

电力电子技术

关 健 李欣雪◎主编

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

内容简介

本书主要介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。全书共分10章。第1章介绍电力电子技术的发展概况、应用范围、主要器件、主要电路、主要应用等。第2章介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。第3章介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。第4章介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。第5章介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。第6章介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。第7章介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。第8章介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。第9章介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。第10章介绍电力电子技术的基本概念、工作原理、主要器件、主要电路、主要应用等。

电力电子技术

关健 李欣雪 主编

ISBN 7-302-10883-7

本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业及相关专业的教材，也可供从事电力电子技术工作的工程技术人员参考。

主 编 关 健 李欣雪
副主编 张晓亚 唐东成 郭金梅
主 审 王 健

北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要讲述电力电子器件、电力电子电路及交流技术的基本理论、基本概念、基本分析方法及应用实例。全书共分10章,第1章为绪论,主要介绍电力电子技术的基本概念、能量变换和主要应用领域。第2章介绍基本电力电子器件。第3~6章分别介绍整流电路、逆变电路、直流斩波电路和交交变换电路。第7章介绍脉宽调制技术与软开关技术。第8章介绍电力电子器件的应用基础,包括电力电子器件的辅助电路及串并联。第9章介绍电力电子技术的实际应用。第10章介绍应用MATLAB进行电力电子技术仿真的实例。

本书可作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、自动化及相关电气电子类专业的本科、专科教材,也可作为相关工程技术人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/关键,李欣雪主编. —北京:北京理工大学出版社,2018.6

ISBN 978-7-5682-5768-8

I. ①电… II. ①关…②李… III. ①电力电子技术 IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第132332号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 涿州市新华印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 16.5

字 数 / 388千字

版 次 / 2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷

定 价 / 65.00元

责任编辑 / 陆世立

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

电力电子技术是在电力、电子与控制技术基础上发展出来的一门新兴交叉学科，主要是利用电力电子器件进行电能变换和控制的技术。电能作为目前使用最方便、最清洁的能源，在推动社会进步、促进科学发展和提高人民生活水平方面发挥着极为重要的作用。近 20 年来，电力电子技术已经渗透到国民经济的各个领域，并取得了迅速的发展，未来更多的电能将通过电力电子技术处理后再加以利用。目前，电力电子技术已在高铁动车、新能源汽车、光伏风电、交直流传动、智能制造、直流输电、智能电网等领域获得极为广泛的应用，并在未来发展中进一步拓展和延伸。电力电子技术作为电气工程及其自动化、自动化及相关专业的一门重要专业基础课，主要讲述电力电子器件、电力电子电路及变流技术的基本理论、基本概念和基本分析方法，为之后学习的课程打下良好的基础。为了适应新时期发展和应用型本科的需求，编写团队结合教学经验、教学成果和科研实践编写了本书。

本书以培养应用型人才为目标，体现电力电子技术的系统性、完整性，以及学习过程的循序渐进性，各种变换电路的知识点相对集中，便于学生全面理解和掌握。本书的编写注重理论与实践相结合，使学生能够在学习理论知识的基础上，将书本的知识运用到工程实际当中，加深对知识的理解。本书各章节内容衔接紧密，知识点覆盖面全，便于学生自学。因此，在使用本书时，各学校可根据教学计划要求进行适当删减。本书授课学时一般为 40~64 学时，可根据课程体系的需要进行调整，合理安排学习计划。

本书共分为 10 章。第 1 章为绪论，主要介绍电力电子技术的基本概念、电力电子技术的能量变换和主要应用领域。第 2 章介绍基本电力电子器件，除了介绍基本的不可控器件——电力二极管、半控型器件——晶闸管外，主要介绍了全控型器件的导通与关断，如 IGBT、电力 MOSFET 等。第 3~6 章分别介绍了整流电路、逆变电路、直流斩波电路、交交变换电路，即四大变换电路（AC/DC、DC/AC、DC/DC、AC/AC），注重分析四类基本变换电路的拓扑结构、基本工作原理、不同负载下的工作状态，以及实际应用。第 7 章在前几章的基础上，着重讨论了脉冲宽度调制技术（PWM）与软开关技术，以适应当前电力电子技术的发展需要。第 8 章介绍电力电子器件的应用基础，包括电力电子器件的驱动电路、缓冲与吸收电路、电力电子器件的保护，以及电力电子器件的串并联。第 9 章介绍电力电子技术在其他学科当中的应用，以及在工程当中的实例，对电力电子技术在新能源发电系统中的应用做了初步探讨。第 10 章介绍 MATLAB 的仿真实例。

