

高等学校教材

电力电子学

Power Electronics

主 编 刘志刚

副主编 叶 斌 梁 晖



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

高等学校教材

电力电子学

主 编 刘志刚

副主编 叶 斌 梁 晖

清华大学出版社
北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

电力电子学是一门利用电力电子器件对电能进行变换与控制的交叉技术学科,它包括对电压、电流、频率和相位的波形分析和电能变换与控制方法的研究等方面。该学科方向由三部分内容组成,即电力电子器件、电力电子电路、电力电子系统及其控制。本书的目的是着重研究各种电能变换电路的基本工作原理、电路结构、电气性能、波形分析方法和参数计算等,并培养学生的设计和实验调试能力。本书可作为电气工程及自动化专业本科教材,也可作为电气工程领域及工业自动化领域研究生的参考书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子学/刘志刚主编;叶斌,梁晖副主编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2004.6

(高等学校教材)

ISBN 7-81082-306-X

I. 电… II. 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(2004)第039995号

责任编辑:高振宇

出版者:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686045,62237564

印刷者:北京人卫印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开本:185×230 印张:21.5 字数:477千字

版次:2004年6月第1版 2004年6月第1次印刷

书号:ISBN 7-81082-306-X/TM·6

印数:0001~4000册 定价:29.00元

前 言

1957年美国GE公司(美国通用电气公司)发明了半导体开关器件——晶闸管,由于它可简便地实施大功率变换,从而开始了电力电子学时代。近50年来,“电力电子技术”作为不同电能形式之间的桥梁,与“微电子技术、自动控制技术”等相辅相成快速发展,成为电气工程领域最为活跃的一个分支。电力电子技术在太阳能、风能等清洁能源发电,直流输电,电力机车,城市轻轨交通,船舶推进,电机节能应用,交直流供电电源,电梯控制,机器人控制等领域,乃至社会日常生活等诸多方面的应用不断延伸,使我们的生活变得丰富多彩。学习和从事该学科领域的人员队伍迅速扩大,社会需求不断增加。

国外著名高等院校数年前就将该专业方向的课程列为必修课,并且在本科生、硕士生及博士生中开设了不同深度的课程。随着电力电子技术应用的日益广泛,即使非电力电子学专业方向的学生,为了毕业后能适应工作的需要,也踊跃选修该方向的课程。

本书是面向电气工程及其自动化专业的本科教材。电力电子学是电气工程学科的基础平台课程,是电力电子装置、开关电源技术、自动控制系统、变频调速应用、柔性输电系统等课程的先行课程。同时,也是电气信息类其他相关专业的重要基础课之一。通过本课程的学习,使学生理解并掌握电力电子学领域的相关基础知识,培养其分析问题、解决问题的能力,了解电力电子学科领域的发展方向。

本书的编写吸收了北京交通大学校级重点项目“电力电子系列课程改革”的重要成果和编著者数年的科研积累,在强调内容体系的全面性及合理性的同时,着重强调了电力电子学的基本理论和基本分析方法。本书对教学内容及所编章节顺序进行了合理调整与规划,删减了传统教材中过时的内容,增加了电力电子学领域的最新成果,全面反映了电力电子学的基础和近年来国内外的研究成果。本书也可以作为电气工程领域及工业自动化领域研究生的参考书,对该领域的工程技术人员也有很高的参考价值。

本书由北京交通大学电气工程学院刘志刚任主编,叶斌、梁晖任副主编。全书共分11章,其中,第1,2,5,6,7,8,10,11章由刘志刚编写;第3,4章由叶斌编写;第9章由梁晖编写;沈茂盛参加了第7,8章的编写。

汤钰鹏老师审阅了全书内容,并提出了许多宝贵意见;和敬涵老师对本书的申请立项及组织编写提供了很多支持与帮助;全书插图由牟富强、温志超绘制,张辉、周鑫参加了资料收集和文字整理工作;本书的出版得到了北京交通大学教材出版基金的资助,在此一并表示衷心的感谢。

