



电力电子新技术系列图书
电力电子应用技术丛书

Power Electronic Equipment

电力电子装置中的

典型信号处理与 通信网络技术

Typical Signal Processing
and Communication
Network Technology

李维波 编著

电力电子新技术系列图书
电力电子应用技术丛书

电力电子装置中的典型信号 处理与通信网络技术

李维波 编著



机械工业出版社

本书系统地讲述了从事电力电子装置研发过程中涉及的传感器技术、信号处理技术、通信网络技术以及电磁兼容性设计技术,并将它们整合起来,按照刚刚从事这方面研发工作的硬件工程师视角,进行素材遴选、内容编排。本书将涉及强电知识[如主拓扑中的电力电子器部件(整流桥、逆变桥)、DC-Link 器部件、熔断器等]、弱电理论(如主回路中的获取关键性参变量的传感器的信号处理与变换、电力电子器部件状态反馈单元、主控单元等)、接口部分(如强电与弱电之间的触发及其控制单元),以及完成信息交互的通信网络(如RS-232、RS-422、RS-485、CAN和以太网等),综合起来,根据入门基础、经验技巧、设计案例和心得体会等不同层面,进行归类、凝练和拓展。本书理论与实践相结合,既有理论设计、分析与计算(含仿真验证),又有实践与实战的拔高。

本书适合刚刚从事电力电子装置研发的工作者及相关专业的本科生和研究生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子装置中的典型信号处理与通信网络技术/李维波编著. —北京:机械工业出版社, 2019. 8

(电力电子新技术系列图书 电力电子应用技术丛书)

ISBN 978-7-111-63190-3

I. ①电… II. ①李… III. ①电力装置-信号处理-研究 ②电力装置-通信网-研究 IV. ①TN911.7 ②TN915

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第140702号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:罗莉 责任编辑:罗莉 李小平

责任校对:肖琳 封面设计:马精明

责任印制:孙炜

河北宝昌佳彩印刷有限公司印刷

2019年9月第1版第1次印刷

169mm×239mm·19.5印张·402千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-63190-3

定价:79.00元

电话服务

客服电话:010-88361066

010-88379833

010-68326294

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

封底无防伪标均为盗版

机工教育服务网: www.cmpedu.com

第 3 届
电力电子新技术系列图书
编 辑 委 员 会

主 任：徐德鸿

副主任：韩晓东 范兴国 康 勇

李崇坚 杨 耕 刘进军

委 员：(按姓名拼音字母排序)

陈道炼 陈治明 杜 雄 范兴国 郭 宏

郭世明 韩晓东 胡存刚 康 勇 李崇坚

梁 琳 林信南 刘 扬 刘国海 刘进军

罗 莉 阮新波 盛 况 栗 梅 孙玉坤

同向前 王宏华 王旭东 吴莉莉 徐德鸿

徐殿国 杨 耕 杨 旭 查晓明 张 波

张 兴 张承慧 张纯江 张卫平 赵善麒

赵争鸣 钟文兴 周 波

秘书组：吴莉莉 罗 莉 钟文兴

电力电子新技术系列图书

序言

1974 年美国学者 W. Newell 提出了电力电子技术学科的定义, 电力电子技术是由电气工程、电子科学与技术和控制理论三个学科交叉而形成的。电力电子技术是依靠电力半导体器件实现电能的高效率利用, 以及对电机运动进行控制的一门学科。电力电子技术是现代社会的支撑科学技术, 几乎应用于科技、生产、生活各个领域: 电气化、汽车、飞机、自来水供水系统、电子技术、无线电与电视、农业机械化、计算机、电话、空调与制冷、高速公路、航天、互联网、成像技术、家电、保健科技、石化、激光与光纤、核能利用、新材料制造等。电力电子技术在推动科学技术和经济的发展中发挥着越来越重要的作用。进入 21 世纪, 电力电子技术在节能减排方面发挥着重要的作用, 它在新能源和智能电网、直流输电、电动汽车、高速铁路中发挥核心的作用。电力电子技术的应用从用电, 已扩展至发电、输电、配电等领域。电力电子技术诞生近半个世纪以来, 也给人们的生活带来了巨大的影响。

