

教育部推荐教材 ● 21世纪高职高专系列规划教材 ● 高职高专“工学结合”试点教材



电力电子技术与实训

主 编 王锁庭 许素玲
副主编 王吉恒 刘建军
主 审 刘鲁源

21SHIJI GAOZHI GAOZHUAN XILIE GUIHUA JIAOCAI

DIANLI
DIANZI JISHU YU SHIXUN



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

教育部推荐教材

21世纪高职高专系列规划教材

高职高专“工学结合”试点教材

电力电子技术与实训

主 编 王锁庭 许素玲
副主编 王吉恒 刘建军
参 编 王宝锋 孟海军 张文红
 李建芳 王春伟
主 审 刘鲁源



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术与实训/王锁庭,许素玲编著. —北京:北京师范大学出版社,2008.3

(21世纪高职高专系列规划教材)

教育部推荐教材

ISBN 978-7-303-09152-2

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 022207 号

出版发行:北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码:100875

印 刷:唐山市润丰印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:170 mm×230 mm

印 张:21.25

字 数:333 千字

版 次:2008 年 3 月第 1 版

印 次:2008 年 3 月第 1 次印刷

定 价:31.50 元

责任编辑:周光明

装帧设计:李葆芬

责任校对:李 菡

责任印制:马鸿麟

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话:010-58800697

北京读者服务部电话:010-58808104

外埠邮购电话:010-58808083

本书如有印装质量问题,请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话:010-58800825

出版说明

随着我国经济建设的发展,社会对技术型应用人才的需求日趋紧迫,这也促进了我国职业教育的迅猛发展,我国职业教育已经进入了平稳、持续、有序的发展阶段。为了适应社会对技术型应用人才的需求和职业教育的发展,教育部对职业教育进行了卓有成效的改革,职业教育与成人教育司、高等教育司分别颁布了调整后的中等职业教育、高等职业教育专业设置目录,为职业院校专业设置提供了依据。教育部连同其他五部委共同确定数控技术应用、计算机应用与软件技术、汽车运用与维修、护理为紧缺人才培养专业,选择了上千家高职、中职学校和企业作为示范培养单位,拨出专款进行扶持,力争培养一批具有较高实践能力的紧缺人才。

职业教育的快速发展,也为职业教材的出版发行迎来了新的春天和新的挑战。教材出版发行为职业教育的发展服务,必须体现新的理念、新的要求,进行必要的改革。为此,在教育部高等教育司、职业教育与成人教育司、北京师范大学等的大力支持下,北京师范大学出版社在全国范围内筹建了“全国职业教育教材改革与出版领导小组”,集全国各地上百位专家、教授于一体,对中等高等职业院校的文化基础课、专业基础课、专业课教材的改革与出版工作进行深入的研究与指导。2004年8月,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”召开了“全国有特色高职教材改革研讨会”,来自全国20多个省、市、区的近百位高职院校的院校长、系主任、教研室主任和一线骨干教师参加了此次会议。围绕如何编写出版好适应新形势发展的高等职业教育教材,与会代表进行了热烈的研讨,为新一轮教材的出版献计献策。这次会议共组织高职教材50余种,包括文化基础课、电工电子、数控、计算机教材。2005年~2006年期间,“全国职业教育教材改革与出版领导小组”先后在昆明、

哈尔滨、天津召开高职高专教材研讨会，对当前高职高专教材的改革与发展、高职院校教学、师资培养等进行了深入的探讨，同时推出了一批公共素质教育、商贸、财会、旅游类高职教材。这些教材的特点如下。

1. 紧紧围绕教育改革，适应新的教学要求。过渡时期具有新的教学要求，这批教材是在教育部的指导下，针对过渡时期教学的特点，以3年制为基础，兼顾2年制，以“实用、够用”为度，淡化理论，注重实践，消减过时、用不上的知识，内容体系更趋合理。

