



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12.5" GUIHUA JIAOCAI

电力电子技术

(第2版)

杨卫国 肖冬 冯琳 张志霞 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

电力电子技术

(第2版)

杨卫国 肖冬 冯琳 张志霞 编著

北 京
冶金工业出版社
2014

内 容 简 介

本书系统地、全面地介绍了各种常用的电力电子器件、直流-直流变换电路、交流-直流变换电路(含有源逆变电路)、直流-交流变换电路、交流-交流变换电路、典型谐振软开关电路、电力电子技术应用中的问题、电力电子电路的计算机仿真等。本书覆盖了电力电子学的主要内容,着重强调了电力电子学的基本理论和基本分析方法。本书力求概念清晰、结构严谨、深入浅出、内容新颖、理论联系实际、务求实用。

本书可作为普通高等院校自动化专业、电气工程及其自动化专业和相关专业的本科教材,也可供具有一定理论基础和实际经验的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/杨卫国等编著. —2版. —北京:冶金工业出版社, 2014. 3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5848-5

I. ①电… II. ①杨… III. ①电力电子学—高等学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 026702 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbs@cnmip.com.cn

责任编辑 卢 敏 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5848-5

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京百善印刷厂印刷

2011 年 10 月第 1 版, 2014 年 3 月第 2 版, 2014 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 18.5 印张; 449 千字; 283 页

39.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

第2版前言

电力电子技术是以电力为对象的电子技术,是利用电力电子器件进行电能转换的技术,是一门新兴的高新技术学科。该技术近年来发展十分迅速,已成为信息产业和传统产业之间的重要桥梁,是当代高新技术的重要内容之一,也是支持多项高新技术发展的基础技术。

电力电子技术是本专业的基础平台课程,是电力电子装置、开关电源技术、自动控制系统、交流变频调速系统、柔性输电系统等课程的先行课程。同时,也是电气信息类其他相关专业的重要基础课之一。通过本课程的学习,使学生了解电力电子学科领域的发展方向,理解并掌握电力电子学领域的相关基础知识,培养其分析问题、解决问题的能力。学完本课程后,学生可以了解主要电力电子器件的特性和主要电力电子电路的基本性能,掌握电力电子电路的基本分析方法和电力电子学的基本理论。

本书是面向电气工程及其自动化专业和自动化专业的本科教材。本书第1版经过几年来在教学实践中的使用,发现了一些内容安排不尽合理的地方,以及个别叙述错误,这些都在第2版中进行了重新编排修订。修订后的第2版教材基本覆盖了电力电子学的主要内容,着重强调了电力电子学的基本理论和基本分析方法。本书力求概念清晰、结构严谨、深入浅出、内容新颖、理论联系实际、注重实用。

教材保留并部分修改了第1章各种常用的电力电子器件;第2章直流-直流变换电路;第3章交流-直流变换电路(含有源逆变电路);第4章直流-交流变换电路;第5章交流-交流变换电路和第6章谐振软开关技术。另外补充了第7章电力电子技术应用中的一些问题和第8章电力电子电路的计算机仿真两部分内容。

本书由东北大学杨卫国、肖冬、冯琳等同志共同编写完成。全书共分8章,其中,杨卫国负责拟定全书大纲,并编写了绪论、第3章、第4章第1节和第2节;肖冬编写了第1章、第2章和第6章;沈阳大学的胡广浩编写了第4章第3

节至第6节，杨菲编写了第5章；冯琳编写了第7章和第8章；沈阳农业大学的张志霞参与了第4章和第5章的编写工作。全书由杨卫国统稿。书中的一些插图和文字校对工作由胡广浩和杨菲完成。

本书在编写过程中，参阅了许多同行专家的论著和文献，书中部分内容引用了国内外专家、学者的研究成果，在此谨向他们致以诚挚的谢意。此外，在本书编写过程中，得到了冶金工业出版社的大力支持和帮助，也得到了编者所在单位许多同志的关怀、支持和帮助，在此一并对他们致以衷心的感谢。

