



高等院校自动化新编系列教材

# 电力电子技术

DIANLI DIANZI JISHU

金海明 郑安平 等编著



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)

# 高等院校自动化新编系列教材

现代检测技术

电机原理与拖动基础

●  
电力电子技术

数字信号处理

自动化概论

自动控制系统工程设计

计算机控制技术

现代电气控制技术

自动控制系统

单片机原理与接口技术

工业网络技术

电子设计自动化

软件工程基础

自动化专业英语

模拟电子技术

微机原理与应用

计算机仿真技术

工业企业供电

电路

数字电子技术

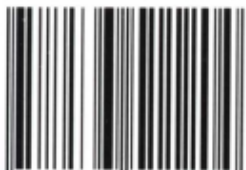
自动控制原理

策划人：常丽萍 张莉莉

责任编辑：张莉莉

封面设计：七星工作室

ISBN 7-5635-1120-2



9 787563 511204 >



ISBN 7-5635-1120-2/TP · 204

定价：26.00 元

# 电力电子技术

编著 金海明 郑安平 等

北京邮电大学出版社  
·北京·

## 内 容 简 介

电力电子技术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,是集电工、电子与控制技术等多学科交叉相互融合的一门新兴学科。主要包括:各种电力电子器件、驱动和保护电路;AC/DC,DC/AC,DC/DC,AC/AC变换电路;PWM技术、软开关技术、谐波抑制、功率因数补偿技术以及电力电子装置等。本书精选了电力电子技术的内容,既体现了系统全面、简洁,又体现了新和实用的特点。

本书是自动化专业改革系列教材之一,适用于电气工程及其自动化专业、工业自动化以及其他相关专业的本科生使用,也可供从事电力电子技术的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/金海明,郑安平编著. —北京:北京邮电大学出版社,2005  
ISBN 7-5635-1120-2

I. 电... II. ①金...②郑... III. 电力电子学 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第157119号

---

出 版 者:北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路10号) 邮编:100876

发行部电话:(010)62282185 62283578(传真)

电子信箱:publish@bupt.edu.cn

经 销:各地新华书店

印 刷:北京通州皇家印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:17.5

字 数:414千字

印 数:3000册

版 次:2006年3月第1版 2006年3月第1次印刷

---

ISBN 7-5635-1120-2/TP·204

定价:26.00元

如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系

## 高等院校自动化新编系列教材

### 编委会

主任 汪晋宽

副主任 金海明 罗云林 张美金 崔光照 王宏文

委员 (按姓氏笔划排名)

于丁文 王凤文 王建国 马淑华 石云霞

齐世清 任彦硕 张家生 张健 杨建忠

柳明丽 罗长杰 金伟 赵洪才 赵一丁

顾德英 舒冬梅 藏小杰 郑安平

秘书 顾德英(兼) 马淑华(兼)

## 编写说明

一本好的教材和一本好的书不同,一本好的书在于其内容的吸引力和情节的魅力,而一本好的教材不仅要对所介绍的科学知识表达清楚、准确,更重要的是在写作手法上能站在读者的立场上,帮助读者对教材的理解,形成知识链条,进而学会举一反三。基于这种考虑在充分理解自动化专业培养目标和人才需求的前提下,我们规划了这套《高等院校自动化新编系列教材》。

本套系列教材共包括 21 册,在内容取舍划分上,认真分析了各门课程内容的相互关系和衔接,避免了不必要的重复,增加了一些新的内容。在知识结构设计上,保证专业知识完整性的同时,考虑了学生综合能力的培养,并为学生继续学习留有空间。在课程体系规划上,注意了前后知识的贯通,尽可能做到先开的课程为后续的课程提供基础和帮助,后续的课程为先开的课程提供应用的案例,以便于学生对自动化专业的理解。