2. 教材配套齐全。将逐步完善各类专业课、专业基础课、文化基础课教材，所出版的教材都配有电子教案，部分教材配有电子课件和实验、习题指导。

3. 教材编写力求语言通俗简练，讲解深入浅出，使学生在理解的基础上学习，不囫圇吞枣，死记硬背。

4. 教材配有大量的例题、习题、实训，通过例题讲解、习题练习、实验实训，加强学生对理论的理解以及动手能力的培养。

5. 反映行业新的发展，教材编写注重吸收新知识、新技术、新工艺。

北京师范大学出版社是教育部职业教育教材出版基地之一，有着近20年的职业教材出版历史，具有丰富的编辑出版经验。这批高职教材的编写得到了教育部相关部门的大力支持，部分教材通过教育部审核，被列入职业教育与成人教育司高职推荐教材，并有25种教材列为“十一五”国家级规划教材。我们还将开发电子信息类的通信、机电、电气、计算机、工商管理等专业教材，希望广大师生积极选用。

教材建设是一项任重道远的工作，需要教师、专家、学校、出版社、教育行政部门的共同努力才能逐步获得发展。我们衷心希望更多的学校、更多的专家加入到我们的教材改革出版工作中来，北京师范大学出版社职业教育与教师教育分社全体人员也将备加努力，为职业教育的改革与发展服务。

全国职业教育教材改革与出版领导小组
北京师范大学出版社

参加教材编写的单位名单

(排名不分先后)

沈阳工程学院	唐山学院
山东劳动职业技术学院	江西现代职业技术学院
济宁职业技术学院	江西生物科技职业学院
辽宁省交通高等专科学校	黄冈高级技工学校
浙江机电职业技术学院	深圳高级技工学校
杭州职业技术学院	徐州技师学院
西安科技大学电子信息学院	天津理工大学中环信息学院
西安科技大学通信学院	天津机械职工技术学院
西安科技大学机械学院	西安工程大学
天津渤海职业技术学院	青岛船舶学院
天津渤海集团公司教育中心	河北中信联信息技术有限公司
连云港职业技术学院	张家港职教中心
景德镇高等专科学校	太原理工大学轻纺学院
徐州工业职业技术学院	浙江交通职业技术学院
广州大学科技贸易技术学院	保定职业技术学院
江西信息应用职业技术学院	绵阳职业技术学院
浙江商业职业技术学院	北岳职业技术学院
内蒙古电子信息职业技术学院	天津职业大学
济源职业技术学院	石家庄信息工程职业学院
河南科技学院	襄樊职业技术学院
苏州经贸职业技术学院	九江职业技术学院
浙江工商职业技术学院	青岛远洋船员学院
温州大学	无锡科技职业学院
四川工商职业技术学院	广东白云职业技术学院
常州轻工职业技术学院	三峡大学职业技术学院
河北工业职业技术学院	西安欧亚学院实验中心
陕西纺织服装职业技术学院	天津机电职业技术学院

漯河职业技术学院
济南市高级技工学校
沈阳职业技术学院
江西新余高等专科学校
赣南师范学院
江西交通职业技术学院
河北农业大学城建学院
华北电力大学
北京工业职业技术学院
湖北职业技术学院
河北化工医药职业技术学院
天津电子信息职业技术学院
广东松山职业技术学院
北京师范大学
山西大学工程学院
平顶山工学院
黄石理工学院
广东岭南职业技术学院
青岛港湾职业技术学院
郑州铁路职业技术学院
北京电子科技职业学院
北京农业职业技术学院
宁波职业技术学院
宁波工程学院
北京化工大学成教学院
天津交通职业技术学院
济南电子机械工程学院
山东职业技术学院
天津中德职业技术学院
天津现代职业技术学院
天津青年职业技术学院
无锡南洋学院
北京城市学院
北京经济技术职业学院