目前, 电力电子技术仍以迅猛的速度发展着, 电力半导体器件性能不断提高, 并出现了碳化硅、氮化镓等宽禁带电力半导体器件, 新的技术和应用不断涌现, 其应用范围也在不断扩展。不论在全世界还是在我国, 电力电子技术都已造就了一个很大的产业群。与之相应, 从事电力电子技术领域的工程技术和科研人员的数量与日俱增。因此, 组织出版有关电力电子新技术及其应用的系列图书, 以供广大从事电力电子技术的工程师和高等学校教师和研究生在工程实践中使用和参考, 促进电力电子技术及应用知识的普及。

在 20 世纪 80 年代, 电力电子学会曾和机械工业出版社合作, 出版过一套“电力电子技术丛书”, 那套丛书对推动电力电子技术的发展起过积极的作用。最近, 电力电子学会经过认真考虑, 认为有必要以“电力电子新技术系列图书”的名义出版一系列著作。为此, 成立了专门的编辑委员会, 负责确定书目、组稿和审稿, 向机械工业出版社推荐, 仍由机械工业出版社出版。

本系列图书有如下特色:

本系列图书属专题论著性质, 选题新颖, 力求反映电力电子技术的新成就和新经验, 以适应我国经济迅速发展的需要。

理论联系实际, 以应用技术为主。

本系列图书组稿和评审过程严格，作者都是在电力电子技术第一线工作的专家，且有丰富的写作经验。内容力求深入浅出，条理清晰，语言通俗，文笔流畅，便于阅读学习。

本系列图书编委会中，既有一大批国内资深的电力电子专家，也有不少已崭露头角的青年学者，其组成人员在国内具有较强的代表性。

希望广大读者对本系列图书的编辑、出版和发行给予支持和帮助，并欢迎对其中的问题和错误给予批评指正。

电力电子新技术系列图书
编辑委员会

前 言

电力电子技术，是建立在电子学、电工原理、电路理论和自动控制多学科之上的新兴交叉学科。电力电子技术的内容主要包括电力电子器件、电力电子电路和电力电子装置及其系统。电力电子器件以半导体为基本材料，最常用的材料为单晶硅，它的理论基础为半导体物理学，它的工艺技术为半导体器件工艺。近代新型电力电子器件中大量应用了微电子学的技术。电力电子电路吸收了电子学的理论基础，根据器件的特点和电能转换的要求，又开发出许多电能转换电路。这些电路中还包括各种控制、触发、保护、显示、信息交互、继电操控等二次回路及其外围电路。利用这些电路，根据应用对象的不同，组成了各种用途的整机，称为电力电子装置。这些装置常与负载、控制设备（主控制器）、通信设备（如上位监控设备）等组成一个系统。电子学、电工学、自动控制、信号检测处理等技术常在这些装置及其系统中大量应用。

由此可见，由于电力电子装置涉及的学科门类太多，对设计工程师的要求势必增加，必须具备广泛的知识架构，特别是与电力电子装置密切相关的信号处理技术、通信网络技术以及电磁兼容设计技术等，既要开展理论研究与设计计算，还要结合工程背景与应用实践的历练，这对于刚刚从事这方面研发工作的硬件工程师来讲，难度还是非常大的。虽然市面上也有单独介绍这些知识的书籍，不过与电力电子装置的设计紧密结合起来的还鲜有出版。因此，迫切希望有这样一本书：它将电力电子装置中的信号处理与通信网络技术以及电磁兼容性设计技术综合起来，有针对性地对刚刚从事电力电子装置研发工作的读者，进行专门的培训与指导，避免因读不懂而影响他们的学习兴趣，因此本书不进行过多的理论分析，而是尽量“弱化理论论述，强调分析设计”，采用设计实例电路，引导和启发读者朋友，学到专业知识和科研方法，提高工作能力。

