



全国普通高校电气工程及其自动化专业规划教材

Technology and Application of Power Converter

电力变流技术 及应用

金亚玲 周璐◎主编

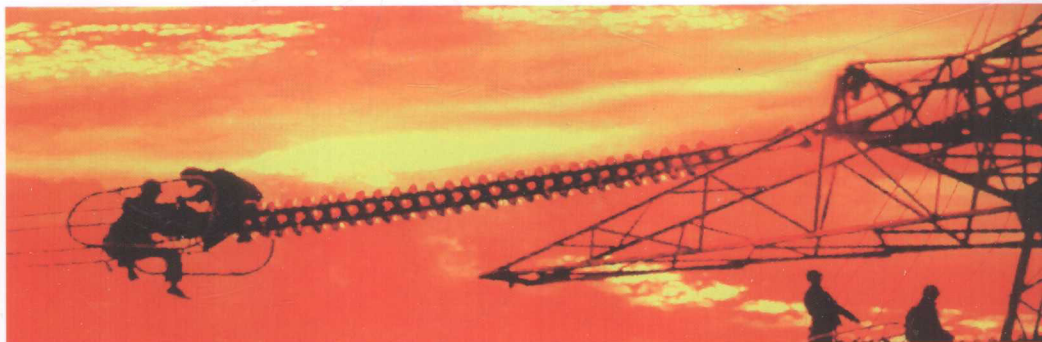
Jin Yaling

Zhou Lu

张妍 丁丽娜 刘寅生◎副主编

Zhang Yan Ding Lina

Liu Yinsheng



清华大学出版社



全国普通高校电气工程及其自动化专业规划教材

Technology and Application of Power Converter

电力变流技术 及应用

金亚玲 周璐◎主编

Jin Yaling

Zhou Lu

张妍 丁丽娜 刘寅生◎副主编

Zhang Yan Ding Lina

Liu Yinsheng

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

电力变流技术又称为电力电子学或现代变流技术,它是利用电力电子器件对电能进行变换和控制的关于电源的控制技术。全书共 8 章,内容包括:各种电力电子器件、整流电路、斩波电路、交流电力控制电路和交交变频电路、逆变电路、PWM 控制技术、软开关技术等。

对于 4 种电能转换方式,除了具有基本的技术体系、理论分析之外,利用 Multisim 仿真得出多种电路变换结果,并且增加了读者能够接受的应用实例和工程应用背景的介绍,以增加教材的趣味性。

本教材适合作为应用型本科院校和以应用为主的高职院校的教学用书或自学参考书,也可以作为相关技术人员的参考资料。

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

电力变流技术及应用/金亚玲,周璐主编. —北京:清华大学出版社,2017

(全国普通高校电气工程及其自动化专业规划教材)

ISBN 978-7-302-45539-4

I. ①电… II. ①金… ②周… III. ①变流技术—高等学校—教材 IV. ①TM46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 276782 号

责任编辑:梁 颖

封面设计:李召霞

责任校对:梁 毅

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:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:11.5

字 数:283 千字

版 次:2017 年 2 月第 1 版

印 次:2017 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.00 元

产品编号:072906-01

电力电子技术发展迅速、应用范围广、实用价值高,现代各高等院校电气类及相关专业都开设电力电子技术课程,它是企业电气自动化设备的重要核心技术,是自动化、电气工程及其自动化专业的一门重要的专业基础课。

电力变流技术又称为电力电子学或现代变流技术,它是利用电力电子器件对电能进行变换和控制的关于电源控制的技术,包括对电压、电流、频率和相位的变换。电力电子技术由三部分内容组成,即电力电子器件、电力电子电路、电力电子系统及其控制。本课程着重学习电能变换电路的基本工作原理。

针对以应用为主的应用型院校的学生而言,烦琐的理论推导非但不能提升他们的学习热情,反而会让她们觉得枯燥、无味,与实际生活不能紧密连接,不够实用。为此,本教材以“实用、够用、会用”为编写原则,具备的特点有:

- (1) 器件方面重点介绍全控器件的工作方式,尤其是具体的应用方面;
- (2) 介绍了 Multisim 仿真软件的使用;
- (3) 突出物理概念和工程背景,减少了冗繁的定理、性质、公式的数学推导,使用仿真软件得出各种电路变换结果;
- (4) 增加了读者能够接受的应用实例和工程应用背景的介绍,以增加教材的趣味性。

全书共 8 章,第 1 章介绍用电力电子器件实现能量变换的基本物理,学科历史的发展、现状和前景。第 2 章将电力电子器件分为不可控、半控、全控器件,介绍常用电力电子器件应用特性和使用过程中的共性技术。第 3 章至第 6 章按变换形式分类,依次介绍整流电路、逆变电路、斩波电路、交流-交流变流电路的拓扑电路和控制方法,各章都配有对应的仿真电路、使用实例及一定数量的思考题。第 7 章和第 8 章介绍 PWM 控制技术、软开关技术等典型应用。

本书由沈阳工学院金亚玲和沈阳科技学院周璐共同负责全书编撰工作,大连海洋大学张妍、丁丽娜和沈阳理工大学刘寅生担任本书副主编。其中,第 1、2 章由丁丽娜、金亚玲共同执笔,第 3、4、7、8 章由刘寅生、金亚玲、周璐共同执笔,第 5、6 章由张妍和

II · 电力变流技术及应用

金亚玲共同执笔,全书由金亚玲统稿定稿。在编写过程中得到了杨玥教授、王艳秋教授的大力支持和帮助,国家电网公司辽宁省电力有限公司抚顺供电公司刘磊对本书的应用实例提供了宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢!

由于时间限制和编者学识的局限,书中难免有遗漏和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 10 月

第 1 章 绪论	1
1.1 本课程教学要求	1
1.2 电力电子技术发展概况	2
1.2.1 电力电子技术内涵	2
1.2.2 电力电子器件的发展	3
1.2.3 变流电路的发展	5
1.2.4 控制技术的发展	6
1.3 变流电路分类与功能	7
1.4 电力电子技术应用	8
1.4.1 电源	8
1.4.2 电气传动	12
1.4.3 电力系统	13
本章小结	14
习题及思考题	15
第 2 章 电力电子器件	16
2.1 电力电子器件概述	16
2.1.1 电力电子器件的概念和特征	16
2.1.2 应用电力电子器件的系统组成	18
2.1.3 电力电子器件的分类	18
2.2 不可控器件——电力二极管	19
2.2.1 PN 结与电力二极管的工作原理	19
2.2.2 电力二极管的主要类型	22
2.3 半控型器件——晶闸管	23
2.3.1 晶闸管的结构与工作原理	23
2.3.2 晶闸管的派生器件	25
2.4 典型全控型器件	27
2.4.1 门极可关断晶闸管	27
2.4.2 电力晶体管	28
2.4.3 电力场效应晶体管	29
2.4.4 绝缘栅双极晶体管	31
2.5 其他新型电力电子器件	32

IV • 电力变流技术及应用

2.5.1 MOS 控制晶闸管	32
2.5.2 静电感应晶体管	33
2.5.3 静电感应晶闸管	33
2.5.4 集成门极换流晶闸管	34
2.5.5 功率模块与功率集成电路	34
本章小结	35
习题及思考题	35
第 3 章 整流电路	37
3.1 单相可控整流电路	38
3.1.1 单相半波可控整流电路	38
3.1.2 单相桥式全控整流电路	43
3.1.3 单相全波可控整流电路	48
3.1.4 单相桥式半控整流电路	50
3.2 三相可控整流电路	52
3.2.1 三相半波可控整流电路	52
3.2.2 三相桥式全控整流电路	56
知识拓展	65
本章小结	67
习题及思考题	67
第 4 章 斩波电路	71
4.1 降压斩波电路	71
4.1.1 降压斩波电路原理分析	71
4.1.2 降压斩波电路仿真分析	74
4.2 升压斩波电路	75
4.2.1 升压斩波电路原理分析	75
4.2.2 升压斩波电路典型应用	77
4.2.3 升压斩波电路仿真分析	78
4.3 升降压斩波电路和 Cuk 斩波电路	79
4.3.1 升降压斩波电路	79
4.3.2 升降压斩波电路的仿真分析	80
4.3.3 Cuk 斩波电路	80
4.4 Sepic 斩波电路和 Zeta 斩波电路	82
4.5 复合斩波电路	83
4.5.1 电流可逆斩波电路	83