由于作者水平有限，本书中可能仍然存在疏误遗漏之处，殷切希望同行专家和广大读者给予批评指正。

编著者
2013年12月

第1版前言

电力电子技术是以电力为对象的电子技术，是利用电力电子器件进行电能转换的技术，是一门新兴的高新技术学科。该技术近年来发展十分迅速，已成为信息产业和传统产业之间的重要桥梁，是当代高新技术的重要内容之一，也是支持多项高新技术发展的基础技术。

电力电子技术是本专业的基础平台课程，是电力电子装置、开关电源技术、自动控制系统、交流变频调速系统、柔性输电系统等课程的先行课程，同时，也是电气信息类其他相关专业的重要基础课之一。通过本课程的学习，学生可以了解电力电子学科领域的发展方向，理解并掌握电力电子学领域的相关基础知识，培养分析问题、解决问题的能力。学完本课程后，学生可以了解主要电力电子器件的特性和主要电力电子电路的基本性能，掌握电力电子电路的基本分析方法和基本理论。

本书是面向电气工程及其自动化专业和自动化专业的本科教材。本书对教学内容及所编章节顺序进行了合理规划与调整，覆盖了电力电子学的主要内容，着重强调了电力电子学的基本理论和基本分析方法。本书力求概念清晰、结构严谨、深入浅出、内容新颖、理论联系实际、务求实用。在本教材的第1章中，介绍了各种常用的电力电子器件，包括功率二极管、晶闸管及其派生器件、门极可关断晶闸管（GTO）、功率晶体管（GTR）、功率场效应晶体管（Power MOSFET）、绝缘栅双极型晶体管（IGBT）和其他新型电力电子器件，以及功率集成电路和功率模块。第2章介绍了直流-直流变换电路，包括降压斩波电路（Buck 电路）、升压斩波电路（Boost 电路）、升降压斩波电路和 Cuk 斩波电路、复合型 DC-DC 斩波电路，以及变压器隔离型直流-直流变换电路。第3章介绍了交流-直流变换电路（含有源逆变电路），包括不可控整流电路、单相可控整流电路、三相半波可控整流电路、三相桥式全控整流电路、三相桥式半

控整流电路、变压器漏感对整流电路的影响、晶闸管的相控触发电路与同步问题、有源逆变电路、整流电路的谐波和功率因数,以及其他形式的大功率可控整流电路。第4章介绍了直流-交流变换电路,包括电压型逆变电路、电流型逆变电路、脉宽调制型逆变电路等。第5章介绍了交流-交流变换电路,包括交流调压电路、交-交变频电路和矩阵式交-交变频电路等。第6章介绍了典型谐振软开关电路,包括零电压开关准谐振电路、零电流开关准谐振电路等。

本书由东北大学杨卫国、肖冬等共同编写。全书共分6章,其中,杨卫国负责拟定全书大纲,并编写了绪论、第3章、第4章和第5章第1节;肖冬编写了第1章、第2章和第6章;胡广浩编写了第5章第2节;杨菲编写了第5章第3节;全书由杨卫国统稿。书中的一些插图和文字校对工作由胡广浩、杨菲和研究生洪超、魏新明等人完成。

本书在编写过程中,参阅了许多同行专家的论著和文献,书中部分内容引用了国内外专家、学者的研究成果,在此谨向他们致以诚挚的谢意。此外,本书在编写过程中,得到了冶金工业出版社的大力支持和帮助,也得到了编者所在单位许多同志的关怀、支持和帮助,在此一并对他们致以衷心的感谢。