作者正是出于这方面的考虑，特编写《电力电子装置中的典型信号处理与通信网络技术 (Typical Signal Processing and Communication Network Technology in Power Electronic Equipment)》，旨在帮助我们的工程师，学习常规电力电子装置的强电知识 [如主拓扑中的电力电子器部件（整流桥、逆变桥）、DC - Link 器部件、熔断器等]，掌握弱电理论（如主回路中的获取关键性参变量的传感器的信号处理与变换、电力电子器部件状态反馈单元、主控单元等），当然还需了解弱电的接口部分（如触发及其控制单元）。引导读者朋友在熟悉电力电子器部件及其变换与控制技术的同时，理解传感器技术（如电压传感器、电流传感器和温度传感器等）、通信

技术（如 RS-232、RS-422、RS-485、CAN 和以太网等），掌握处理这些传感器输出信号的典型电路设计、分析与计算方法，以便借助主控单元经由通信网络，传送到上位机或者集控中心。

本书作为一个大胆尝试地产物，由于水平有限，未必达到预期效果，敬请读者朋友不吝赐教！恳请同行批评指正！

本书能够较顺利地成稿，得到康兴、徐聪、李巍、余万祥、何凯彦、詹平、方钊焕、吴墨非、李齐、孙万峰和卢月等许多同志的帮助，也得到了审稿专家的指导与帮助，还得到了机械工业出版社的鼎力帮助，在此，一并对大家的辛勤付出，表示最诚挚的谢意！

作 者

2019 年 4 月于馨香园

目 录

电力电子新技术系列图书序言

前 言

第1篇 电力电子技术篇

第1章 典型电力电子器件与

应用 2

1.1 电力电子器件概述 2

1.1.1 发展历程 2

1.1.2 典型特点 4

1.1.3 新型半导体材料 12

1.2 功率二极管 14

1.2.1 概述 14

1.2.2 动态特性 14

1.2.3 典型参数 16

1.2.4 典型应用示例 17

1.3 晶闸管 19

1.3.1 工作原理 19

1.3.2 工作过程 21

1.3.3 典型参数 22

1.3.4 选型示例 25

1.4 功率 MOSFET 30

1.4.1 工作原理 30

1.4.2 典型参数 32

1.4.3 选型示例 35

1.5 IGBT 41

1.5.1 工作原理 41

1.5.2 典型参数 46

1.5.3 选型示例 49

1.5.4 损耗计算 60

第2章 典型电力电子拓扑与设计

应用 61

2.1 AC-DC 变换器 61

2.1.1 单相桥式不控变换器 61

2.1.2 三相桥式不控变换器 64

2.1.3 单相桥式可控变换器 67

2.1.4 三相桥式可控变换器 74

2.2 DC-DC 变换器 80

2.2.1 背景知识 81

2.2.2 Buck 变换器 82

2.2.3 Boost 变换器 85

2.2.4 正激变换器 89

2.2.5 反激变换器 94

2.2.6 桥式变换器 99

2.3 DC-AC 变换器 102

2.3.1 背景知识 102

2.3.2 单相工作原理 102

2.3.3 三相工作原理 109

2.3.4 三电平逆变器 113

2.4 AC-AC 变换器 116

2.4.1 交流调功变换器 116

2.4.2 相控调压变换器 118

2.4.3 斩控调压变换器 123

第3章 驱动保护与控制技术 127

3.1 晶闸管的驱动与保护技术 127

3.1.1 驱动要求 127

3.1.2 驱动电路 129

3.1.3 保护电路 135

3.2 功率 MOSFET 的驱动与保护

技术 140

3.2.1 驱动要求 140

3.2.2 驱动电路	141	3.3.1 驱动要求	150
3.2.3 保护电路	147	3.3.2 驱动电路	151
3.3 IGBT 的驱动与保护技术	150	3.3.3 保护电路	164

第2篇 典型传感及其信号处理技术篇

第4章 电流传感器与信号处理

技术	171
4.1 应用概述	171
4.1.1 应用示例分析	171
4.1.2 电流传感器简介	173
4.2 霍尔电流传感器原理	174
4.2.1 霍尔效应	174
4.2.2 开环霍尔电流传感器	175
4.2.3 闭环霍尔电流传感器	177
4.2.4 霍尔电流传感器的特点	178
4.3 霍尔电流传感器信号处理技术	179
4.3.1 典型参数	179
4.3.2 选型方法	181
4.3.3 直流电流测试示例	182
4.3.4 交流电流测试示例	185
4.4 电流互感器原理及其信号处理技术	187
4.4.1 基本原理	187
4.4.2 应用示例分析	189

