材体系结构和内容等都进行了大幅度的更新。

本教材由三大部分构成。第一部分是电力电子器件，即第 1 章，这部分是全书的基础，其中晶闸管部分虽仍占重要地位，但以 IGBT、电力 MOSFET 为代表的全控型器件已成为本章的主要部分。第二部分是各种电力电子电路，包括第 2~5 章和第 8 章，这部分是全书的主体。其中第 2~5 章分别讲述了四大类基本变流电路，即 AC-DC、DC-DC、AC-AC、DC-AC 变流电路。第 8 章讲述了由各种基本变流电路组合而成的组合变流电路。第三部分由第 6 章和第 7 章组成，介绍对各种变流电路都适用的 PWM 控制技术和软开关技术。电力电子装置的应用也是十分重要的，本教材未就此单独设章，而在各相关章节中体现应用方面的内容。

教学实验在电力电子技术中占有重要地位。鉴于出版专门的实验指导书很困难，本教材后附了“教学实验”部分，以供选用。为了便于复习和参考，书末在附录 A 中给出了术语

索引；为了使读者对电力电子学术界的情况有所了解，还在附录 B 中给出了与电力电子技术有关的学术组织、学术会议及期刊的简介。

本书由王兆安、黄俊共同担任主编。绪论、第 4 章、第 5 章、第 6 章和结束语由王兆安编写，第 1 章由刘进军编写，第 2 章、第 3 章和第 8 章 8.1 节和附录由杨君编写，第 7 章和第 8 章 8.2 节由杨旭编写，教学实验由杨君、杨旭编写。全书由王兆安、黄俊统稿。全书大部分插图由硕士研究生张晓莉绘制，刘晓娟工程师承担了大部分文稿的计算机录入工作。

本书由西安理工大学万伯任教授主审。万伯任教授在审阅中提出了许多中肯的修改意见，在此谨致衷心的感谢。

在讨论本书的编写大纲过程中，上海大学陈伯时教授、上海交通大学陈敏逊教授、四川大学贺星钊教授、东南大学赵家璧教授、天津大学许镇琳教授、华中理工大学秦忆教授、西安理工大学徐平教授、燕山大学刘彦民教授、北京机械工程学院栗书贤教授等提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中，本书第 1 版和第 2 版的作者之一，西安交通大学葛文运教授进行了卓有成效的组织工作，提出了许多宝贵意见，审阅了全部书稿，为本书的完成作出了重要贡献，在此深表谢意。本书第 1 版和第 2 版的另外三位作者西安交通大学王溥仁教授、朱仁初教授、西北纺织工学院伍恩华教授对本书曾有过历史性的贡献，在此特致敬意。

在本书编写过程中，西安交通大学卓放副教授和裴云庆博士提出了许多宝贵的建议和意见，在此表示衷心感谢。

在本书完稿之际，对书末所附参考文献的作者也致以衷心的感谢。

“电力拖动自动控制系统”是本课程的后续课程之一。本书的编写工作是和《电力拖动自动控制系统(第 3 版)》(上海大学陈伯时主编,机械工业出版社出版)的编写工作同步进行的。两本教材同为“普通高等教育‘九五’“国家级重点教材”及“面向 21 世纪课程教材”，在编写过程中，两书作者就书中内容的衔接和配合进行了多次磋商。因此建议读者在学习本课程的后续课程“电力拖动自动控制系统”时，选用陈伯时教授的《电力拖动自动控制系统(第 3 版)》作为教材。

由于作者学识有限，本书编写时间又很仓促，书中一定有很多疏漏及错误，殷切希望采用本教材的教师和同学批评指正。

编 者

于西安交通大学电气工程学院

符号说明

A ——安培；安培表；晶闸管的阳极
 a ——调制度
 a, b, c ——三相电源
 b ——晶体管基极
 BU_{cem} ——晶体管发射极开路时集电极和基极间反向击穿电压
 BU_{cem} ——晶体管基极开路时集电极和发射极间击穿电压
 BU_{ceo} ——晶体管发射极和基极间接电阻时集电极和发射极间击穿电压
 BU_{ces} ——晶体管发射极和基极短路时集电极和发射极间击穿电压
 BU_{ces} ——晶体管发射结反向偏置时集电极和发射极间击穿电压
 C ——电容器；电容量
 C ——IGBT 集电极
 c ——晶体管集电极
 C_{in} ——MOSFET 输入电容
 C_{iss} ——MOSFET 漏源短路时的输入电容
 C_{mcs} ——MOSFET 共源极输出电容
 C_{rsc} ——MOSFET 反向转移电容
 D ——MOSFET 漏极
 D ——畸变功率
 di/dr ——晶闸管通态电流临界上升率
 du/dr ——晶闸管断态电压临界上升率
 E ——IGBT 发射极
 E ——直流电源电动势
 e ——晶体管发射极
 e_L ——电感的自感电动势
 E_M ——电动机反电动势
 F ——电容量的单位(法)
 f ——频率
 G ——发电机；MOSFET 栅极；晶闸管门极；GTO 门极；IGBT 栅极

