



电力 电子 技术

韩晓冬 李梅 张洁 主编

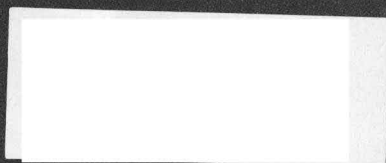
PLZS

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

电力 电子 技术

韩晓冬 李梅 张洁 主编
赵云伟 高培金 王英永 副主编
李文森 主审
吴居娟 李倩 周伟伟 参编

PLD



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电子技术/韩晓冬, 李梅, 张洁主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 6587 - 4

I. ①电… II. ①韩…②李…③张… III. ①电力电子技术-高等学校-教材
IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 186923 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16.75

字 数 / 385 千字

版 次 / 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷 责任编辑 / 陈莉华

印 数 / 1 ~ 2000 册 责任校对 / 周瑞红

定 价 / 49.00 元 责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

Foreword 前言

Foreword

电力电子技术是目前发展较为迅速的一门学科，是高新技术产业发展的主要基础技术之一，是传统产业改革的重要手段，作为 21 世纪解决能源危机的必备技术之一而受到重视。

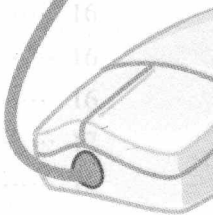
本书在编写过程中，始终遵循高等教育具有其特定的培养目标和培养模式，所需的教材应具有其自身特色的原则，注重实用性、技能性的培养，力求简明实用，使学生易于理解和掌握。本书注重“科学性、实用性、通用性、新颖性”，力求做到理论联系实际，夯实基础知识，突出时代气息，具备科学性及新颖性，并强调知识的渐进性，兼顾知识的系统性，注重培养学生的实践能力。

本书内容主要介绍了常用电力电子器件的工作原理和特性；晶闸管可控整流电路与触发电路、交流变换电路、逆变电路、直流斩波电路等典型电能交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方法；电力公害及抑制；电力电子技术的典型应用。本书各章节融入了适当的例题、相应的实验实训和大量的思考题与习题。通过对本课程的学习，学生能理解并掌握电力电子技术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。

本书由韩晓冬、李梅、张洁担任主编，赵云伟、高培金和王英永担任副主编，吴居娟、李倩、周伟伟参与编写。李文森主审，并提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心的感谢。

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

编 者



Contents 目录

第1章 绪论	1
1.1 电力电子技术发展概况	1
1.1.1 电力电子技术内涵	1
1.1.2 电力电子器件的发展	2
1.1.3 变流电路的发展	4
1.1.4 控制技术的发展	4
1.2 变流电路分类与功能	5
1.3 电力电子技术应用	6
1.3.1 电源	6
1.3.2 电气传动	7
1.3.3 电力系统	8
1.4 本课程任务和要求	9
本章小结	9
思考题与习题	10
第2章 电力电子器件	11
2.1 电力电子器件的分类	11
2.1.1 按受控方式分	12
2.1.2 按载流子类型分	12
2.1.3 按控制信号性质分	13
2.2 电力二极管	13
2.2.1 电力二极管的结构和基本工作原理	13
2.2.2 电力二极管主要类型和使用	16
2.3 晶闸管	16
2.3.1 晶闸管	16
2.3.2 晶闸管的工作原理	17
2.3.3 晶闸管的伏安特性	19
2.3.4 晶闸管的主要参数	20
2.3.5 晶闸管的型号及简单测试方法	22
2.3.6 晶闸管的派生器件	22