第5章 电压传感器与信号处理

技术	191
5.1 霍尔电压传感器原理	191
5.1.1 工作原理	191
5.1.2 选型方法	192
5.1.3 注意事项	194
5.2 霍尔电压传感器信号处理技术	196

5.2.1 测试直流电压的示例分析	196
5.2.2 测试交流电压的示例分析	199
5.3 电压互感器原理及其信号处理技术	202
5.3.1 工作原理	202
5.3.2 应用示例分析	204

第6章 其他传感器与信号处理

技术	206
6.1 温度传感器原理及其信号处理技术	206
6.1.1 测温重要性	206
6.1.2 温度传感器 Pt100 及其应用	208
6.1.3 集成传感器 AD590 及其应用	213
6.2 湿度传感器原理及其信号处理技术	215
6.2.1 测湿重要性	215
6.2.2 湿度传感器 HM1500LF 及其应用	216
6.3 光电编码器原理及其信号处理技术	220
6.3.1 编码器原理	220
6.3.2 光电编码器应用	222

第3篇 典型通信及其信号处理技术篇

第7章 CAN 通信与信号处理

技术	227	7.1 基本原理	227
		7.1.1 背景概述	227

7.1.2	CAN 总线概述	229	8.3	RS-422/485 通信与信号处理 技术	263
7.1.3	CAN 总线的电气特点	230	8.3.1	概述	263
7.1.4	CAN 总线的通信原理	231	8.3.2	性能指标及其接口标准	264
7.2	CAN 通信的协议	233	8.3.3	RS-422/485 收发器 介绍	266
7.2.1	CAN 总线的报文帧结构	233	8.3.4	电磁兼容性设计	275
7.2.2	CAN 总线的错误检测 方法	233	第9章 以太网通信与信号处理 技术		281
7.2.3	CAN 总线的分层结构	234	9.1	基本原理	281
7.3	CAN 通信的信号处理技术	235	9.1.1	概述	281
7.3.1	CAN 收发器介绍	235	9.1.2	快速以太网	282
7.3.2	CAN 控制器介绍	237	9.1.3	千兆以太网	283
7.3.3	CAN 网络的组成方法	242	9.1.4	以太网的工作过程	284
7.3.4	CAN 网络的电磁兼容性 设计	243	9.1.5	以太网技术的优势	284
第8章 串口通信与信号处理 技术		249	9.1.6	以太网通信基本原理	285
8.1	串口通信概述	249	9.1.7	主要协议介绍	286
8.1.1	基本概念	249	9.2	RJ45 以太网通信与信号处理 技术	288
8.1.2	串行通信接口标准	251	9.2.1	概述	288
8.2	RS-232 通信与信号处理 技术	252	9.2.2	RJ45 型网卡接口	288
8.2.1	概述	252	9.2.3	以太网接口与信号处理 技术	290
8.2.2	引脚定义	253	9.3	以太网的电磁兼容性设计	294
8.2.3	过程特性	253	9.3.1	网口变压器介绍	294
8.2.4	单工、半双工和全双工的 定义	254	9.3.2	SPI 隔离技术	295
8.2.5	RS-232 收发器	255	9.3.3	浪涌防护技术	298
8.2.6	电磁兼容性设计	260	参考文献		301

第 1 篇

电力电子技术篇

第 1 章 典型电力电子器件与应用

在电力电子装置中，各种电力电子器件（例如电力二极管、晶闸管、电力晶体管、MOSFET 和 IGBT 等），都被利用来充当变换装置中的开关器件，连同它们的驱动模块（不控型器件除外）、吸收模块、输出与输入滤波模块等必要的辅助元件，以便按照设计者的控制预期实现电力变换，从而构成了电力电子变换装置，也被称为变流装置。因此，本书开篇介绍典型电力半导体器件的基本原理，包含它们的通、断控制原理和处于通态、断态的条件，为后续章节做些技术性铺垫。

