

高等学校 **电气工程及其自动化专业** 应用型本科系列规划教材

电力电子技术

DIANLI DIANZI JISHU

主 编 李 洁 晁晓洁
副主编 贾渭娟 赖 伟
主 审 汪纪锋



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

电力电子技术

主 编 李 洁 晁晓洁
副主编 贾渭娟 赖 伟
主 审 汪纪锋

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书主要内容包括绪论、电力电子器件、变换电路、应用举例等部分,内容涉及电力电子技术的概念、应用领域、发展历史、现状及未来前景;常用的电力电子器件的基本结构、工作原理、基本参数、驱动电路及保护方法;介绍包括直流-直流变换电路、整流电路、逆变电路、交流-交流变换电路在内的4大类变换电路的工作原理、分析方法、设计计算和简单应用,还介绍了软开关技术的内容,相控技术和PWM控制技术在上述各种电路中的应用;以及几种典型的电力电子应用实例。

本书可作为高等院校应用型本科电气工程及其自动化专业、自动化专业以及相关专业的教学用书,亦可作为成人教育等相关专业教学用书,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/李洁,晁晓洁主编. —重庆:重庆大学出版社,2015.8

高等学校电气工程及其自动化专业应用型本科系列规划教材

ISBN 978-7-5624-9077-7

I. 电… II. ①李… ②晁… 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(2015)第 140419 号

电力电子技术

主 编 李 洁 晁晓洁

副主编 贾渭娟 赖 伟

策划编辑:杨粮菊

责任编辑:陈 力 版式设计:杨粮菊

责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆川渝彩色印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:11.25 字数:280 千

2015 年 7 月第 1 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—2 000

ISBN 978-7-5624-9077-7 定价:26.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

本书为“电气工程及其自动化专业应用型本科系列教材”之一,是电气工程及其自动化专业的一门专业基础课教材,也可作为自动化专业以及相关专业的专业基础课教材。

我国经济与科学技术的发展势头迅猛,使高等学校的规模、数量也得到了迅速发展,特别是近年来大量应用型本科院校的发展更是迅速。但是,应用型本科院校的教材建设却相对滞后,本教材就是为适应这一现状,针对应用型本科院校的特点而展开编写。本书具有“少学时,重基础,突出典型应用”特点。在编写过程中,从应用的角度出发,用通俗易懂的文字进行分析,深入浅出,图文并茂,并且注重控制篇幅、强化基础、突出重点,使得教材内容具有实用性、易于教学,符合应用型本科对人才培养的要求。

本书主要内容可分为绪论、电力电子器件、变换电路、应用举例4个部分。

第1章绪论主要介绍了电力电子技术的概念、应用领域、发展历史、现状及未来前景;第2章主要介绍了常用的电力电子器件的基本结构、工作原理、基本参数、驱动电路及保护方法;第3至第7章主要介绍了包括直流-直流变换电路、整流电路、逆变电路、交流-交流变换电路在内的4大类变换电路的工作原理、分析方法、设计计算,以及相控技术和PWM控制技术在上述4种变换电路中的应用,还介绍了软开关技术的内容,各章均列举了具有代表性、实用性的例题;第8章主要介绍了几种典型的电力电子应用实例,考虑到本书的定位,在内容上特别突出了电力电子技术在电力系统方面的应用,又考虑到本书的学时数有限,故没有在本章中详细地分析电力电子技术在交直流电动调速系统中的应用,这一部分内容将在后续课程“电力拖动自动控制”中详细讲述。

本书在每章后附有大量的具有代表性的思考题与习题,可帮助学生巩固所学基础知识,提高认识,初步培养学生的应

用意识和创新能力。

在本书的筹备阶段和编写过程中,得到了重庆邮电大学汪纪锋教授的指导和帮助,在此表示衷心地感谢!