电力电子技术作为21世纪解决能源危机的必备技术之一而受到重视,若读者能以浓厚的兴趣学习本书,我们将感到十分荣幸。

由于时间的限制和编者学识的局限,书中难免有错误和遗漏,敬请广大读者在使用过程中提出宝贵意见。

编 者

2004年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 电力电子学的发展历程	2
1.3 电力电子学的任务及面临的问题	4
1.4 电力电子学的应用领域	5
1.5 电力电子学的未来前景	6
1.6 电力电子的基本变换形式	7
1.7 说明	8
第 2 章 电力电子器件的原理与特性	9
2.1 电力电子器件的发展、分类与应用	9
2.1.1 电力电子器件及其发展现状	9
2.1.2 常用电力电子器件的分类及其应用领域	10
2.1.3 电力电子器件的发展趋势	11
2.2 功率二极管	12
2.2.1 功率二极管的基本特性	12
2.2.2 二极管的基本应用	14
2.3 晶闸管(SCR)	15
2.3.1 结构与工作原理	15
2.3.2 晶闸管的基本特性	16
2.3.3 晶闸管的主要特性参数	17
2.3.4 晶闸管家族的其他主要电力电子器件	19
2.4 可关断晶闸管(GTO)	21
2.4.1 结构与工作原理	22
2.4.2 特性与参数	25
2.5 电力晶体管(GTR 或 BJT)	28
2.5.1 电力晶体管的结构	28
2.5.2 特性与参数	30
2.5.3 GTR 的二次击穿与安全工作区	34
2.6 电力场效应晶体管(电力 MOSFET)	36
2.6.1 概述	36
2.6.2 电力 MOSFET 的静态特性与参数	38

2.6.3	电力 MOSFET 的动态特性和参数	39
2.7	绝缘栅双极晶体管(IGBT)	41
2.7.1	IGBT 的工作原理	41
2.7.2	IGBT 的基本特性	42
2.7.3	擎住效应	43
2.7.4	IGBT 的安全工作区	44
2.8	其他新型场控器件	44
2.8.1	MOS 控制晶闸管 MCT	44
2.8.2	集成门极换流晶闸管 IGCT	45
2.8.3	静电感应晶体管 SIT	46
2.8.4	静电感应晶闸管 SITH	48
2.8.5	智能功率模块 IPM	49
2.9	小结	51
第3章	相控整流电路	53
3.1	概述	53
3.1.1	整流电路的分类	53
3.1.2	可控整流电路的一般结构	53
3.1.3	学习整流电路的基本方法	54
3.2	单相桥式全控整流电路	55
3.2.1	可控整流的基本概念	55
3.2.2	电阻性负载单相桥式全控整流电路	56
3.2.3	电感性负载单相桥式全控整流电路	59
3.2.4	电动机负载单相桥式全控整流电路	61
3.3	单相桥式半控整流电路	63
3.3.1	电感性负载单相桥式半控整流电路	64
3.3.2	反电势负载单相桥式半控整流电路	66
3.4	三相半波可控整流电路	67
3.4.1	电阻性负载	67
3.4.2	电感性负载	69
3.5	三相桥式全控整流电路	71
3.5.1	三相桥式全控整流电路的工作原理及波形	72
3.5.2	基本电量计算	75
3.6	三相桥式半控整流电路	76
3.6.1	电阻性负载	77
3.6.2	电感性负载工作原理及失控现象	78
3.7	整流器交流侧电抗对整流电路的影响	81
3.7.1	换流期间电压电流波形分析	81

