



普通高等教育“十二五”规划教材

DIANNENG BIANHUAN YINGYONG JISHU

张秋实 刘文庄 主编

电能变换 应用技术



国防工业出版社

National Defense Industry Press

电能变换应用技术

张秋实 刘文庄 主编
胡兴志 副主编

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从实际出发,基于应用广泛的几种电力电子功率变换技术,系统、深入地阐述了功率变换系统的构成、基本工作原理、系统控制技术、变流器的应用问题以及功率变换技术的典型应用,并力求反映电能变换技术的最新成果。全书共分8章,主要包括电力电子器件的应用技术、整流应用技术、逆变应用技术、直流电机调速系统、交流异步电机变频调速系统、高频开关电源、电力电子装置的负面效应及其抑制技术。每章后均附有思考题及习题供学生阅读和练习。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、自动化等电类专业的本科生教材,对科研院所、厂矿企业从事电力电子变换和控制技术工作的科技人员也有实际参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电能变换应用技术/张秋实,刘文庄主编. —北京:国防工业出版社,2012.2
ISBN 978-7-118-07918-0

I. ①电... II. ①张... ②刘... III. ①电能-变换器 IV. ①TN712

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第013069号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本787×1092 1/16 印张14¼ 字数319千字

2012年2月第1版第1次印刷 印数1—5000册 定价26.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

电能变换技术是对电能进行变换和控制的技术,是采用功率半导体开关器件完成能量变换、传输和控制的技术。从 20 世纪 70 年代以来取得了惊人的发展,近年来,随着新型器件的开发与性能的提高,出现了更多高性能的电能变换装置。它不仅促进了电能变换技术自身的发展,而且推动着电气工程、自动控制技术、半导体材料技术、大规模集成电路技术、信息传递与处理技术及电路拓扑技术的进步。总之,电能变换技术作为新能源开发、高效节能的基础技术,已逐步发展成一门多学科相互渗透的综合性技术;是一门有着广阔应用前景、发展方兴未艾的技术。

目前,介绍电能变换技术基本理论的教材已很丰富,而作为后续专业课的教材还不多见,导致介绍电能变换应用技术的教材缺乏。正是在这样的背景下,本书是以教育部提出“培养卓越工程师”的高等工程技术人才培养目标的指导思想为原则,为适应电气工程及其自动化、自动化等相关专业的课程需要而编写的。

电能变换应用技术是应用各类电力电子开关器件来构成电能变换装置,它应包含器件使用、变流装置主电路结构和分析方法、控制及系统等内容。全书共分 8 章。第 1 章为绪论,综述跨入新世纪的电能变换技术的主要内容、应用概况、发展方向及前景。第 2 章为电力电子器件的应用技术,讲述电力电子器件的驱动电路、保护电路、电力电子器件的串联与并联、电力电子器件的散热原理。第 3 章为整流应用技术,讲述大功率相控整流器原理、新型高频开关 PWM 整流器原理及应用。第 4 章为逆变应用技术,讲述逆变装置设计、脉宽调制控制技术。第 5 章为直流电机调速系统,讲述运动控制系统概述、变电压直流调速的电源变换技术、直流调速系统结构、调速特性、调速系统控制技术。第 6 章为交流异步电机变频调速系统,讲述交流异步电机的变频调速控制方法、标量控制、变频器及其典型应用。第 7 章为高频开关电源,讲述开关电源基本 DC/DC 变换电路及工作原理、主控元器件的设计和选择,以及软开关技术、同步整流技术和分布电源系统。第 8 章为电力电子装置的负面效应及其抑制技术,讲述电力电子装置对电网的污染及危害、谐波抑制技术、无功功率控制技术、有源功率因数校正技术及电磁干扰的抑制技术。

本书作为专业课教材,本着面向未来、面向应用的原则,选择了电能变换技术应用最为广泛的几个领域,全面、系统、深入地阐述了这些领域电力电子功率变换的基本工作原理、系统组成、系统控制技术、变流器设计方法和应用,力争内容源于实际,具有前沿性和先进性。