由于作者水平有限,本书中疏误之处,殷切希望同行专家和广大读者给予批评指正。

编著者
2011年6月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
电力电子变流技术	28.00
电工与电子技术(第2版)	49.00
电子技术实验实习教程	29.00
电子技术实验	30.00
电工与电子技术实训(高职高专)	27.00
电工与电子技术基础(高职高专)	29.00
电工与电子技术学习指导	29.00
电路基础(高职高专)	23.00
机械电子工程实验教程	29.00
数字电子技术(高职高专)	29.00
数字电子技术基础教程	23.00
汽车电工电子技术	35.00
电力拖动	21.00
电力系统微机保护(第2版)	33.00
冶金过程自动化基础	68.00
轧制过程自动化(第3版)	59.00
钢铁工业自动化(轧钢卷)	149.00
电气自动化技术专业理实一体人才培养方案及其课程标准	20.00
工厂电气控制设备(高职高专)	20.00
电气设备故障检测与维护	28.00
建筑电气工程施工技术图解	46.00
工厂电气控制技术(高职高专)	27.00
现代电气控制技术	36.00
机电一体化技术基础与产品设计	38.00
电液比例与伺服控制	36.00
电路理论(第2版)	36.00
可编程序控制器及常用控制电器(第2版)	30.00
模拟电子技术(高职高专)	28.00
数字电子技术(高职高专)	29.00
机电工程专业英语(高职高专)	28.00
电气控制与PLC应用(高职高专)	26.00
光电直读光谱仪技术	69.00
维修电工(高级)上册(培训教材)	39.00
维修电工(高级)下册(培训教材)	48.00
钢铁企业电力设计手册(上)	185.00
钢铁企业电力设计手册(下)	190.00
施工现场水电气暖一本通	45.00

目 录

0 绪论	1
0.1 概述	1
0.2 电力电子器件	3
0.3 电力电子器件今后的发展方向	4
0.4 电能变换的基本类型	5
0.5 电力电子技术的发展	6
0.6 电力电子技术的应用	9
0.7 课程性质与学习方法	15
1 电力电子器件	16
1.1 电力电子器件的特点与分类	16
1.1.1 电力电子器件的特点	16
1.1.2 电力电子器件的分类	16
1.2 功率二极管	17
1.2.1 功率二极管的主要类型	17
1.2.2 PN 结型功率二极管基本结构、工作原理和基本特性	18
1.2.3 肖特基势垒二极管	20
1.2.4 功率二极管的主要参数	21
1.3 晶闸管及派生器件	21
1.3.1 晶闸管的结构和工作原理	21
1.3.2 晶闸管的工作特性及主要参数	23
1.3.3 晶闸管的触发	29
1.3.4 派生晶闸管器件	30
1.4 门极可关断晶闸管 (GTO)	31
1.4.1 GTO 的结构和工作原理	31
1.4.2 GTO 的特性及主要参数	33
1.4.3 GTO 的驱动电路	36
1.4.4 GTO 的最大可关断阳极电流和电流关断增益	37
1.5 功率晶体管 (GTR)	38
1.5.1 GTR 的结构和工作特性	38
1.5.2 GTR 的特性及主要参数	38
1.5.3 GTR 的驱动电路	41

1.5.4 GTR 的二次击穿现象和安全工作区	41
1.6 功率场效应晶体管 (Power MOSFET)	41
1.6.1 Power MOSFET 的结构和工作原理	42
1.6.2 Power MOSFET 的特性及主要参数	43
1.6.3 Power MOSFET 的驱动电路	44
1.6.4 Power MOSFET 的防静电击穿保护	45
1.7 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)	45
1.7.1 IGBT 的结构和工作原理	45
1.7.2 IGBT 的特性及主要参数	46
1.7.3 IGBT 的驱动电路	48
1.7.4 IGBT 的擎住效应和安全工作区	49
1.8 其他新型电力电子器件	49
1.8.1 静电感应晶体管 (SIT)	49
1.8.2 静电感应晶闸管 (SITH)	51
1.8.3 MOS 控制晶闸管 (MCT)	53
1.8.4 集成门极换流晶闸管 (IGCT)	55
1.8.5 注入增强型门极换流晶体管 (IEGT)	56
1.8.6 功率集成电路和智能功率模块 (PIC & IPM)	57
本章小结	61
习题与思考题	61
2 直流-直流变换电路	62
2.1 降压斩波电路	62
2.1.1 电流连续模式时的工作情况	63
2.1.2 电流断续模式时的工作情况	64
2.2 升压斩波电路	66
2.2.1 电流连续模式时的工作情况	66
2.2.2 电流断续模式时的工作情况	67
2.3 升降压复合斩波电路	69
2.3.1 电流连续模式时的工作情况	69
2.3.2 电流断续模式时的工作情况	70
2.4 库克电路	72
2.4.1 库克电路稳态工作过程分析	72
2.4.2 库克电路基本输入输出关系	74
2.5 Sepic 斩波电路和 Zeta 斩波电路	75
2.6 复合型 DC-DC 斩波电路	76
2.6.1 二象限 DC-DC 斩波电路	76
2.6.2 四象限 DC-DC 斩波电路	77
2.6.3 多相多重 DC-DC 斩波电路	78

