

高等职业教育“十二五”规划教材
高等职业教育电子技术类专业规划教材

实用电力电子技术

SHIYONG DIANLI DIANZI JISHU

主 编 熊 宇

副主编 任娟平 梁奇峰 何薇薇



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

高等职业教育“十二五”规划教材
高等职业教育电子技术类专业规划教材

实用电力电子技术

主编 熊宇
副主编 任娟平 梁奇峰 何薇薇

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以电力电子技术领域实际应用最广泛的典型产品为载体,主要设计了调光灯、低电压大电流整流电镀电源、电动自行车充电器、电磁炉、太阳能光伏发电并网逆变电路、变频器、软启动器七个教学项目,将电力电子技术必要的基本理论知识(电力电子器件、变流电路拓扑及其控制技术)以及应用实例分别融入各教学项目。每个项目遵循“学以致用、理实一体”的原则,按照“器件—电路—控制—应用”为主线展开介绍。

本书针对高等职业教育的教学要求,注重知识的实用性和学生的认知规律,对复杂的计算及推导进行了简化,增加了相关产品的具体资料和参数等具有实用价值的内容,对实践教学具有指导性和可操作性。

本书可以作为高等职业院校电气工程类专业、应用电子类专业教材,也可供工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

实用电力电子技术/熊宇主编.--北京:电子工业出版社,2015.9

ISBN 978-7-121-27133-5

I. ①实… II. ①熊… III. ①电力电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 215036 号

策划编辑:朱怀永

责任编辑:朱怀永

特约编辑:底 波

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:16.25 字数:406 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版

印 次:2015 年 9 月第 1 次印刷

印 数:3000 册 定价:35.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换,若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

本教材依据高素质技术技能型人才培养目标,以职业活动的工作为依据,以培养与工作紧密相关的综合职业能力的课程观为指导,按照工作过程系统化课程范式而编写。

教材编写过程中遵循“学以致用,理实一体”的原则,注重教材的“科学性、实用性、通用性、新颖性”,力求做到学科体系完整、理论联系实际,展现实现新技术的发展;加强学生实践能力的培养,并在培养实践能力的过程中提高学生的创新素质以及诚信敬业、团队合作等职业素质。

本书以实际应用最广泛的典型产品为载体,将电力电子技术必要的基本理论知识(电力电子器件、变流电路拓扑及其控制技术)和应用实例分别融入到调光灯、低电压大电流整流电镀电源、电动自行车充电器、电磁炉、太阳能光伏发电并网逆变器、变频器、软启动器七个教学项目,每个项目开始处设置了“任务导入与项目分析”,然后按照“器件—电路—控制—应用”为主线展开介绍。

本书具有以下特点:

1. 所选项目载体与工业生产和日常生活结合紧密,典型实用,因而易于激发学生的学习兴趣。
 2. 教材内容以完成工作任务为目标,结构上以工作过程为导向,教学实施模式强调“教、学、做”一体化,组织方式更符合学生的认知规律。
 3. 教学目标参照了电力电子行业当前的技术规范与职业资格标准,同时根据电力电子技术的发展合理充实新知识、新技术,使教材具有鲜明的时代特征。
 4. 教材编写的承载方式上,增加了直观的图形、波形,图文并茂,增加了教材的可读性。
- 本书参考学时为 80 学时,建议采用理实一体化模式教学。