G_{fs} ——MOSFET 跨导
 h_{FE} ——晶体管直流电流增益
 HRF_n —— n 次谐波电流含有率
 I ——整流后负载电流的有效值
 I_1 ——变压器一次相电流有效值
 i_1 ——变压器一次相电流瞬时值
 I_2 ——变压器二次相电流有效值
 i_2 ——变压器二次相电流瞬时值
 I_{AVD} ——GTO 最大可关断阳极电流
 i_b ——晶体管基极电流
 i_c ——晶体管集电极电流
 I_c ——IGBT 集电极电流
 I_{cem} ——晶体管集电极与发射极间漏电流
 I_{CM} ——晶体管集电极最大允许电流
 I_{cs} ——晶体管集电极饱和电流
 I_{VD} ——流过整流管的电流有效值
 I_D ——MOSFET 漏极直流电流
 I_d ——整流电路的直流输出电流平均值
 i_{VD} ——流过整流管的电流瞬时值
 i_d ——整流电路的直流输出电流瞬时值
 I_{AVD} ——流过整流管的平均电流
 I_{DSM} ——MOSFET 漏极电流幅值
 I_{DR} ——流过续流二极管的电流有效值
 i_{DR} ——流过续流二极管的电流瞬时值
 I_{AVT} ——流过晶闸管的平均电流
 i_t ——晶体管发射极电流
 I_{TAVV} ——电力二极管的正向平均电流
 I_{TSM} ——电力二极管的浪涌电流
 I_G ——晶闸管、GTO 的门极电流
 I_H ——晶闸管的维持电流
 I_L ——晶闸管的擎住电流
 I'_n ——变压器一次线电流中的 n 次谐波有效值
 i_L ——输出电流；负载电流

- I_a ——负载电流有效值
 i_b ——两组整流桥之间的环流(平衡电流)瞬时值
 I_R ——整流后输出电流中谐波电流有效值
 I_{VT} ——流过晶闸管的电流有效值
 i_{VT} ——流过晶闸管的电流瞬时值
 $I_{VT(AV)}$ ——晶闸管的通态平均电流
 I_{VTSM} ——晶闸管的浪涌电流
 i^* ——指令电流
 K ——晶闸管的阴极
 K ——常数
 L ——电感;电感量;电抗器符号
 L_{σ} ——从二次侧计算时变压器漏感
 L_p ——平衡电抗器
 M ——电动机
 m ——相数;一个周期的脉波数
 n ——电动机转速
 n_N ——电动机额定转速
 N ——线圈匝数;载波比
 N ——负(组);三相电源中点
 P ——功率;有功功率
 P ——正(组)
 p ——极对数
 P_{GM} ——IGBT 集电极最大耗散功率
 P_{GM} ——晶体管集电极最大耗散功率
 P_d ——整流电路输出直流功率
 P_G ——直流发电机功率
 P_W ——直流电动机反电动势功率
 P_R ——电阻上消耗的功率
 P_{SB} ——晶体管二次击穿功率
 Q ——无功功率
 R ——电阻器;电阻
 R_R ——从变压器二次侧计算的变压器等效电阻
 R_M ——直流电动机电枢电阻
 S ——视在功率
 S ——MOSFET 源极;功率开关器件
 s ——秒
 S_i ——电力二极管的恢复系数
 t ——时间
 t_d ——晶体管、GTO 开通时的延迟时间;电力二极管关断延迟时间
 $t_{d(on)}$ ——MOSFET、IGBT 开通时的延迟时间
 $t_{d(off)}$ ——MOSFET、IGBT 关断时的延迟时间
 t_f ——电力半导体器件关断时的下降时间
 t_h ——MOSFET、IGBT 等器件关断时的电流下降时间
 t_{hv} ——MOSFET、IGBT 等器件开通时的电压下降时间
 t_{gr} ——晶闸管正向阻断恢复时间
 t_{on} ——晶闸管的开通时间
 THD_i ——电流谐波总畸变率
 T_{JM} ——电力二极管、晶体管的最高工作结温
 t_{off} ——晶体管、GTO、MOSFET、IGBT 的关断时间
 t_{on} ——晶体管、GTO、MOSFET、IGBT 的开通时间
 t_{q} ——晶闸管的关断时间
 t_r ——电力半导体器件开通时的上升时间
 t_{ri} ——MOSFET、IGBT 等器件开通时的电流上升时间
 t_{rv} ——MOSFET、IGBT 等器件关断时的电压上升时间
 t_{rr} ——电力二极管反向恢复时间;晶闸管反向阻断恢复时间
 t_s ——晶体管、GTO 关断时的存储时间
 t_t ——GTO 关断时的尾部时间
 t_{δ} ——并联谐振逆变电路触发引前时间
 $U、V、W$ ——逆变器输出端
 U ——整流电路负载电压有效值
 U_1 ——变压器一次相电压有效值
 u_1 ——变压器一次相电压瞬时值
 U_{11} ——变压器一次线电压有效值
 U_2 ——变压器二次相电压有效值
 U_{2L} ——变压器二次线电压有效值
 u_c ——载波电压
 $U_{CE(sat)}$ ——晶体管饱和时集电极和发射极间的管压降
 U_{CES} ——IGBT 最大集射极间电压
 u_{gs} ——控制电压
 U_d ——整流电路输出电压平均值;逆变电路的直流侧电压
 u_{AD} ——整流管两端电压瞬时值
 u_d ——整流电路输出电压瞬时值
 u_{DR} ——续流二极管两端电压瞬时值
 U_{DRM} ——晶闸管的断态重复峰值电压

