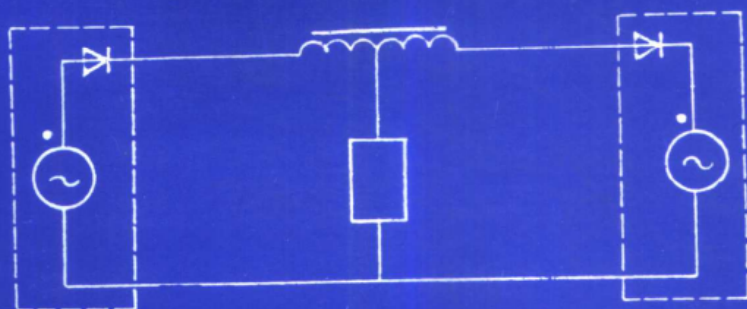


“九五”国家级重点教材

电力电子技术

(修订版)

丁道宏 主编



航空工业出版社

“九五”国家级重点教材

电力电子技术

(修订版)

丁道宏 主编

内 容 提 要

本书是1992年6月第1版的修订版,在介绍晶闸管基本特性的基础上,着重讲解晶闸管在整流逆变中的应用,介绍典型电路,分析线路原理和线路参数计算方法。结合讲解无源逆变和交流调压,介绍了可关断晶闸管和双向晶闸管的基本特性和应用。

近年来发展很快且已应用广泛的功率晶体管(GTR)和场控器件——功率场效应管(Power MOSFET)、绝缘栅功率晶体管(IGBT),对于这些全控型器件的工作原理和运行特性,本书作了比较详细的分析讲解。对于MOS控制晶闸管也作了扼要介绍。结合在电源中的应用特点,介绍了功率晶体管(GTR)和场控器件所组成的电路,分析电路的基本特性和功率开关器件应用中的共同问题,为线路设计打下基础。对于电路的新技术发展,如谐波的抵消与抑制、软开关技术等也作了基础性的分析讲解。

本书还系统地分析了功率电子线路中,脉冲变压器和电感的几种工作状态,介绍了设计计算方法。

本书是电气技术(电气工程及其自动化)专业本科用教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

本书已列入“九五”国家级重点教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力电子技术/丁道宏主编. —2版(修订本). —北京:
航空工业出版社,1999.8
ISBN 7-80134-449-9
I. 电… II. 丁… III. 晶闸管-高等学校-教材 IV. TN34
中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 06008 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

1999年8月修订第2版

1999年8月第2次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 20.75 字数: 514千字

印数: 3551—7550

定价: 28.00元

前 言

本书是1992年6月由航空工业出版社出版的《电力电子技术》的修订版,本书第1版曾被评为中国航空工业总公司优秀教材一等奖。原书的编写大纲是根据原航空航天工业部航空高等学校第三教材委员会所提出的该课程的教学基本要求拟定的。后来在全国电气技术专业教学指导委员会召开的“电力电子技术”课程教材编写及研讨会上,基本肯定了编写大纲,并作了一些修改和补充。该书出版后,被全国电气技术专业教学指导委员会推荐为《电气技术》专业用教材。

1992年6月到今天,这几年来,电力电子技术又有了新的长足发展,深感原书的内容如不修订,将无法满足飞跃发展的现实要求。

修订版在内容取舍方面,对于占原书一半篇幅的晶闸管部分,作了精减,只保留其最基础部分,如晶闸管、可控整流、有源逆变、交-交变频。“交流调压”部分则去掉了非基本部分;“无源逆变”则只重点保留晶闸管单相并联逆变器的电路分析,目的在于讲解清楚晶闸管工作于直流电源电路时,强迫换流的一些工作特点。这主要考虑到,应用面广量大的中小功率逆变器,现在主要由全控型功率晶体管器件来完成。晶闸管在无源逆变中的应用,今后主要在大功率方面,而这方面的内容,在“电气技术”(电气工程及其自动化)专业的本科教材中,不应是必需的基本部分。对于晶闸管的触发部分,重点围绕KC04集成触发器讲清原理及应用。

晶闸管部分精选内容的结果,空出的篇幅用来加强全控型器件及其应用。

双极型功率晶体管(GTR)部分,基本上仍全保留。由于考虑到绝缘栅功率晶体管(IGBT)或其它新型功率器件取代GTR仍需时日,GTR的一些优良性能,其它器件仍不及,特别表现在航空上的应用。

场控器件IGBT和功率MOSFET则重点作为加强对象,包括器件的结构原理、工作特性以及器件的驱动电路。对于MOS控制晶闸管(MCT)也作了扼要介绍。场控器件的应用重点在加强高频软开关功率变换器的讲解,如准谐振功率变换器、软开关PWM电路原理及谐振直流环节软开关电路拓扑的基本构成原理等内容,以适应现代高频功率变换技术的发展。