全书共分为8章,其中,第1,4,5,8章由李洁老师编写;第3,6,7章由晁晓洁老师编写;第2章由贾渭娟老师编写;赖伟博士参加了第8章的编写。本书由李洁、晁晓洁任主编并统稿;贾渭娟、赖伟任副主编;汪纪锋任主审。

本书在编写过程中重庆大学电气工程学院陈民铀教授提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心地感谢!同时,向本书所引用的参考文献作者一并表示深切地感谢!最后,作者还要感谢重庆大学电气工程学院、重庆邮电大学移通学院、重庆大学城市科技学院的大力支持和帮助!

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免存在疏漏之处,恳请使用本书的广大师生和读者指正。

编 者

2015年4月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 电力电子技术概述	1
1.2 电力电子技术的应用	3
1.3 电力电子技术的发展概况及未来前景	5
思考题与习题	7
第2章 电力电子器件	8
2.1 电力电子器件概述	8
2.2 电力二极管	9
2.3 晶闸管	13
2.4 门极可关断晶闸管	19
2.5 电力晶体管	21
2.6 电力 MOSFET	25
2.7 绝缘栅双极型晶体管	27
2.8 新型器件及发展	30
2.9 电力电子器件的系统组成	31
思考题与习题	36
第3章 直流-直流变换电路	37
3.1 直流-直流变换电路的工作原理	37
3.2 基本斩波电路	38
3.3 间接直流-直流变换电路	45
思考题与习题	51
第4章 逆变电路	52
4.1 概 述	52
4.2 电压型逆变电路	57
4.3 电流型逆变电路	66
4.4 逆变电路的脉冲宽度调制技术——PWM 逆变电路	72
思考题与习题	81

第5章 整流电路	83
5.1 概 述	83
5.2 相控式单相可控整流电路	85
5.3 相控式三相可控整流电路	96
5.4 相控式整流电路的谐波分析、功率因数及其改善方法	118
5.5 交流侧电感对整流电路的影响	126
5.6 相控式整流电路工作在有源逆变状态	130
思考题和习题	135
第6章 交流-交流变换电路	138
6.1 交流调压电路	138
6.2 交流调功电路	144
6.3 交流电力电子开关	144
6.4 交交变频电路	146
思考题与习题	150
第7章 软开关技术	151
7.1 软开关技术概述	151
7.2 软开关技术的典型电路	153
思考题与习题	158
第8章 电力电子技术的典型应用	159
8.1 在高压直流输电中的应用	159
8.2 在无功功率补偿装置中的应用	161
8.3 在不间断电源中的应用	167
8.4 在开关电源中的应用	170
思考题与习题	172
参考文献	173

第 1 章

绪 论

读者在一开始学习本门课程的时候,往往会有这些疑问:什么是电力电子技术?电力电子技术与其他学科有什么关系?电力电子技术具体要学习什么内容?电力电子技术的发展趋势是什么?本章将对这些问题进行初步的讲解,使读者对“电力电子技术”这门课程有一定的认识,以提高学习的积极性和主动性。

1.1 电力电子技术概述

1.1.1 电力电子技术研究的内容

电力电子技术诞生于 20 世纪 50—60 年代。2000 年,IEEE 终身会员、美国电力电子学会前主席 Tomas G. Wilson 给电力电子技术重新下了一个定义:电力电子技术是通过静止的手段对电能进行有效的变换、控制和调节,从而把可利用的输入电能形式变成所希望的输出电能形式的技术。

众所周知,电能主要分为两大类,一类是直流电,另一类是交流电。通过上述定义可知,电力电子技术核心就是对电能进行变换和控制。而电能变换的种类主要有 4 大类,即交流变直流(AC-DC)、直流变交流(DC-AC)、直流变直流(DC-DC)、交流变交流(AC-AC)。电力电子技术的变换不仅包括了电能种类的相互变换,还包括了对电压、电流、频率、波形和相数等的变换和控制。实现上述电能变换的技术也可以称为变流技术。

电力电子技术也可以说是利用电力电子器件为核心,构成相应的电路或装置,使得输入电能形式通过电力电子装置变成所希望的输出电能形式的技术。

1.1.2 电力电子技术和其他学科的关系

电力电子技术是一门交叉学科,1974 年美国学者 William E. Newell 提出的倒三角,如图 1.1 所示,可以对它进行很好解释,并指出“电力电子技术是电子技术、电力技术和控制技术三大学科的交叉。”这一观点已被学术界普遍接受。