本书是在学习电力电子技术基础、电机学、自动控制原理和计算机及其控制技术的基础上使用的。全书按电能变换的类型分成若干章,每章相对独立地自成系统,以基础理论的概括和工程应用技术为主线,着重对主电路及系统控制技术进行阐述,希望它能成为读者窥见电力电子技术发展和应用的窗口。作为教科书,内容取材体现了知识的传统性和先进性的结合,阐述深入浅出、循序渐进,并附有思考题及习题,起巩固、补充和强化基础概念的作用。

在全书的编写过程中,参考了许多同行、专家的论著文献,在此谨向他们和提供资料的有关单位致以衷心的感谢。由于作者的水平有限,错误和不妥之处在所难免,希望广大同行和读者批评指正。

编者
2011年11月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 电能变换应用技术的概念	1
1.2 电能变换应用技术的主要内容	2
1.2.1 电能变换的基本形式与电路拓扑	2
1.2.2 控制理论和调节手段	3
1.2.3 电能变换装置的设计技术	3
1.2.4 分析设计工具的使用开发	4
1.2.5 电力电子元器件的使用	5
1.3 电能变换技术的应用领域	6
1.3.1 电源领域	6
1.3.2 电机传动领域	7
1.3.3 电力系统领域	8
1.3.4 其他领域	8
1.4 电能变换应用技术的发展方向及前景	9
1.4.1 电能变换应用技术的发展方向	9
1.4.2 电能变换装置的研究前景	11
第2章 电力电子器件的应用技术	13
2.1 电力电子器件的性能与选择	13
2.1.1 电力二极管	14
2.1.2 晶闸管	15
2.1.3 门极关断晶闸管	16
2.1.4 电力场效应晶体管	17
2.1.5 绝缘栅双极晶体管	18
2.1.6 功率模块与智能功率模块	19
2.2 电力电子器件的驱动	22
2.2.1 电力电子器件驱动电路概述	22
2.2.2 晶闸管的触发电路	23
2.2.3 典型全控型器件的驱动电路	24
2.3 电力电子器件的保护	26
2.3.1 过电压的产生及过电压保护	27
2.3.2 过电流保护	28
2.3.3 缓冲电路	29

2.4 电力电子器件的串联和并联使用	30
2.4.1 晶闸管的串联	31
2.4.2 晶闸管的并联	31
2.4.3 电力 MOSFET 的并联和 IGBT 的并联	32
2.5 电力电子器件的散热	32
2.5.1 散热的原理	32
2.5.2 常用冷却方式及使用条件	32
思考题及习题	35
第3章 整流应用技术	36
3.1 整流电路的类型和性能指标	36
3.1.1 整流电路的类型及基本组成环节	36
3.1.2 整流电路的基本性能指标	37
3.2 整流电路的典型结构及特性	39
3.2.1 多相半波整流电路	39
3.2.2 三相半波整流电路的并联和串联	44
3.2.3 整流装置的多重化	49
3.3 整流变压器和电抗器	51
3.3.1 整流变压器特性与连接方式	51
3.3.2 电抗器的设置和计算	53
3.4 脉冲宽度调制整流电路	56
3.4.1 PWM 整流电路结构和原理	56
3.4.2 PWM 整流电路的控制	60
3.4.3 PWM 整流电路的应用	63
思考题及习题	64
第4章 逆变应用技术	65
4.1 逆变应用技术概述	65
4.1.1 逆变应用技术基本概念和分类	65
4.1.2 逆变技术的应用领域	66
4.2 逆变器基本工作原理及设计技术	68
4.2.1 逆变器主电路工作原理	69
4.2.2 电压型逆变器开关过程分析	73
4.2.3 逆变器功率开关器件的运用	77
4.2.4 逆变器功率器件的驱动电路	80
4.3 逆变器常用的 PWM 控制技术	82
4.3.1 PWM 控制技术基本概念	82
4.3.2 正弦脉冲宽度调制	86
4.3.3 其他三相 PWM 控制	88
4.3.4 消除特定谐波法	90
4.3.5 电流跟踪型 PWM 控制技术	93