《高等院校自动化新编系列教材》编委会

2005 年 8 月

# 前 言

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。随着国防、工、农业、交通、医疗、办公以及家庭等方面现代化的快速发展,人们生活质量不断提高,目前亟待解决的问题是:减少电力电子装置所引起的谐波污染、功率因数下降和电磁干扰等公害,研究开发“绿色”电力变换器;解决能源危机问题,走可持续发展的道路,研究开发太阳能、风能、潮汐能、地热能、燃料电池等新能源的应用;解决传统的燃油交通工具和一些特种行业对大气污染的难题,研究开发新型“绿色”电动交通工具和高质、高效、低价位的电力电子除尘装置;满足各个方面对控制精度、性能等越来越高的要求等问题。上述问题的解决,在很大程度上取决于电力电子技术的发展及其应用。因此,必须迅速而大批地培养掌握这门先进技术和重要手段,理论联系实际的高、中级人才。本书就是基于此目的而编写的。

本书编写的特点是:以器件为基础,以大功率整流为核心,循序渐进地系统介绍相关理论;各种变换电路的知识点相对集中,便于全面理解和掌握;本书是本套自动化专业系列教材之一,因此在内容上充分考虑了与后续课程的紧密衔接问题,做到既打好必要的基础,又尽量避免重复,以减少整个教学计划的学时;重点和难点部分尽量详实,便于自学;各章、节内容既有联系,又有相对的独立性。因此在使用时,各院校可根据教学计划的需要进行适当的删减。

本书主要介绍4方面的内容。在器件方面:除晶闸管外,大量篇幅介绍可关断器件和新型功率半导体器件,重点是外特性、参数、驱动电路和保护。在电路方面:介绍常用的AC/DC,DC/AC,DC/DC,AC/AC电力电子变换电路的组成、工作原理,重点是波形绘制、有关参数计算以及其主要应用场合。在新技术方面:主要介绍PWM控制、矩阵变频、软开关技术、多重化、高频化、谐波抑制、功率因数补偿及节能和新能源利用等技术。在应用方面:重点介绍新技术应用。

本书由东北大学秦皇岛分校金海明、郑州轻工业学院郑安平任主编,东北大学秦皇岛分校顾德英、任良超、高原参加了编写,全书由金海明、郑安平统稿。在本书编写过程中得到了东北大学秦皇岛分校有关领导的大力支持,杨琳娟等同志做了大量工作,对此表示衷心的感谢。同时,对本书所用参考文献的所有作者,在此一并致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限,编写时间又很仓促,本书一定有很多疏漏和错误之处,殷切希望广大读者批评指正。

**编 者**

**2005年12月**



# 目 录

## 第 1 章 绪论

1.1 电力电子技术及特点 .....	1
1.2 电力电子技术的发展历史 .....	2
1.3 电力电子技术的应用 .....	5
1.4 电力电子技术的未来发展方向和前景 .....	7
1.5 电力电子技术研究的内容 .....	8
1.5.1 电力电子器件 .....	8
1.5.2 电力电子变换器的主电路 .....	9
1.5.3 电力电子变换的基本类型 .....	9
1.5.4 电力电子电路的控制 .....	11
1.6 教材使用说明 .....	11
思考题与习题 .....	12

## 第 2 章 电力电子器件与应用

2.1 概述 .....	13
2.2 电力二极管 .....	13
2.3 晶闸管及派生器件 .....	16
2.3.1 晶闸管的结构和工作原理 .....	16
2.3.2 晶闸管的基本特性 .....	18
2.3.3 晶闸管的主要参数 .....	20
2.3.4 晶闸管的门极驱动电路 .....	23
2.3.5 晶闸管的保护 .....	27
2.3.6 晶闸管的派生器件 .....	29
2.4 电力双极型晶体管 .....	35
2.4.1 电力晶体管的结构和工作原理 .....	35
2.4.2 GTR 的类型 .....	36
2.4.3 GTR 的特性 .....	36
2.4.4 GTR 的主要参数 .....	37
2.4.5 GTR 的驱动和保护电路 .....	39
2.5 电力场效应晶体管 .....	41
2.5.1 电力场效应管的结构和工作原理 .....	42
2.5.2 电力场效应管的静态特性和主要参数 .....	42
2.5.3 电力场效应管的动态特性和主要参数 .....	43
2.5.4 电力场效应管的安全工作区 .....	45
2.5.5 电力场效应管的驱动和保护 .....	45
2.6 绝缘栅双极型晶体管 .....	47