4.5.2 桥式可逆斩波电路·····	84
知识拓展·····	85
本章小结·····	87
习题及思考题·····	88
第5章 交流电力控制电路和交交变频电路·····	90
5.1 交流调压电路·····	91
5.1.1 单相交流调压电路·····	91
5.1.2 三相交流调压电路·····	93
5.1.3 仿真电路·····	97
5.2 其他交流电力控制电路·····	97
5.3 交交变频电路·····	98
知识拓展·····	99
本章小结·····	100
习题及思考题·····	100
第6章 逆变电路·····	102
6.1 换流方式·····	103
6.1.1 逆变电路的基本工作原理·····	103
6.1.2 换流方式分类·····	104
6.2 电压型逆变电路·····	105
6.2.1 单相电压型逆变电路·····	106
6.2.2 三相电压型逆变电路·····	110
6.3 电流型逆变电路·····	113
6.4 有源逆变·····	114
6.4.1 直流发电机-电动机系统电能的流转·····	114
6.4.2 逆变产生的条件·····	115
6.4.3 三相桥整流电路的有源逆变工作状态·····	117
6.4.4 逆变失败与最小逆变角的限制·····	118
知识拓展·····	120
本章小结·····	121
习题及思考题·····	122
第7章 PWM 控制技术·····	124
7.1 PWM 控制的基本原理·····	125
7.2 PWM 逆变电路及其控制方法·····	127

7.2.1	算法和调制法	127
7.2.2	异步调制和同步调制	133
7.2.3	规则采样法	134
7.2.4	PWM 逆变电路的谐波分析	136
7.2.5	提高直流电压利用率和减少开关次数	138
7.2.6	空间矢量 PWM 控制	142
7.2.7	PWM 逆变电路的多重化	144
7.3	PWM 跟踪控制技术	145
7.3.1	滞环比较方式	146
7.3.2	三角波比较方式	148
7.4	PWM 整流电路及其控制方法	149
7.4.1	PWM 整流电路的工作原理	149
7.4.2	PWM 整流电路的控制方法	152
	知识拓展	155
	本章小结	156
	习题及思考题	156
第 8 章	软开关技术	159
8.1	软开关的基本概念	159
8.1.1	硬开关与软开关	159
8.1.2	零电压开关与零电流开关	161
8.2	软开关电路的分类	162
8.3	典型的软开关电路	165
8.3.1	零电压开关准谐振电路	165
8.3.2	谐振直流环	167
8.3.3	移相全桥型零电压开关 PWM 电路	169
8.3.4	零电压转换 PWM 电路	171
8.4	软开关技术新进展	173
	知识拓展	174
	本章小结	174
	习题及思考题	175
	参考文献	176

绪论

学习目标与重点

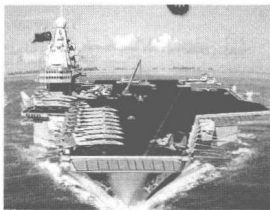
- 掌握电力电子技术概念；
- 重点掌握整流电路、斩波电路、逆变电路和交流电力控制电路等概念；
- 了解电力电子技术的应用。

关键术语

电力电子技术；变流技术；整流电路；斩波电路；逆变电路；交流电力控制电路

【应用导入】

电力电子技术在现代化国防中的特种供电电源、电力驱动、推进和控制领域中发挥了重要的作用，快中子堆、磁约束核聚变、激光、航空航天和航母等前沿技术领域中的核心部件和基础都是超大功率、高性能的变流器及其控制系统。



1.1 本课程教学要求

1. 本课程任务

本课程属于自动化、电气工程及其自动化、机械电子工程等本科专业的专业基础课，是一门理论与应用相结合的课程，具有很强的实践性。

本课程的目的和任务是使学生通过学习后，获得电力电子技术必要的基本理论、基本分析方法以及基本技能的培养和训练，为学习后续课程以及从事与电气工程及其自动化专业有关的技术工作和科学研究打下基础。