3.7.2	换相压降的计算和整流电路的输出外特性	82
3.7.3	重叠角 γ 的计算	83
3.8	小结	87
3.9	习题	87
第4章	有源逆变与相控变流器特性	91
4.1	有源逆变电路的工作原理	91
4.1.1	有源逆变的工作原理	91
4.1.2	实现有源逆变的条件	92
4.2	三相有源逆变电路	93
4.2.1	三相半波逆变电路的工作原理	93
4.2.2	三相桥式全控有源逆变电路	96
4.2.3	有源逆变失败的原因与控制角的限制	97
4.3	有源逆变的应用	100
4.3.1	高压直流输电	100
4.3.2	绕线式异步电动机晶闸管串级调速	101
4.3.3	两组变流器反并联的直流可逆电力拖动系统	102
4.4	整流电路的功率因数及其改善的方法	104
4.4.1	整流电路的功率因数	104
4.4.2	提高功率因数的措施	107
4.5	小结	109
4.6	习题	110
第5章	直直变换器	112
5.1	降压变换器	113
5.1.1	连续导电模式	113
5.1.2	不连续导电模式	115
5.2	升压变换器	115
5.2.1	连续导电模式	116
5.2.2	不连续导电模式	116
5.3	升-降压变换器	118
5.3.1	连续导电模式	118
5.3.2	不连续导电模式	119
5.4	丘克变换器	120
5.5	多象限直流变换器	122
5.5.1	桥臂式二象限直流变换器	122
5.5.2	混合桥式二象限直直变换器	123
5.5.3	四象限直直变换器	124
5.6	多相多重直直变换器	124

5.7 带隔离变压器的直直变换器	126
5.7.1 正激式 (Forward) 变换器	127
5.7.2 反激式 (Flyback) 变换器	129
5.7.3 推挽式变换器	131
5.7.4 半桥式变换器	132
5.7.5 全桥式变换器	133
第 6 章 无源逆变电路	135
6.1 无源逆变电路的原理	136
6.1.1 单相半桥逆变电路	136
6.1.2 单相全桥逆变电路	138
6.1.3 推挽式单相逆变电路	139
6.1.4 三相桥式逆变电路	140
6.2 逆变器基本类型和性能指标	140
6.2.1 逆变器基本类型	140
6.2.2 逆变器输出波形性能指标	141
6.3 三相逆变器工作原理	142
6.3.1 电压型三相逆变器工作原理	142
6.3.2 电流型三相逆变器工作原理	147
6.4 PWM 技术	149
6.4.1 正弦脉冲宽度调制原理	149
6.4.2 SPWM 的基波电压	152
6.4.3 对脉宽调制的制约条件	155
6.4.4 同步调制与异步调制	156
6.4.5 脉宽调制逆变器的基本控制方法	157
6.5 逆变器输出的其他控制方法	162
6.5.1 电流跟踪控制	162
6.5.2 开关频率恒定的电流跟踪型 PWM 控制技术	165
6.5.3 电压空间矢量 PWM 控制 (磁链跟踪控制)	166
6.6 三电平逆变器的原理与电路	173
6.6.1 电路原理	173
6.6.2 三电平逆变器的输出波形	174
6.7 多重化技术	175
6.7.1 多重电流型逆变器	175
6.7.2 多重电压型逆变器	179
6.8 习题	180
第 7 章 PWM 整流电路及其应用	181
7.1 脉冲整流电路的基本原理及分类	182