4.3.6 逆变装置 PWM 技术性能指标	95
4.4 PWM 控制的实现方法	96
4.4.1 利用硬件电路产生 PWM 脉冲	96
4.4.2 利用软件产生 PWM 脉冲	97
思考题及习题	99
第 5 章 直流电机调速系统	100
5.1 运动控制系统概述	100
5.1.1 电机	101
5.1.2 功率放大与变换装置	101
5.1.3 控制器	101
5.1.4 信息监测与处理	102
5.1.5 运动控制系统的转矩控制规律	102
5.1.6 生产机械的负载转矩特性	103
5.2 直流调速系统	104
5.2.1 直流调速系统用可控直流电源	105
5.2.2 调速系统的分类及技术指标	108
5.3 晶闸管—电机系统开环组成结构及机械特性	112
5.3.1 晶闸管—电机系统的开环组成结构	112
5.3.2 晶闸管—电机系统的开环机械特性	112
5.4 晶闸管—电机闭环调速系统	117
5.4.1 转速闭环的无静差调速系统	118
5.4.2 转速、电流双闭环调速系统及特性	121
5.5 可逆直流调速系统	126
5.5.1 晶闸管—电机系统的可逆线路	127
5.5.2 可逆拖动的工作状态及机械特性	129
5.5.3 可逆系统中的环流	131
思考题及习题	133
第 6 章 交流异步电机的变频调速系统	135
6.1 异步电机的稳态特性	136
6.1.1 异步电机的固有机特性	136
6.1.2 异步电机在电压、频率一定时的运行特性	138
6.2 异步电机变频调速的控制方法	139
6.2.1 恒磁通控制	139
6.2.2 恒电压—频率比控制(VVVF 系统)	140
6.2.3 弱磁控制	141
6.2.4 异步电机电压—频率协调控制	142
6.3 异步电机的标量控制	143
6.3.1 转速开环的恒压频比控制	143
6.3.2 转速闭环的控制	145

6.4 变频器及其典型应用	149
6.4.1 交—直—交 PWM 变频器主回路	149
6.4.2 变频调速在恒压供水系统中的应用	150
思考题及习题	152
第7章 高频开关电源	153
7.1 概述	153
7.1.1 开关电源的构成和发展方向	153
7.1.2 开关电源的技术动向	155
7.2 开关电源的基本电路及工作原理	156
7.2.1 单端正激变换器	157
7.2.2 单端反激变换器	160
7.2.3 半桥式变换器	161
7.2.4 全桥式变换器	163
7.3 开关电源的主控元器件	165
7.3.1 开关元件	165
7.3.2 磁性元件和电容器	167
7.3.3 平面变压器	170
7.3.4 集成开关变换器 IC 芯片	172
7.4 软开关技术	173
7.4.1 硬开关和软开关	173
7.4.2 软开关基本技术	175
7.5 同步整流技术	181
7.5.1 同步整流技术的基本原理	181
7.5.2 同步整流管的驱动	182
7.5.3 同步整流电路	184
7.5.4 SR 变换器	184
7.5.5 同步整流技术的应用	185
7.6 分布式电源	186
7.6.1 简介	186
7.6.2 分布式电源结构和应用	188
思考题及习题	190
第8章 电力电子装置的负面效应及其抑制技术	191
8.1 电力电子装置对电网的污染及危害	191
8.1.1 谐波的影响及限制	191
8.1.2 功率因数恶化的危害	193
8.2 谐波抑制技术	193
8.2.1 LC 滤波器结构和原理	193
8.2.2 有源电力滤波器	197
8.2.3 有源电力滤波器与 LC 无源滤波器的比较	199

8.3 无功功率控制技术	200
8.3.1 晶闸管控制电抗器	201
8.3.2 晶闸管投切电容器	202
8.3.3 静止无功发生器	203
8.4 有源功率因数校正技术	205
8.4.1 APFC 的电路结构和基本原理	206
8.4.2 有源功率因数校正的控制	207
8.5 电磁干扰及其抑制措施	209
8.5.1 电磁兼容标准	209
8.5.2 电磁兼容性的测试	210
8.5.3 抑制电磁干扰的相关措施	212
思考题及习题	214
参考文献	215

第 1 章 绪 论

1.1 电能变换应用技术的概念

自出现交流电以来,交流电就成为送达用户端的主要电能形式,但用电负载有直流负载及交流负载两大类,相应的供电电源就需要直流和交流两种形式,因此电能需要变换。

随着越来越多非线性负载的使用,供电质量变得越来越差;而随着各种用电设备或单元的数字化、信息化和多样化的发展,需要的电源种类、等级和质量要求不断提高。因此,更需要对电能进行高质量的变换。