北京联合大学
大红鹰职业技术学院
广东华立学院
广西工贸职业技术学院
贵州商业高等专科学校
桂林旅游职业技术学院
河北司法警官职业学院
黑龙江省教科院
湖北财经高等专科学校
华东师范大学职成教所
淮南职业技术学院
淮阴工学院
黄河水利职业技术学院
南京工业职业技术学院
南京铁道职业技术学院
黔南民族职业技术学院
青岛职业技术学院
陕西财经职业技术学院
陕西职业技术学院
深圳信息职业技术学院
深圳职业技术学院
石家庄职业技术学院
四川建筑职业技术学院
四川职业技术学院
太原旅游职业技术学院
泰山职业技术学院
温州职业技术学院
无锡商业职业技术学院
武汉商业服务学院
杨凌职业技术学院
浙江工贸职业技术学院
郑州旅游职业技术学院
淄博职业技术学院
云南机电职业技术学院

云南林业职业技术学院	天津石油职业技术学院
云南国防工业职业技术学院	渤海石油职业技术学院
云南文化艺术职业学院	天津冶金职业技术学院
云南农业职业技术学院	天津城市职业学院
云南能源职业技术学院	常州机电职业技术学院
云南交通职业技术学院	天津公安警官职业技术学院
云南司法警官职业学院	武警昆明指挥学院
云南热带作物职业技术学院	天津工业大学
西双版纳职业技术学院	天津开发区职业技术学院
玉溪农业职业技术学院	黑龙江大兴安岭职业学院
云南科技信息职业学院	黑龙江农业经济职业技术学院
昆明艺术职业学院	黑龙江农业工程职业技术学院
云南经济管理职业学院	黑龙江农业职业技术学院
云南爱因森软件职业学院	黑龙江生物科技职业技术学院
云南农业大学	黑龙江旅游职业技术学院
云南师范大学	中国民航飞行学院
昆明大学	四川信息职业技术学院
陕西安康师范学院	四川航天职业技术学院
云南水利水电学校	四川成都纺织高等专科学校
昆明工业职业技术学院	四川科技职业学院
云南财税学院	四川乐山职业技术学院
云南大学高职学院	四川泸州职业技术学院
山西综合职业技术学院	四川成都农业科技职业技术学院
温州科技职业技术学院	四川宜宾职业技术学院
昆明广播电视大学	江西省委党校
天津职教中心	齐齐哈尔职业学院
天津工程职业技术学院	深圳安泰信电子有限公司
天狮职业技术学院	山东经济干部学院
天津师范大学	潍坊教育学院
天津管理干部学院	德州科技职业技术学院
天津滨海职业技术学院	天一学院
天津铁道职业技术学院	成都烹饪高等专科学校
天津音乐学院	

前言

我国高等职业教育的根本任务是培养适合我国现代化建设和经济发展的高等技术应用型人才,所以,高等职业教育在对工业电气化技术、工业企业电气化、工业电气自动化、工业仪表自动化、生产过程自动化、应用电子技术、机电一体化、计算机应用技术等高等技术应用型相关专业人才的培养过程中,应使学生掌握电力电子技术的基本知识和基本技能,为在今后的生产实践中灵活地应用电力电子技术解决实际问题打下良好的理论和实践基础。《电力电子技术与实训》就成为教学中的必修课之一。为适应我国高等职业教育的发展,满足高等职业技术教育的需要,作者根据多年的教学经验,并查阅和参考了许多相关的书籍和资料,在北京师范大学出版社的统一组织下,编写了本教材。本教材可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院相关专业的教学用书,也适用于五年制高职相关专业,并可作为相关社会从业人员的业务参考书及培训用书。

本书内容包括:电力电子器件;相控整流电路;晶闸管触发电路;有源逆变电路;直流电压变换电路;交流调压电路;变频电路;电力电子技术的应用。各部分内容均从应用角度进行阐述,注重理论联系实际,通过典型应用实例进行电路原理分析,强化对学生职业技能的培养与训练。为了便于教师组织教学和学生的学习,每章在开始时有“学习要求”,明确教学重点和基本要求,对学生的学习也提出学习的目标和方向;结束时有“本章小结”,便于教学总结和归纳,方便学生的理解和复习;在每章的后面设定两个技能训练项目,内容的选择以培养和训练学生的技能为基本要素,明确技能训练的目的,便于培养和提高学生的电力电子方面的实践技能和应用能力;每章还有一定量的习题,学生通过练习,可以加深对知识的理解和掌握。