2.6.1	IGBT 的结构和基本原理 .....	47
2.6.2	IGBT 的基本特性 .....	48
2.6.3	擎住效应和安全工作区 .....	49
2.6.4	IGBT 的驱动电路 .....	50
2.7	其他新型电力电子器件 .....	54
2.7.1	静电感应晶体管 SIT .....	54
2.7.2	静电感应晶闸管 .....	55
2.7.3	MOS 控制晶闸管 .....	55
2.7.4	集成门极换流晶闸管 .....	55
2.7.5	功率集成电路和智能功率模块 .....	56
2.8	电力电子器件的缓冲电路和串并联 .....	58
2.8.1	缓冲电路 .....	58
2.8.2	电力电子器件的串并联 .....	61
小结	.....	63
思考题与习题	.....	66
<b>第 3 章 AC/DC 变换技术</b>		
3.1	概述 .....	67
3.1.1	整流电路的分类 .....	67
3.1.2	相控整流电路一般结构 .....	68
3.1.3	整流电路的学习方法 .....	68
3.2	相控整流电路 .....	69
3.2.1	单相可控整流电路 .....	69
3.2.2	三相可控整流电路 .....	82
3.2.3	变压器漏感对整流电路的影响 .....	94
3.2.4	整流电路的谐波和功率因数 .....	97
3.2.5	大功率可控整流电路 .....	103
3.2.6	整流电路的有源逆变工作状态 .....	110
3.3	相控整流电路的设计方法 .....	115
3.3.1	相控整流电路设计流程 .....	115
3.3.2	设计举例 .....	116
3.4	PWM 整流电路 .....	118
3.4.1	PWM 整流电路的基本原理 .....	119
3.4.2	电压型单相 PWM 整流电路 .....	123
3.4.3	电压型三相 PWM 整流电路 .....	127
3.4.4	电压型 PWM 整流电路的控制 .....	127
小结	.....	129
思考题与习题	.....	130
<b>第 4 章 DC/DC 变换技术</b>		
4.1	非隔离 DC/DC 变换电路 .....	133

4.1.1 降压型电路 .....	133
4.1.2 升压型电路 .....	138
4.1.3 升降压型电路 .....	143
4.1.4 库克型电路 .....	144
4.1.5 Zeta 型电路 .....	147
4.1.6 Spice 型电路 .....	149
4.2 隔离 DC/DC 变换电路 .....	151
4.2.1 正激电路 .....	151
4.2.2 反激电路 .....	154
4.2.3 推挽电路 .....	157
4.2.4 半桥电路 .....	159
4.2.5 全桥电路 .....	161
4.3 DC/DC 变换电路之间的关系 .....	164
小结 .....	165
思考题与习题 .....	165
<b>第 5 章 DC/AC 变换技术</b>	
5.1 概述 .....	167
5.1.1 逆变电路的分类 .....	167
5.1.2 DC/AC 变换的工作原理 .....	167
5.1.3 逆变电路的换流方式 .....	169
5.2 电压型逆变电路 .....	169
5.2.1 单相电压型逆变电路 .....	170
5.2.2 三相电压型逆变电路 .....	172
5.3 逆变电路的正弦脉宽控制技术 .....	174
5.3.1 PWM 控制的基本原理 .....	174
5.3.2 SPWM 调制技术 .....	178
5.3.3 SPWM 控制技术 .....	179
5.3.4 PWM 逆变电路的谐波分析 .....	181
5.3.5 PWM 逆变电路的多重化 .....	182
5.3.6 PWM 跟踪控制技术 .....	184
小结 .....	187
思考题与习题 .....	187
<b>第 6 章 AC/AC 变换</b>	
6.1 交流调压电路 .....	189
6.1.1 相控单相交流调压电路 .....	170
6.1.2 相控三相交流调压电路 .....	195
6.1.3 斩波控制交流调压电路 .....	199
6.2 交流电力控制电路 .....	203
6.3 交-交变频电路 .....	205