现代工业、交通运输、军事装备、尖端科学的进步以及人类生活质量和生存环境的改善,都依赖于高品质的电能,据统计 70% 的电能都是经过变换后才使用,而随着科技的发展,需要变换的比例将会进一步提高。电力电子技术为电力工业的发展和电力应用的改善提供了先进技术,它的核心是电能形式的变换和控制,并通过电能变换装置实现其应用。

早期,把交流电变换为直流电经历了机械整流器、闸流管整流器,到 1957 年,美国通用电气公司发明了硅可控整流器(Silicon Controlled Rectifier, SCR),简称可控硅,后被国际电工学会正式命名为晶闸管(thyristor)。晶闸管的问世,不仅可把交流电变为直流电,还能把直流电变为交流电和其他特殊的电能形式。从此,新型电力电子器件不断涌现,性能不断提高,并各具电气特性和使用特点,以适应不同的应用领域和电能变换电路的设计要求。

把各种电力电子器件实用、可靠、高效地应用于电能变换系统,是电能变换应用技术研究的任务。

电能变换装置是以满足用电要求为目标,以电力半导体器件为核心,通过合理的电路拓扑和控制方式,采用相关的应用技术对电能实现变换和控制的装置。

本书重在研究电力电子元器件的合理使用,使其高效、实用、可靠地控制电能变换;同时研究对电能变换装置的分析、电能变换系统的控制以及电能变换技术在工业中的应用。

电能变换装置及其控制系统的基本组成如图 1-1 所示,它是通过弱电控制强电实现其功能的。控制系统根据运行指令和输入/输出的各种状态,产生控制信号,用来驱动对应的开关器件,完成其特定功能。控制系统可以采用模拟电路或者数字电路来实现,具有各种特定功能的集成电路和数字信号处理器 DSP 等器件的出现,为简化和完善控制系统提供了方便。由于用户的要求不同,所以在器件、电路拓扑结构和控制方式上,应针对性地采用不同的方案,这就要求设计者灵活运用控制理论、电子技术、计算机技术、电力电子技术等专业基础知识,将它们有机地结合起来进行综合设计。

随着新型电力电子器件的出现,功率变换技术也得到了发展,这些都为电能变换装置小型化、智能化、绿色化打下了技术基础。特别是近 30 年来各种自关断器件的应用、脉宽

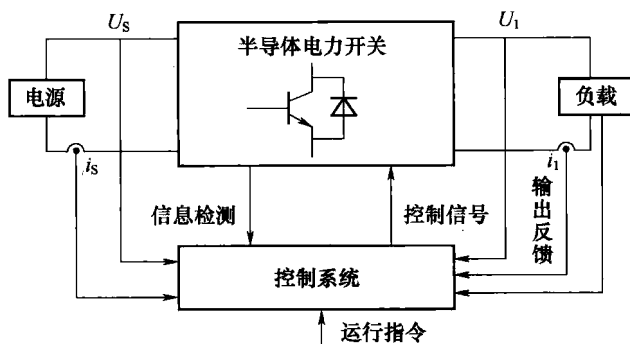


图 1-1 电能变换装置及其控制系统

调制技术(PWM)控制方法的实现、新型软开关拓扑结构的产生,都有力地促进了现代电能变换装置的发展,其应用范围从传统的工业、交通、电力等部门扩大到信息与通信、家用电器、办公自动化等其他领域,几乎涉及国民经济的每个部门。

1.2 电能变换应用技术的主要内容

电能变换应用技术,是关于各种电能变换的拓扑电路、控制理论和工业应用技术,是变换装置的设计技术,是分析设计工具的开发利用技术。

1.2.1 电能变换的基本形式与电路拓扑

在电能变换应用技术中,不同的电能变换形式要求不同的拓扑电路。基本上可以分为五大类:交流—直流变换器(AC/DC)、直流—直流变换器(DC/DC)、直流—交流变换器(DC/AC)、交流—交流变换器(AC/AC)和静态开关。