本书可作为高等职业教育电气工程类和应用电子类专业的教材,也可供从事电力电子技术工作的工程技术人员参考。

本书由中山火炬职业技术学院的熊宇任主编,任娟平、梁奇峰、何薇薇任副主编,参加本书编写工作的还有廖鸿飞、庄武良。

在编写过程中,参阅了许多同行专家们的论著、教材、文献,在此表示诚挚谢意。

由于编者学识水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 6 月

目 录

绪论	1
项目一 以调光灯为典型应用的单相整流电路	8
【任务导入与项目分析】	8
任务一 认识晶闸管	9
任务二 认识单结晶体管	21
任务三 认识双向晶闸管	25
任务四 掌握单相半波整流电路的原理	28
任务五 掌握单相桥式整流电路的原理	34
任务六 调光灯电路的分析与设计	42
任务七 了解带电容滤波的单相不可控整流电路(拓展)	48
【项目小结】	50
思考与练习一	50
项目二 以低电压大电流电镀电源为典型应用的三相整流电路	54
【任务导入与项目分析】	54
任务一 认识三相半波可控整流电路	56
任务二 认识三相全控桥式整流电路	63
任务三 了解变压器漏电抗对整流电路的影响	72
任务四 认识相控电路的驱动控制和保护	74
任务五 低压大电流可控整流电路原理分析	85
任务六 认识带电容滤波的三相不可控整流电路(拓展)	89
【项目小结】	91
思考与练习二	92
项目三 以电动自行车充电器为典型应用的直流-直流变换电路	93
【任务导入与项目分析】	93
任务一 认识 MOS 管	95
任务二 认识常用的 DC/DC 变换电路	103
任务三 电动自行车充电器电路的分析及设计	112

任务四 认识大功率晶体管(拓展)·····	122
【项目小结】·····	127
思考与练习三·····	127
项目四 以电磁炉为典型应用的中/高频感应加热电源·····	129
【任务导入与项目分析】·····	129
任务一 认识 IGBT·····	130
任务二 认识感应加热电源·····	139
任务三 分析逆变电路·····	144
任务四 家用电磁炉电路原理分析·····	149
【项目小结】·····	159
思考与练习四·····	159
项目五 以太阳能光伏发电并网逆变器为典型应用的有源逆变电路·····	160
【任务导入与项目分析】·····	160
任务一 了解光伏电池的工作原理·····	161
任务二 了解光伏发电的最大功率点跟踪(MPPT)技术·····	167
任务三 认识光伏并网逆变器·····	174
任务四 孤岛效应及其反孤岛技术·····	181
任务五 光伏发电系统的分析与设计·····	184
任务六 了解太阳能光伏并网逆变器的应用·····	189
任务七 认识有源逆变电路(拓展)·····	196
【项目小结】·····	202
思考与练习五·····	202
项目六 以变频器为典型应用的交-直-交变换电路·····	204
【任务导入与项目分析】·····	204
任务一 认识变频器·····	205
任务二 了解变频器的工作原理·····	211
任务三 变频器的调试及故障检修·····	218
任务四 认识门极可关断晶闸管(GTO)(拓展)·····	222
【项目小结】·····	226
思考与练习六·····	226
项目七 以软启动器为典型应用的交流调压电路·····	227
【任务导入与项目分析】·····	227
任务一 了解交流开关·····	228
任务二 认识单相交流调压电路·····	230
任务三 认识三相交流调压电路·····	234

任务四 认识交流过零调功电路和斩控电路.....	238
任务五 认识晶闸管电机软启动器.....	241
任务六 认识其他电力电子器件(拓展).....	245
【项目小结】.....	248
思考与练习七.....	248
参考文献.....	249

绪 论

一、什么是电力电子技术

目前,我国正处于经济高速发展期,对能源的需求非常迫切,同时能源的严重不足与利用率明显偏低这一矛盾十分突出,而电力电子技术就是以实现“高效率用电和高品质用电”为目标,可以说电力电子技术的发展,正是解决这一矛盾的有力措施。

电力电子技术(Power Electronics Technology)是应用电力电子器件构成的电力电子电路对电能进行变换和控制的技术,即应用于电力领域的电子技术。电力电子技术变换的“电力”,可大到数百 MW(10^6 W)甚至 GW(10^9 W),也可小到数 W 甚至 mW 级。

电力电子技术是横跨“电子”、“电力”、“控制”三个领域的综合学科。它主要研究电力电子器件(目前电力电子器件均用半导体制成,故也称电力半导体器件)、变流电路以及对电能进行有效变换的控制电路三个部分,它是现代控制理论、材料科学、电机工程、微电子技术等许多领域相互渗透的综合性的新型工程技术学科。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。电力电子技术是电气领域目前最活跃、发展也最快的一门学科,已成为电类专业不可缺少的一门专业核心课,在培养电类专业人才中占有重要地位。

二、电力电子技术的发展

电力电子技术可以分为电力电子器件制造技术和电能变换技术两大方面。电力电子器件的制造技术是电力电子技术的基础(其理论基础是半导体物理),也是电力电子技术发展的动力。电能变换技术是电力技术的核心(其理论基础是电路理论)。两者相辅相成、互相促进。