7.1.1	基本原理	182
7.1.2	PWM 整流器的分类与对偶性	183
7.2	电压型 PWM 整流器	184
7.2.1	单相 PWM 整流器主电路结构及工作原理	184
7.2.2	主要方程式及相量图	185
7.2.3	工作模式及能量关系	186
7.2.4	电压型三相 PWM 整流器主电路结构及工作原理	189
7.2.5	电压型 PWM 整流器的控制	189
7.3	电流型 PWM 整流器	191
7.3.1	单相 PWM 整流器主电路结构及其工作原理	191
7.3.2	主要方程式及相量图	192
7.3.3	工作模式及能量关系	193
7.3.4	单相电流型晶闸管 PWM 整流器工作原理	195
7.3.5	三相电流型 PWM 整流器主电路结构及其工作原理	197
7.4	电流型 PWM 整流器与电压型 PWM 整流器的性能特点比较	199
7.5	PWM 整流器的应用	200
7.5.1	PWM 整流器在电力机车上的应用	200
7.5.2	PWM 整流器在大容量通用变频器中的应用	201
7.5.3	有源电子负载	203
7.5.4	可再生能源和储能系统与电网间的互联	204
7.6	小结	207
7.7	习题	207
第 8 章	谐振变换器	208
8.1	概述	208
8.2	谐振电路的基本概念	209
8.2.1	串联谐振电路工作原理	209
8.2.2	并联谐振电路工作原理	211
8.2.3	高阶谐振电路	212
8.3	负载谐振换流器	213
8.3.1	串联负载谐振换流器	213
8.3.2	并联负载谐振换流器	219
8.3.3	高阶谐振换流器	225
8.3.4	E 类换流器	226
8.4	谐振开关换流器	227
8.4.1	零电流谐振开关换流器	227
8.4.2	零电压谐振开关换流器	231
8.5	谐振直流连接逆变器	234

8.6	双向谐振换流器	236
8.7	小结	236
8.8	习题	238
第9章	交流调压电路及交交变频电路	239
9.1	概述	239
9.1.1	交流电力控制电路基本类型及其应用	239
9.1.2	交交变频电路基本类型及其应用	241
9.2	单相交流调压电路	242
9.2.1	电阻负载工况分析	243
9.2.2	感性负载工况分析	244
9.3	三相交流调压电路	247
9.3.1	主电路基本形式	247
9.3.2	控制原则及工作条件分析	249
9.3.3	三相交流调压电路典型波形分析	250
9.4	其他类型的交流电力控制电路	254
9.4.1	交流调功电路	254
9.4.2	交流电力电子开关	256
9.4.3	交流斩波调压电路	258
9.5	三相交交变频电路	259
9.6	交交变频电路的运行方式及性能特点	262
9.6.1	有环流与无环流运行方式	262
9.6.2	输出电压的控制	264
9.6.3	输入侧功率因数	265
9.7	其他类型的交交变频电路	267
9.7.1	三倍倍频电路	267
9.7.2	负载换流的倍频电路	268
9.7.3	矩阵式交交变频电路	269
9.8	习题	271
第10章	电力电子装置对电网的影响及其抑制措施	272
10.1	概述	272
10.1.1	谐波污染	272
10.1.2	功率因数	273
10.1.3	电磁干扰	273
10.2	谐波的特性及其抑制	274
10.2.1	谐波产生机理	274
10.2.2	谐波抑制的方法	276
10.3	功率因数校正	281

10.3.1	基本概念	281
10.3.2	功率因数校正电路	281
10.4	电磁干扰的分类及其抑制	285
10.4.1	电磁干扰的分类	285
10.4.2	电磁干扰抑制	286
第 11 章	电力电子器件的应用基础	290
11.1	晶闸管触发电路	290
11.1.1	晶闸管对触发电路的基本要求	290
11.1.2	触发电路的型式	291
11.1.3	单结晶体管移相触发电路	291
11.2	可关断晶闸管 (GTO) 的门控电路	294
11.2.1	门极驱动特性	294
11.2.2	门极控制信号波形分析	296
11.2.3	GTO 的门控电路	297
11.3	电力 MOSFET 和 IGBT 的栅控电路及其模块	298
11.3.1	电力 MOSFET 的栅极驱动电路	298
11.3.2	IGBT 的栅极驱动电路	301
11.4	电力电子器件的串并联应用及系统容量扩展	304
11.4.1	晶闸管的串并联	304
11.4.2	GTO 的串并联应用	306
11.4.3	功率 MOSFET 的并联应用	309
11.4.4	IGBT 的串并联应用	310
11.5	器件使用中的保护措施	313
11.5.1	晶闸管的保护措施	313
11.5.2	功率 MOSFET 的保护	316
11.5.3	GTO 的过电流保护	317
11.5.4	IGBT 的保护	319
11.6	电力电子器件的缓冲电路	322
11.6.1	缓冲电路的作用与基本类型	322
11.6.2	缓冲电路的基本结构	324
11.7	器件的散热	325
11.7.1	散热的原理与重要性	325
11.7.2	散热器及其安装	327
11.8	习题	328
参考文献	330