1.1 电力电子器件概述

1.1.1 发展历程

电力电子器件（Power Electronic Device, PED）又称为功率半导体器件，主要用于电力设备的电能变换和控制电路方面大功率的电子器件（通常指电流为数十至数千安，电压为数十至百伏以上），其不断发展引导着各种电力电子拓扑电路的不断完善。为此，本书带着读者朋友一起回顾下电力电子器件的发展史，一起领略人类智慧是如何一步一步进入这个全新行业的。

追溯电力电子器件的发展，还得从爱迪生在研究电灯泡时说起。爱迪生做了管壁的防尘防烟实验，1880 年无意间发现在灯泡管内插入独立电极的地方与灯丝之间，在某种条件下会产生电流。这个现象被称为“爱迪生效应”，爱迪生本人没有继续探讨，直到 1904 年英国的弗莱明在横越大西洋无线电通信发报机中，才首次利用“爱迪生效应”研制出一种能够充当交流电整流和无线电检波的特殊灯泡——“热离子阀”，从而催生了世界上第一只电子管，称为弗莱明管（二极管检波管），也就是人们所说的真空二极管，如图 1-1 所示。世界从此进入电子时代，真空二极管主要应用在通信和无线电领域，当时的弗莱明管只有检波与整流的功用，而且并不稳定。

1906 年，为了提高真空二极管检波灵敏度，德·福雷斯特在弗莱明的玻璃管内添加了栅栏式的金属网，形成第三个极，即三极真空管被发明了，让真空

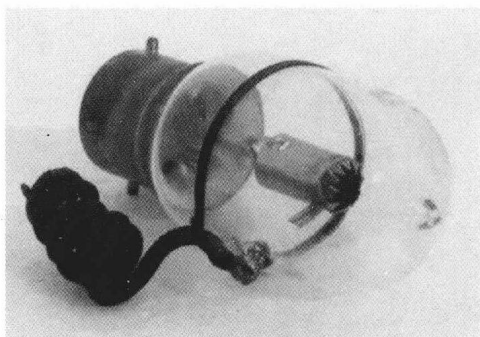


图 1-1 第一只真空二极管

管具有放大与振荡的功能，通常认定1906年是真空管元年，如图1-2所示。

20世纪30~50年代，汞弧整流器迅速发展，广泛应用于电化学工业、电气铁道直流变电、直流电动机的传动，此时，整流、逆变、周波变流电路都已成熟并被广泛应用。1947年，美国著名的贝尔实验室发明了晶体管，如图1-3所示。这个晶体管是点触式器件，用多晶锗做成，继而硅材料器件同样实现，一场电子技术的革命开始了。

1957年，美国通用电气公司发明了第一个晶闸管（Thyristor），标志着电力电子技术的诞生，即正式进入了电力电子技术阶段，也就是第一代电力电子器件稳步发展的开始。第一代电力电子器件就是以晶闸管为代表的半控型器件，只能控制其导通，不能控制其关断，所以被称作半控型器件。这些电路十分广泛地用在电解、电镀、直流电机传动、发电机励磁等整流装置中，与传统的汞弧整流装置相比，不仅体积小、工作可靠，而且取得了十分明显的节能效果，因此电力电子技术的发展也越来越受到人们的重视，已普遍应用于变频调速、开关电源、静止变频等电力电子装置中。但是，半控型器件在直流供电场合，要实现关断必须另加电感、电容和其他辅助开关器件等组成强迫换流电路，这样造成的缺点是变流装置整机体积增大、重量增加、效率降低，并且工作频率一般低于400Hz。

20世纪70年代后期，门极关断（Gate Turn-Off, GTO）晶闸管、电力双极型晶体管（Bipolar Junction Transistor, BJT）、电力场效应晶体管（即功率MOSFET）为代表的全控型器件迅速发展，第二代电力电子器件应运而生，其工作频率达到兆赫级。集成电路技术促进了器件的小型化和功能化，这些新成就为发展高频电力电子技术提供了条件，推动电力电子装置朝着智能化、高频化的方向发展。第二代电