1. AC/DC 变换器

AC/DC 变换器又称整流器。用于将交流电能变换为直流电能。传统的整流器采用晶闸管相控技术,控制简单、效率高,但具有滞后的功率因数,且输入电流中的低次谐波含量较高,对电网污染大。采用全控型器件的高频整流器,能使输入电流波形正弦化,并且跟踪输入电压,做到功率因数接近 1,它正在逐步取代相控整流器。

2. DC/DC 变换器

DC/DC 变换器用于将一种规格的直流电能变换为另一种规格的直流电能。采用 PWM 控制的 DC/DC 变换器也称直流斩波器,主要用于直流电机驱动和开关电源;近年来发展的软开关 DC/DC 变换器显著地减小了功率器件的开关损耗和电磁干扰噪声,大大提高了开关电源的功率密度,有利于变换器向高效、小型和低噪方向发展。

3. DC/AC 变换器

DC/AC 变换器又称逆变器。用于将直流电能变换为交流电能。根据输出电压及频率的变化情况,可分为恒压恒频(CVCF)及变压变频(VVVF)两类,前者用作稳压电源,后者用于交流电机变频调速系统。逆变器的产品以 SPWM(Sinusoidal Pulse - Width Modulation)控制方式为主,当前的研究热点在输出量控制技术、软开关技术和并联控制技术上。

4. AC/AC 变换器

AC/AC 变换器用于将一种规格的交流电能变换为另一种规格的交流电能。输入和输出频率相同的称为交流调压器,频率发生变化的称为周波变换器或变频器。AC/AC 变换器目前仍以控制晶闸管为主,主要用于调光、调温及低速大容量交流电机调速系统。对于中、小容量电机的驱动变频器大多应用全控器件,采用交—直—交间接变换方式。基于 PWM 理论的矩阵变换和许多高频链变换方式近年来相继被提出,目前正处在研究阶段。

5. 静态开关

静态开关又称无触点开关,它是由电力电子器件组成的可控电力开关。与传统的接触器和断路器开关相比,静态开关通、断时没有触点动作,从而消除了电弧的危害,并且接通、断开电路的时间极快,它由电子电路控制,自动化程度高。

根据需要,以上各类变换可以组合应用。此外,各类变换器正在向模块化发展,可方便地组成不同功率等级的变换器。

为了减小开关损耗和功率变换器的电磁干扰,达到重量轻、体积小且高效节能的目的,在上述五种基本形式变换器的基础上,新的电路拓扑和软开关技术及其应用得以迅速发展。

1.2.2 控制理论和调节手段

电力电子系统是一种非线性、变结构、电压电流突变的离散系统,特别是与电机构成的系统更是强耦合、多变量、具有分布参数特征系统,呈现重复瞬态和非正弦性等特点,这就决定了在电工领域中长期采用的以相量为基础的控制理论不再适用。经典的电路理论和控制理论无法直接处理电力电子系统的控制问题,发展和应用新的控制理论势在必行。

电能变换应用技术的核心部分是开关控制器,它是以开关方式运行的非线性元件,因此以离散系统为基础的开关控制理论成为主要的调节手段。

电力电子系统控制的目标主要是效率和电源质量。电源质量有动态响应、谐波质量和鲁棒性要求等。现代控制理论的应用,为实现电力电子系统目标提供了有力手段。日新月异的微处理器技术的发展,为现代控制理论的应用提供了硬件基础。数字信号处理器(DSP)已经在电力电子控制领域得到了普遍应用,而系统级芯片 SoC(System on Chip)技术和网络技术的发展,也将极大地推动电能变换应用技术的进步。智能控制理论由于具有本质非线性、并行处理、自组织、自学习等能力,在电能变换应用技术的控制中也有着巨大的潜力。

1.2.3 电能变换装置的设计技术

电能变换应用技术的基本任务是要设计出满足功能要求且运行可靠的电能变换装置。一个性能良好的变换装置设计,应该包括功能指标设计、电磁兼容设计、散热设计和结构亲和性设计等方面。

1. 功能指标设计

功能指标设计主要应满足输出电压(或电流)和功率的指标。同时,为了使装置能正常和可靠地工作,还要缜密地考虑其他一些显性和隐性的功能指标。如,主电路防冲击电流的控制设计,控制电路的电复位和断电保护设计,装置的过电流、过电压和欠电压保护,