2.7 带隔离的直流-直流变换电路	79
2.7.1 正激电路	79
2.7.2 反激电路	81
2.7.3 半桥式隔离的降压电路	81
2.7.4 全桥式隔离的降压电路	82
2.7.5 推挽电路	83
2.7.6 全波整流电路和全桥整流电路	84
本章小结	85
习题与思考题	85
3 交流-直流变换电路（含有源逆变电路）	87
3.1 不可控整流电路	87
3.1.1 单相不可控整流电路	87
3.1.2 三相不可控整流电路	91
3.2 单相可控整流电路	93
3.2.1 单相半波可控整流电路	93
3.2.2 单相桥式全控整流电路	98
3.2.3 单相全波可控整流电路	103
3.2.4 单相桥式半控整流电路	104
3.3 三相半波可控整流电路	108
3.3.1 三相半波共阴极组可控整流电路带电阻性负载	109
3.3.2 三相半波共阴极组可控整流电路带阻感性负载	112
3.3.3 三相半波共阴极组可控整流电路带反电动势负载	114
3.3.4 三相半波共阳极组可控整流电路	114
3.4 三相桥式全控整流电路	115
3.4.1 三相桥式全控整流电路带电阻性负载	116
3.4.2 三相桥式全控整流电路带阻感性负载	120
3.5 三相桥式半控整流电路	122
3.5.1 三相桥式半控整流电路带电阻性负载	122
3.5.2 三相桥式半控整流电路带阻感性负载	123
3.6 变压器漏感对整流电路的影响	123
3.6.1 换流期间的电压电流波形	124
3.6.2 换相压降 ΔU_d 的计算	125
3.6.3 换相重叠角 γ 的计算	125
3.7 有源逆变电路	128
3.7.1 逆变的概念	128
3.7.2 三相半波有源逆变电路	129
3.7.3 实现有源逆变的条件	130
3.7.4 三相桥式有源逆变电路	130

3.7.5 有源逆变失败的原因与最小逆变角的限制	131
3.8 晶闸管的相控触发电路与同步问题	133
3.8.1 单结晶体管移相触发电路	133
3.8.2 同步信号为锯齿波的触发电路	138
3.8.3 集成触发电路	142
3.8.4 触发电路的定相	143
3.9 整流电路的谐波和功率因数	147
3.9.1 谐波和无功功率分析基础	148
3.9.2 带阻感性负载时可控整流电路交流侧谐波和功率因数分析	150
3.10 大功率可控整流电路	152
3.10.1 带平衡电抗器的双反星形可控整流电路	152
3.10.2 多重化整流电路	156
本章小结	160
习题与思考题	161
4 直流-交流变换电路	164
4.1 逆变电路的基本原理及换流方式	165
4.1.1 电网换流	165
4.1.2 负载谐振式换流	166
4.1.3 强迫换流	166
4.2 逆变电路的类型	168
4.3 电压型逆变电路	170
4.3.1 电压型单相逆变电路	170
4.3.2 电压型三相逆变电路	172
4.4 电流型逆变电路	176
4.4.1 电流型单相逆变电路	176
4.4.2 电流型三相逆变电路	180
4.5 多重逆变电路和多电平逆变电路	182
4.5.1 多重逆变电路	182
4.5.2 多电平逆变电路	185
4.6 正弦脉宽调制 (SPWM) 逆变电路	187
4.6.1 SPWM 基本原理	187
4.6.2 单极性调制与双极性调制	189
4.6.3 同步调制和异步调制	192
4.6.4 SPWM 波的生成	193
4.6.5 电流滞环控制 SPWM	197
本章小结	198
习题与思考题	200