本书具有以下特色:

- (1)集理论、实验、实训、技能训练与应用能力培养为一体,体系新颖。
- (2)保证基础,加强应用,突出能力,突出实际、实用、实践的原则,贯彻重概念、重结论的指导思想,注重内容的典型性、针对性,加强理论联系实际。
- (3)以电力电子器件为核心,介绍晶闸管、GTR、GTO、功率 MOSFET、IGBT、IPM 等器件的工作原理、参数、驱动与保护,强调电力电子器件的外

部特性以及驱动和保护电路的选用,适当介绍新技术的发展和应用。

(4)从应用的角度介绍典型电力电子线路的工作原理与实用技术,使教材具有实用性,符合高职高专学生毕业后的工作需求。

(5)讲解深入浅出,将知识点与能力点紧密结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力。

本教材按60~80课时编写,各学校根据不同的教学课时可以选择重点的章节进行讲解。

本书由天津石油职业技术学院王锁庭、许素玲担任主编并统稿,王吉恒、刘建军担任副主编。参加编写的有:天津石油职业技术学院许素玲(第1章),渤海石油职业学院王宝锋(第2章),天津石油职业技术学院王锁庭、刘建军(绪论、第3章),天津滨海职业学院张文红(第4、5章),渤海石油职业学院孟海军(第6章),天津石油职业技术学院王吉恒(第7章)、李建芳、王春伟(第8章)。天津大学刘鲁源教授在百忙中仔细、认真地审阅了全书,提出了许多宝贵意见。在编写过程中,编者参阅了许多同行、专家们的论著和文献,特别是得到了天津石油职业技术学院教务处、科研处以及电气工程系的大力支持和帮助,在此一并真诚致谢。

限于编者的学术水平和实践经验,书中的疏漏及不足之处在所难免,恳切希望有关专家和广大读者批评指正。

编 者
2007年10月

目录

Contents

绪论	(1)	1.3.5 晶闸管主要参数	(17)
0.1 电力电子器件	(1)	1.3.6 晶闸管的门极伏安特性及主要参数	(21)
0.2 电力电子技术	(2)	1.3.7 晶闸管派生器件	(22)
0.3 电力电子技术的应用	(3)	1.4 全控型电力电子器件	(25)
0.4 本课程的教学要求	(6)	1.4.1 门极可关断晶闸管	(25)
第1章 电力电子器件	(7)	1.4.2 电力晶体管	(31)
1.1 电力电子器件概述	(7)	1.4.3 电力场效应晶体管	(37)
1.1.1 电力电子器件的特征	(7)	1.4.4 绝缘栅双极型晶体管	(44)
1.1.2 电力电子器件的分类	(9)	1.5 其他新型电力电子器件	(51)
1.2 电力二极管	(11)	1.5.1 集成门极换流晶闸管(IGCT)	(51)
1.2.1 电力二极管的结构与伏安特性	(11)	1.5.2 MOS控制晶闸管(MCT)	(52)
1.2.2 主要参数	(12)	1.5.3 静电感应晶体管 SIT	(53)
1.2.3 电力二极管的选用	(12)	1.5.4 静电感应晶闸管 SITH	(54)
1.2.4 电力二极管的主要类型	(13)	1.5.5 功率集成电路 PIC	(55)
1.3 晶闸管	(14)		
1.3.1 晶闸管的结构	(14)		
1.3.2 晶闸管的导通与关断条件	(15)		
1.3.3 晶闸管的工作原理	(15)		
1.3.4 晶闸管的阳极伏安特性	(16)		