6.3.1 单相交-交变频电路 .....	205
6.3.2 三相交-交变频电路 .....	210
6.4 矩阵变频电路 .....	214
小结 .....	218
思考题与习题 .....	218
<b>第7章 软开关技术</b>	
7.1 软开关的基本概念及分类 .....	220
7.1.1 硬开关和软开关 .....	220
7.1.2 零电压开关和零电流开关 .....	221
7.1.3 软开关电路的分类 .....	222
7.2 典型的软开关电路 .....	225
7.2.1 零电压开关准谐振电路 .....	225
7.2.2 移相全桥型零电压开关 PWM 电路 .....	227
7.2.3 零电压转换 PWM 电路 .....	229
7.2.4 谐振直流环 .....	232
小结 .....	233
思考题及习题 .....	234
<b>第8章 电力电子装置及应用</b>	
8.1 开关电源 .....	235
8.1.1 直流稳压电源概述 .....	235
8.1.2 开关电源的设计 .....	236
8.2 不间断电源 .....	241
8.3 静止无功补偿装置 .....	245
8.3.1 晶闸管控制电抗器 .....	246
8.3.2 晶闸管投切电容器 .....	247
8.3.3 静止无功发生器 .....	247
8.4 电力储能系统 .....	248
8.5 电力电子器件的发热与散热 .....	253
8.5.1 电力电子器件的发热 .....	253
8.5.2 电力电子器件的散热 .....	255
8.6 电力电子技术在可再生能源中的应用 .....	258
8.6.1 电力电子技术在光电电力系统中的应用 .....	259
8.6.2 电力电子技术在风力电力系统中的应用 .....	263
8.7 柔性交流输电系统 .....	266
小结 .....	267
思考题与习题 .....	267
<b>参考文献</b> .....	269

# 第 1 章 绪 论

什么是电力电子技术？它由哪些技术构成？它的发展经历了哪些阶段？目前主要应用在哪些领域？对这些问题的阐述将使读者对电力电子技术有一个大致的了解。

## 1.1 电力电子技术及特点

电子技术包括信息电子技术和电力电子技术两大分支。通常所说的模拟电子技术和数字电子技术属于信息电子技术。电力电子技术是应用于电力领域的电子技术，它是利用电力电子器件对电能进行变换和控制的新兴学科。目前所用的电力电子器件采用半导体制成，故称电力半导体器件。信息电子技术主要用于信息处理，而电力电子技术则主要用于电力变换。电力电子技术的发展是以电力电子器件为核心，伴随变换技术和控制技术的发展而发展的。

电力电子技术可以理解为功率强大，可供诸如电力系统那样大电流、高电压场合应用的电子技术，它与传统的电子技术相比，其特殊之处不仅是因为它能够通过大电流和承受高电压，而且要考虑在大功率情况下，器件发热、运行效率的问题。为了解决发热和效率问题，对于大功率的电子电路，器件的运行都采用开关方式。这种开关运行方式就是电力电子器件运行的特点。

电力电子学这一名词是 20 世纪 60 年代出现的，“电力电子学”和“电力电子技术”在内容上并没有很大的不同，只是分别从学术和工程技术这 2 个不同角度来称呼。电力电子学可以用图 1.1 的倒三角形来描述，可以认为电力电子学由电力学、电子学和控制理论这 3 个学科交叉而形成的。这一观点被全世界普遍接受。

电力电子技术与电子学的关系是显而易见的。电子学可分为电子器件和电子电路两大部分，它们分别与电力电子器件和电力电子电路相对应。从电子和电力电子的器件制造技术上讲两者同根同源，从两种电路的分析方法上讲也是一致的，只是两者应用的目的不同，前者用于电力变换，后者用于信息处理。

电力电子技术广泛应用于电气工程中，这就是电力电子学和电力学的主要关系。电力学就是电工科学或电气工程，各种电力电子装置广泛应用于高压直流输电以及高性能交、直流电源等电力系统和电气工程中，因此，把电力电子技术归于电气工程学科。电力电子技术是电气工程学科中最为活跃的一个分支。电力电子技术的不断进步大大地推动了电气工程实现现代化的进程。

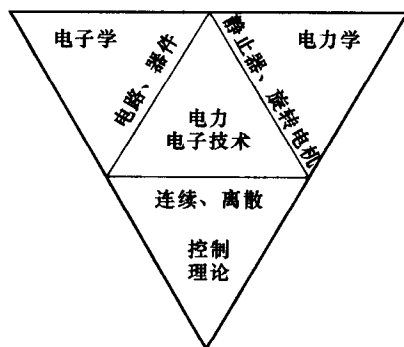


图 1.1 描述电力电子技术的倒三角形

控制理论广泛用于电力电子技术中,它使电力电子装置和系统的性能日益优越和完善,可以满足人们的各种需求。电力电子技术可以看作弱电控制强电的技术,是弱电和强电之间的接口。而控制理论则是实现这种接口的强有力的纽带。此外,控制理论和自动化技术是密不可分的,而电力电子装置又是自动化技术的基础元件和重要支撑技术。