本书由关键、李欣雪担任主编，张晓亚、唐东成，郭金梅担任副主编，王健担任主审，具

体编写分工如下：第1章、第8章和第9章由关键编写，第3章和第7章由李欣雪编写，第2章和第4章由张晓亚编写，第5章、第6章及第10章（10.1和10.2）由唐东成编写，第10章（10.3~10.4）由郭金梅编写。全书由关键负责统稿、定稿，王健审阅了书稿并提出宝贵意见，北京理工大学出版社审阅了书稿并提出宝贵意见，在此谨致谢忱。

在编写本书的过程中，编者查阅和参考了一些国内外公开发表或出版的相关著作、论文及教材，谨向各位专家、学者一并表示感谢。

虽然在编写本书过程中，已进行了多次修改，但由于编者水平有限，书中难免存在不足和疏漏之处，恳请教学单位和读者多提宝贵意见，以便下次修订时改进。

编者

2017年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电力电子技术的内涵	1
1.2 电力电子器件的发展	2
1.3 电力电子技术的主要应用领域	3
1.4 本课程的任务和要求	5
习题与思考题	5
第 2 章 电力电子器件	6
2.1 电力电子器件概述	6
2.1.1 电力电子器件的分类	6
2.1.2 电力电子系统的组成	7
2.2 不可控器件——电力二极管	8
2.2.1 电力二极管的基本结构	8
2.2.2 PN 结与电力二极管的工作原理	8
2.2.3 电力二极管的基本特性	9
2.2.4 电力二极管的主要参数	10
2.2.5 电力二极管的主要类型	11
2.3 半控型器件——晶闸管	12
2.3.1 晶闸管的结构与工作原理	12
2.3.2 晶闸管的基本特性	14
2.3.3 晶闸管的主要参数	16
2.3.4 晶闸管的派生器件	17
2.4 典型全控型器件	19
2.4.1 门极关断晶闸管 (Gate Turn-Off Thyristor, GTO)	19
2.4.2 电力晶体管 (Giant Transistor, GTR)	21
2.4.3 电力场效应晶体管	24
2.4.4 绝缘栅双极型晶体管	28
2.5 其他新型电力电子器件	33
2.6 功率集成电路与集成电力电子模块	34
本章小结	35
习题与思考题	36

第3章 晶闸管整流电路	37
3.1 单相可控整流电路	37
3.1.1 单相半波可控整流电路	37
3.1.2 单相桥式全控整流电路	41
3.1.3 单相桥式半控整流电路	45
3.1.4 单相全波可控整流电路	46
3.2 三相可控整流电路	47
3.2.1 三相半波可控整流电路	47
3.2.2 三相桥式全控整流电路	51
3.3 变压器漏抗对整流电路的影响	57
3.4 整流电路的有源逆变状态分析	59
3.4.1 逆变的概念	59
3.4.2 三相桥式整流电路的有源逆变工作状态	61
3.4.3 逆变失败与最小逆变角的限制	62
3.5 大功率可控整流电路	63
3.5.1 带平衡电抗器的双反星形可控整流电路	63
3.5.2 多重化整流电路	65
本章小结	67
习题与思考题	67
第4章 逆变电路	70
4.1 逆变电路概述	70
4.1.1 逆变电路的分类	70
4.1.2 逆变电路的基本工作原理	70
4.1.3 换流方式分类	71
4.2 电压型逆变电路	73
4.2.1 单相电压型逆变电路	73
4.2.2 三相电压型逆变电路	75
4.3 电流型逆变电路	76
4.3.1 单相电流型逆变电路	77
4.3.2 三相电流型逆变电路	78
4.4 多电平逆变电路	80
4.4.1 二极管钳位型三电平逆变电路	81
4.4.2 电容钳位型多电平逆变电路	82
4.4.3 具有独立直流电源的级联型多电平逆变电路	83
本章小结	85
习题与思考题	85