5 交流-交流变换电路	201
5.1 交流调压电路	201
5.1.1 单相交流调压电路	203
5.1.2 三相交流调压电路	207
5.1.3 其他交流电力控制电路	211
5.2 交-交变频电路	214
5.2.1 三相输入-单相输出交-交变频电路	214
5.2.2 三相输入-三相输出交-交变频电路	221
5.3 矩阵式交-交变频电路	224
本章小结	228
习题与思考题	228
6 谐振软开关技术	229
6.1 谐振软开关的基本概念	229
6.1.1 谐振开关的基本概念	229
6.1.2 谐振开关的分类	231
6.2 准谐振电路	232
6.2.1 零电压开关准谐振电路	232
6.2.2 零电流开关准谐振电路	233
6.2.3 谐振直流环	235
6.3 PWM 软开关电路	236
6.3.1 零开关 PWM 软开关电路	236
6.3.2 零转换 PWM 软开关电路	240
本章小结	245
习题与思考题	245
7 电力电子技术应用中的一些问题	246
7.1 电力电子器件的保护	246
7.1.1 过电压保护	246
7.1.2 过电流保护	248
7.1.3 电压上升率及电流上升率的限制	248
7.2 电力电子器件的串并联技术与系统容量扩展	249
7.2.1 晶闸管的串并联应用	249
7.2.2 GTO 的串并联应用	251
7.2.3 Power MOSFET 的串并联应用	254
7.2.4 IGBT 的串并联应用	256
7.3 电力电子器件的功耗、散热器及冷却	258
7.3.1 电力电子器件的功率损耗	258

7.3.2 散热器	260
7.3.3 冷却	261
8 电力电子电路的计算机仿真	262
8.1 建模与仿真	262
8.2 常用仿真软件及其特点	263
8.2.1 常用工具	263
8.2.2 通用电路仿真软件	265
8.2.3 基于理想开关模型的专用仿真软件	266
8.3 典型电力电子器件的仿真模型及仿真实例	268
8.3.1 MATLAB Simulink/Power System 工具箱简介	268
8.3.2 晶闸管的仿真模型及仿真实例	276
8.3.3 晶闸管三相桥式整流器的仿真	279
参考文献	283

0 绪 论

0.1 概 述

电力电子技术是利用电力电子器件及其电路进行电能变换的一门技术。它包括电压、电流、频率、相数等的变换。电力电子变流技术的应用,可以说是电能变换技术的一次“革命”,它使电能变换技术产生了一次飞跃。电力电子变流设备与老式的旋转变流机组相比,具有反应快、体积小、重量轻、噪声低、能量损耗小、容易驱动、可靠性高和易于使用微处理器实现高级自动控制(如自适应控制、最优控制和智能控制)等优点。它主要应用于电化学、电冶炼、电动汽车和电动火车、船舶、轧钢机、辊道运输、纺织机、造纸机、中频感应加热、高压静电除尘、直流输电和无功补偿等领域。随着电力电子器件性能的不断提高,与先进控制技术的有效结合,其应用已深入到工业生产、国防科技和社会生活的各个领域,正在向着应用面更广、应用水平更高的方向发展。

电子技术又称为电子学,是与电子器件、电子电路、电子设备和系统有关的科学技术,它的理论基础是电磁学。电子技术是研究电路中的电子器件及其电信号的产生、变换、处理、存储、发送和接收等问题的技术,又称为信息电子技术。

电力技术是一门涉及发电、输电及电力应用的科学技术,其理论基础也是电磁学(电路、磁路、电场、磁场),利用电磁学的基本原理处理发电、输配电及电力应用的技术称为电力技术。

电力电子技术是使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术,也就是应用于电力领域的电子技术。目前所用的电力电子器件均由半导体制成,故也可称为半导体变流技术。它是由电力技术、电子技术和控制技术综合而成的一门新兴学科。