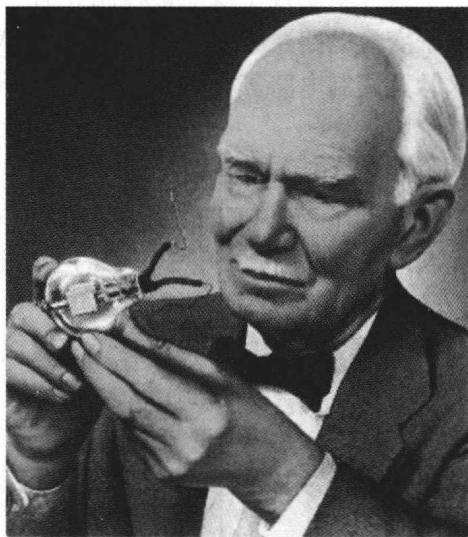


图1-2 德·福雷斯特与真空三极管

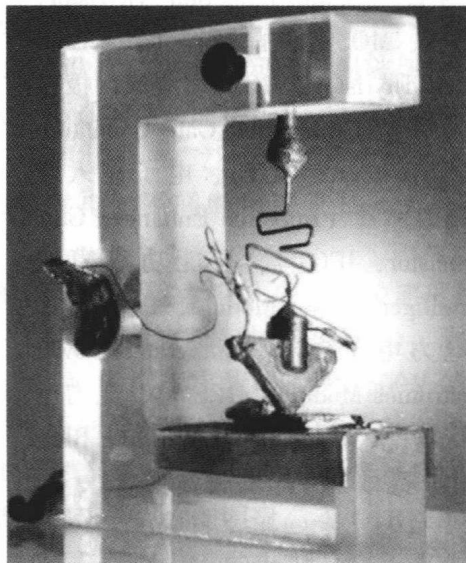


图1-3 第一个晶体管

力电子器件就实现了既能被控制导通,也能被控制关断的全控型器件,使得各类电力电子变换电路及控制系统开始不断涌现,如直流高频斩波电路、软开关谐振电路、脉宽调制电路等,一直沿用于今天的各种常见电源上,跨入全控型器件的快速发展阶段。

20 世纪 80 年代后期,绝缘栅双极型晶体管 (Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT) 集合了 MOSFET 的驱动功率小、开关速度快和 BJT 通态压降小、载流能力大的优点,成为现代电力电子技术的主要器件,在中低频大功率电源中占重要地位。目前,已研制出的高功率沟槽栅结构 IGBT (Trench IGBT, T-IGBT),是高耐压大电流 IGBT 器件通常采用的结构,避免了模块内部大量的电极引线,减小了引线电感,提高了可靠性;其缺点是芯片面积利用率下降。这种平板压接结构的高压大电流 IGBT 模块,在高压、大功率变流器中获得了广泛应用。

图 1-4 即为电力电子器件发展历程简图。

当然,静电感应晶体管 (Static Induction Transistor, SIT)、静电感应晶闸管 (Static Induction Thyristor, SITH)、MOS 控制晶闸管 (Mos Controlled Thyristor, MCT)、集成门极换流晶闸管 (Integrated Gate Commutated Thyristors, IGCT)、电子注入增强栅晶体管 (Injection Enhanced Gate Transistor, IEGT)、智能功率模块 (Intelligent Power Module, IPM)、集成电力电子模块 (Integrated Power Electronics Modules, IPEM)、电力电子积木 (Power Electric Building Block, PEBB) 等,均使功率器件朝着大功率、高频化、高效率方向发展。

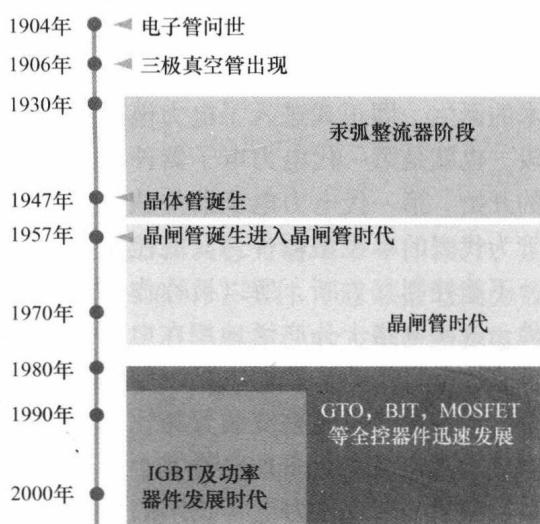


图 1-4 电力电子器件发展历程简图

1.1.2 典型特点

鉴于功率器件在不同的领域发挥着各自重要的作用。按照导通、关断的受控情况可分为不可控、半控和全控型器件;按照载流子导电情况可分为双极型、单极型和复合型器件;按照控制信号情况可以分为电流驱动型和电压驱动型器件。因此,根据它们的结构特点与应用领域的不同,将它们绘制于图 1-5 中。