第 5 章 直流斩波电路	86
5.1 斩波电路概述	86
5.2 降压斩波电路	86
5.2.1 负载电流连续时的工作原理	87
5.2.2 负载电流断续时的工作原理	89
5.3 升压斩波电路	89
5.4 升降压斩波电路	90
5.4.1 Cuk 斩波电路	92
5.4.2 Sepic 斩波电路和 Zeta 斩波电路	93
5.5 可逆斩波电路	94
5.5.1 电流可逆斩波电路	94
5.5.2 桥式可逆斩波电路	95
5.6 开关电源技术	96
5.6.1 开关电源	96
5.6.2 电焊机电源	96
5.6.3 蓄电池充电电源	97
本章小结	98
习题与思考题	98
第 6 章 交交变换电路	100
6.1 交交变换电路概述	100
6.2 交流无触点开关	100
6.3 交流调压电路	103
6.3.1 单相交流调压电路	103
6.3.2 三相交流调压电路	106
6.4 交流调功电路	111
6.5 交流电力控制电路	112
6.5.1 无功功率补偿	112
6.5.2 可控串联补偿	114
6.6 交交变频电路	115
6.6.1 单相交交变频电路	115
6.6.2 三相交交变频电路	117
6.7 矩阵式变频电路	119
本章小结	122
习题与思考题	122
第 7 章 PWM 控制技术与软开关技术	124
7.1 PWM 控制技术的基本原理	124
7.2 PWM 控制技术的基本概念	125

7.2.1	算法和调制法	125
7.2.2	同步调制、异步调制和分段同步调制	127
7.2.3	规则采样法	127
7.3	PWM 逆变电路及其控制方法	129
7.3.1	单相桥式 PWM 逆变电路	129
7.3.2	三相桥式 PWM 逆变电路	131
7.3.3	电流跟踪型	131
7.3.4	电压空间矢量控制技术	134
7.4	PWM 整流电路及其控制方法	135
7.4.1	PWM 整流电路的工作原理	135
7.4.2	PWM 整流电路的控制方法	137
7.5	开关损耗、硬开关和软开关的基本概念及类型	139
7.5.1	开关损耗和硬开关	139
7.5.2	软开关的概念	140
7.5.3	软开关电路的类型	141
7.6	无源软开关技术	142
7.6.1	吸收电路	142
7.6.2	无源软开关技术	143
7.7	有源软开关技术	147
7.8	谐振型软开关技术	149
7.8.1	DC/DC 变换中的软开关技术	149
7.8.2	DC/AC 变换中的软开关技术	154
	本章小结	155
	习题与思考题	156
第 8 章	电力电子器件的应用基础	157
8.1	电力电子器件的驱动电路	157
8.1.1	电力电子器件驱动电路概述	157
8.1.2	晶闸管的门极驱动电路	158
8.1.3	GTO 的门极驱动电路	159
8.1.4	GTR 的基极驱动电路	159
8.1.5	电力 MOSFET 的驱动电路	161
8.1.6	IGBT 的栅极驱动电路	162
8.2	电力电子器件的保护	163
8.2.1	过电压保护	163
8.2.2	过电流保护	164
8.2.3	过热保护	165
8.3	缓冲与吸收电路	165
8.4	电力电子器件的串联和并联	166
8.4.1	电力电子器件的串联	167

8.4.2 电力电子器件的并联	168
本章小结	170
习题与思考题	170
第9章 电力电子技术的实际应用	171
9.1 电力电子技术在单片机中的应用	171
9.1.1 晶闸管触发脉冲的单片机实现技术	171
9.1.2 晶闸管的同步检测	172
9.1.3 触发脉冲控制的实现方法	175
9.1.4 触发脉冲控制的软件设计	178
9.1.5 晶闸管触发脉冲的驱动	186
9.2 电力电子技术在电力系统的应用	187
9.2.1 无功功率补偿器	187
9.2.2 静止同步补偿器	189
9.3 电力电子技术在新能源领域的应用	191
9.3.1 光伏发电	191
9.3.2 风力发电	192
9.4 电力电子技术在电源技术中的应用	194
9.4.1 开关电源	194
9.4.2 不间断电源	195
9.4.3 应急电源	197
9.5 有源电力滤波器	198
本章小结	200
习题与思考题	200
第10章 MATLAB 仿真技术	201
10.1 电力电子器件仿真模型	201
10.1.1 二极管仿真模型	201
10.1.2 晶闸管仿真模型	202
10.1.3 门极可关断晶闸管 (GTO) 仿真模型	203
10.1.4 半导体场效应晶体管 (MOSFET) 仿真模型	205
10.1.5 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 仿真模型	207
10.2 单相半波整流电路的仿真	208
10.3 单相桥式全控整流电路的仿真	212
10.4 三相半波整流电路的仿真	216
10.5 三相桥式整流电路的仿真	219
10.6 带电容滤波的单相不可控整流电路	222
10.7 单相交流调压电路的仿真	224
10.8 降压斩波电路的仿真	226
10.9 升降压斩波电路的仿真	227