## 1.2 电力电子技术的发展历史

电力电子器件的发展对电力电子技术的发展起着决定性的作用,因此,电力电子技术的发展是以电力电子器件的发展为基础的。电力电子技术的发展史,如图 1.2 所示。

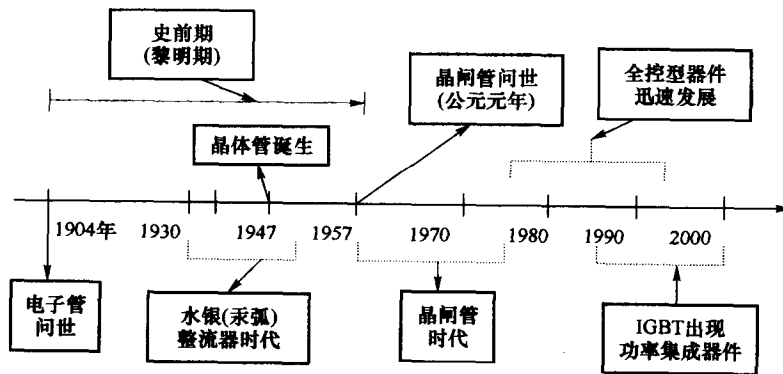


图 1.2 电力电子技术的发展史

一般认为,电力电子技术的开始是以 1957 年第一个晶闸管的诞生为标志的。但在晶闸管出现之前,电力电子技术就已经用于电力变换了。因此,晶闸管出现前的时期称为电力电子技术的史前期。

1876 年出现了硒整流器。1904 年出现了电子管,它能在真空中对电子流进行控制,并应用于通信和无线电,从而开创了电子技术之先河。1911 年出现了金属封装水银整流器,它把水银封于管内,利用对其蒸气的点弧可对大电流进行有效控制,其性能与晶闸管类似。20 世纪 30~50 年代,是水银整流器发展迅速并广泛应用时期。它广泛用于电化学工业、电气铁道直流变电所以及轧钢用直流电动机的传动。

20 世纪 50 年代初,1953 年出现了锗功率二极管;1954 年出现了硅二极管,普通的半导体整流器开始使用;1957 年诞生了晶闸管,一方面由于其变换能力的突破,另一方面实现了弱电对以晶闸管为核心的强电变换电路的控制,使之很快取代了水银整流器和旋转变流机组,进而使电力电子技术步入了功率领域。变流装置由旋转方式变为静止方式,具有提高效率、缩小体积、减轻重量、延长寿命、消除噪声、便于维修等优点。因此,其优越的电气性能和控制性能,在工业上引起一场技术革命。

在以后的 20 年内,随着晶闸管特性不断提高,晶闸管已经形成了从低电压、小电流到高电压、大电流的系列产品。同时研制出一系列晶闸管的派生器件,如快速晶闸管(FST)、逆导晶闸管(RCT)、双向晶闸管(TRIAC)、光控晶闸管(LTT)等器件,大大地推动了

各种电力变换器在冶金、电化学、电力工业、交通及矿山等行业中的应用,促进了工业技术的进步,形成了以晶闸管为核心的第一代电力电子器件,也称为传统电力电子技术阶段。

晶闸管通过对门极的控制可以使其导通,而不能使其关断,因此属于半控型器件。对晶闸管电路的控制方式主要是相位控制方式。即使在电流、电压这2个方面,晶闸管系列器件仍然有一定的发展余地,但因下述原因阻碍了它们的继续发展:①由于它是半控器件,要想关断它必须用强迫换相电路,结果使得电路复杂、体积增大、重量增加、效率较低以及可靠性下降;②由于器件的开关频率难以提高,一般低于400 Hz,大大限制了它的应用范围;③由于相位运行方式使电网及负载上产生严重的谐波,不但电路功率因数降低,而且对电网产生“公害”。随着工业生产的发展,迫切要求新的器件和变流技术出现,以便改进或取代传统的电力电子技术。