电子学可分为电子器件和电子电路两大分支,这分别与电力电子器件和电力电子电路相对应。电力电子器件的制造技术和电子器件制造技术的理论基础一样,大多数工艺也基本相同。特别是现代电力电子器件大都采用微电子制造技术和集成电路制造工艺,许多设备都和微电子器件制造设备通用,这说明两者同根同源。电力电子电路和电子电路的许多分析方法也是一致的,只是两者应用目的不同,前者用于电力变换和控制,后者用于信息处理。广义而言,电子电路中的功率放大和功率输出部分也可算做电力电子电路。在信息电子技术中,半导体器件既可处于放大状态,也可处于开关状态;而在电力电子技术中,为避免功率损耗过大,电力电子器件总是工作在开关状态,这是电力电子技术的一个重要特征。

电力电子学(Power Electronics)这一名称是在20世纪60年代出现的。1974年,美国学者W. Newell用一个倒三角形对电力电子学进行了描述,认为电力电子学是由电力学、电子学和控制理论三个学科交叉形成的,这一观点被全世界普遍接受(图0-1)。

根据以上对“电力电子技术”的一般描述,可以将它定义为:电力电子技术是根据电力电子器件的特性、采用一种有效的静态变换和控制方法,将一种形式的电能转换为另一种形式的电能的技术。该技术包括电气和电子器件的有效使用、线性与非线性电路的理论分析、控制理论的应用和成熟设计方法的使用。

美国电气和电子工程师协会(IEEE)的电力电子学会曾对电力电子学有如下的阐述:“有效地使用电力半导体器件,应用电路和设计理论及分析开发工具,实现对电能的高效能变换和控制的一门技术,它包括对电压、电流、频率和波形等方面的变换”。

电力电子学的内容主要包括电力电子器件、能量变换主电路和控制系统三个方面。电力电子学利用电路理论、现代微电子技术、计算机技术、现代控制理论、大规模集成电路技术、电力系统理论,实现各种形式电能之间的变换,从而满足不同的用电要求。

由于电力电子学是在电气工程领域其他学科的基础上发展起来的,因而电气工程领域的各个学科的发展也必将对电力电子学的发展起重要的推动作用,特别是功率半导体器件和大规模集成电路技术、电路拓扑、数字控制和现代控制理论、电力系统理论等学科的发展大大推动了电力电子学的应用及完善。

广泛且大量的需求成为电力电子学发展的牵引力,有力地拉动了电力电子学的迅速成长,使其成为电气工程领域内极为重要的独立学科。而现代科学技术又为电力电子学的发展提供了巨大的推动力,极大地促进了电力电子学的迅速发展。目前,美国等发达国家均设有国家电力电子研究中心,我国也成立了相关的国家电力电子工程及研究中心,而且国内各著名大学均设有相关的专业方向。电力电子学已成为全球的研究热点。可以预料在今后的发展中,电力电子学必将与现代控制理论、材料科学、微电子技术、计算机技术及电机工程等领域发生更加密切的关系,必将在电气工程领域中占据越来越重要的地位。

随着科学技术的进步和经济水平的日益提高,电力电子学的应用领域已扩大到工业、农业、商业、办公自动化、交通运输、航空航天、国防现代化、医疗器械、环保和人民生活的各个领域。经济社会的需要说明,对电力电子学的掌握已变得十分迫切和异常重要。

现代电力电子技术的主要特点表现在以下几个方面:

(1) 全控化。由半控型的晶闸管到全控型的电力电子器件,是电力电子器件在功能上的重大突破。无论是双极型器件 GTO、GTR、SITH 或单极型器件 Power MOSFET、SIT,还是混合型器件 IGBT、MCT 等都实现了全控化,从而避免了采用晶闸管关断时所需要的复杂强迫换流电路,使电路大为简化。