10.10	单相电压型逆变电路的仿真	229
10.11	电流型逆变电路的仿真	233
10.12	PWM 变流电路的仿真	236
10.13	软开关电路的仿真	242
10.14	有源软开关电路仿真	245
	本章小结	247
	习题与思考题	247
附录 名词术语中英文对照		248
参考文献		251

第 1 章

绪 论

1.1 电力电子技术的内涵

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，主要研究各种电力电子器件 (Power Electronic Device)，以及由这些电力电子器件所构成的各种变流电路或变流装置对电能的形式进行处理、控制和变换的技术。它运用弱电 (电子技术) 控制强电 (电力技术)，是强弱电相结合的新学科，是把电子电路应用到电能变换中的技术。随着科学技术的发展，电力电子技术又与现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等许多领域密切相关，已逐步发展成为一门多学科互相渗透的综合性技术学科。本课程内容主要包括电力电子器件、电力电子变流技术和控制方式。其中，电力电子器件是电力电子技术的基础，电力电子变流技术是电力电子技术的核心和主体，控制技术是不可或缺的组成部分。

本课程在讨论电力电子器件时，着重于电力电子器件的基本原理、特性及参数。主要讲解如何合理地选择和使用电力电子器件来构成各种变流装置，而对器件的制造工艺及载流子运动的物理过程等细节不做详细讨论。

电力电子器件按照控制特性分类，可分为不可控型器件、半可控型器件和全控型器件；按照内部载流子的工作性质分类，可分为单极型器件、双极型器件和复合型器件。详细介绍见 2.1.1 节。

电能的形式主要有直流和交流两种，在讨论电力电子变流技术时，主要围绕交流 (AC)/直流 (DC)、直流 (DC)/交流 (AC)、交流 (AC)/交流 (AC)、直流 (DC)/直流 (DC) 四种电能变换方式，主要研究由电力电子器件组成的变流装置的主电路、控制电路及其他辅助电路，完成这些变换的装置称为变换器。

所有的变换器都可以按照电能变换功能分为如下四类。

(1) 把交流电变换成固定或可调的直流电的变换称为整流，实现整流的电路为整流电路或整流器。具体电路工作情况详见第 3 章。

(2) 把直流电变换成频率、电压固定或可调的交流电称为逆变，实现逆变的电路为逆变电路或逆变器。逆变是整流的逆过程。具体电路工作情况详见第 4 章。

(3) 把一种形式的交流电变换为另一种形式的交流电即为 AC/AC 变换。因为交流电有电压、频率、相数等多个参数，其变换电路也有多种形式。例如，只改变电压大小不改变频率的变换电路称为交流调压电路，电压和频率都发生变换的电路称为变频电路或变频器。具体电路工作情况详见第 6 章。

(4) 把固定或变化的直流电压变换成可调或恒定的直流电压,称为 DC/DC 变换,完成其变换的电路称为直流调压器。采用斩波和脉宽调制原理的 DC/DC 变换电路称为直流斩波电路或直流斩波器。具体电路工作情况详见第 5 章。

上述电能形式的变换称为变流,由电力电子器件组成的完成上述各种变换的电路称为电力电子变流电路。电能的变换也可采用其他方式完成,但目前主要是利用电力电子电路进行变换。

变换器必须在一些辅助电路(第 8 章主要对除了主电路以外的其他电路进行简要分析)的支持下才能正常工作,这些辅助电路包括以下几个方面。

(1) 控制电路:控制电路的功能是根据输入和输出的要求产生主电路电力电子器件的通断信号。

(2) 驱动电路:驱动电路的功能是根据控制电路给出的通断信号,提供电力电子器件导通或关断要求的电流波形和电压波形,提供足够的驱动功率,以确保电力电子器件迅速、可靠地导通和关断。