1. 电力电子器件的发展

电力电子器件(Power Electronic Device)——可直接用于处理电能的主电路中,实现电能的变换或控制的电子器件。

主电路(Main Power Circuit)——电气设备或电力系统中,直接承担电能的变换或控制任务的电路。

同处理信息的电子器件相比,电力电子器件的一般特征是:

- ① 电力电子器件处理电功率的能力一般都远大于处理信息的电子器件。
- ② 电力电子器件一般都工作在开关状态。

③ 电力电子器件往往需要信息电子电路来控制。

④ 电力电子器件一般需要安装散热器。

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史是以电力电子器件的发展史为纲的。电力电子技术的发展是从以低频技术处理问题为主的传统电力电子技术,向以高频技术处理问题为主的现代电力电子技术方向发展。电力电子技术的发展历史见图 0-1。

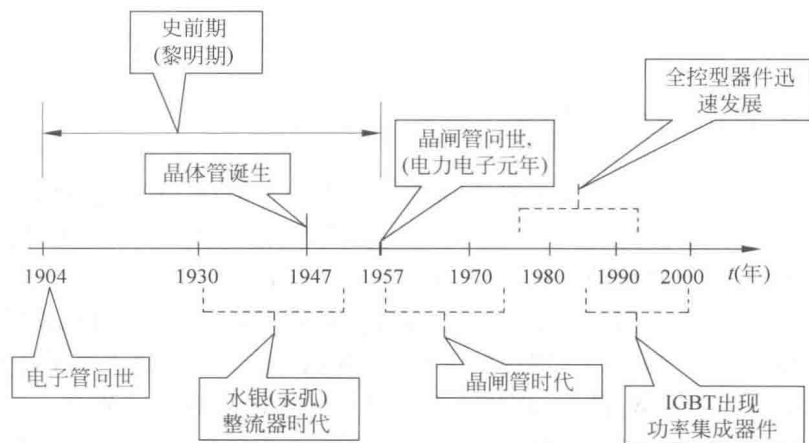


图 0-1 电力电子技术的发展历史

(1) 第一代电力电子器件

1957 年美国通用电气公司(GE)研制出第一个晶闸管(SCR),标志着电力电子技术的诞生。以电力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老式的汞弧整流器,取得了明显的节能效果,并奠定了现代电力电子技术的基础。目前,电力二极管已形成普通二极管、快恢复二极管和肖特基二极管三种主要类型。晶闸管诞生后,其结构的改进和工艺的改革,为新器件的不断出现提供了条件。由晶闸管及其派生器件构成的各种电力电子系统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,因而大大提高电能的利用率,同时也使工业噪声得到一定程度的控制。然而由于晶闸管是半控型(通过门极只能控制其开通而不能控制其关断),并且开关频率难有较大提高,这就使得它的应用范围受到较大的限制。但由于晶闸管价格低廉,在高电压和大功率的变流领域中仍然占有优势,其他器件还不易取代。

(2) 第二代电力电子器件

自 20 世纪 70 年代中期起,电力晶体管(GTR)、可关断晶闸管(GTO)、电力场效应晶体管(功率 MOSFET)等全控型器件(指通过控制极可以控制其导通与关断)相继问世,这些器件的开关速度普遍高于晶闸管,可用于开关频率较高的电路,为电力电子技术的应用开辟了广阔的前景。

20 世纪 80 年代后期,以绝缘栅双极晶体管(IGBT)、静电感应晶体管(SIT)、静电感应晶闸管(SITH)、MOS 控制晶闸管(MCT)和集成门极换流晶体管(IGCT)为代表的高频电力电子器件相继问世。它们集 MOSFET 管驱动功率小、开关速度快和 GTR(或 GTO)载流

能力大的优点于一身,在大功率、高频率的电力电子装置中应用越来越广。

一般将这类具有自关断能力的器件称为第二代电力电子器件。

(3) 第三代电力电子器件

进入 20 世纪 90 年代以后,为了提高电力电子装置的功率密度,使电力电子装置的结构紧凑、体积减少,常常把若干个电力电子器件及必要的辅助元件做成模块的形式,这给应用带来了很大的方便。后来,又把驱动、控制、保护电路和功率器件集成在一起,构成功率集成电路(PIC)。PIC 的应用更方便、更可靠。也就是说,电力电子器件的研究和开发已进入高频化、模块化、集成化和智能化时代。电力电子器件的高频化是今后电力电子技术创新的主导方向,而硬件结构的标准模块化是电力电子器件发展的必然趋势。