2. 本课程的基本要求

- (1) 了解电力电子技术的应用范围和发展动向。
- (2) 熟悉和掌握晶闸管、功率 MOSFET、IGBT 等电力电子器件的结构、工作原理、特性和使用方法。
- (3) 熟练掌握单相、三相整流电路的基本原理、波形分析和各种负载对电路工作

的影响,并能对上述电路进行设计计算。

(4) 熟练掌握无源逆变电路的工作原理、波形分析和参数计算。

(5) 掌握直流斩波器 DC-DC 变换电路。

(6) 掌握脉宽调制(PWM)技术的工作原理和控制特性,了解软开关技术的基本原理与控制方式。

(7) 掌握基本变流装置的调试实验方法,具有一定的研究和实际工作能力。

1.2 电力电子技术发展概况

1.2.1 电力电子技术内涵

根据 IEEE(美国电气和电子工程师协会)给出的电力电子技术的定义,电力电子技术是指有效地使用电力半导体器件、应用电路和设计理论以及分析开发工具,实现电能的高效能变换和控制的一门技术。电力电子技术是与电能处理相关的技术学科,将电子技术与控制技术应用到电力领域,通过电力电子器件组成各种电力变换电路,实现电能的转换与控制,或称为电力电子学。

电力电子技术是一门融合了电力技术、电子技术和控制技术的交叉学科,包括电力电子器件、电力电子电路(变流电路)和控制技术三个主要组成部分。其中,电力电子器件是电力电子技术的基础,变流电路是电力电子技术的核心,而控制技术是电力电子技术发展的纽带。电力电子技术的研究任务包括电力电子器件的应用、变流电路的基本原理、控制技术,以及电力电子装置的开发与应用等。

自从 1957 年第一只晶闸管问世以来,电力电子技术开始登上现代电气传动技术舞台,以此为基础开发的可控硅整流装置,是电气传动领域的一次革命,使电能的变换和控制从旋转变流机组和静止离子变流器进入由电力电子器件构成的变流器时代,这标志着电力电子技术的诞生。在随后的 50 余年里,电力电子技术在器件、变流电路、控制技术等方面都发生了日新月异的变化,在国际上,电力电子技术是竞争最激烈的高新技术领域。

无论是对改造传统工业(电力、机械、矿冶、交通、化工、轻纺等),还是对高新技术产业(航天、激光、通信、机器人等),现代电力电子技术都至关重要,它已迅速发展成为一门与现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等多学科互相渗透的综合性技术学科。电力电子技术的应用领域几乎涉及国民经济的各个工业部门,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,是 21 世纪重要关键技术之一。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,并为现代化生产和现代化生活的发展进程带来深远的影响。

1.2.2 电力电子器件的发展

电力电子技术发展的基础是电力电子器件,也是电力电子技术发展的动力。自从 1957 年美国通用电气(GE)公司发明了半导体开关器件——晶闸管以来,电力电子器件已经走过了 60 年的概念更新、性能换代的发展历程。

1. 第一代电力电子器件

第一代电力电子器件以电力二极管和晶闸管(SCR)为代表,具有体积小、功耗低等优势。首先在大功率整流电路中迅速取代老式的汞弧整流器,取得了明显的节能效果,并奠定了现代电力电子技术的基础。