对于脉冲调制控制电路,则增加了一些新型电流控制芯片的讲解;对于磁性元件,则增加了一些新型磁性材料的介绍。

考虑到电力电子技术的应用实例已到处可见,“应用举例”一章全部删除。

本书的内容取材,目的是使学生在“电力电子技术”有一定宽度的要求下,能打下较扎实的基础。配合理论教学,必须设置实验课,以使获得理论能够联系实际的、全面的电力电子技术的基础能力。

本书主要作为高等工科院校电气技术(电气工程及其自动化)专业的教学用书,适用于50

~70 学时。带“*”号章节,可由授课者灵活选用。

本书由南京航空航天大学丁道宏教授主编。参加编写的有:第一、二章由北京航空航天大学孙明迪教授编写,第六、七章由重庆大学侯振程教授编写,第八、九、十、十四章由南京航空航天大学赵修科教授编写,第十一、十二、十三章由南京航空航天大学沈冬珍教授编写,其余各章由丁道宏教授编写。本书由清华大学蔡宣三教授主审,并提出了不少很宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

主 编

1998 年 5 月

于南京航空航天大学

目 录

绪论	(1)
第一章 晶闸管	(6)
第一节 晶闸管的结构和工作原理	(6)
第二节 晶闸管的特性和主要参数	(9)
习题	(17)
第二章 可控整流电路	(18)
第一节 单相桥式可控整流电路	(18)
第二节 三相半波可控整流电路	(29)
第三节 三相桥式全控整流电路	(36)
* 第四节 整流电压的谐波分析和脉动系数	(42)
第五节 带平衡电抗器的双反星形可控整流电路	(45)
第六节 十二相整流电路	(50)
第七节 电源变压器漏抗对可控整流电路的影响	(51)
第八节 可控整流电路供电的电动机机械特性	(54)
习题	(60)
第三章 有源逆变	(63)
第一节 电能的流转	(63)
第二节 三相半波逆变电路	(64)
第三节 三相桥式逆变电路	(68)
第四节 逆变失败与控制角的限制	(70)
第五节 逆变工作状态时电机的机械特性	(72)
第六节 有源逆变的应用举例	(75)
习题	(79)
第四章 晶闸管的触发电路	(80)
第一节 对触发电路的基本要求	(80)
* 第二节 阻容移相触发电路	(80)
第三节 同步信号为锯齿波的晶闸管触发电路	(81)
第四节 集成化晶闸管移相触发电路	(86)
第五节 触发脉冲限位控制	(92)
第六节 触发电路同步电源电压的选择	(94)
第七节 防止误触发的措施	(95)
习题	(95)
* 第五章 交流-交流变频电路	(96)
第一节 单相-单相变频电路	(96)

第二节	三相-单相变频电路	(101)
第三节	变频器的有环流工作状态	(103)
第四节	触发脉冲的重叠控制	(105)
	习题	(106)
* 第六章	交流调压	(107)
第一节	概述	(107)
第二节	开关通断控制	(108)
第三节	单相相控调压	(109)
第四节	双向晶闸管及其应用	(112)
第五节	三相交流调压	(117)
	习题	(119)
* 第七章	无源逆变器	(121)
第一节	逆变器的工作原理	(121)
第二节	可关断晶闸管及其组成的单相逆变器	(122)
第三节	晶闸管单相并联逆变器	(127)
第四节	晶闸管三相桥式逆变器	(132)
	习题	(134)
第八章	功率晶体管和二极管	(135)
第一节	功率二极管	(135)
第二节	功率晶体管	(140)
	习题	(169)
第九章	晶体管功率电路	(171)
第一节	单晶体管功率电路	(171)
第二节	多晶体管功率电路	(194)
第三节	谐振变换器及软开关技术	(201)
第四节	输出波形的控制和电压调节	(215)
	习题	(225)
第十章	功率晶体管的缓冲电路	(227)
第一节	概述	(227)
第二节	电感电流不连续时功率管的负载线和缓冲电路	(227)
第三节	电感电流连续时晶体管负载线和缓冲电路	(230)
第四节	无损缓冲电路	(235)
	习题	(239)
第十一章	脉宽调制控制电路	(240)
第一节	概述	(240)
第二节	分立元件 PWM 控制电路	(241)
第三节	集成 PWM 控制器的基本组成和工作原理	(243)
* 第四节	SG1525/SG1527 系列集成 PWM 控制器	(245)
* 第五节	UC1840 可编程 PWM 控制器	(249)