1.5.6 智能功率模块(IPM)	(57)	2.6.2 工作于有源逆变	(97)
技能训练	(59)	状态时	(97)
第2章 相控整流电路	(69)	2.7 晶闸管的保护	(98)
2.1 单相半波相控整流电路	(69)	2.7.1 过电压保护	(98)
2.1.1 带电阻负载的单相半波	(69)	2.7.2 过电流保护	(100)
可控整流电路	(69)	2.7.3 电压和电流上升率的	(102)
2.1.2 带阻感负载的单相半波	(70)	限制	(102)
可控整流电路	(70)	技能训练	(103)
2.2 单相桥式全控整流电路	(72)	第3章 晶闸管触发电路	(113)
2.2.1 带电阻负载的工作	(72)	3.1 对触发电路的要求与	(113)
情况	(72)	简单触发电路	(113)
2.2.2 带阻感负载的工作	(74)	3.1.1 对触发电路的要求	(113)
情况	(74)	3.1.2 简单触发电路	(115)
2.2.3 带反电动势负载时的	(75)	3.2 同步电压为正弦波的	(125)
工作情况	(75)	触发电路	(125)
2.3 单相桥式半控整流电路	(76)	3.2.1 工作原理与波形	(126)
2.3.1 带电阻负载的工作	(77)	3.2.2 正弦波触发电路的	(131)
情况	(77)	优缺点	(131)
2.3.2 带阻感负载的工作	(79)	3.3 同步电压为锯齿波的	(132)
情况	(79)	触发电路	(132)
2.4 三相半波相控整流电路	(82)	3.3.1 锯齿波形成和脉冲移	(133)
2.5 三相桥式全控整流电路	(87)	相控制环节	(133)
2.5.1 电阻性负载	(87)	3.3.2 脉冲形成、整形和放大	(134)
2.5.2 阻感性负载	(90)	输出环节	(134)
2.6 相控整流电路供电的直流	(93)	3.3.3 强触发环节	(136)
电动机调速	(93)	3.3.4 双窄脉冲的产生	(136)
2.6.1 工作于整流状态时	(93)	3.3.5 其他说明	(137)
		3.4 集成触发器和数字触发器	(138)
		3.4.1 集成触发器	(138)

3.4.2 数字式触发器	(141)	4.3.1 逆变失败的原因	(162)
3.5 触发电路与主电路电压的 同步配合与同步举例	(142)	4.3.2 最小逆变角的确定	(163)
3.5.1 同步的概念	(143)	4.4 晶闸管直流可逆拖动系统	(164)
3.5.2 实现同步的方法	(143)	4.4.1 用接触器控制直流 电动机正、反转的 电路	(164)
3.5.3 实例分析	(144)	4.4.2 采用两组晶闸管 反并联的可逆电路	(165)
3.6 晶闸管直流调速系统实例	(145)	4.5 绕线式异步电动机的串级 调速系统	(168)
3.6.1 速度给定与速度负 反馈环节	(147)	技能训练	(170)
3.6.2 前置放大器	(148)	第5章 直流电压变换电路	(176)
3.6.3 移相触发器及单相 半波可控整流主电路	(148)	5.1 直流电压变换电路的 工作原理及分类	(176)
技能训练	(149)	5.1.1 直流电压变换电路的 工作原理	(176)
第4章 有源逆变电路	(156)	5.1.2 直流电压变换电路的 分类	(177)
4.1 有源逆变电路的工作原理	(156)	5.2 晶闸管直流电压变换电路	(178)
4.1.1 有源逆变过程的能量 转换	(156)	5.2.1 电路的工作原理	(178)
4.1.2 逆变电路的分类	(157)	5.2.2 晶闸管的换流原理	(178)
4.1.3 有源逆变的工作原理	(157)	5.3 单象限直流电压变换电路	(180)
4.2 三相有源逆变电路	(158)	5.3.1 降压直流电压变换 电路(Buck)	(180)
4.2.1 三相半波有源逆变 电路	(158)	5.3.2 升压直流电压变换 电路(Boost)	(182)
4.2.2 三相桥式有源逆变 电路	(160)		
4.3 逆变失败与逆变角的限制	(162)		