(3) 缓冲电路:缓冲电路的功能是在电力电子器件导通和关断的过程中减缓其电流或电压上升率,以降低电力电子器件的开关损耗和开关应力。

(4) 保护电路:保护电路的功能是在电源或负载出现异常时,保护电力电子器件和装置免于损坏。

1.2 电力电子器件的发展

电力电子技术的诞生是以 1957 年美国通用电气公司研制的第一个普通晶闸管为标志的。60 多年来,电力电子技术的发展大体分为两个阶段:1957 年至 20 世纪 70 年代后期,称为传统电力电子技术阶段。在此阶段,电力电子器件以半控型的晶闸管为主,变流电路以相控电路为主,控制电路以模拟电路为主。1980 年至今称为现代电力电子技术阶段。该阶段以全控型电力电子器件的使用和普及为标志,脉冲宽度调制(PWM)的变流电路广泛使用,数字控制已逐渐取代模拟电路。

以功率二极管和晶闸管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旋转机组和老式的汞弧整流器,取得了明显的节能效果,并奠定了电力电子的基础。功率二极管亦称为硅整流管,产生于 20 世纪 40 年代,是电力电子器件中结构最简单、使用最广泛的一种器件。1957 年美国通用电气公司开发了世界上第一只晶闸管产品,从此开辟了电力电子技术迅速发展和广泛应用的崭新时代。截至 1980 年,传统的电力电子器件已经由普通晶闸管衍生出了快速晶闸管、逆导晶闸管、双向晶闸管等,同时,各类晶闸管的电压、电流等额定参数均有很大提高,开关特性也有很大改善。由晶闸管及其派生器件构成的各种变换器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,具有体积小、质量小、无机械噪声和磨损、效率高、易于控制、响应快等优点。

随着有关技术的突破及需求的发展,自 20 世纪 70 年代后期起,门极关断晶闸管、双极型功率晶体管、功率场效应晶体管、绝缘栅双极型晶体管等全控型器件相继问世,不仅实现了开关控制的灵活性,而且提高了开关频率,可用于开关频率较高的电路。一般将此类具有自关断能力的器件称为第二代电力电子器件,也称为全控型电力电子器件。全控型器件在逆变、斩波、整流、变频及交流电力控制中均有应用,使电路的控制性能得到改善,使以前难以实现的功能得以实现,对电力电子技术的发展起到了重要作用。

进入20世纪90年代以后,电力电子器件的研究和开发进入高频化、模块化、集成化和智能化时代。功率集成电路将全控型电力电子器件和驱动电路、控制电路、传感电路、保护电路、逻辑电路等集成在一起,形成高度智能化的功率集成电路,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,称为机与电之间的智能化接口,是机电一体化基础单元。功率集成电路的出现使电力电子技术进入全新的智能化时代。

变换器的控制从最初的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性能和复杂控制的计算机控制系统。模拟控制电路存在控制精度低、参数整定不方便,以及元件温漂严重、容易老化、元件参数精度低和一致性差等缺点。专用模拟集成控制芯片的出现大大简化了控制电路,提高了电路的可靠性。但是,模拟控制电路的固有缺陷仍然存在。此外,专用模拟集成控制芯片还存在控制不灵活、通用性不强等问题。随着微处理器和微型计算机的位数成倍增加、运算速度不断提高、功能不断完善,控制技术发生了根本性的变化,可利用软件编程实现不同的控制方式,既方便灵活,有利于参数整定、变参数调整调节、方便地调整控制方案和实现多种新型控制策略,又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,计算机控制系统可以方便地实现系统监测和故障自诊断,有助于实现电力电子装置的智能化。自适应控制、多变量控制、模糊控制等新颖的控制理论的应用,大大提高了变换器的性能。