20世纪70年代后期,以门极可关断晶闸管(GTO)、电力双极型晶体管(GTR)、电力场效应晶体管(Power MOSFET)为代表的第二代自关断全控型器件迅速发展。全控型器件的特点是,通过对门极(基极、栅极)的控制既可以使其开通,又可以使其关断。另外,这些器件的开关速度普遍高于晶闸管,可以用于开关频率较高的电路。全控器件优越的特性使其逐渐取代了变流装置中的晶闸管,把电力电子技术推进到一个新的发展阶段。

和晶闸管电路的相位控制方式相对应,采用全控型器件的电路主要控制方式为脉冲宽度调制(PWM)方式。PWM控制技术在电力电子变流技术中占有十分重要的地位。它使电路的控制性能大大改善,使以前难以实现的功能得以实现,对电力电子技术的发展产生了深远的影响。

20世纪80年代,出现了以绝缘栅双极型晶体管(IGBT)为代表的第三代复合型场控半导体器件,另外还有静电感应式晶体管(SIT)、静电感应式晶闸管(SITH)、MOS晶闸管(MCT)等。这些器件不仅有很高的开关频率,一般为几十到几百千赫兹,而且有更高的耐压性,电流容量大,可以构成大功率、高频的电力电子电路。

20世纪80年代后期,电力半导体器件的发展趋势是模块化、集成化,按照电力电子电路的各种拓扑结构,将多个相同的电力半导体器件或不同的电力半导体器件封装在一个模块中,这样可以缩小器件体积、降低成本、提高可靠性。现在已经出现了第四代电力电子器件——集成功率半导体器件(PIC),它将电力电子器件与驱动电路、控制电路及保护电路集成在一块芯片上,开辟了电力电子器件智能化的方向,应用前景广阔。目前经常使用的智能化功率模块(IPM),除了集成功率器件和驱动电路以外,还集成了过压、过流和过热等故障检测电路,并可将监测信号传送至CPU,以保证IPM自身不受损害。

新型电力电子器件呈现出许多优势,它使得电力电子技术发生了突变,进入了现代电力电子技术阶段。现代电力电子技术的主要特点是:

#### (1) 全控化

全控化是由半控型普通晶闸管发展到各类自关断器件,是电力电子器件在功能上的重大突破。自关断器件实现了全控化,取消了传统电力电子器件的复杂换相电路,使电路大大简化。

#### (2) 集成化

集成化与传统电力电子器件的分立方式完全不同,所有的全控型器件都是由许多单

元器件并联在一起,集成在一个基片上。

### (3) 高频化

高频化是指随着器件集成化的实现,同时也提高了器件的工作速度,例如 GTR 可工作在 10 kHz 频率以下,IGBT 工作在几十千赫兹以上,功率 MOSFET 可达数百千赫兹以上。

### (4) 高效率化

高效率化体现在器件和变换技术这 2 个方面,由于电力电子器件的导通压降不断减少,降低了导通损耗;器件开关的上升和下降过程加快,也降低了开关损耗;器件处于合理的运行状态,提高了运行效率;变换器中采用的软开关技术,使得运行效率得到进一步提高。

### (5) 变换器小型化

变换器小型化是指随着器件的高频化,控制电路的高度集成化和微型化,使得滤波电路和控制器的体积大大减小。电力电子器件的多单元集成化,减少了主电路的体积。控制器和功率半导体器件等,采用微型化的表面贴技术使得变换器的体积得到了进一步减少,功率为 10 kV·A,体积只有信用卡那样大。

### (6) 电源变换绿色化

电力电子技术中广泛采用 PWM 脉宽调制技术、SPWM 正弦波脉宽调制和消除特定次谐波技术,采用多重化技术,使得变换器的谐波大为降低,同时也使变换器的功率因数得到提高,进而使得变换电源绿色化。