5.3.3	库克直流电压变换 电路(Cuk)	(184)	6.4.1	调功器的工作原理	(223)
5.4	二象限直流电压变换电路	(186)	6.4.2	调功电路实例	(224)
5.4.1	电流可逆直流电压变换 电路	(187)		技能训练	(227)
5.4.2	全桥式直流电压变换 电路	(188)	第7章 变频电路		(232)
5.5	电压变换电路的应用举例	(192)	7.1	变频电路的基本工作原理	(232)
5.5.1	直流电压变换电路在 电力传动中的应用	(192)	7.1.1	单相输出交—直—交 变频电路	(232)
5.5.2	用晶闸管作为电子 开关的直流电压变换 电路	(198)	7.1.2	单相输出交—交变频 电路	(233)
5.5.3	晶闸管定宽调频型直流 变换电路	(198)	7.1.3	两种变频电路的特点 比较	(234)
	技能训练	(201)	7.2	谐振式变频电路	(235)
第6章 交流调压电路		(210)	7.2.1	并联谐振式变频电路	(235)
6.1	交流开关及其应用电路	(210)	7.2.2	串联谐振式变频电路	(237)
6.2	单相交流调压电路	(212)	7.3	三相桥式变频电路	(239)
6.2.1	电阻性负载	(213)	7.3.1	电压源型桥式变频 电路	(239)
6.2.2	阻感性负载	(213)	7.3.2	电流源型三相桥式 变频电路	(242)
6.3	三相交流调压电路	(216)	7.3.3	两种变频电路的特点	(244)
6.3.1	三相全波相位控制的 Y形连接调压电路	(216)	7.4	交—交变频电路	(245)
6.3.2	其他三相调压电路 形式	(221)	7.4.1	方波型交—交变频 电路	(245)
6.4	交流过零调功电路	(222)	7.4.2	正弦波型交—交变频 电路	(248)
			7.5	脉宽调制(PWM)型变频 电路	(250)

7.5.1 脉宽调制型变频电路 概述	(250)	8.3.3 UPS 中的逆变器	(295)
7.5.2 单相 PWM 变频 电路	(253)	8.3.4 UPS 中的锁相技术	(296)
7.5.3 三相桥式 PWM 变频 电路	(255)	8.3.5 UPS 中的静态开关	(297)
7.5.4 专用大规模集成电路 芯片形成 SPWM 波	(255)	8.4 有源功率因数校正器	(299)
7.5.5 PWM 变频电路的 优点	(259)	8.4.1 有源电力滤波器和 有源功率因数校正	(299)
7.6 变频电路的应用	(259)	8.4.2 母线畸变电流的产生 与 APFC 的基本原理	(300)
7.6.1 中频感应加热电源	(259)	8.4.3 有源功率因数校正的 电路结构	(301)
7.6.2 变频器	(261)	8.4.4 有源功率因数校正的 控制	(302)
技能训练	(264)	8.4.5 APFC 技术的应用	(304)
第 8 章 电力电子技术的应用	(279)	8.5 KGP 系列晶闸管中频装置	(304)
8.1 晶闸管直流调速系统 实例	(279)	8.5.1 三相桥式全控整流 电路	(305)
8.2 开关稳压电源	(281)	8.5.2 单相桥式并联逆变器	(307)
8.2.1 开关稳压电源的工作 原理和特点	(281)	8.5.3 装置的保护	(312)
8.2.2 隔离式高频变换电路	(283)	技能训练	(313)
8.2.3 开关电源的应用	(286)	参考文献	(322)
8.3 不间断电源	(290)		
8.3.1 UPS 的分类	(290)		
8.3.2 UPS 的整流器	(292)		

绪 论

电力电子技术(power electronics)是利用电力半导体器件、应用电路和设计理论以及分析开发工具,实现对电能的有效变换和控制的一门技术,它包括电压、电流、频率和波形等方面的变换。电力电子技术原本是电力学、电子学、控制理论三项技术领域之间的交叉学科,但随着科学技术的发展,电力电子技术已逐步发展成为多学科互相渗透的综合性技术学科,成为高科技的一个重要分支。

当代许多高新技术均与电源的电流、电压、频率和相位等基本参数的变换与控制相关。电力电子技术能够实现对这些参数的变换、精确控制和高效率的处理,从而为多项高新技术的发展提供了有力的支持。电力电子技术及其产业的进一步发展必将为大幅度节约电能、降低材料消耗以及提高生产效率提供重要的手段,并对现代生产和生活带来深远的影响。