电力二极管又称硅整流管,产生于 20 世纪 40 年代,是电力电子器件中结构最简单、使用最广泛的一种器件。目前,硅整流管已形成普通整流管、快恢复整流管和肖特基整流管三种主要类型。普通整流管的特点是具有漏电流小、通态压降较高($10\sim 18\text{V}$)、反向恢复时间较长(几十微秒)、可获得很高的电压和电流定额等特点,所以较多用于牵引、充电、电镀等对转换速度要求不高的装置中。较快的反向恢复时间(几百纳秒至几微秒)是快恢复整流管的显著特点,但是它的通态压降却很高($16\sim 40\text{V}$),其主要用于斩波、逆变等电路中充当旁路二极管或阻塞二极管。肖特基整流管兼有快速的反向恢复时间(几乎为零)和低的通态压降($0.3\sim 0.6\text{V}$)的优点,不过其漏电流较大、耐压能力低,常用于高频低压仪表和开关电源。电力二极管对改善各种电力电子电路的性能、降低电路损耗和提高电源使用效率等方面都具有非常重要的作用。随着各种高性能电力电子器件的出现,开发具有良好高频性能的电力整流管显得非常必要。目前,人们已通过新颖结构的设计 and 大规模集成电路制作工艺的运用,研制出一些新型高压快恢复整流管。

晶闸管诞生后,其结构的改进和工艺的革新,为新器件的不断出现提供了条件。1964 年,双向晶闸管在 GE 公司开发成功,应用于调光和电动机控制;1965 年,小功率光触发晶闸管出现,为其后出现的光耦合器打下了基础;20 世纪 60 年代后期,大功

率逆变晶闸管问世,成为当时逆变电路的基本元件;1974年,逆导晶闸管和非对称晶闸管研制完成。经过工艺完善和应用开发,到20世纪70年代,晶闸管已经形成了从低压小电流到高压大电流的系列产品。

运用由普通晶闸管所构成的电路对电网进行控制和变换是一种简便而经济的办法。它广泛应用于交直流调速、调光、调温等低频(400Hz以下)领域,但是由于这种装置的运行会产生波形畸变和降低功率因数,影响电网的质量。所以它目前的技术水平为12000V/1000A和6500V/4000A。

双向晶闸管是晶闸管的一种,可视为一对反并联的普通晶闸管的集成,常用于交流调压电路和调功电路中。正、负脉冲都可触发导通,因而其控制电路比较简单。其缺点是换向能力差、触发灵敏度低、关断时间较长,其水平已超过2000V/500A。

由晶闸管及其派生器件构成的各种电力电子系统,在工业应用中主要解决了传统的电能变换装置中所存在的能耗大和装置笨重等问题,因而大大提高电能的利用率,同时也使工业噪声得到一定程度的控制。

2. 第二代电力电子器件

第二代电力电子器件,超大功率、高频全控器件,优秀于第一代的小功率、半控型、低频器件。由于全控型器件可以控制开通和关断,大大提高了开关控制的灵活性。自20世纪70年代中期起,电力晶体管(GTR)、可关断晶闸管(GTO)、电力场控晶体管(功率MOSFET)、静电感应晶体管(SIT)、MOS控制晶闸管(MCT)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)等通断两态双可控器件相继问世,电力电子器件日趋成熟。一般将这类具有自关断能力的器件称为第二代电力电子器件。全控型器件的开关速度普遍高于晶闸管,可用于开关频率较高的电路。

3. 第三代电力电子器件

进入20世纪90年代以后,电力电子器件的研究和开发已进入高频化、标准模块化、集成化和智能化时代。电力电子器件的高频化是今后电力电子技术创新的主导方向,而硬件结构的标准模块化是电力电子器件发展的必然趋势。功率集成电路(PIC)是指将高压功率器件与信号处理系统及外围接口电路、保护电路、检测诊断电路等集成在同一芯片的集成电路,一般将其分为智能功率集成电路(SPIC)和高压集成电路(HVIC)两类。但随着PIC的不断发展,SPIC与HVIC在工作电压和器件结构上(垂直或横向)都难以严格区分,已习惯于将它们统称为智能功率集成电路或功率IC。SPIC是机电一体化的关键接口电路,是Soc的核心技术,它将信息采集、处理与功率

控制合一,是引发第二次电子革命的关键技术。

以 SPIC、HVIC 等功率集成电路为代表的发展阶段,使电力电子技术与微电子技术更紧密地结合在了一起,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的集成,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,是机电一体化的基础单元。SPIC 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。