过热保护、短路保护,甚至还要考虑过功率保护。功能指标设计的方法是多种多样的,总的来说,应选择保护效果好,同时又简单节能的设计方法。

2. 电磁兼容设计

电力电子电路的基本特征是,电路总是工作在开关模式的变换之中,在两个或几个不同的结构之间不断切换。开关的通断在电路中引起的电压和电流变化率,是电磁干扰(EMI)的本质,解决好电磁兼容问题是电能变换应用技术的重大任务。电能变换装置的电磁干扰分三类:外部干扰源对装置的干扰,装置内部的干扰源对系统外部的干扰,装置内部的相互干扰。解决前两类的干扰通常采用滤波的办法;解决第三类干扰的途径较多,如采用电磁屏蔽、电气隔离,主电路合理采用低电感结构方式等。控制电路的电磁兼容设计一般从导线传导耦合、公共阻抗耦合、电感性耦合、电容性耦合和电磁场耦合五个方面考虑。

3. 散热设计

电力电子开关器件在工作时产生的损耗(最主要的是通态损耗和开关损耗)都以热量的形式表现出来。同时,工作在高频状态下的磁性组件(变换器中电感和变压器)其损耗也比较大。因此,散热设计是电能变换应用技术的重点任务。一般来说,散热设计包括对散热介质、散热路径和散热器热阻的设计计算。良好的设计不仅散热效果好,而且散热系统简单。常见的五种散热器,按散热效果逐级排序为自冷式散热器、风冷式散热器、水冷(油冷)式散热器、沸腾式散热器、热管散热器。

4. 结构亲和性设计

变换器装置的结构形式应该对人具有良好的“亲和力”——不仅外表美观宜人、结构紧凑、便于测试和装卸,而且具有功能分区设计、模块化设计和系统集成设计等内容。

电力电子产品或电路设计正向着模块化、集成化的方向发展。具有各种控制功能的专用芯片不断开发和应用。智能功率模块(IPM)以绝缘栅极晶体管(IGBT)作为功率开关,将控制、驱动、保护、检测电路都封装在一个模块内。由于外部接线、焊点减少、产品体积小,可靠性显著提高。系统集成可以改变现在的半自动化、半人工的组装工艺而达到完全自动化生产,从而降低成本,有利于大规模推广应用。

1.2.4 分析设计工具的使用开发

对于某一特定的电能变换要求,为了更好地接近所追求的目标,一般要解决好电能变换应用技术的仿真、分析和设计等几个关键问题。它们具体包括电路拓扑和系统控制策略的确定、开关器件和控制方法的选择、装置内部的散热和电磁兼容性设计、可靠性预估和参数最优化等。所有这些问题,都需要分析设计工具来辅助解决。随着计算机和软件技术的发展,分析工具也越来越丰富。在全软件的分析设计工具中,有电力电子电路理论和控制理论分析仿真工具 Matlab 等;电力电子拓扑及其控制的仿真分析工具 Simulink 等;电力电子分析设计的 EDA 辅助工具 Saber,以及电力电子三维热场和电磁场分析工具 Ansys、Ansoft 等。

为适应特定电路设计分析的需要,有时需要在具体使用软件工具时补充和开发其中的一些模型和功能,有时需要对已有的软件进行改进,甚至需要另行开发软件。另外,在有的场合,如数学模型非常复杂时,软件的仿真分析需要花很长时间;在有的场合,硬件系

统及其各部分相互作用极其复杂,甚至无法建立分析仿真的数学模型等,此时软件分析设计工具难于发挥很好的作用。这时,建立软件和硬件相结合的混合仿真系统,或建立全硬件的仿真、设计和开发平台就成为必不可少的工具。因此,基于仿真、分析和设计的软硬件平台或专家系统,可使系统设计性能最优、设计制造费用最省,是电能变换应用技术的重要内容之一。

1.2.5 电力电子元器件的使用

电能变换应用技术的主要内容莫过于合理、可靠地使用电力电子元器件。半导体开关器件、磁性元件和电容器等,各类元器件产品型号众多、特性各异、应用条件差异性很大。而且每一种新器件的诞生,都伴随着电能变换技术的重大突破,所以使用好电力电子元器件十分重要。