U_{DS} ——MOSFET 漏极和源极间电压	V——晶体管; IGBT; 电力 MOSFET
$U_{d\alpha}$ ——延迟角为 α 时整流电压平均值	VD——整流管
$U_{d\beta}$ ——延迟角为 β 时逆变电压平均值	VD _R ——续流二极管
U_F ——电力二极管的正向电压	VS——硅稳压管
U_{FT} ——电力二极管的正向电压过冲	VT——晶闸管; GTO
u_g ——晶闸管门极电压瞬时值	X——电抗器的电抗值
u_{GE} ——IGBT 栅极和发射极间电压	X_B ——从二次侧计算时的变压器漏抗
$u_{GE(th)}$ ——IGBT 的开启电压	X_p ——平衡电抗器的电抗
U_{GS} ——MOSFET 栅极和源极间电压	Z——复数阻抗
U_i ——斩波电路输入电压	Z_1 ——基波阻抗
u_k ——整流变压器的阻抗电压	Z_n —— n 次谐波的阻抗
u_L ——电抗器两端电压瞬时值	α ——晶闸管的触发延迟角; 晶体管共基极 电流放大系数; 用于斩波电路表示器 件导通占空比; 导通比
U_n ——整流电路输出电压中的 n 次谐波有 效值	β ——晶闸管的逆变控制角; 晶体管电流放 大系数
U_{nm} ——整流电路输出电压中的 n 次谐波电压 最大值	β_{min} ——最小逆变角
U_o ——斩波电路输出电压	β_{off} ——GTO 电流关断增益
u_o ——负载电压	δ ——晶闸管的停止导电角; 并联谐振逆变 电路触发引前角; 波形畸变率
u_s ——信号波电压	γ ——换相重叠角; 纹波因数; 输出电压比
u_p ——峰值电压	θ ——晶闸管的导通角
U_R ——整流电路输出电压中谐波电压有效值	φ ——位移因数角; 相位滞后角; 负载阻 抗角
U_{RR} ——电力二极管的反向电压过冲	ω ——角频率
U_{RRM} ——电力二极管、晶闸管的反向重复峰值 电压	ω_c ——载波角频率
u_s ——同步电压	ω_s ——信号波角频率
U_T ——MOSFET 的开启电压	ν ——基波因数
U_{TH} ——电力二极管门槛电压	λ ——功率因数
U_{TM} ——晶闸管通态(峰值)电压	ϕ ——磁通
U_{UN} ——逆变电路负载 U 相相电压有效值	σ ——三角化率
U_{UV} ——逆变电路负载 U 相和 V 相间线电压 有效值	

目 录

序

第5版前言

第4版前言

符号说明

第1章 绪论	1
1.1 什么是电力电子技术	1
1.2 电力电子技术的发展史	4
1.3 电力电子技术的应用	6
1.4 本教材的内容简介和使用说明	8
第2章 电力电子器件	10
2.1 电力电子器件概述	10
2.2 不可控器件——电力二极管	14
2.3 半控型器件——晶闸管	19
2.4 典型全控型器件	25
2.5 其他新型电力电子器件	37
2.6 功率集成电路与集成电力电子模块	39
习题及思考题	42
第3章 整流电路	43
3.1 单相可控整流电路	43
3.2 三相可控整流电路	53
3.3 变压器漏感对整流电路的影响	61
3.4 电容滤波的不可控整流电路	63
3.5 整流电路的谐波和功率因数	69
3.6 大功率可控整流电路	76
3.7 整流电路的有源逆变工作状态	82
3.8 整流电路相位控制的实现	87
习题及思考题	95