1.2.3 变流电路的发展

电力电子技术的发展先后经历了整流器时代、逆变器时代和变频器时代,并促进了电力电子技术在许多新领域的应用。20 世纪 80 年代末期到 90 年代初期发展起来的、以功率 MOSFET 和 IGBT 为代表的、集高频高压和大电流于一身的功率半导体复合器件表明传统电力电子技术已经进入现代电力电子时代。

1. 整流器时代

大功率的工业用电由工频(50Hz)交流发电机提供,但是大约 20% 的电能是以直流形式消费,其中最典型的是电解(有色金属和化工原料需要直流电解)、牵引(电气机车、电传动的内燃机车、地铁机车、城市无轨电车等)和直流传动(轧钢、造纸等)三大领域。大功率硅整流器能够高效率地把工频交流电转变为直流电,因此在 20 世纪 60 年代到 70 年代,大功率硅整流管和晶闸管的开发与应用得到很大发展。当时国内曾经掀起了一股争办硅整流器厂的热潮,目前国内大大小小的硅整流器半导体厂家就是那个年代的产物。

2. 逆变器时代

20 世纪 70 年代出现了世界范围的能源危机,交流电动机变频调速因节能效果显著而迅速发展。变频调速的关键技术是将直流电逆变为 $0\sim 100\text{Hz}$ 的交流电。在 20 世纪 70 年代到 80 年代,随着变频调速装置的普及,大功率逆变用的晶闸管、巨型功率晶体管和门极可关断晶闸管成为当时电力电子器件的主角。类似的应用还包括高压直流输出,静止式无功功率动态补偿等。这时的电力电子技术已经能够实现整流和逆变,但工作频率较低,仅局限在中低频范围内。

3. 变频器时代

进入 20 世纪 80 年代,大规模和超大规模集成电路技术的迅猛发展,为现代电力电子技术的发展奠定了基础。将集成电路技术的精细加工技术和高压大电流技术有机结合,出现了一批全新的全控型功率器件。首先是功率 MOSFET 的问世,导致了中小功率电源向高频化发展,而后绝缘栅双极晶体管(IGBT)的出现,又为大中型功率电源向高频发展带来机遇。MOSFET 和 IGBT 的相继问世,是传统的电力电子向现代电力电子转化的标志。新型器件的发展不仅为交流电机变频调速提供了较高的频率,使其性能更加完善可靠,而且使现代电力电子技术不断向高频化发展,为用电设备的高效节材节能、实现小型轻量化、机电一体化和智能化提供了重要的技术基础。

1.2.4 控制技术的发展

电力电子器件经历了工频、低频、中频到高频的发展历程,与此相对应,电力电子电路的控制也从最初以相位控制为手段的由分立元件组成的控制电路发展到集成控制器,再到如今的旨在实现高频开关的计算机控制,并向着更高频率、更低损耗和全数字化的方向发展。模拟控制电路存在控制精度低、动态响应慢、参数整定不方便,以及温度漂移严重、容易老化等缺点。专用模拟集成控制芯片的出现大大简化了电力电子电路的控制线路,提高了控制信号的开关频率,只需外接若干阻容元件即可直接构成具有校正环节的模拟调节器,提高了电路的可靠性。但是,也正是由于阻容元件的存在,模拟控制电路的固有缺陷,如元件参数的精度和一致性、元件老化等问题仍然存在。此外,模拟集成控制芯片还存在功耗较大、集成度低、控制不够灵活、通用性不强等问题。

用数字化控制代替模拟控制,可以消除温度漂移等常规模拟调节器难以克服的缺点,有利于参数整定和变参数调节,便于通过程序软件的改变方便地调整控制方案 and 实现多种新型控制策略,同时可减少元器件的数目、简化硬件结构,从而提高系统的可靠性。此外,还可以实现运行数据的自动储存和故障自我诊断,有助于实现电力电子装置运行的智能化。

近年来,许多应用场合对电力电子电路的动态性能与稳态精度提出了更高的要求,在这种情况下,各种自动控制技术和现代控制理论日益渗透到功率变换电路,控制技术得到进一步发展。