第 1 章

绪 论

1.1 概述

电力电子技术是一门利用电力电子器件对所供给的电能，进行变换与控制以获得所希望的输出波形的技术，其学科基础即电力电子学，它是电力、电子、控制三大电气工程技术领域之间的交叉学科，是一门多学科相互渗透的综合性学科。美国电气和电子工程师协会(IEEE)的电力电子学会曾对电力电子学有如下的阐述：“有效地使用电力半导体器件，应用电路和设计理论及分析开发工具，实现对电能的高效能变换和控制的一门技术，它包括对电压、电流、频率和波形等方面的变换”。

电力电子学的内容主要包括电力电子器件、能量变换主电路和控制系统三个方面。它是在电气工程相关学科发展的基础上发展起来的。今后，随着科学技术的进步，它必将与现代控制理论、材料科学、微电子技术、计算机技术及电机工程等领域发生更加密切的关系。

随着科学技术与经济的日益发展，电力电子学的应用已深入到工业、农业、交通运输、办公自动化、航空航天、国防现代化、医疗器械、环保和人民生活的各个领域。据技术发达国家的有关专家统计，经过电力电子学处理的电能已达到总电能的百分之九十以上。经济社会的需要说明：对电力电子学的掌握已成为十分迫切和异常重要的问题。

电力电子学的创新主要有新的电路原理或结构与技术综合两个方面。可以说电力电子学数十年的发展，都是在电气工程学科的基础上，对电能变换进行新的电路原理或结构的创新和技术综合的结果。而这些创新思想的每次付之于应用，都给工业生产带来了巨大的影响。至今，电力电子学已经发展成为电气工程领域内的极为重要的独立学科。

和电气工程领域的其他学科一样，社会广泛且大量的需求成为电力电子学发展的牵引力，有力地拉动了电力电子学的迅速成长，并使其成为一门独立的学科；而现代科学与技术又为电力电子学的发展提供了巨大的推动力，极大地促进了电力电子学的迅速发展。目前，美国等发达国家均设有国家电力电子研究中心；我国也成立了相关的国家电力电子工程及研究中心，而且国内各著名大学均设有相关的专业方向。可以预料在今后的发展中，随着我国及世界经济的发展，电力电子学必将在电气工程领域中占据越来越重要的地位。

电力电子学利用电路理论、现代微电子技术、计算机技术、现代控制理论、大规模集成电路技术、电力系统理论, 实现电能各种形式之间的变换, 从而实现满足不同用电要求的目的。

由于电力电子学是在电气工程领域其他学科的基础上发展起来的, 因而电气工程领域的各个学科的发展也必将对电力电子学的发展起重要的推动作用, 特别是功率半导体器件和大规模集成电路技术、电路拓扑、数字控制和现代控制理论、电力系统理论等学科的发展大大推动了电力电子学的应用及完善。

1.2 电力电子学的发展历程

电力电子学发展过程中的重要事件如下:

- 1803 年 整流器的发明;
- 1876 年 硒整流器的发明;
- 1896 年 单相桥式整流电路;
- 1897 年 三相桥式整流电路;
- 1902 年 水银整流器;
- 1903 年 相控整流原理;
- 1911 年 金属封装水银整流器;
- 1922 年 周波变换器原理;
- 1923 年 电子闸流管;
- 1924 年 斩波器原理;
- 1925 年 逆变器换流原理;
- 1926 年 热阴极电子闸流管;
- 1931 年 铁路牵引用周波变换器;
- 1933 年 引燃管的发明;
- 1935 年 高压直流输电的实现;
- 1939 年 电机驱动概念的引入;
- 1942 年 20 MW 频率变换器, 25/60 Hz;
- 1953 年 锗功率二极管, 100 A;
- 1954 年 硅功率二极管;
- 1957 年 半导体闸流管;
- 1958 年 半导体闸流管的商业化;
- 1961 年 小功率 (GTO);
- 1964 年 三端双向可控开关元件用于直流电机驱动;
- 1965 年 光激硅可控整流器;