第4章 逆变电路	97
4.1 换流方式	98
4.2 电压型逆变电路	100
4.3 电流型逆变电路	106
4.4 多重逆变电路和多电平逆变电路	112
习题及思考题	118
第5章 直流-直流变流电路	119
5.1 基本斩波电路	119
5.2 复合斩波电路和多相多重斩波电路	129
5.3 带隔离的直流-直流变流电路	131
习题及思考题	138
第6章 交流-交流变流电路	140
6.1 交流调压电路	140
6.2 其他交流电力控制电路	148
6.3 交-交变频电路	149
6.4 矩阵式变频电路	157
习题及思考题	161
第7章 PWM 控制技术	162
7.1 PWM 控制的基本原理	163
7.2 PWM 逆变电路及其控制方法	164
7.3 PWM 跟踪控制技术	177
7.4 PWM 整流电路及其控制方法	179
习题及思考题	184
第8章 软开关技术	185
8.1 软开关的基本概念	185
8.2 软开关电路的分类	187
8.3 典型的软开关电路	189
8.4 软开关技术新进展	194
习题及思考题	195
第9章 电力电子器件应用的共性问题	196
9.1 电力电子器件的驱动	196
9.2 电力电子器件的保护	200
9.3 电力电子器件的串联和并联使用	204

习题及思考题	206
第 10 章 电力电子技术的应用	207
10.1 晶闸管直流电动机系统	208
10.2 变频器和交流调速系统	214
10.3 不间断电源	218
10.4 开关电源	220
10.5 功率因数校正技术	224
10.6 电力电子技术在电力系统中的应用	228
10.7 电力电子技术的其他应用	235
习题及思考题	237
结束语	239
教学实验	241
实验 1 三相桥式全控整流电路的性能研究	241
实验 2 直流斩波电路的性能研究	243
实验 3 单相交流调压电路的性能研究	244
实验 4 单相交-直-交变频电路的性能研究	245
实验 5 半桥型开关稳压电源的性能研究	248
附录	251
附录 A 术语索引	251
附录 B 与电力电子技术有关的学术组织、学术会议及期刊	262
参考文献	267

对于电力电子技术尚不了解的人一开始会有这样一些问题：什么是电力电子技术？它的发展经历了哪些阶段？目前主要应用在哪些领域？对这些问题的初步讲解将使读者对电力电子技术有一个大致的了解。对本教材编写指导思想和基本内容的说明有助于读者更好的学习这门课程。本章的内容试图使读者对电力电子技术有一个初步的了解。

1.1 什么是电力电子技术

顾名思义，可以认为，所谓电力电子技术就是应用于电力领域的电子技术。电子技术包括信息电子技术和电力电子技术两大分支。通常所说的模拟电子技术和数字电子技术都属于信息电子技术。电力电子技术中所变换的“电力”和“电力系统”所指的“电力”是有一定差别的。两者都指“电能”，但后者更具体，特指电力网的“电力”，前者则更一般些。具体地说，电力电子技术就是使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术。目前所用的电力电子器件均由半导体制成，故也称电力半导体器件。电力电子技术所变换的“电力”，功率可以大到数百兆瓦甚至吉瓦，也可以小到数瓦甚至是毫瓦级。信息电子技术主要用于信息处理，而电力电子技术则主要用于电力变换，这是二者本质上的不同。

通常所用的电力有交流和直流两种。从公用电网直接得到的电力是交流，从蓄电池和干电池得到的电力是直流。从这些电源得到的电力往往不能直接满足要求，需要进行电力变换。如表 1-1 所示，电力变换通常可分为四大类，即交流变直流(AC-DC)、直流变交流(DC-AC)、直流变直流(DC-DC)和交流变交流(AC-AC)。交流变直流称为整流，直流变交流称为逆变。直流变直流是指一种电压(或电流)的直流变为另一种电压(或电流)的直流，可用直流斩波电路实现。交流变交流可以是电压或电力的变换，称做交流电力控制，也可以是频率或相数的变换。有的读者认为，整流和逆变较好理解，而直流变直流和交流变交流则较难理解。实际上直流变直流并非电力种类的变换，而是电压(或电流)的变换，即一种直流电压(或电流)变为另一种直流电压(或电流)；交流变交流除了电压或电流的变换外，还多了另一些可能，即频率或相数的变换。进行上述电力变换的技术称为变流技术。