2.4 门极可关断晶闸管	24
2.5 电力晶体管	26
2.5.1 电力晶体管的结构和工作原理	27
2.5.2 GTR 的类型	27
2.5.3 GTR 的特性	28
2.5.4 GTR 的主要参数	29
2.6 功率场效应晶体管	30
2.6.1 功率场效应管的结构和工作原理	31
2.6.2 功率场效应管的主要特性	31
2.6.3 功率场效应管的主要参数	33
2.6.4 功率场效应管的安全工作区	33
2.6.5 功率场效应管栅极驱动的特点及其要求	34
2.6.6 功率场效应管在使用中的静电保护措施	35
2.7 绝缘栅双极型晶体管	35
2.7.1 IGBT 的结构和基本原理	35
2.7.2 IGBT 的主要特性	36
2.8 其他新型电力电子器件	42
2.8.1 静电感应晶体管	42
2.8.2 静电感应晶闸管	43
2.8.3 集成门极换流晶闸管	43
2.8.4 功率集成电路和智能功率模块	43
本章小结	47
思考题与习题	47
第3章 晶闸管可控整流电路与触发电路	48
3.1 整流电路的概述	48
3.1.1 整流电路的分类	48
3.1.2 晶闸管可控整流电路的一般结构	49
3.2 单相可控整流电路	50
3.2.1 单相半波可控整流电路	50
3.2.2 单相全控桥式整流电路	60
3.2.3 单相半控桥式可控整流电路	63
3.3 三相可控整流电路	64
3.3.1 三相半波不可控整流电路	64
3.3.2 三相半波可控整流电路	65
3.3.3 共阳极接法三相半波相控整流电路	70
3.3.4 三相全控桥式整流电路	71
3.3.5 三相半控桥式整流电路	77
3.4 对触发电路的要求	82

3.5 单结晶体管触发电路	83
3.5.1 单结晶体管	83
3.5.2 单结晶体管弛张振荡电路	85
3.5.3 单结晶体管的同步和移相触发电路	86
3.6 同步电压为锯齿波的晶闸管触发电路	87
3.6.1 触发脉冲的形成与放大	87
3.6.2 锯齿波的形成及脉冲移相	88
3.6.3 锯齿波同步电压的形成	89
3.6.4 双窄脉冲形成环节	89
3.6.5 强触发电路	90
3.7 集成化晶闸管移相触发电路	91
3.7.1 KCO4 移相触发电路	91
3.7.2 KC42 脉冲列调剂形成器	92
3.7.3 KC41 六路双脉冲形成器	93
3.7.4 由集成元件组成三相触发电路	94
3.8 触发脉冲与主电路电压的同步及防止误触发的措施	95
3.8.1 触发电路同步电源电压的选择	95
3.8.2 防止误触发的措施	96
本章小结	113
思考题与习题	113
第4章 电力电子器件的保护及串、并联	117
4.1 晶闸管的过电压保护	117
4.1.1 晶闸管关断过电压及其保护	117
4.1.2 交流侧过电压及其保护	118
4.1.3 直流侧过电压及其保护	121
4.2 晶闸管的过电流保护与电压、电流上升率的限制	121
4.2.1 过电流保护	121
4.2.2 电压与电流上升率的限制	123
4.3 晶闸管的串联和并联	123
4.3.1 晶闸管	123
4.3.2 晶闸管的并联	124
本章小结	125
思考题与习题	126
第5章 交流变换电路	127
5.1 双向晶闸管	127
5.1.1 基本结构	127
5.1.2 伏安特性	129

5.1.3	双向晶闸管的触发方式	130
5.1.4	双向晶闸管的工作原理	131
5.1.5	双向晶闸管的触发电路	133
5.1.6	双向晶闸管简易测试	138
5.2	交流调压电路	140
5.2.1	单相交流调压电路	142
5.2.2	三相交流调压电路	145
5.2.3	交流斩波调压电路	148
5.3	交流调压电路的应用	149
5.3.1	晶闸管交流开关	149
5.3.2	异步电动机的软启动	154
5.3.3	交流电动机的调压调速	155
	本章小结	158
	思考题与习题	158
第6章 有源逆变电路		159
6.1	有源逆变的工作原理	159
6.1.1	逆变过程的能量转换	159
6.1.2	有源逆变的工作原理	160
6.2	三相有源逆变电路	162
6.2.1	三相半波有源逆变电路	162
6.2.2	三相桥式有源逆变电路	164
6.3	逆变失败及最小逆变角的确定	166
6.3.1	逆变失败的原因	166
6.3.2	最小逆变角的确定及限制	168
6.4	有源逆变电路的应用	168
6.4.1	用接触器控制直流电动机正反转的电路	168
6.4.2	采用两组晶闸管反并联的可逆电路	169
6.4.3	绕线转子异步电动机的串级调速	172
	本章小结	177
	思考题与习题	178
第7章 变频电路		179
7.1	变频电路概述	179
7.1.1	变频电路的作用	179
7.1.2	变频电路的分类	179
7.2	变频电路的基本原理	180
7.2.1	变频电路的换流方式	180
7.2.2	变频电路的工作原理	181