第六节	电流控制脉宽调制技术·····	(252)
习题·····		(265)
第十二章	驱动电路·····	(267)
第一节	对驱动电路的要求·····	(267)
第二节	驱动电路的隔离技术·····	(268)
第三节	恒流驱动电路·····	(270)
第四节	比例驱动电路·····	(274)
第五节	场控器件的驱动电路·····	(280)
习题·····		(283)
第十三章	功率变换器中的磁性元件设计·····	(285)
第一节	铁心的磁特性及基本的磁物理量·····	(285)
第二节	铁心的工作状态·····	(288)
第三节	几种常用铁心材料的性能及选用·····	(292)
第四节	脉冲功率变压器及电感的设计·····	(299)
习题·····		(312)
* 第十四章	功率半导体器件的热设计·····	(314)
第一节	半导体器件最高允许结温与结温减额·····	(314)
第二节	热路与温度计算·····	(314)
第三节	外部热阻确定方法和散热器设计·····	(317)
第四节	瞬态热阻·····	(319)
习题·····		(320)
参考文献·····		(322)

绪 论

一、电力电子学科的形成与发展

今天,电力电子技术已发展成为一门新兴学科。电力电子技术是一种电力变换技术,它应用功率半导体器件,对电能进行变换——包括电压、电流、频率和波形等方面的变换,以达到使电能更好地符合各种不同用电设备的要求。电能经过电力电子技术的处理又能获得良好节能效果,因此电力电子技术,也是最佳电能使用技术。目前,发达国家的电能已有 80% 经过电力电子技术处理,节能效果达 15%~40%,预计到 2000 年经过处理再应用的电能将达到 95%。

早在 20 世纪三四十年代,人们是应用电机组、汞弧整流器、闸流管、电抗器、接触器等对电能进行变换和控制,这样的变流装置存在着明显缺点:如功率放大倍数低,响应慢,体积大,功耗大,效率低和有噪声等。1958 年第一个晶闸管的问世带来了电力电子学的革命,使之走出了雏形期。随后 20 年内它的额定值及特性的提高和改进,开创了传统的“晶闸管及其应用”的电力电子技术发展的第一阶段。

晶闸管技术发展到现在已能稳定生产 $\phi 100\text{mm}$ 、8000V、4000A 的晶闸管。今后的发展仍然是高电压和大电流。晶闸管技术已经发展得相当成熟,基本上完成了研究开发工作,最高科研水平为 12000V/1000A。在此期间,晶闸管的派生器件如:光控晶闸管、逆导晶闸管、双向晶闸管、可关断晶闸管等,也有很大发展。日本目前主要发展光触发晶闸管,现在已经稳定生产 4000A/8000V 的光触发晶闸管。由于晶闸管没有加负门极信号能使其关断的能力,必须附加换流电路而使装置结构复杂,促使人们研究开发具有可控关断能力的新型器件。

由于可控关断电力电子器件的迅速发展,已将晶闸管的应用领域大大压缩。但是由于它在直流输电、无功补偿、大功率直流电源(化工电解、直流电弧炉等)、超大功率和高压变频调速方面仍有广阔的应用天地,所以在今后若干年内,晶闸管仍将继续发展,只是发展速度缓慢些。据报道,美国 1993~1996 年电力电子器件平均年增长率为 8%,而晶闸管是 1.5%。在不久的将来,晶闸管的水平将达到 $6\text{in}(1\text{in}=25.4\text{mm})$ 、10000V、6000A。我国是发展中国家,晶闸管的应用前景更为广泛,目前研究和生产仍处在发展阶段,我国在相当一段时间内,特别在大功率领域,晶闸管仍是大有作为的电力电子器件。

70 年代中期,自身兼有开通和关断功能的全控型器件,其家族包括:可关断晶闸管(GTO)、大功率晶体管(GTR)、功率场效应晶体管(Power MOSFET)、绝缘栅功率晶体管(IGBT)、MOS 控制晶闸管(MCT)等的发展与广泛应用,使电力电子技术进入了“全控型器件”的第二阶段。

目前,器件发展的中心是开发高速器件,一般来说,半导体器件的电荷存储量或者说平均载流子密度越大,正向导通压降就越低,导通损耗越低,但开关损耗却越大。因为建立和驱散这些载流子所需时间较长。因而低导通压降和高开关速度的器件,同时达到两方面性能的高水平是矛盾的,是有难度的。

过去十多年来,GTO 技术日臻完善。据报道,国外 GTO 的生产水平,最高水平为 6in 芯片、6000A/6000V,国外某公司已生产出 8000A/8000V 的 GTO。这样高的开关功率,它可使功率高达兆瓦级的逆变器设计简化,工作频率提高,有趋势取代需要强迫换流的晶闸管,使变换器效率提高,体积减小;但受工作机理限制,开关时间仍需要数十微秒(约 25 μ s),其极限使用频率限制在几十千赫。