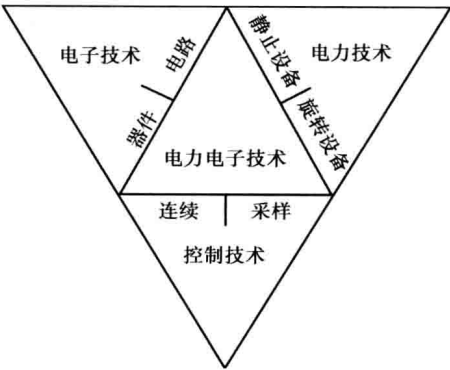


图 1.1 William E. Newell 提出的倒三角

(1) 电力电子技术和电子技术的关系

20 世纪 50—60 年代以后,随着电子器件处理的功率不同、应用领域不同等,电子技术分为信息电子技术和电力电子技术两大分支。信息电子技术包括通常所说的模拟电子技术和数字电子技术,如图 1.2 所示。电力电子技术所处理的电能的功率一般是“大功率”,但也可以处理“小功率”。

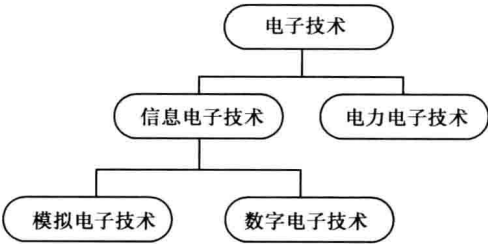


图 1.2 电子技术分支关系图

如图 1.1 所示,电子技术包括器件和电路两部分。由于电力电子技术和信息电子技术都源于电子技术,两者的理论基础相同,两者各自也可分为器件和电路两部分。电力电子器件和信息电子器件都是采用半导体材料制成,两者的大多数制造工艺也是一致的。电力电子电路和信息电子电路的许多分析方法是相同的,但两者的应用目的和工作状态不同,前者用于电力变换和控制,后者用于信息处理;电力电子技术的器件总是工作在开关状态,信息电子技术的器件可以工作在开关状态,也可工作在放大状态。

(2) 电力电子技术和电力技术(电气工程)的关系

电力技术是一门涉及发电、输电、配电及电力应用的科学技术。“电力技术”这个术语在我国已经不太使用,一般称此学科为“电气工程”。电力电子技术就是广泛地应用在电气工程中,如高压直流输电、静止无功补偿、电力开关、电力牵引及传动控制等。因此,通常将电力电子技术归属于电气工程学科。至今,电力电子技术已经发展成为电气工程领域内极为重要的分支学科。

(3) 电力电子技术和控制技术的关系

为了实现电能的变换和控制,一般由电力电子器件构成实现变换的主电路,为保证主电路正常地完成各种工作任务,需要控制电路产生控制信号去驱动主电路中相应的电力电子器

件,如图 1.3 所示,而控制信号的产生依赖于特定的控制策略和控制算法,这就是将自动控制技术应用在电力电子技术之中。因此,电力电子技术可以看成是弱电控制强电的技术。

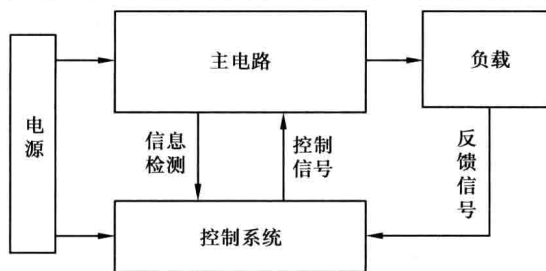


图 1.3 电力电子装置的基本结构组成

1.1.3 电力电子变换类型

根据电能变换种类的不同,相应的电力电子电路的形式也主要分为下述几种类型。

(1) 整流电路(AC-DC)

将交流电变换为固定或可调的直流电的电路称为整流电路。完成整流任务的电力电子装置称为整流器,它广泛应用于电解、电镀、直流电动机调速、蓄电池充电等方面。

(2) 逆变电路(DC-AC)