半导体开关器件按控制方式来分,有三大类:不控型器件(二极管),半控型器件(晶闸管),全控型器件(GTO、GTR、MOS、IGBT、IGCT等)。

常见的二极管分为三种。①普通二极管,常用在工频电路或晶闸管等频率不高的电路中;②快速恢复二极管,它利用特殊工艺制造,反向恢复电流小、时间短,常用在IGBT或MOS等高速开关器件的电路中和高频整流电路中;③肖特基二极管,因为它不是PN结导电特性,导通电压降低,且几乎没有反向恢复时间,常用在开关电源等低电压输出的高频整流电路中。

常见的晶闸管分为五种:普通晶闸管、快速晶闸管和高频晶闸管、逆导晶闸管、双向晶闸管、光控晶闸管。普通晶闸管,容量等级大,目前它常用在大功率整流电路和周波变换器中。快速晶闸管和高频晶闸管,它利用特殊工艺制造,关断时间小于 $50\mu\text{s}$,主要用在感应加热的中频电源中。逆导晶闸管,它是将一个晶闸管和一个二极管反并联集成在同一硅片上面构成的组合器件,常用在直流斩波器、倍频式中频电源及三相逆变器电路中。双向晶闸管,它把两个反并联的晶闸管集成在同一硅片上,是控制交流功率的理想器件,主要用在交流无触点继电器、交流相位控制电路中。光控晶闸管,它不用电压电流触发,而是用光触发晶闸管导通,主要应用在电力系统等高电压大电流场合。

理想的全控型器件在瞬间完成导通或关断,没有过渡过程;正向导通电压降和关断后的漏电流都是零。而实际的器件既存在开通和关断时间,又有导通电压降和漏电流。因此,一个实际的全控型器件,其性能的优劣就在于它在多大程度上接近这些理想特性。各种不同类型的器件存在的差异很大,GTO和IGCT等晶闸管型器件,去掉正向导通脉冲,它们仍能保持导通,只有施加反向关断脉冲时器件才关断;而MOS、BJT和IGBT等晶体管型器件,一旦撤走开通脉冲,器件就立即关断,施加反向脉冲只是为了避免干扰造成误导通。GTO、IGCT和BJT等是电流型器件,MOS和IGBT等是电压型器件,它们的控制驱动电路设计要区别对待。即使同是电流型器件,如GTO和BJT,由于器件的特性不一样,其控制驱动的要求也很不一样。为了让每一种器件的特性发挥到最佳,电路的设计者须根据器件特点和使用要求合理选用驱动电路。

磁性元件主要指变压器和电抗器。随着电力电子技术的高频化,磁性元件的工作频率不断提高,就需要能高频工作且损耗小的软磁性材料。这些磁性材料有软磁合金(铁镍合金、铁铝合金、铁钴钕合金等)、铁氧体(锰锌铁氧体、镁锌铁氧体、镍锌铁氧体等)、新

型非晶和微晶软磁材料(铁基非晶、钴基非晶、铁基微晶、钴基微晶等)。即使同一种材料,如果所含成分不同,性能、价格和适用条件(频率和温度范围)差别很大。另一方面,为了适应小功率开关电源的需要,磁性元件的结构不断向超薄型、平面型发展。如平面变压器以单层或多层印制电路板(PCB)代之铜导线,因而厚度远低于常规变压器,能够直接制作在印制电路板上。其突出优点是能量密度高,因而体积大大缩小,相当于常规变压器的20%;效率通常高达97%~99%;工作频率高达50kHz~2MHz;具有低漏感(小于0.2%)和低电磁干扰(EMI)。

电容器是与磁性元件对偶的一种储能和滤波元件。直流电容器以铝电解和钽电解电容器为主。交流电容器根据电压等级、容量和使用频率的不同,种类繁多,如云母电容器、纸介质电容器、聚苯乙烯电容器、聚丙烯电容器、涤纶电容器、复合介质电容器、独石电容器等。

吸收电容和谐振电容是电能变换应用技术中不可或缺的新型电容。吸收电容要求吸收的峰值电流大,电容本身的等效电感小;而谐振电容要求有效值电流大,电容本身损耗小。如果选择使用不当,电容器很容易损坏。