7.3 负载谐振式变频电路	183
7.3.1 并联谐振式变频电路	183
7.3.2 负载串联谐振式变频电路	185
7.4 三相变频电路	186
7.4.1 电压型三相变频电路	186
7.4.2 电流型三相变频电路	189
7.5 脉宽调制变频电路	191
7.5.1 脉宽调制变频电路概述	191
7.5.2 单相 SPWM 变频电路	193
7.5.3 三相桥式 SPWM 变频电路	194
7.5.4 SPWM 变频电路的优点	195
7.6 变频电路的应用	196
7.6.1 交-交变频电路与交-直-交变频电路的特点	196
7.6.2 变频电路在交流调速系统中的应用	196
7.6.3 SPWM 交流电动机变频调速	199
本章小结	202
思考题与习题	202
第 8 章 直流斩波电路	203
8.1 斩波电路的基本原理	203
8.1.1 直流斩波电路的工作原理	203
8.1.2 直流斩波器的分类	204
8.2 降压斩波电路(Buck 电路)	204
8.3 升压斩波电路(Boost 电路)	206
8.4 升降压斩波电路	207
8.4.1 升降压型斩波电路的结构及工作原理	207
8.4.2 Cuk 斩波电路的结构及工作原理	209
8.5 直流斩波应用电路	211
本章小结	214
思考题与习题	214
第 9 章 电力公害及其抑制	215
9.1 电力公害及其分类	215
9.1.1 什么是电力公害	215
9.1.2 电力公害分类	215
9.2 谐波产生及其抑制	216
9.2.1 谐波产生机理	216
9.2.2 谐波抑制对策	219

9.3 电磁干扰及其抑制	222
9.3.1 电磁干扰的产生	222
9.3.2 电磁干扰抑制	223
9.4 提高功率因数的对策	226
9.4.1 变流装置的功率因数	226
9.4.2 提高功率因数的原理与方法	228
本章小结	231
思考题与习题	231
第10章 电力电子技术的应用	232
10.1 直流电源	232
10.1.1 直流电源系统	232
10.1.2 开关模直流电源的控制	233
10.1.3 直流电源的保护	235
10.1.4 电气隔离	236
10.1.5 多路输出电源的交叉调节	236
10.2 不间断电源	237
10.2.1 概述	237
10.2.2 单相在线式 UPS 实例分析	238
10.3 电子镇流器	240
10.3.1 电子镇流器	240
10.3.2 电子镇流器的组成	242
10.3.3 一种新型逆变式电子镇流器	243
10.4 光伏并网逆变器	245
10.4.1 光伏并网逆变器概述	245
10.4.2 光伏并网逆变器特点	246
10.4.3 光伏并网逆变器的工作原理	247
10.4.4 光伏并网逆变器逆变电路的控制电路	247
10.4.5 逆变器主电路功率器件的选择	247
10.5 PSPICE 在电力电子技术仿真中的应用	248
10.6 Matlab 在电力电子技术仿真中的应用	249
10.6.1 Matlab 语言简介	249
10.6.2 Matlab 仿真举例——三相全桥整流仿真	250
本章小结	254
思考题与习题	254
参考文献	255

第 1 章

绪 论

【学习目标】

- (1) 掌握电力电子技术的基本概念。
- (2) 了解电力电子技术的发展轨迹、应用领域和发展前景。
- (3) 了解本课程的基本要求。
- (4) 了解电力电子技术课程的主要内容和学习任务。
- (5) 了解学习电力电子技术的目的和意义。

1.1 电力电子技术发展概况

1.1.1 电力电子技术内涵

电力电子技术是一种利用电力电子器件对电能进行控制、转换和传输的技术。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,称为电力电子技术(Power Electronics Technology)或电力电子学(Power Electronics)。

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;变流电路是电力技术的核心;而控制技术则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。

半导体电子技术发展至今已形成两大技术领域,即以集成电路为核心的微电子技术和以功率半导体器件(也称电力电子器件)为核心的电力电子技术。前者主要用于信息处理,向小功率发展;后者主要用于对电力的处理,向大功率、多功能发展。