2. 电能变换技术

电力电子技术主要用于实现电能的转换和控制。不同负载对电源有着不同的要求,而从电网获得的交流电和蓄电池获得的直流电往往不能满足要求,这就需要进行电能的变换。电能变换有整流、逆变、斩波、调压、变压、变频等多种类型,它们是通过以电力电子器件组成的不同变流电路来实现的。

(1) 整流

将交流电变换为固定或可调的直流电,亦称为 AC/DC 变换。完成整流的电力电子装置叫整流器(Rectifier)。晶闸管组成的整流器可将不变的交流电压变换为大小可调的直流电压,即实现可控整流。晶闸管可控整流可以广泛应用于机床、轧钢、造纸、纺织、充电、电解、电镀等领域。

(2) 逆变

把直流电变换为频率固定或可调的交流电,亦称为 DC/AC 变换,它是整流的逆过程。完成逆变的电力电子装置叫逆变器(Inverter)。其中,把直流电能变换为 50Hz 的交流电反送交流电网称为有源逆变,它通常用于直流电机的可逆调速、绕线型异步电机的串级调速、高压直流输电和太阳能发电等方面。如果逆变器的交流侧直接接到负载,则称为无源逆变,输出可以是恒频或变频(此时变流装置叫变频器),如用于各种变频电源、中频感应加热电源和交流电机的变频调速等。

(3) 直流斩波

把固定的直流电变换为固定或可调的直流电,亦称为 DC/DC 变换,实现这一功能的电力电子装置叫斩波器(Chopper)或直流变换器,它主要用于直流电压变换,开关电源和电车、地铁、矿车、搬运车等直流电动机的牵引传动。

(4) 交流变换

把交流电能的参数(幅值、频率)加以变换,称为交流变换电路,也称为 AC/AC 变换。根据变换参数的不同,交流变换电路可以分为交流调压电路和交-交变频电路。交流调压电路是维持频率不变,仅改变输出电压的幅值,它广泛用于电炉温度控制、灯光调节、异步电机的软启动和调速等场合。交交变频电路也称直接变频电路或周波变换器(Cycloconverter),是不通过中间直流环节把电网频率的交流电直接变换成不同频率的交流电的变换电路,主要用于大功率电机调速系统。变流技术的不同类型见表 0-1。

表 0-1 变流技术的不同类型

输出 \ 输入	交流 (AC)	直流 (DC)
	整流	斩波
交流 (AC)	交流变换	逆变

上述变换功能通称为变流,故电力电子技术通常也成为变流技术。实际应用中,可将上述各种功能进行组合。

控制技术:分相控和斩控两种方式。斩控方式以其工作功率因数高、产生谐波容易控制等优点而成为现在电力电子研究和应用的主要方向。在介绍斩波、逆变、AC/AC 变换(交流/交流变换)时着重介绍 PWM 控制技术。同时也介绍软开关技术和矩阵变频技术等新兴斩控技术。

3. 电力电子技术的应用

1) 电力电子技术的重要作用

电力电子技术在国民经济中具有十分重要的地位,电力电子技术的重要作用体现在以下几个方面。

① 促进电能的最佳利用。电网供电的形式是固定的,而用电设备对电能形式的要求是多种多样的。为了合理高效地利用电能,通常在用电设备的前端对电能形式进行变换与处理。现在发达国家电能的 75%要经过电力电子变换或控制后使用,我国经过变换或控制后使用的电能目前仅占 30%,利用电力电子技术使用电能的发展余地还很大。

② 改造传统产业实现节能降耗。应用电力电子技术改造传统产业,具有明显的节能、节材、改善产品性能等效果。例如:风机、水泵用变频调速运行,则降速 10%节电可达约 30%,节能十分可观。又如:变压器的铁芯截面积与其供电频率成反比,因此采用高频逆变技术的电源装置的铁芯材料的使用比工频整流装置要少得多,如逆变式电焊机比工频交流和直流弧焊机节电 30%~40%,省材约 75%。

③ 发展新能源技术等高新产业。航天、激光、电动汽车、机器人、新能源(太阳能、风能、燃料电池)等领域都和电力电子技术有着密切关系。如:太阳能发电中须利用 DC/DC 变换装置将太阳能电池输出的电能充电给蓄电池,再用 DC/AC 变换装置将蓄电池储存的电能变换为交流电供用电设备使用或传输给电网。