综上所述,微电子技术、电力电子器件和控制理论是现代电力电子技术的发展动力。

1.3 电力电子技术的主要应用领域

电力电子技术的应用极为广泛,生活和生产中随处可见,主要应用于电气传动和电力牵引、各种电源装置和电力系统等领域。

1. 电气传动和电力牵引

绝大多数生产机械的传动是由电动机驱动的,为了保证产品的质量和产量,并提高劳动生产率,或出于节能需要,许多场合要求电动机调速运行。例如,轧钢机、造纸机、数控机床等,为了提高钢材、纸张、布匹和工件的质量,要求电动机的速度必须得到准确控制;风机、泵类机械,为了实现节能运行,要求调速。有些生产机械虽然不要求调速运行,但要求电动机速度非常平稳,在各种扰动下能以稳定的速度长期运行。火炮自动瞄准、雷达天线跟踪、数控机床刀具和工作台定位等,要求机械的位置和速度随时跟随给定量的变化,快速响应、精确跟随是最基本的要求。以上应用对电动机的驱动装置提出了较高的要求,而驱动装置则为电力电子装置。

电动机主要分直流电动机和交流电动机两类。直流电动机调速运行主要由直流调速器驱动,而直流调速器主电路是由电力电子器件组成的可控整流电路或直流斩波电路。交流电动机的调速运行越来越多地采用调速器驱动。例如,从低压到高压,从小功率到大功率,交流电动机变频调速器的应用非常广泛。又如,一些球磨机和磨类的机械虽然不要求调速,但其转速低,起动比较困难,带有庞大的减速机,造价比较高,磨损比较严重,为了解决这种问题,近年来,采用交交变频调速器进行控制使用的越来越多。某些生产机械虽然不要求调速,但是要求电动机降压起动,目前主要由晶闸管组成的电动机软起动。直流调速器、交流变频调速器和软起动器均属于电力电子装置。

目前的城市轨道交通发展比较迅速,电气化铁道逐渐覆盖铁路系统。在使用三相异步电动

机的高速列车和动车机车上,将单相交流电或直流电转变为可调频调压的三相交流电的牵引变流器是牵引的核心设备,与一般变流器不同,牵引变流器要求调速范围宽、稳定性好、动态响应能力强、可靠性高,采用电力电子装置即可满足要求。生活中常用的交通工具也都离不开电力电子技术,如电动自行车和电动汽车等。

为了解决住房面积和土地资源的矛盾,高层建筑越来越多,电梯的数量急剧增加,目前用于电梯提升电机控制的电源装置主要使用变频器驱动。矿井中的提升机也采用电力电子装置驱动。

2. 各种电源装置

电力电子技术是对电能的形式进行变换的电源技术。工业生产和日常生活中使用着各种各样的电源,如计算机使用的开关电源、不间断电源、消防应急电源、通风设备使用的各种电源、仪器仪表电源、集成芯片电源、航空和舰船上各种设备所使用的电源、电动汽车的充电装置,以及电机传动和控制装置电源、节能灯照明电源等,都是利用电力电子器件组成的变流电路实现的。日常生活中的微波炉、电磁炉、空调机、电视机、电冰箱等均离不开电力电子变流电路。

以前,在各种电子装置中大量采用线性稳压电源供电,现在高频开关电源由于体积小、质量小、效率高,已经慢慢取代线性电源。信息技术装置需要电力电子装置提供电源,因此,信息电子技术离不开电力电子技术。在大型计算机等应用场合,常常需要不间断电源供电,不间断电源是典型的电力电子装置。

3. 电力系统

电力电子技术在电力系统的发电、输电、配电和用电的全过程得到了广泛而重要的应用。发电厂发出的电能为交流电,通过三相交流输电线路输送给电力用户。直流高压输电在长距离、大容量输电时具有明显的优势,其送电端的整流阀和受电端的逆变阀均采用晶闸管变流装置,而小型直流输电也均采用全控型的绝缘栅双极型晶体管器件。目前,比较流行的柔性交流输电也是依靠电力电子装置得以实现的。

利用电力电子技术输送电能,对控制电能质量和改善供电质量也是比较有优势的。无功补偿和抑制谐波对电力系统具有重大的意义。而晶闸管控制电抗器、晶闸管投切电容器都是重要的无功补偿装置。近年来,出现的采用全控型器件的静止无功发生器、有源电力滤波器等新型电力电子装置均有比较优越的无功功率和谐波补偿的性能。在配电网系统中,电力电子装置还可用于防止电网瞬间停电、瞬间电压跌落及闪变等情况。