### (7) 改善和提高供电网的供电质量

近年来出现的静止无功发生器(SVG)、有源电力滤波器等新型电力电子装置,具有优越的无功功率和谐波补偿的性能,因此大大提高了电网的供电质量。

### (8) 电力电子器件的容量和性能的优化

电力电子器件的现有发展水平,如表 1.1 所示。近年来,新型半导体材料的研究正在取得不断地突破,碳化硅(SiC)、金刚石等新材料用于电力电子器件,特别是金刚石器件与硅器件相比,功率可提高  $10^6$  个数量级,频率可提高 50 倍,导通压降降低一个数量级,最高结温可达 600℃。

表 1.1 电力电子器件的发展水平

器件名称	国外研制水平	国内研制水平
普通整流管	8 kV/5 kA( $f=400$ Hz)	6 kV/3.5 kA
普通晶闸管(SCR)	12 kV/1 kA,8 kV/6 kA	5.5 kV/3 kA
快速晶闸管	2.5 kV/1.6 kA( $T_q=8-50$ $\mu$ s)	2 kV/1.5 kA( $T_q=30$ $\mu$ s)
光控晶闸管(LASCR)	6 kV/6 kA,8 kV/4 kA	4.5 kV/2 kA
可关断晶闸管(GTO)	9 kV/2.5 kA,6 kV/6 kA( $f=1$ kHz)	4.5 kV/2.5 kA
集成门极换流晶闸管(IGCT)	6 kV/1.6 kA	无
静电感应晶闸管(SITH)	4 kV/2.5 kA( $f=100$ kHz)	1 kV/150 A
电力晶体管(GTR)	模块:1.8 kV/1 kA( $f=2$ kHz)	模块:1.2 kV/400 A



续表

器件名称	国外研制水平	国内研制水平
功率 MOSFET	60 A/200 V(2 MHz), 500 V/50 A(100 MHz)	1 kV/35 A
绝缘栅双极晶体管 IGBT	单管:4.5 kV/1 kA 模块:3.5 kV/1.2 kA ( $U_F=1.5\sim 2.2$ V, $f=50$ kHz)	单管:1 kV/50 A 模块:1.2 kV/200 A
电子注入增强型栅极晶体管 IEGT	4.5 kV/1 kA	无
MOS 控制晶闸管 MCT	1 kV/100 A ( $U_F=1.1$ V, $T_q=1$ $\mu$ s)	1 kV/75 A
智能功率模块 IPM 和 功率集成电路 PIC	IPM:1.8 kV/1.2 kA	600 V/75 A

### 1.3 电力电子技术的应用

电力电子技术是以功率处理和变换为主要对象的现代工业电子技术,当代工、农业等各领域都离不开电能,离不开表征电能的电压、电流、频率、波形和相位等基本参数的控制和转换,而电力电子技术可以对这些参数进行精确的控制与高效的处理,所以电力电子技术是实现电气工程现代化的重要基础。

电力电子技术应用范围十分广泛,国防军事、工业、能源、交通运输、电力系统、通信系统、计算机系统、新能源系统以及家用电器等无不渗透着电力电子技术的新成果。下面是简单的介绍:

#### 1. 一般工业电机调速

工业中大量应用各种交、直流电动机。直流电动机具有良好的调速性能,为其供电的可控整流电源或直流斩波电源都是电力电子装置。近年来,由于电力电子变频技术的迅速发展,使得交流电动机的调速性能可与直流电动机相媲美。因此,交流调速技术得到了广泛应用,并且占据主导地位。

作为节能控制主要采用交流电动机的变频调速,它带来了巨大的节能效益。在各行各业中,风机、水泵多用异步电动机拖动,其用电量占我国工业用电的 50% 以上,全国用电量的 30%。控制风量或水流量,过去是靠控制风门或节流阀的转角,而电机的转速不变。由于风门或节流阀转角的减小,却增大了流体的阻力,因此功率消耗变化甚小,结果造成在小风量或小水流时电能的浪费。我国的风机、水泵,全面采用变频调速后,每年节电可达数百亿度。家用电器的空调,采用变频调速技术,可节电 30% 以上。

#### 2. 交通运输

电气化铁道中广泛采用电力电子技术,电气机车中的直流机车采用整流装置供电,交流机车采用变频装置供电。如直流斩波器广泛应用于铁道车辆,磁悬浮列车中电力电子技术更是一项关键的技术。

新型环保绿色电动汽车和混合动力电动汽车(EV/HEV)正在积极发展中。汽车是