无论是开关器件,还是电抗器、变压器和电容器,在使用或参数设计时,都要合理地选择电压、电流和开关频率,以及考虑与热损耗、电磁干扰等的相互关系。

1.3 电能变换技术的应用领域

电能变换装置在供电电源、电机传动、电力系统等领域都得到了广泛的应用,各类实用装置的基本应用情况如下。

1.3.1 电源领域

1. 直流电源装置

1) 通信电源

通信电源的一次和二次电源都是直流电源。一次电源将电网的交流电转换为标称值为48V的直流电;二次电源再将48V直流电变换成通信设备内部集成电路所需要的多路低压直流电。

通信工业是供电电源和电池的最大用户之一,使用范围从移动电话的小电源到超高可靠性的后备电源系统。它的电源系统与计算机的电源结构类似,前端是离线式有源功率因数校正(PFC)电路,后端是DC/DC前向变换给电源系统直流48V的配电总线提供大电流输出。

为了降低集成芯片的工作损耗,低电压的芯片供电电源开发非常热门。这就需要高功率密度、低功耗、高效率的性能指标,以及同步整流、多相多重、板上功率变换以及板级互联等新技术。目前,国外实验室已开发出70A、1.2V、效率87%的高性能电源。在不久的将来,一种更先进的芯片级的互联技术和功率交换技术将会出现在世人面前。

2) 充电电源

充电电源的应用相当广泛,如便携式电子产品的电池、不间断稳压电源(UPS)的蓄电池、电动汽车和电动自行车用蓄电池以及脉冲激光器储能电容等都需要充电,不同的充电

对象,对充电特性的要求也不同。

3) 电解、电镀直流电源

直流电的大用户是电化学工业,电解电镀低压大电流直流电源一般要消耗各个国家总发电量的 5% 左右,由电力半导体器件组成的直流电源效率高,有利于节能。

4) 开关电源

近年来通信设备、办公自动化设备和家用电器的巨大需求,更加促进了设备内部用的 AC/DC、DC/DC 开关电源的发展,全球市场规模已达 100 亿美元/年以上。DC/DC 开关变流器采用高频软开关技术,其功率密度已达 $120\text{W}/\text{英寸}^3$,效率达 90%。

2. 交流电源装置

1) 交流稳压电源

由于各行业用电量的剧增以及电力变换带来的电力公害使得电网电压波动、波形失真,重要设备常需用交流稳压电源来得到高品质用电。如医疗设备通常使用电子交流稳压电源进行稳压,如果电源性能指标不符合要求,会影响医疗设备的使用效果。

2) 通用逆变电源

各类逆变电源广泛应用在航天、船舶工业、可再生能源发电系统等方面。例如特殊船舶上的基本电源是蓄电池,需要 50Hz 逆变器为计算机、无线电等供电,还需要 400Hz 逆变器为雷达、自动舵等供电。

3) UPS

随着计算机及网络技术的发展,UPS 近十年来得到了长足发展。采用 IGBT 的 UPS 容量已达数百千瓦,DSP 数字技术的引入,可以对 UPS 实现远程监控和智能化管理。

3. 特种电源装置

1) 静电除尘用高压电源

为了满足环保要求,通常选用除尘设备,减少烟尘对环境的污染。例如在煤气生产中用静电除尘清除煤气中的焦油,以保证煤气质量。除尘设备需要高压电源产生高压静电,利用高压静电吸收烟尘。

2) 超声波电源

超声波可以用于工业清洗、超声波探伤、超声振动切削、石油探测、饮用水处理、医疗器械等方面。超声波装置由超声波电源和换能器组成。超声波电源实际上是交一直一交变频器,其输出频率在 20kHz 以上。换能器是一个谐振负载,它要求超声波电源具有高的频率稳定性和可调性。

3) 感应加热电源

感应加热技术因其热效率高、对工件加热均匀、可控性好、环境污染小等一系列优点近年来得到迅速发展,日常生活用的电磁炉是小型感应加热电源,感应加热装置需要高频交流电源。

4) 焊接电源

电焊是利用低压大电流产生电弧熔化金属的一种焊接工艺,目前,应用较广的是模块化的 IGBT 电焊机。

1.3.2 电机传动领域

我国电机的耗电量约占工业耗电量的 80%,电能变换应用技术在电机传动领域不仅