目前,以晶闸管、大功率晶体管 (Giant Transistor, GTR)、功率 MOSFET 和 IGBT 等为代表的主流功率器件在各自的频率段和电源功率段均占有一席之地。功率 MOSFET 的问世打开了高频应用的大门,这种电压控制型单极型器件,主要是

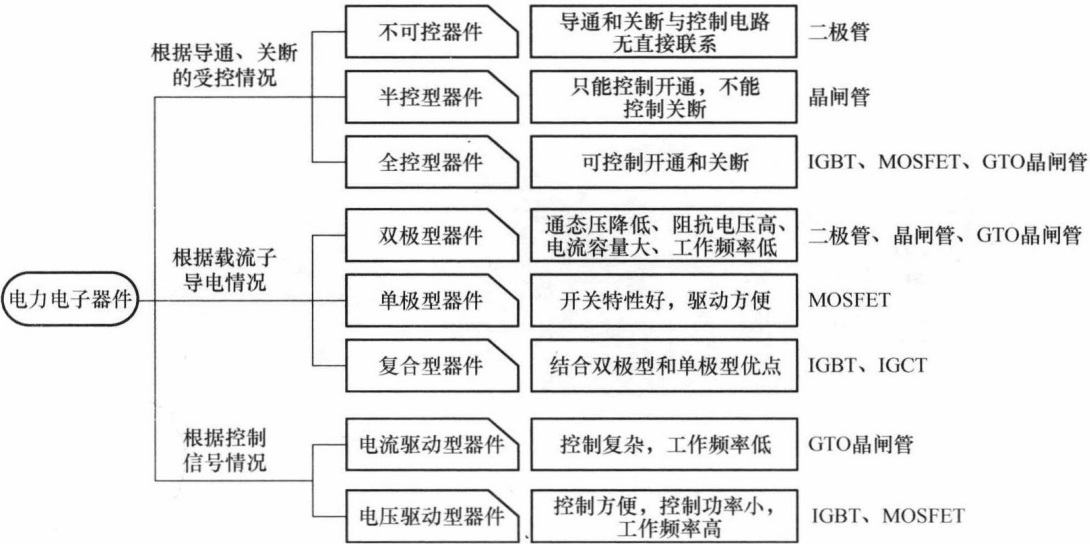


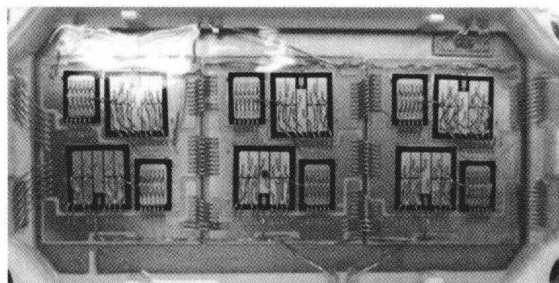
图 1-5 电力电子器件典型分类图

通过栅极电压来控制漏极电流，因而它有一个显著特点就是驱动电路简单、驱动功率小，开关速度快，高频特性好，最高工作频率可达1MHz以上，适用于开关电源和高频感应加热等高频场合，且安全工作区广，没有二次击穿问题，耐破坏性强。其缺点是电流容量小，耐压低，通态压降大，不适宜大功率装置。目前 MOSFET 主要应用于电压低于1kV，功率从几瓦到数千瓦的场合，广泛应用于充电器、适配器、电机控制、PC 电源、通信电源、新能源发电、不间断电源（Uninterrupted Power Supply，UPS）、充电桩等场合。