(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接在一起,并集成在一个基片上。

(3) 高频化。高频化是指随着器件集成化后的高频化,它能有效提高整体集成器件的工作速度。例如,高电压大电流的 GTO,其工作频率为 $1 \sim 2\text{kHz}$, GTR 可达 $2 \sim 5\text{kHz}$,

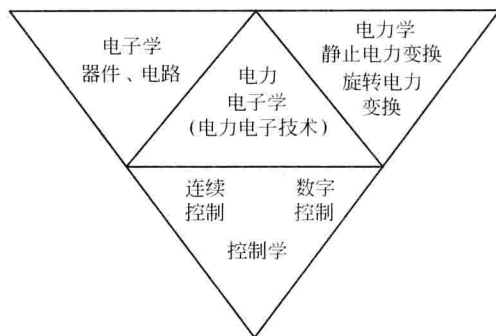


图 0-1 电力电子技术的 Newell 定义

IGBT的工作频率可达20kHz, Power MOSFET可达数百kHz, SIT可达10MHz以上。

(4) 高效率化。高效率化体现在器件本身和器件换流技术这两个方面。由于电力电子器件的导通压降不断减小, 降低了导通损耗; 器件开关时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; 变流器中采用软开关技术, 有效降低了电路中的开关损耗和开关噪声, 使得运行效率得到进一步提高。

(5) 小型化。高频全控型器件的应用使得开关频率大幅度提高, 取得了变流装置小型化与轻量化的直接效果。电力电子器件的多单元集成化, 减小了主电路的体积。控制器和功率半导体器件等采用微型化的表面粘贴技术, 使得变流器的体积进一步减小。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。

(6) 绿色化。电力电子技术中广泛采用PWM脉宽调制技术、正弦波脉宽调制和多重化技术等, 使变流器的谐波大为降低, 功率因数得到提高, 进而使电源绿色化。PWM控制技术已成为电力变换的核心技术, 在逆变、斩波、变频、整流及交流电力控制中均得到了广泛的应用。静止无功补偿器(SVC)、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。

(7) 控制技术数字化与智能化。目前电力电子器件正向着大容量、高频、易驱动和智能化方向发展。功率集成电路PIC和智能功率模块IPM, 集电力电子器件、驱动电路、传感器和诊断、保护、控制电路于一身。智能化功率集成电路的应用预示着电力电子技术与计算机控制技术已密不可分, 自然结合在一起, 走向一体化的时机已逐步成熟。

(8) 新型化。近年来, 新型半导体材料的研究正在取得不断的突破, 碳化硅、金刚石等材料用于电力电子器件。特别是金刚石器件与硅器件相比, 功率极大提高, 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℃。

基于上述八大特点, 现代电力电子技术的应用领域将会有更大的延伸和扩展。现在经过变换处理后再供用户使用的电能, 占全国总发电量的百分比值的高低, 已成为衡量一个国家技术进步的主要标志之一。据有关资料显示, 20世纪末发达国家中有75%左右的电能是经过电力电子技术变换或控制后再使用的。而美国预计到21世纪二三十年代, 由发电站生产的全部电能都将经过变换处理后再供负载使用。

0.2 电力电子器件

电力电子器件是电力电子设备的灵魂和心脏。1948年, 普通晶体管的发明引起了一场电子工业革命。晶体管首先应用于小功率领域, 如信息处理、通讯等。10年后, 即1958年, 美国通用电气公司研制成功了世界上第一只工业用普通晶闸管。从那时起, 电子技术的应用开始迈入强电领域并得到了迅猛发展。电能的变换和控制从旋转变流机组、离子变流器时代进入了电力电子变流时代。

同水银整流器相比, 晶闸管具有体积小、重量轻、功耗低、效率高、无污染、噪声低、响应快和易于驱动等特点, 且晶闸管的开通时间可以控制, 加上组成装置后具有综合性能高、寿命长等优点, 因此很快在电能变换领域占据了主导地位, 并得到了迅猛发展。虽然近年来由于全控型器件的迅速发展和广泛应用, 使晶闸管的应用领域受到一定程度的冲击, 但其在整流领域、大功率电能变换领域的主导地位仍然是相当稳固的。本书仍以较