将直流电变换为交流电的电路称为逆变电路。完成逆变任务的电力电子装置称为逆变器,在交流电机变频调速、高压直流输电、太阳能发电、不间断电源(UPS)等方面的核心部分都是逆变电路。

(3) 直流-直流变换电路(DC-DC)

将一种直流电变换成另一固定电压或可调电压的直流电的电路称为直流-直流变换电路,直接实现变换的电路通常称为斩波电路。直流-直流变换电路广泛用于各种电子设备的直流电源、电动汽车等方面。

(4) 交流-交流变换电路(AC-AC)

将一种形式的交流电变换成另一种形式的交流电的电路称为交流-交流变换电路,其中可以变换交流电的幅值、频率、相数等参数。交流-交流变换电路广泛应用于电炉温度控制、灯光调节、异步电动机的软启动和调速、大功率交流电动机调速等方面。

1.2 电力电子技术的应用

电力电子技术的任务是对电能进行变换和控制,它作为连接弱电和强电的纽带,可以根据用户的需要改变电能的形态,使得电能的应用更加合理和有效,所以其应用范围十分广泛,从荧光灯镇流器、变频空调等数瓦至数千瓦的家用电器,到数千兆瓦的直流输电系统,电力电子技术的应用已经渗入国民经济的各个领域。下面将简要介绍电力电子技术在家用电器、电力系统、交通运输、工业生产等领域中的应用。

(1) 家用电器

电力电子技术广泛应用在家用电器中,其中在照明设备中的应用包括:传统的直管荧光

灯的电子镇流器,现在普遍使用的节能灯(其实是将镇流器和荧光灯组合成一个整体)、新型LED照明灯的整流器。这些采用了电力电子装置的照明设备更节能环保,取代了老式的白炽灯,其中LED照明灯具有节能效果好、使用寿命长、亮度高等优点,已成为照明设备的发展趋势。

变频空调、变频冰箱、变频洗衣机等家用电器都是使用了电力电子技术的变频技术对电机进行调速,从而达到节约电能等目的。

电视机、个人计算机、手机等家用电器的电源部分都需要电力电子技术。

(2) 电力系统

电力电子技术应用于电力系统的发电、输电、变电、配电等各个环节。电力系统是电力电子技术应用的一个重要领域,以下简单介绍电力电子技术在输电技术、变电所、新能源发电等方面的应用。

直流输电(HVDC)具有容量大、稳定性好等优点,对于远距离输电、不同频率的交流系统联网、海底或地下电缆输电时,直流输电具备特有优势。直流输电系统的核心设备是换流装置,它的作用是实现交流和直流之间的变换。近年发展起来的柔性输电(FACTS)是基于电力电子技术、现代控制技术对交流输电系统的电压、阻抗、相位等实施灵活控制的输电技术。

在变电所中二次回路的直流操作电源有蓄电池供电的直流操作电源和硅整流装置供电的直流操作电源两种。但为保证系统的工作可靠性,一般采用带蓄电池的硅整流成套装置。当一次系统正常运行时,由硅整流装置给直流负荷供电,此时蓄电池处于浮充状态;当一次系统故障时,交流侧电压降低或消失,此时由蓄电池给直流负荷供电。

在电力系统中存在大量的感性负载,如变压器、感应电动机等。这些电气设备在运行时不仅消耗有功功率,而且还消耗无功功率。系统如消耗无功功率过多,将会使系统功率因数下降、电压降低,给电力系统带来一系列不利影响,如使系统中的功率损耗和电能损耗增大、设备容量增加等。因此当系统无功容量不足时,应增设无功补偿装置,以提高功率因数。静止型无功功率自动补偿装置(SVC)就是利用电力电子技术实现无功补偿。SVC结构形式有多种,但其基本元件主要为晶闸管控制的电抗器(TCR)和晶闸管投切的电容器(TSC)。

新能源发电包括风能发电、太阳能发电、地热发电、潮汐发电等,也称为可再生能源发电。大部分可再生能源直接产生的能量是不稳定的,在并网时,需要利用电力电子技术将不稳定的电能变换为电压、频率、相位等符合并网要求的电能。除此以外能量的储存、发电机控制等过程都离不开电力电子技术。