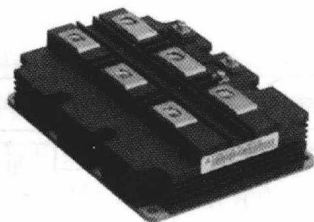
IGBT 综合了 MOSFET 和双极型晶体管的优势，有输入阻抗高、开关速度快、驱动电路简单、安全工作区宽、饱和压降低（甚至接近 GTR 的饱和压降）、耐压高、电流大等优点，电压一般从 600V ~ 6.5kV，可以用于直流电压为 1500V 的高压变流系统中。IGBT 优势通过施加正向栅极电压形成沟道，提供晶体管基极电流使 IGBT 导通；反之，若提供反向栅极电压则可消除沟道，使 IGBT 因流过反向栅极电流而关断。比较而言，IGBT 开关速度低于 MOSFET，却明显高于 GTR；IGBT 的通态压降同 GTR 接近，但比功率 MOSFET 低很多；IGBT 的电流、电压等级与 GTR 接近，而比功率 MOSFET 高。

图 1-6a 表示 IGBT 模块（FF450R17ME4）的内部细节图。由于 IGBT 的综合优良性能，它已经取代 GTR，成为逆变器、UPS、变频器、电机驱动、大功率开关电源，尤其是现在炙手可热的电动汽车、高铁等电力电子装置中主流的器件。不过，正式商用的高压大电流 IGBT 器件至今尚未出现，其电压和电流容量还很有限，远远不能满足电力电子应用技术发展的需求。特别是在高压领域的许多应用中，要求器件的电压等级达到10kV以上，目前只能通过 IGBT 高压串联等技术来实现高压

应用。国外的一些厂家如瑞士 ABB 公司采用软穿通原则研制出了 8kV 的 IGBT 器件，德国的英飞凌公司、日本的三菱公司生产的高压大功率 IGBT 器件 6500V/600A（见图 1-6b），已经获得实际应用，东芝公司也已涉足该领域。



a) FF450R17ME4内部细节图



b) 6500V/600A的IGBT实物图

图 1-6 IGBT 模块的内部与外形图

静态感应晶体管 SIT 诞生于 1970 年，实际上是一种结型场效应晶体管。将用于信息处理的小功率 SIT 器件的横向导电结构改为垂直导电结构，即可制成大功率的 SIT 器件。SIT 是一种多子导电的器件，其工作频率与电力 MOSFET 相当，甚至超过电力 MOSFET，而功率容量也比电力 MOSFET 大，因而适用于高频大功率场合，目前已在雷达通信设备、超声波功率放大、脉冲功率放大和高频感应加热等专业领域获得了较多的应用。

静电感应晶闸管（SITH）诞生于 1972 年，它是在 SIT 的结构基础上又增加了一个 PN 结，而在内部多形成了 1 个三极管，由 2 个三极管构成一个晶闸管而成为双极静电感应晶闸管（Bipolar Electrostatic Induction Thyristor, BSITH），它是在 SIT 的漏极层上附加一层与漏极层导电类型不同的发射极层而得到的。因为它有通态电阻小、通态压降低、开关速度快、损耗小以及开通的电流增益大等优点，其工作原理也与 SIT 类似，门极和阳极电压均能通过电场控制阳极电流，因此 SITH 又被称为场控晶闸管（Field Controlled Thyristor, FCT）。由于比 SIT 多了一个具有少子注入功能的 PN 结，因而 SITH 是两种载流子导电的双极型器件，具有电导调制效应，通态压降低、通流能力强。其很多特性与 GTO 晶闸管类似，但开关速度比 GTO 晶闸管高得多，是大容量的快速器件。

MOS 控制晶闸管是一种新型 MOS 与双极复合型器件。它采用集成电路工艺，在普通晶闸管结构中制作大量 MOS 器件，通过 MOS 器件的通断来控制晶闸管的导通与关断。MCT 将 MOSFET 的高阻抗、低驱动功率、快开关速度的特性与晶闸管的高压、大电流特性结合在一起，形成大功率、高压、快速全控型器件。实质上 MCT 是一个 MOS 栅极控制的晶闸管，可在栅极上加一窄脉冲使其导通或关断，由无数单胞并联而成。MCT 与 GTR、MOSFET、IGBT、GTO 晶闸管等器件相比，有如下优点：