2) 电力电子技术的应用

电力电子技术的应用领域相当广泛,遍及庞大的发电厂设备、小巧的家用电器等几乎所有电气工程领域,主要分为三个领域:电气传动、电力系统和开关电源。容量可达 1GW 至几瓦不等,工作频率也可由几赫兹至 100MHz。

(1) 一般工业

工业中大量应用各种交直流电动机。直流电动机有良好的调速性能,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,交流调速技术大量应用并占据主导地位。大至数千千瓦的各种轧钢机,下到几百瓦的数控机床的伺服电动机都广泛采用电力电

子交直流调速技术。一些对调速性能要求不高的大型鼓风机等近年来也采用了变频装置,以达到节能的目的。还有一些不调速的电动机为了避免启动时的电路冲击而采用了软启动装置,这种软启动装置也是电力电子装置。

电化学工业大量使用直流电源,电解铝、电解食盐水等都需要大容量整流电源。电镀装置也需要整流电源。

电力电子技术还大量用于冶金工业中的高频或中频感应加热电源、淬火电源等场合。

(2) 交通运输

电气化铁道中广泛采用电力电子技术。电力机车中的直流机车中采用整流装置,交流机车采用变频装置。直流斩波器也广泛用于铁道车辆。在未来的磁悬浮列车中,电力电子技术更是一项关键技术。除牵引电动机传动外,车辆中的各种辅助电源也都离不开电力电子技术。

电动汽车的电机靠电力电子装置进行电力变换和驱动控制,其蓄电池的充电也离不开电力电子装置。一台高级汽车中需要许多控制电机,它们也要靠变频器和斩波器驱动并控制。

飞机、船舶需要很多不同要求的电源,因此航空和航海都离不开电力电子技术。如果把电梯也算做交通运输工具,那么它也需要电力电子技术。以前的电梯大都采用直流调速系统,而近年来交流调速已成为主流。

(3) 电力系统

电力电子技术在电力系统有着非常广泛的应用。电力系统在通向现代化的进程中,电力电子技术是关键技术之一。可以毫不夸张地说,如果离开电力电子技术,电力系统的现代化就是不可想象的。

直流输电在长距离、大容量输电时有很大的优势,其送电端的整流阀盒、受电端的逆变阀都采用晶闸管变流装置。近年发展起来的柔性交流输电也是依靠电力电子装置才得以实现。

无功补偿和谐波抑制对电力系统有重要的意义。晶闸管控制电抗器(TCR)、晶闸管投切电容器(TSC)都是重要的无功补偿装置。近年来出现的静止无功发生器(SVG)、有源电力滤波器(APF)等新型电力电子装置具有更为优越的无功功率和谐波补偿的性能。在配电网系统,电力电子装置还可用于防止电网瞬时停电、瞬时电压跌落、闪变等,以进行电能质量控制,改善供电质量。

在变电所中,给操作系统提供可靠的交直流操作电源,给蓄电池充电等都需要电力电子装置。

(4) 电子装置用电源

各种电子装置一般都需要不同电压等级的直流电源供电。通信设备中的程控交换机所用的直流电源采用全控型器件的高频开关电源。大型计算机所需的工作电源、微型计算机内部的电源也都采用高频开关电源。在各种电子装置中,以前大量采用线性稳压电源供电,由于开关电源体积小、质量轻、效率高,现在已逐步取代了线性电源。因为各种信息技术装置都需要电力电子装置提供电源,所以可以说信息电子技术离不开电力电子技术。不间断电源(UPS)在现代社会中的作用越来越重要,用量也越来越大。目前,UPS在电力电子产品中已占有相当大的份额。

(5) 家用电器

种类繁多的家用电器,小至一台调光灯具、高频荧光灯具,大至通风取暖设备、微波炉以及众多电动机驱动设备都离不开电力电子技术。电力电子技术广泛用于家用电器,使得该技术和我们的生活变得十分贴近。