(3) 交通运输

电力电子技术广泛应用于电气化铁路系统中。直流变电站将交流电变为直流电,对电气化铁路沿线供电;直流电机可通过直流-直流变换技术调节直流电压实现无级调速和控制。而通过逆变器可将直流电变为交流电,作为交流机车牵引电源。而在磁悬浮列车中电力电子技术更是一项关键的技术。

电动汽车的电机使用蓄电池为输入电源,通过电力电子装置对电力进行变换,实现电机的驱动控制,而蓄电池的充电也是离不开电力电子技术的。除此以外电力电子技术在新一代汽车上的应用也非常广泛,如用电力电子开关代替传统的机械开关和继电器;用电力电子技术改造12V电源系统,使之成为多电压电源系统;用电力电子技术控制、驱动各种车窗电机、座椅电机等。

轮船、飞机也需要许多不同要求的电源,所以也需要用电力电子技术进行电能的变换和控制,因此航海、航空领域也离不开电力电子技术。

(4) 工业生产

为保证工业生产正常进行,需要大量交直流电动机。对于直流电动机,由整流装置或直流斩波装置提供可变的直流电,控制直流电动机转速或转矩;对于交流电动机,由变频装置对交流电动机供电,并改变频率、电压、电流,控制交流电机的转速或转矩。使用变频调速技术具有节能效果,所以在有的不需要调速的场所,如风机、泵等,也应用了变频技术。而为避免电动机在启动时产生冲击电流,故采用了软启动装置,其原理也是利用了电力电子技术。

电力电子技术还大量应用于化学工业的整流电源中,为电解、电镀等提供直流电源。

电力电子技术也应用于冶金工业中,为淬火炉、高频或中频感应加热炉、直流电弧炉等提供相应电源。

(5) 其他

除上述领域需要用到电力电子技术以外,其他领域几乎都离不开电力电子技术。从广义上讲,电力电子应用技术就是电能变换的技术,因此可以说电力电子技术研究的就是电源技术。所以大部分需要电源的设备几乎都需要电力电子技术,除上述的个人计算机电源、手机充电器、电解电源等以外,其他各种电子设备的电源、通信设备的电源(如程控交换机所需高频开关电源)、不间断电源(UPS)、应急电源(EPS)等都需要电力电子技术。

总之,电力电子技术应用范围非常广泛,可以说,凡是涉及电源的设备,都离不开电力电子技术。电力电子技术是支撑社会现代化发展的重要技术之一,具有美好的发展前途。

1.3 电力电子技术的发展概况及未来前景

电力电子技术的发展取决于电力电子器件的发展和进步。电力电子器件是电力电子技术发展的动力和基础,电力电子技术的每一次飞跃都是以新器件的出现为契机的。

(1) 电力电子器件的发展概况

电力电子器件的发展可分为4个阶段。

第一阶段:1876年出现了硒整流器,在20世纪初期又出现了电子管、水银整流器、闸流管等,这些器件是20世纪50年代之前用于电力变换的主要器件。1947年美国贝尔实验室发明了半导体器件——晶体管,引发了电子技术的一场革命。以此为基础,在1955年美国通用电气公司研制出第一个用于电力领域的大功率硅整流二极管。

第二阶段:1957年美国通用电气公司研制出第一个晶闸管,它的出现标志着现代电力电子技术的诞生。以晶闸管为基础开发的整流装置,是电气领域的一次革命,它取代了传统的水银整流器和旋转变流机组,进入了以晶闸管为代表的“半导体”电力电子器件构成变流装置时代。不过晶闸管是一种半控型器件,只能通过控制端控制其导通,而不能通过控制端控制其关断。这就使得晶闸管的应用受到了一定限制。

第三阶段:从20世纪70年代开始,先后出现了门极可关断晶闸管(GTO)、电力晶体管(GTR)、电力场效应晶体管(Power-MOSFET)、绝缘栅双极晶体管(IGBT)等全控型器件。全控型器件具有良好的自关断能力、工作频率高等优点,使得在此后几十年得到了迅速的发展,