自20世纪50年代末第一支晶闸管问世以来,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。之后,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。

现代电力电子技术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)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。它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。

1.1.2 电力电子器件的发展

电力电子器件是电力电子技术发展的基础，也是电力电子技术发展的动力。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50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

以电力二极管和晶闸管（SCR）为代表的第一代电力电子器件，以其体积小、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，取代了明显的节能效果，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，是电力电子器件中机构最简单、使用最广泛的一种器件。目前，电力二极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。普通整流管具有漏电流小、通态压降较高（10~18V）、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，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，但是通态压降却很高（16~40V），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的反向恢复时间（几乎为零）和低的通态压降（0.3~0.6V）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和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改革，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。

普通晶闸管广泛应用于交直流调速、调光、调温等低频（400Hz以下）领域，运用由它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。不过，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。目前的技术水平为12000V/1000A和6500V/4000A。

双向晶闸管可视为一对反并联的普通晶闸管的集成，常用于交流调压和调功电路中。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。

光控晶闸管是通过光信号控制晶闸管触发导通的器件，它具有很强的抗干扰能力、良好的高压绝缘性能和较高的瞬时过电压承受能力，因而被应用于高压直流输电（HVDC）、静止无功功率补偿（SVC）等领域。其研制水平大约为 8 000 V/3 600 A。

逆变晶闸管因具有较短的关断时间（10 ~ 15 s）而主要用于中频感应加热。在逆变电路中，它已让位于 GTR、GTO、IGBT 等新器件。目前，其最大容量介于 2 500 V/1 600 A/1 kHz 和 800 V/50 A/20 kHz 的范围之间。

非对称晶闸管是一种正、反向电压耐量不对称的晶闸管。而逆导晶闸管不过是非对称晶闸管的一种特例，是将晶闸管反并联一个二极管制作在同一管心上的功率集成器件。与普通晶闸管相比，逆导晶闸管具有关断时间短、正向压降小、额定结温高、高温特性好等优点，主要用于逆变器和整流器中。

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，因而大大提高了电能的利用率，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

伴随着关键技术的突破以及需求的发展，早期的小功率、半控型、低频器件发展到现在的大功率、高频全控器件。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。

功率 MOSFET 是低压范围内最好的功率开关器件，目前广泛应用于高频开关电源、计算机电源、航空电源、小功率 UPS 以及小功率变频器等领域。

IGBT 器件是一种 N 沟道增强型场控（电压）复合器件。它兼有功率 MOSFET 和双极性器件的开关速度快、安全工作区宽，饱和压降比较低、耐压高、电流大等优点。因此，IGBT 器件将是促进高频电力电子技术发展的一种比较理想的基础元件。

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、处理与功率控制合而为一，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 的发展使电力电子技术实现了第二次革命，并进入全新的智能化时代。

1.1.3 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 年代末期和 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（50 Hz）交流发电机提供，但是大约 20% 的电能是以直流形式消费的，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 年代和 70 年代，大功率硅整流管和晶闸管的开发与应用得以很大发展。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 ~ 100 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。

1.1.4 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并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和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,电力电子技术进入了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。

1.2 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(AC→DC变换)、逆变电路(DC→AC变换)、交流变换电路(AC-AC变换)、斩波电路(DC-DC变换),如图1.1所示。

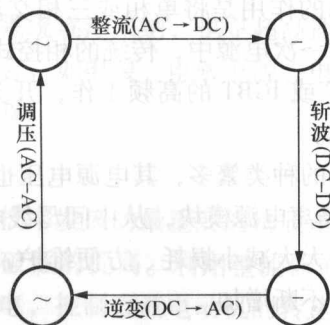


图 1.1 变流电路基本形式

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。以往使用最方便的整流电路为晶闸管相控整流电路,其具有网侧功率因数低、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,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。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,称为交流变换电路。交流变换电路可分为交流调压电路和交-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-交变频电路把电网频率的交流电直接变换成不同频率的交流电。

1.3 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。

1.3.1 电源

1. 计算机高效绿色电源

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。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。美国环境保护署的 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 30 W,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。