综上所述,电力电子技术的发展是从低频技术处理问题为传统的电力电子技术向以高频技术处理问题为主的现代电力电子技术方向发展。

利用 20 世纪 50 年代发展起来的晶闸管及其派生器件为基础所形成的电力电子技术,可称为传统电力电子技术。这一发展时期,电力电子器件以半控型晶闸管为主,变流电路一般为相控型,控制技术多采用模拟控制方式。由半控型器件组成的电力电子装置或系统,在消除电网侧的电流谐波、改善电网侧的功率因数、逆变器输出波形控制、减少环境噪声污染、进一步提高电能的利用率、降低原材料消耗以及提高系统的动态性能等方面都遇到了困难。

20 世纪 80 年代以后,以 IGBT 为代表的集高频、高压和大电流于一体的功率半导体复合器件得到迅速发展与应用,改变了人们长期以来用低频技术处理电力电子技术问题的习惯,电力电子技术进入现代电力电子技术时代。这一时期,电力电子器件以全控型器件为主,变流电路采用脉宽调制型,控制技术采用 PWM 数字控制技术。目前,电力电子技术作为节能、环保、自动化、智能化、机电一体化的基础,正朝着应用技术高频化、硬件结构模块化、产品性能绿色化的方向发展。

1.3 变流电路分类与功能

变流电路的基本功能是实现电能形式的转换。其基本形式有四种：整流电路、逆变电路、调压电路、斩波电路,如表 1.1 所示。

表 1.1 电力变换的种类

输出 输入	交 流		直 流
	整 流		直流斩波
直流	交流电力控制 变频、变相		逆变

将交流电能转换为直流电能的电路,称为整流电路。由电力二极管可组成不可控整流电路,用晶闸管或其他全控型器件可组成可控整流电路。

相较于以往的使用最方便的整流电路——晶闸管相控整流电路——的电网侧功率因数低、谐波严重等缺点,由全控型器件组成的 PWM 整流电路具有高功率因数等优点,因此近年来得到进一步发展与推广,应用前景广泛。

将直流电能转换为交流电能的电路,称为逆变电路。逆变电路不但能使直流变成可调的交流,而且可输出连续可调的工作频率。

将一种直流电能转换成另一固定电压或可调电压的直流电的电路,称为斩波电路或 DC-DC 变换电路。斩波电路大都采用 PWM 控制技术。

将固定大小和频率的交流电能转换为大小和频率可调的交流电能的电路,称为调压电路或交流变换电路。交流变换电路可分为交流调压电路和交流-交流(交-交)变频电路。交流调压电路在维持电能频率不变的情况下改变输出电压幅值。交-交变频电路亦称周波变换器,它把电网频率的交流电直接变换成不同频率的交流电。

1.4 电力电子技术应用

电力电子技术作为一门新兴的高技术学科,已被广泛地应用于高品质交直流电源、电力系统、变频调速、新能源发电及各种工业与民用电器等领域,成为现代高科技领域的支撑技术。

1.4.1 电源

1. 高效绿色电源

高速发展的计算机技术带领人类进入了信息社会,同时也促进了电源技术的迅速发展。20 世纪 80 年代,计算机全面采用了开关电源,率先完成计算机电源换代。接着开关电源技术相继进入了电子、电气设备领域。随着计算机技术的发展,提出了绿色计算机和绿色电源的要求。绿色计算机泛指对环境无害的个人计算机和相关产品,绿色电源是指与绿色计算机相关的高效省电电源,根据美国环境保护署 1992 年 6 月 17 日“能源之星”计划规定,桌上型个人计算机或相关的外围设备在睡眠状态下的耗电量若小于 30W,就符合绿色计算机的要求。提高电源效率是降低电源消耗的根本途径。

当前电源系统可以从提高电源系统能效、降低功耗和寻求更清洁、环保的绿色能源两个方面挖掘潜力。

首先,优化电源系统性能需要提升转换效率,它是提高能效、降低功耗的重要环节,其中,AC/DC 转换的效率既与原材料本身相关,也涉及设计复杂程度和设计技巧的问题;对于 DC/DC 转换器而言,开关损耗是决定其能效的关键因素之一。其次,应从电源架构入手,提高能效。绿色能源的出现,给电源的发展带来了新的契机。那些