总之,电力电子技术的应用范围十分广泛。从人类对宇宙和大自然的探索,到国民经济的各个领域,再到我们的衣食住行,到处都能感受到电力电子技术的存在和巨大魅力。

4. 教材内容与教学建议

“电力电子技术”课程的知识体系包含电力电子器件、电力电子电路、电力电子控制技术等部分,这几部分相互支撑,相互配合,构成一个整体。其中,电力电子器件是基础,基本单元拓扑电路是载体,控制策略是电力电子装置的灵魂,工程应用是目的。器件部分主要讲授不可控器件、半控器件、全控器件、新型电力电子器件的结构、工作原理、特性参数、使用方法以及驱动和保护等内容,重点是掌握器件的外部特性、极限参数、导通关断的条件和使用注意事项,具有根据不同应用正确选择开关器件的能力。

“电力电子技术”课程的主体部分是“四大”基本变换电路,即整流(AC/DC)电路、逆变(DC/AC)电路、直流变流(DC/DC)电路和交流/交流(AC/AC)变流电路,这部分的教学目的要求学生做到“四会”——会分析、会画、会计算、会选。会分析,即会分析电路的工作原理以及不同负载对电路工作特性的影响;会画,即会画出变流电路的主电路拓扑及其工作波形;会计算,即会计算一些重要的电气量,如整流电路输出电压的平均值、功率开关器件承受的电压大小等;会选,即会选择合适的功率开关器件和主电路元件参数,主要是功率开关器件的电压定额和电流定额。

控制部分是“电力电子技术”课程的拓展部分,除要求掌握电力电子器件的驱动控制外,着重要求学生掌握 SPWM 逆变器及其控制技术和开关电源中的软开关技术。

本教材以实际典型产品为载体,将电力电子技术必要的基本理论知识(电力电子器件、变流电路拓扑及其控制技术)、技能点以及应用实例分别融入各教学项目,每个项目按照“器件—电路—控制—应用”为主线展开介绍。主要设计了调光灯、低电压大电流整流电镀电源、电动自行车充电器、电磁炉、太阳能光伏发电并网逆变电路、变频器、软启动器七个教学项目。本教材补充了电力电子技术在节能、环保方面的应用案例。每一项目都反映了各种与电力电子相关技术的工作岗位需要的知识和技能要求。

项目一为调光灯电路。通过引入分析调光灯电路,主要讲述了晶闸管的工作原理、特性及由其组成的单相半波可控整流电路、单相桥式整流电路、单结晶体管触发电路工作原理。

项目二为低电压大电流整流电镀电源电路。通过引入分析低电压大电流整流电镀电源电路,主要讲述了三相半波整流电路、三相全桥整流电路的工作原理,并对负载以及晶闸管的电压波形进行分析;根据整流电路形式及元件参数进行输出电压、电流等参数的计算和元器件选择;熟悉可控整流电路的保护方法。

项目三为电动自行车充电器电路。通过引入分析电动自行车充电器电路,主要讲述了 DC/DC 变换电路(Buck 电路、Boost 电路、Boost-Buck 电路、正激式电路、反激式电路、半桥电路)的结构、工作原理以及设计注意事项。

项目四为电磁炉电路。通过引入分析电磁炉电路,主要讲述了中高频感应加热装置原

理,IGBT 的工作原理、驱动保护电路及外部特性、极限参数,还介绍单相串/并联谐振逆变电路的工作原理。

项目五为太阳能光伏发电并网逆变电路。通过引入分析太阳能光伏发电并网逆变电路,主要讲述了光伏电池的工作原理、光伏发电的最大功率点跟踪(MPPT)技术、光伏并网逆变器、孤岛效应及其反孤岛技术、太阳能光伏并网逆变器的应用实例。

项目六为变频器。主要讲述变频器的组成、工作原理、变频器的应用、PWM 调制型逆变电路。

项目七为软启动器。通过引入分析晶闸管电机软启动器电路,主要讲述了交流开关、单相交流调压电路、三相交流调压电路、交流过零调功电路和斩控电路。

在每个项目的教学中可以遵循以下思路:电能变换目标—基本电路构成—器件工作原理—电路的控制方法—电路工作模态—电路工作波形—电路的工作特性参数计算,并注意以应用为目的先定性分析,再定量计算。按照上述思路进行授课,不仅可以使学生对课程内容有较好的把握,而且可以提高学生分析问题、解决问题的能力 and 专业素养。

项目一 以调光灯为典型应用的单相整流电路

【项目聚焦】 本项目通过对相控调光灯的主电路和控制电路进行了介绍和分析,讲解了晶闸管、单相半波可控整流电路、双向晶闸管、单结晶体管触发电路以及单相全控桥式整流电路的工作原理,在扩展部分讲解了带电容滤波的单相不可控整流电路的工作原理。