- 1967年 用于高压直流输电应用的晶闸管；
- 1970年 硅双极型晶体管 (BJT), 500 V, 20 A；
- 1971年 磁场定向原理的发明 (矢量控制)；
- 1973年 用周波变换器实现的无齿轮传动球磨机；
- 1975年 巨型晶体管, 300 V, 400 A；
- 1978年 功率场效应管, 100 V, 25 A；
- 1979年 功率场效应管采用微处理器实现矢量控制的晶体管逆变器 (LEONHARD)；
- 1980年 矩阵变换器；光触发晶闸管, 4 kV, 1.5 kA ；
开关磁阻电机；
- 1981年 2 500 V, 1 000 A GTO ；
周波变换器实现的球磨机驱动；
- 1982年 ĆUK 变换器；
- 1983年 IGBT 的发明；
- 1983年 谐振链直直变换器；
- 1986年 谐振链直流变换器；
柔性输电概念的提出；
- 1987年 双向 PWM RECTIFIER - INVERTER；
- 1987年 场控晶闸管 (MCT) ；
电力系统有功功率控制器 (APLC)；
直接力矩控制；
- 1989年 85 MW 变速泵储能系统；
准谐振逆变器；
- 1990年 “SMART” 功率驱动；
- 1991年 80 MVA 静止无功补偿器 (SVC)；
- 1992年 300MW 直流输电, 6 kV, 2.5 kA；
- 1993年 模糊逻辑级神经网络在电力电子学及电力传动上的应用；
- 1994年 1 MVA IGBT 不停电电源；
38 MVA GTO 牵引逆变器；
400 MW 变速泵储能系统；
- 1995年 3 电平 GTO/IGBT 逆变器在球磨机传动中的应用 (15 / 1.5 MVA)；
100 MVA_r 静止无功补偿装置 (TVA)；
- 1997年 IGCT 概念的提出和商业化；
ETO / MTO 的开发；
- 1998年 5 MW 3 电平直接力矩控制变换器；
1 MW 50 千赫电流型感应加热逆变器；



- 1998年 300 MW GTO 高压输电变换系统；
6.5 kV 双向晶闸管 (BCT)；
- 1999年 6.5 kV, 600 A IGBT 模块在 3 000 V 直流系统中替代 GTO；
双向 MOS 开关 (MBS)；
- 2000年 反向阻断型 IGBT；
用 3 电平 IGCT 逆变器实现的 45 MVA 动态电压补偿器 (DVR)；
矩阵变换器模块。

尽管与电力电子学相关的技术始于 19 世纪初，但是电力电子学真正成为一门独立的学科却始于 1957 年普通晶闸管的问世。由于和先前发明的各种器件比较，其功率处理能力有了根本的突破，因而以晶闸管为核心的电力电子电路在电能变换领域得以迅速而广泛的应用，进而从电子技术中分离出来，形成了电力电子学。

近年来，微电子技术和计算机技术的进步，大大促进了电力电子装置性能的提高；而功率半导体制造技术的进步，又使得功率半导体器件的电压、电流处理能力和开关速度有了长足的进步，从而极大地提高了功率处理器的容量，进而导致电力电子学应用领域的异常迅速的发展，再加上电力电子装置市场的不断扩大，电力电子学将得到更为广泛的应用。

1.3 电力电子学的任务及面临的问题

电力电子学的任务是高效率、实用、高可靠性、体积小、重量轻、成本低地控制从某种电源到另一种电源或负载的能量流动，通过处理并控制电能的形态和电能的流动，向用户提供适合其负载的最佳电压和电流，以达到节约能源或满足工艺要求的目的。为获得高控制性能，节能应用、环保（或称绿色电力电子装置）成为电力电子学发展的主要理由。