也使得电力电子技术进入一个新的发展阶段。

第四阶段:从 20 世纪 90 年代开始,电力电子器件进入高频化、标准模块化、集成化和智能化时代。通常将电力电子器件、驱动、检测、控制、保护电路等集成在一起,构成功率集成电路(Power Integrated Circuit, PIC),它最大优势是可以减少引线,提高可靠性,其经济效益也明显增加。在功率集成电路(PIC)中,高低压电路(主电路与控制电路)之间的隔离与绝缘问题以及期间的散热问题是影响 PIC 技术发展的难点。

不同的功率集成电路由于各自侧重的性能、要求不同,所以各自有不同的名称。高压集成电路(High Voltage IC, HVIC)一般是指将高耐压电力电子器件与控制电路实现单片集成;智能功率集成电路(Smart Power IC, SPIC)一般是指将电力电子器件与控制、保护、检测等电路实现单片集成;智能功率模块(Intelligent Power Module, IPM)一般是指将 IGBT 与其驱动、保护等电路实现单片集成;集成电力电子模块(Integrated Power Electronics Modules, IPEM)一般是指将电力电子器件、驱动、检测、控制、保护电路等所有信息电子电路都集成在一起的模块;电力电子积木(Power Electric Building Block, PEBB)可以说是在 IPEM 的基础上发展起来的可处理电能集成的器件或模块,PEBB 包括两种类型的接口:功率传输接口和数据通信接口。通过这些接口,就像搭积木一样将几个 PEBB 可以组成一个系统来实现不同功能的电力电子系统。由于 PEBB 具有灵活性、易用性和通用性,这一技术已逐步开始进入工业领域。

(2) 电力电子电路及其控制技术的发展

电力电子电路及其控制技术的发展大致经历了下述几个阶段。

第一阶段:通常认为,1957 年美国通用电气公司研制出第一个电力电子半导体器件晶闸管,标志着现代电力电子技术诞生。但在此之前电力电子技术的变换电路就已经初步形成,利用的是电子管、水银整流器、闸流管等“非半导体器件”构成电力电子变换电路。

第二阶段:此阶段是电力电子半导体器件晶闸管的发展与应用阶段。随着器件制造水平的不断提高,晶闸管在变流装置中的应用技术日趋成熟,变流技术所涉及的应用领域也在不断扩展。电力电子技术诞生也是以晶闸管及晶闸管变流技术的出现而确立的。

在此阶段晶闸管构成的电力电子电路的控制方式为相控方式,即采用延时脉冲控制晶闸管导通的相位。它在晶闸管构成的整流、逆变、交流调压等电路中获得了广泛的应用。

第三阶段:此阶段是全控型半导体器件的发展与应用阶段。全控型器件的开关频率比晶闸管的开关频率高,全控型器件构成的变流电路向高频化发展。全控型器件构成的电力电子电路的主要控制方式为脉冲宽度调制(PWM)技术。PWM 控制技术在电力电子技术中具有重要的地位,它在直流斩波、逆变、整流、交流-交流变换等变流电路的控制中均可应用。

在一些应用场合,如对动态性能和稳态精度要求较高的场合,还必须采用自动控制技术和理论。例如对线性负载常采用 PID 控制方法;对非线性负载(如交流电机)常采用矢量控制方法。

随着全控型器件构成的电力电子电路工作频率的不断提高,器件的开关损耗也随之增大。为了减小开关损耗和提高效率,于是出现了软开关技术。“零电压开通”和“零电流关断”是软开关的最理想状态,其开关过程中无开关损耗。如果开关器件在开通过程中端电压很小,在关断过程中其电流也很小,这种开关过程的功率损耗不大,称为软开关。近年来软开关技术在电力电子系统中获得了广泛的应用。