【知识目标】

【器件】 了解普通晶闸管、双向晶闸管和单结晶体管器件的工作原理,掌握器件的外部特性、极限参数和使用注意事项。

【电路】 ① 掌握单相半波整流电路和单结晶体管触发电路的工作原理;

② 掌握单相全控桥式整流电路的工作原理;

③ 会分析调光灯的工作原理。

【控制】 ① 掌握相控调压控制的原理;

② 理解触发电路与主电路电压同步的基本概念。

【技能目标】

① 学会调光灯电路的安装与调试技能;

② 能识别和选用普通晶闸管、双向晶闸管和单结晶体管等器件;

③ 会画出单相半波整流电路、单相全控桥式整流电路的电路拓扑和输出直流电压的波形。

【拓展部分】

了解带电容滤波的单相不可控整流电路的工作原理。

【学时建议】 16 学时。

【任务导入与项目分析】

在日常生活中应用非常广泛的调光灯,其工作原理是怎样的?它的灯光是如何进行调节的?为实现调光,需要改变灯泡两端电压的大小,从而改变流过灯泡的电流,而输出电压的改变最简单的方法是使用变阻器直接分压或调压器调压,但是这两种方法一般不被采用,有没有更好的调压方法?

目前使用最为广泛的调光方法是晶闸管相控调光法,即通过控制晶闸管的导通角,改变输出电压的大小,从而实现调光。这种调光灯电路具有体积小、价格合理和调光功率控制范

围宽的优点。图 1-1(a)是常见的调光台灯,图 1-1(b)为晶闸管相控调光灯原理图。调光灯是一种最简单的电力电子装置,学习和掌握其工作原理可以为学习其他电力电子电路打下基础。

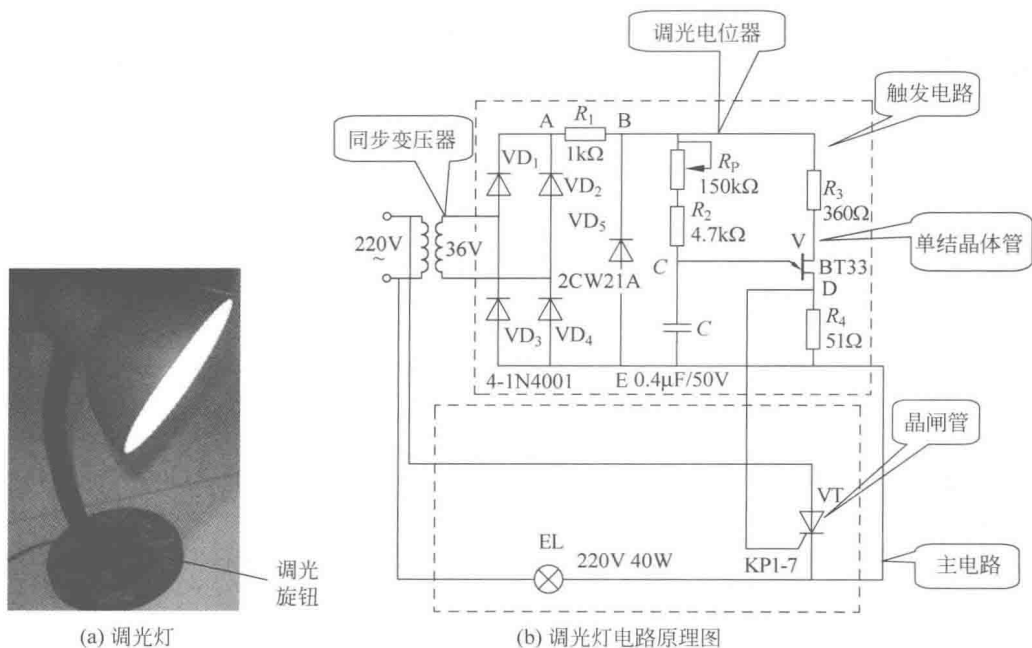


图 1-1 调光灯及其电路原理图

调光灯电路中常用的电力电子开关器件有普通晶闸管、双向晶闸管、单结晶体管,涉及的电路拓扑有单相半波整流电路、单相全控桥式电路。由图 1-1 可以看出,要完成这个项目的设计和制作,首先要完成以下任务:

- ◇ 认识单结晶体管;
- ◇ 认识晶闸管;
- ◇ 掌握单相半波整流电路的工作原理;
- ◇ 掌握单相全控桥式整流电路的工作原理;
- ◇ 认识双向晶闸管;
- ◇ 理解触发电路与主电路电压同步的概念。

任务一 认识晶闸管

一、初识晶闸管

晶闸管(Thyristor)是硅晶体闸流管的简称,也称为硅可控整流器(Silicon Controlled Rectifier, SCR),简称可控硅。在电力电子开关器件中,晶闸管能承受的电压和电流容量最高,在大容量的场合具有重要地位。晶闸管是一种半控型的电力电子开关器件(半控型:通过控制信号可以控制其导通而不能控制其关断)。

二、晶闸管的外形及结构

晶闸管是具有三个 PN 结的四层三端半导体元件($P_1N_1P_2N_2$),由最外的 P_1 层和 N_2 层引出两个电极,分别为阳极 A 和阴极 K,由中间 P_2 层引出的电极是门极 G(也称控制极)。晶闸管的内部结构如图 1-2(a)所示,其等效电路、电气图形符号分别如图 1-2(b)和图 1-2(c)所示。

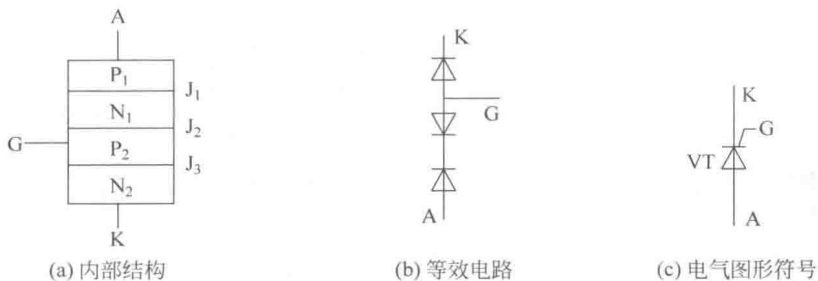


图 1-2 晶闸管内部结构、等效电路及电气符号

常用的晶闸管有塑封式、螺栓式和平板式三种外形,如图 1-3 所示。晶闸管在工作过程中会因损耗而发热,因此必须安装散热器。螺栓式晶闸管是靠阳极(螺栓)拧紧在铝制散热器上,可自然冷却;平板式晶闸管由两个相互绝缘的散热器夹紧晶闸管,靠冷风冷却。额定电流大于 200A 的晶闸管都采用平板式外形结构。

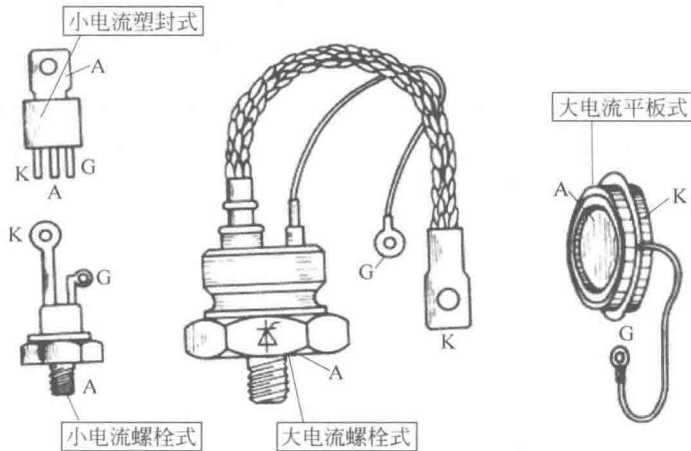


图 1-3 常见晶闸管的外形结构

三、晶闸管的工作原理

1. 晶闸管的导通、关断实验

为了说明晶闸管的工作原理,先做一组小实验(含 9 个小实验),实验电路如图 1-4 所示。阳极电源 E_a 、可调电位器 R_p 、白炽灯(负载)串联接到晶闸管的阳极 A 与阴极 K,组成晶闸管的主电路。流过晶闸管阳极的电流称阳极电流 I_a ,晶闸管阳极和阴极两端的电压称为阳极电压 U_a 。门极电源 E_g 连接晶闸管的门极 G 与阴极 K,组成的控制电路亦称触发电