就整个系统而言，电力电子主电路及其吸收电路、控制电路及抗电磁干扰电路构成完整的电力电子装置。其中，构成电力电子主电路的基本元素主要有不控器件，如二极管；可控器件晶闸管及全控器件，如 BJT, MOSFET, IGBT, IGCT 等；滤波及储能器件，如电容，电感；以及其他，如电阻、导线、控制电器等。构成控制电路的主要元素，可能是模拟电路、数字电路及微电脑芯片。各种滤波器件配以适当的电磁屏蔽措施及系统接地方法构成抗电磁干扰电路。

近几年来电力电子学发展的基本趋势如下。

- ① 功率范围越来越大。
- ② 应用范围越来越广。
- ③ 涉及的学科越来越多，也越来越深入。
- ④ 理论与实践的联系越来越密切。
- ⑤ 发展越来越迅速，几乎每一项与电气工程相关的技术进步都会推进电力电子学的迅速发展。从技术上讲，集成化、高控制性能、高可靠性、高频化、低成本、低损耗、高品质

(系统稳定性, 功率因数, 谐波) 等正在成为技术工作者努力的方向。

⑥ 大功率, 数百兆瓦以上级的电力电子装备正在进入应用实际。

从技术上讲, 电力电子学存在的理由或解决的基本问题如下。

电力电子学得到大量应用的同时, 一方面为经济生活增添了活力; 另一方面由于电路本身的原因也产生了若干不可忽略的问题, 如大量可控整流器的使用导致了注入电网的谐波及系统功率因数问题, 为提高装置性能而采用开关控制模式所导致的系统噪声及系统干扰问题, 因器件的导通损耗及开关损耗所产生的效率问题等。这些问题的产生一方面要求技术工作者研究新型的电力电子电路, 从网络拓扑上解决装置的不足; 另一方面开发高性能的电力电子器件来提高电路的整体性能。

电力电子学的实质是对能量的控制, 因而在学习和进行系统设计时, 运用能量变换的基本观点, 这将是十分有益的。典型问题如:

- ① 四象限直流斩波器的能量流动分析;
- ② 直流电机加馈制动时的能量流动分析;
- ③ 交流电机再生制动时的能量流动分析;
- ④ 脉冲整流器的能量流动分析;
- ⑤ 双馈电机风能发电的能量流动分析;
- ⑥ 升压斩波器的能量流动分析。

对于一般电力电子装置而言, 技术设计者所关心的基本问题是功率因数、谐波、效率、可靠性、系统成本、性能与性价比。

1.4 电力电子学的应用领域

电力电子学与装置的市场需求与日俱增, 其主要应用领域包括以下几个方面。

(1) 一般电源: 不停电电源; 电解电源; 电镀电源; 开关电源; 机车辅助电源; 微机及仪器仪表电源; 航空电源; 通信电源。

(2) 专用电源: 电化学电源; 微弧氧化电源; 蓄电池充电放电; 电子模拟负载; 电解水电源; 交流电子稳压电源, 脉冲功率电源; 电力测功机。

(3) 电力牵引及传动控制: 电力机车; 电传动内燃机车; 矿井提升机; 轧钢机传动。

(4) 电力系统应用: 高压直流输电 (HVDC)。在输电线路的送端将工频交流变为直流, 在受端再将直流变回工频交流。

(5) 有源滤波器: 由于电力电子装置的应用与普及, 导致电网的谐波问题越来越严重。传统的无源滤波器由于其滤波性能较差, 难于应付日益严重的电网“公害”。人们从电力电子学本身找到了解决的途径, 这就是有源滤波器。它主要是由电压源型或电流源型 PWM 变流器和一个基准器构成的谐波发生器。目的是产生大范围动态谐波和无功功率, 重新“修补”电网波形。因此, 有源滤波器不但可用来滤波, 还可作为功率补偿器、电压稳定器及不