综上所述,电力电子技术经过了半个多世纪的发展,器件制造技术水平不断提高,新型器

件仍不断涌现,如采用新型半导体材料(碳化硅、金刚石等)构成的电力电子器件的研制与应用将为电力电子技术的发展作出新的贡献,给电力电子技术带来革命性变革。

未来电力电子技术的发展趋势将朝着集成化、标准模块化、智能化、大容量、高频率、高效率、高可靠性和“节能、环保”的方向发展。

思考题与习题

- 1.1 电力电子技术的任务是什么?
- 1.2 根据电能变换种类的不同,电力电子变换电路分为哪几种类型?各自的作用是什么?
- 1.3 电力电子器件的发展分为哪几个阶段?
- 1.4 电力电子技术在电力系统中的应用有哪些?请举例说明。

第 2 章

电力电子器件

电力电子器件(Power Electronic Device)是电力电子技术发展的动力和基础。本章内容按照不可控器件、半控型器件、典型全控型器件和其他新型器件的顺序,分别介绍各种电力电子器件的工作原理、基本特性、主要参数、驱动电路以及选择和使用中应注意的一些问题。

2.1 电力电子器件概述

在电力电子装置中,直接实现电能的变换和控制的电路称为主电路。电力电子器件是指用于主电路中,承担电能的变换和控制任务的主要电子器件。

电力电子器件,目前往往专指电力半导体器件,所用主要材料是硅。电力电子器件的主要特性表现在下述几方面:

①电力电子器件要承受高电压和大电流,因为要直接用在电力电路上。

②电力电子器件都工作在开关状态,以减小本身损耗,提高效率,因为电力电子器件处理的功率一般较大。

③电力电子器件由信息电子电路来控制其通断,应有控制电路和驱动电路。由于电力电子器件处理的电功率较大,而由信息电子器件构成的控制电路所产生的控制信号功率较小,需要驱动电路将这些信号放大之后去控制主电路中电力电子器件的导通或关断。

④电力电子器件工作时一般都需要安装散热器,因其耗散功率大。

其中,电力电子器件的损耗包括通态损耗、断态损耗、开关损耗和驱动损耗。通态损耗和断态损耗是由于器件导通时的管压降和关断时的漏电流不为零所致的。开关损耗是由于器件在开关过程中伴随电压电流的变化而产生的。通常来讲,通态损耗是器件损耗的主要原因,但当器件的开关频率较高时,开关损耗会随之增大而可能成为器件功率损耗的主要因素。

按照能够被控制电路信号所控制的程度,电力电子器件可分为下述几种。

(1) 不可控器件

不能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。常见的如电力二极管(Power Diode)。

(2) 半控型器件

通过控制信号可以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。主要是指晶闸管(Thyristor)及其大部分派生器件,器件的关断完全是由其在主电路中承受的电压和电流决定的。

(3) 全控型器件

通过控制信号既可控制其导通,又可控制其关断的电力电子器件,称为全控型器件。目前最常用的是绝缘栅双极晶体管(IGBT)和电力场效应晶体管(Power MOSFET)。

电力电子器件除了上述根据其可控程度的分类方法进行分类外,还有多种分类方法。根据其内部空穴和电子两种载流子参与导电的情况,可分为双极性器件、单极性器件和复合型器件。根据驱动电路加在器件控制端和公共端之间信号的性质,可分为电流驱动型和电压驱动型两类。常见的 GTR 和 GTO 属于双极性电流驱动型器件, MOSFET 属于单极性电压驱动型器件, IGBT 属于复合型电压驱动型器件。

2.2 电力二极管

电力二极管(Power Diode)在 20 世纪 50 年代初期就获得应用,可实现在管子两端加正向电压导通、加反向电压截止的功能。电力二极管(图 2.1)是不可控器件,广泛应用于电气设备中,既可以作为整流元件,也可以作为续流元件,还可以作为保护元件。



图 2.1 电力二极管实物图

根据不同的应用场合,电力二极管主要类型分为普通二极管(General Purpose Diode),快恢复二极管(Fast Recovery Diode, FRD)和肖特基二极管(Schottky Barrier Diode, SBD),主要性能比较见表 2.1。普通二极管也称整流二极管,多用于开关频率 1 kHz 以下的整流电路中。