0.1 电力电子器件

电力电子器件是电力电子技术发展的基础。自美国 1956 年生产出硅整流二极管(SR)和 1958 年生产出晶闸管(thyristor)以来,电力电子器件的制造技术不断提高,概括起来可大致分为 3 个发展时期。

第一时期是以整流二极管、晶闸管为代表的发展时期。这一时期的半导体器件在低频、大功率变流领域中的应用占有优势,很快便完全取代了汞弧整流器。晶闸管发展的特点是派生器件越来越多,功率越来越大,性能越来越好。截止到 1980 年,普通晶闸管衍生出了快速晶闸管、逆导晶闸管、双向晶闸管、不对称晶闸管、门极关断晶闸管等,从而形成了一个晶闸管的大家族。与此同时,各类晶闸管的电压、电流、电压变化率、电流变化率等参数定额均有很大提高,开关特性也有很大改善。但由于晶闸管控制功能的欠缺,只能通过门极控制开通而不能控制关断,所以称之为半控型器件。要想关断晶闸管必须另加用电感、电容和辅助开关器件组成的强迫换流电路,这样使整机体积增大、重量增加、效率降低。此外,晶闸管的工作频率一般在 400Hz 以下,因而大大限制了它的应用范围。

第二时期是以全控型器件为代表的发展时期。以 GTO、GTR 为代表的双极型全控器件虽仍使用电流控制模式,但其使变流器控制电路得以简化,变

换频率得以提高；以电力 MOSFET 为代表的单极型全控器件采用电压控制模式，控制电路更为简单，而且功耗小、抗干扰能力强，工作频率达到 500kHz 以上；以绝缘栅双极型晶体管(IGBT)为代表的混合型全控器件是用 GTR、GTO 或 SCR 等双极型器件作为主导器件，用 MOSFET 单极型器件作为控制器件混合集成之后制成的，这种器件既具有双极型器件电流密度高、导通压降低的优点，又具有单极型器件输入阻抗高、响应速度快的优点。

第三时期是以智能化功率集成电路(SPIC)、智能功率模块(IPM)和高压集成电路(HVIC)等器件为代表的发展时期。这一阶段中，电力电子技术与微电子技术更紧密地结合在了一起，所使用的半导体器件是将全控型电力电子器件与驱动电路、控制电路、传感电路、保护电路、逻辑电路等集成在一起的高度智能化的功率集成电路，它实现了器件与电路、强电与弱电、功率流与信息流的集成，成为机和电之间的智能化接口、机电一体化的基础单元。预计功率集成电路(PIC)的发展将会使电力电子技术实现第二次革命，进入全新的智能化时代。

所有这一切为高频变换技术的开发，为变流器实现高频化、小型化、轻量化和节能、节材、提高效率与可靠性奠定了基础。

0.2 电力电子技术

1. 电力电子技术的类型

电力电子技术是实现电能有效变换和控制的一门技术，也称为电力电子变流技术，其变换方式大致分为 5 种类型。

- (1) 整流：将交流电变换为直流电(AC/DC 变换)。
- (2) 逆变：将直流电变换为交流电(DC/AC 变换)。
- (3) 交流调压或变频：实现交流电的电压变换或频率变换。
- (4) 斩波：将直流电压的大小进行变换(DC/DC 变换)。
- (5) 交、直流开关：作为交流或直流电路的无触点开关、实现断路器的功能，控制电路通断。

2. 电力电子技术的发展过程

电力电子技术的发展可概括为以下 3 个阶段。

第一阶段是使用真空器件电子管、离子管(闸流管、汞弧整流器、高压汞弧阀)的发展与应用阶段，此时的变流技术仅限于整流变换。

第二阶段是半导体功率器件硅整流二极管、晶闸管的发展与应用阶段，主要指晶闸管及其派生器件的应用。随着半导体功率器件制造水平的不断提