2. 通信用高频开关电源

通信业的迅速发展极大地推动了通信电源的发展,高频小型化的开关电源及其技术已成为现代通信供电系统的主流。在通信领域中,通常将整流器称为一次电源,而将 DC-DC 变换器称为二次电源。一次电源的作用是将单相或三相交流电变换成标称值为 48 V 的直流电源。目前在程控交换机用的一次电源中,传统的相控式稳压电源已被高频开关电源取代,高频开关电源通过 MOSFET 或 IGBT 的高频工作,开关频率一般控制在 50 ~ 100 kHz 范围内,实现了高效率和小型化。

因通信设备中所用集成电路的种类繁多,其电源电压也各不相同,在通信供电系统中采用高功率密度的高频 DC-DC 隔离电源模块,从中间母线电压(一般为 48 V 直流)变换成所需的各种直流电压,这样可大大减小损耗、方便维护,且安装非常方便。因通信容量的不断增加,通信电源容量也将不断增加。

3. 斩波器(DC-DC 变换器)

DC-DC 变换器被广泛应用于无轨电车、地铁列车、电动车的无级变速和控制中,同时

使上述控制获得加速平稳、快速响应的性能，并同时达到节约电能的效果。斩波器不仅能起直流调压的作用（开关电源），同时还能起到有效地抑制电网侧谐波电流噪声的作用。随着大规模集成电路的发展，要求电源模块实现小型化，因此就要不断提高开关频率和采用新的电路拓扑结构，目前已有一些公司研制生产了采用零电流开关和零电压开关技术的二次电源模块，功率密度有较大幅度的提高。

4. 不间断电源（UPS）

不间断电源是计算机、通信系统，以及要求提供不能中断电能场合所必需的一种高可靠、高性能的电源。交流市电输入经整流器变成直流，一部分能量给蓄电池组充电；另一部分能量经逆变器变成交流，经转换开关送到负载。为了在逆变器故障时仍能向负载提供能量，另一路备用电源通过电源转换开关来实现。

现代 UPS 普遍采用 PWM 技术和功率 MOSFET、IGBT 等现代电力电子器件，使电源噪声得以降低，而效率和可靠性得以提高。微处理器软、硬件技术的引入，可以实现对 UPS 的智能化管理，进行远程维护和远程诊断。

5. 高频逆变式整流焊机电源

高频逆变式整流焊机电源是一种高性能、高效、省材的新型焊机电源，代表了当今焊机电源的发展方向。逆变焊机电源大都采用交流 - 直流 - 交流 - 直流（AC-DC-AC-DC）变换的方法。50 Hz 交流电经全桥整流变成直流，IGBT 组成的 PWM 高频变换部分将直流电逆变成 20 kHz 的高频矩形波，经高频变压器耦合，整流滤波后成为稳定的直流，供电弧使用。

6. 大功率开关型高压直流电源

大功率开关型高压直流电源广泛应用于静电除尘、水质改良、医用 X 光机和 CT 机等大型设备。电压高达 50 ~ 159 kV，电流达到 0.5 A 以上，功率可达 100 kW。

静电除尘高压直流电源将市电经整流变为直流，采用全桥零电流开关串联谐振逆变电路将直流电压逆变为高频电压，然后由高频变压器升压，最后整流为直流高压。

7. 分布式开关电源供电系统

分布式开关电源供电系统采用小功率模块和大规模控制集成电路做基本部件，利用最新理论和技术成果，组成积木式、智能化的大功率供电电源，从而使强电与弱电紧密结合，降低大功率元器件、大功率装置的研制压力，提高生产效率。

分布供电方式具有节能、可靠、高效、经济和维护方便等优点，已被大型计算机、通信设备、航空航天、工业控制等系统逐渐采纳，也是超高速型集成电路的低电压电源的最为理想的供电方式。在大功率场合，如电镀、电解电源、电力机车牵引电源、中频感应加热电源等领域也有广阔的应用前景。

1.3.2 电气传动

电力电子技术是电动机控制技术发展的最重要的物质基础，电力电子技术的迅猛发展促使电动机控制技术水平有了突破性的提高。利用整流器或斩波器获得可变的直流电源，对直流电动机电枢或励磁绕组供电，控制直流电动机的转速和转矩，可以实现直流电动机变速传动控制。利用逆变器或交 - 交直接变频器对交流电动机供电，改变逆变器或变频器输出的频率和电压、电流，即可经济、有效地控制交流电动机的转速和转矩，实现交流电