表 2.1 电力二极管性能比较

名称 \ 性能	反向恢复时间	反向耐压
普通二极管	$> 5 \mu s$	数千伏
快恢复二极管	几百 ns ~ 几十 ns	$< 1\ 200\ V$
肖特基二极管	10 ~ 40 ns	$< 200\ V$

2.2.1 PN 结与电力二极管的工作原理

电力二极管是以半导体 PN 结为基础的,实际上是由一个面积较大的 PN 结和两端引线封装组成的。从外形上看(图 2.2),可以有螺栓型、平板型等多种封装。一般情况下,螺栓型适用于 200 A 以下的器件,平板型适用于 200 A 以上的器件。

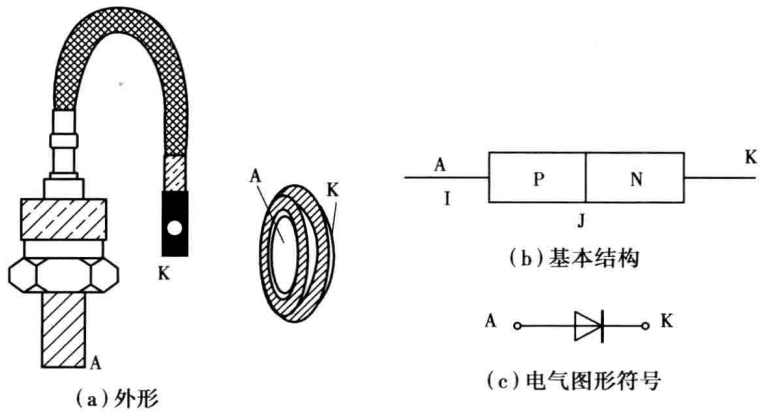


图 2.2 电力二极管的外形、结构和电气图形符号

如图 2.3 所示,P 型半导体和 N 型半导体结合后构成 PN 结。其中 $\ominus$ 表示负电荷, $\oplus$ 表示正电荷, $\bullet$ 表示空穴, $\cdot$ 表示自由电子。把 P 型半导体和 N 型半导体制作在一起时,如图 2.3(a)所示,在它们的交界面两种载流子的浓度差很大,因而 P 区的空穴必然向 N 区扩散,与此同时,N 区的自由电子也必然向 P 区扩散。由于扩散到 P 区的自由电子和空穴复合,而扩散到 N 区的空穴和自由电子复合,所以在交界面附近多子的浓度下降,P 区出现负电荷区,N 区出现正电荷区,它们是不能移动的,称为空间电荷区,从而形成内电场,如图 2.3(b)所示。随着扩散运动的进行,空间电荷区加宽,内电场增强,其方向由 N 区指向 P 区,正好阻止扩散运动的进行。

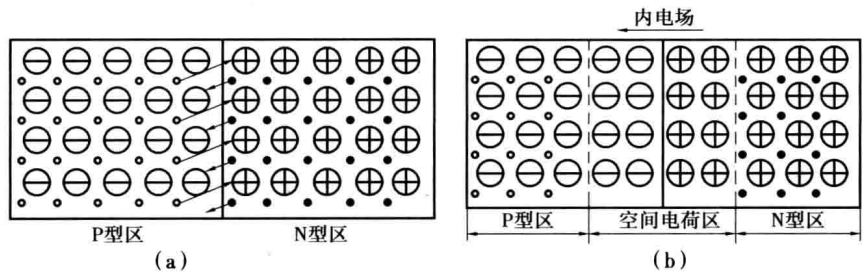


图 2.3 PN 结的形成

如果在 PN 结的两端外加电压,将破坏原来的平衡状态。当 PN 结外加正向电压时处于导通状态,如图 2.4 所示,将电源正极接到 PN 结的 P 端,且电源负极接到 PN 结 N 端时,为正向电压(正向偏置)。外加电场与 PN 结自建电场方向相反,此时外电场将多数载流子推向空间电荷区,使其变窄,削弱了内电场,破坏原来平衡,使扩散运动加剧,而漂移减弱。由于电源作用,扩散运动将一直进行,从而形成正向电流 I_F ,PN 结导通。