可再生能源对人类长远的可持续发展具有重要的意义,包括风能、太阳能、潮汐、地热能、生物质能等。其中,风能和太阳能以其独特的优势成为科学家重视的焦点,全球很多国家享受着风能带来的便利。地球上的风能资源比较丰富,开发潜力巨大,风力发电是主要的利用形式;太阳能是无污染、廉价、绿色环保的能源,具有很大的开发潜力。但是,无论是太阳能还是风能,受其强度和方向变化的影响,从中得到的电能都难以直接供给电气负载使用,需要利用电力电子设备将其转换为可以使用或能并入电网的电能,在此过程中,电力电子技术能解决能源问题的关键技术。例如,风力发电受气候的影响,风力的大小和方向变化无常,由电力发电机产生的电能极不稳定,为此需要把不稳定的交流电整流为直流电,再经逆变装置变换为电压、频率都比较稳定的交流电,电力电子装置起到新能源与电力系统的连接作用。

1.4 本课程的任务和要求

电力电子技术是电气类专业和自动化专业的专业基础课，主要内容包括器件、电路、控制及应用等方面，其中以电路为主。器件的教学内容主要包括常用器件的基本工作原理、特性、参数及驱动方式和保护方法等。变流电路主要研究的是不同电力电子器件所构成的各种典型变流电路的工作、主电路拓扑结构、分析方法、设计计算的基本手段及主电路开关元件的选择方法；控制电路研究各种典型触发电路、驱动电路及必要的辅助电路的工作原理和特点。

电力电子技术的基本要求如下：

- (1) 熟悉和掌握常用的电力电子器件的工作原理、特性及参数，并能够正确选择和使用电力电子器件。
- (2) 熟悉和掌握各种基本变换器的工作原理，特别是各种基本电路中的电磁过程，掌握分析方法、工作波形分析和变换器电路的初步设计计算。
- (3) 了解各种开关元器件的控制电路、缓冲电路和保护电路。
- (4) 了解各种变换器的特点、性能指标和使用场合。
- (5) 掌握基本实验方法及基本实验技能。

习题与思考题

- 1.1 什么是电力电子技术？说明其主要应用领域。
- 1.2 电力的变换有哪些？什么是整流？什么是逆变？
- 1.3 通过观察，说出你身边的电力电子产品。

第 2 章

电力电子器件

电能的变换是利用开关截取直流电或交流电的片段，重新组合为所希望波形的电能。理想的开关应当具有理想的静态和动态性能，在截止状态时能承受高电压，电流为零；在导通状态时能流过大电流，电压为零；在开关状态转换过程中，快速导通或关断，能承受较高的电压和电流变化率；可以双向导通（即通过开关的电流可双向流通）并可方便地进行控制。目前，电力电子器件是最接近理想开关的器件，在电力变换电路得到广泛的应用，成为电力电子应用技术最基础、最重要的部分。作为变流电路的主要元件，电力电子器件的性能关系着变流电路的结构和性能，各种电力电子器件的特性、特点及使用方法成为学好电力电子技术课程的必备知识。

本章主要介绍各种常见电力电子器件的基本概念、基本特性、主要参数，以及选择器件时应注意的问题。

2.1 电力电子器件概述

电力电子器件是建立在半导体原理基础上的，因此又称为功率半导体器件，它能承受较高的工作电压，具有较高的放大倍数。目前应用较广的电力半导体器件所用的主要材料仍然是硅。

2.1.1 电力电子器件的分类

1. 按照被控制程度

电力电子器件按照能够被控制信号所控制的程度可以分为不可控器件、半控型器件和全控型器件 3 类。

(1) 不用控制信号来控制其通断的电力电子器件称为不可控器件。不可控器件不需要驱动电路，例如，电力二极管没有控制极，只有两个端子，其基本特性与电子电路中的二极管一样，器件的导通和关断完全由其在主电路中承受的电压和流过的电流决定。

(2) 通过控制信号控制其导通而不能控制其关断的电力电子器件称为半控型器件。控型器件主要是晶闸管系列器件（门极关断晶闸管除外），其关断情况与电力二极管完全相同。

(3) 通过控制信号控制导通关断的电力电子器件称为全控型器件。全控型器件的品种很多，目前最常用的有绝缘栅双极型晶体管和电力场效应晶体管，在处理兆瓦级大功率电能的场合，门极关断晶闸管的应用也较多。