大功率晶体管 也称“巨型晶体管”(Giant Transistor,GTR),作为商品的最高功率水平为 1000A/1200V(达林顿模块);单个功率开关管则为 600A/600V。GTR 的工作频率远比晶闸管高,达林顿功率晶体管可工作在 10kHz 以下,单个功率开关管的工作频率可高于 20kHz,开关损耗小。又由于其低的饱和压降(200A 的功率开关管低于 1V),因此目前仍在数百千瓦以下的中小变流装置以及在航空上得到广泛应用。在使用中需精心设计驱动电路及缓冲保护电路,避免二次击穿,才能使其优良特性得到发挥。

80 年代 MOS 型绝缘栅双极型晶体管(IGBT)和功率场效应晶体管(Power MOSFET)以及功率集成电路(PIC)和智能模块(IPM)的相继出现,使电力电子进入全新的“高频电力电子”的第三阶段。

现代电力半导体器件就是以 MOS 结构为基础的功率 MOSFET、IGBT、MCT、MOS 控制整流管(MCD)以及 PIC 和 IPM。这些器件的共同特点是开关频率高、输入阻抗高、用电压控制,因此控制简单,功率小,可采用集成驱动电路,简化了控制电路,缩小了装置的体积重量,提高了系统的效率和可靠性。

功率 MOSFET 它在 70 年代中期已经出现,直到 80 年代初获得商业应用,它标志着电力电子技术高频化过程中的一次重要进展。目前已达到 200A、60V、2MHz 和 50A、500V、100kHz 的水平。随着器件阻断电压的提高,必须加宽器件漂移区以承受外加的高电压,但因此使漂移区内阻迅速增大,从而使器件的通态电压降迅速增高,通态损耗增大。因此这种器件,目前只适用于中小功率低电压领域。

IGBT 是 MOS 输入控制、双极型结构输出的复合型功率半导体器件。IGBT 已经过三代的更新,目前已进入第四代,下面用表 0-1 列出各代 IGBT 的典型特性参数。

表 0-1 各代 IGBT 的典型特性参数

第几代	开始年代	电流/电压 I_C/V_{CC} (A/V)	通态电压降 V_{TM} (V)	频 率 (kHz)	开关时间 (μ s)
1	1985	25/1000	3.0~3.5	5	1.0
2	1991	50/1600	2.5~3.0	20	0.5
3	1994	600/1800	1.5~2.2	50	0.2

有趋势表明,静态和动态参数明显优于 GTO 的 IGBT,将使电流达 3kA,电压达 3.5kV 的 GTO,将逐步被 IGBT 所替代;功率达 1MVA 的 GTR 和 GTO 逆变器,将被 IGBT 逆变器所替代。

MOS 控制晶闸管 它充分利用了晶闸管良好通态电压特性的优点,利用 MOS 来控制晶闸管的开通和关断,具有良好的动态特性和非常低的通态电压降。世界上曾有十几家公司在开展 MCT 的研究,其最高击穿电压已达到 5kV,有应用 4.5kV 的 MCT 制成无缓冲电路的电感性负载逆变器的报道。MCT 由于工艺技术的困难和价格的昂贵以及开关速度还稍慢等缺点,从 90 年代初曾广泛开展的 MOS 控制晶闸管的研究工作,未能达到预期的目标。当前仅有美

国 Harris 公司生产的 MCT 商品,其额定电流 50A(脉冲电流 500A),额定电压 1000V,通态电压降 1.1V,关断时间 $1\mu\text{s}$,工作温度 $150\sim 200^{\circ}\text{C}$,并已用于宇航领域。

功率集成电路(PIC) 将功率开关与控制逻辑、监测与保护集成在同一芯片的思想,产生了新一代的功率集成电路(Power IC 或 Smart Power)。IPM 则是单指应用 IGBT 为功率开关的智能化模块,它是将 IGBT 芯片、驱动电路、保护电路等封装在一个模块内的新型电力电子器件。近年来,PIC 和 IPM 的发展也特别迅速,PIC1989 年的产值为 7 亿美元(增长率为 27%),到 1994 年为 21 亿美元(增长率为 29%)。预计 1999 年将达到 47 亿美元(增长率为 32%)。日前,日用电器、汽车电子、开关电源、电机控制以及手提电器等领域已广泛采用 PIC。

以开关方式工作的电力半导体器件是现代电力电子技术的基础与核心。器件特性的每一步新发展都带动变换电路技术的相应突破。70 年代后,各种高速、全控型开关器件的先后问世,使许多早期的变流器拓扑再次焕发活力,也使新的性能更高的电路拓扑以及以往难以实现的控制方式得以实现。由于有性能优良的电力半导体开关器件,性能大为改善的磁性和绝缘材料,计算机超大规模集成电路技术、频率高达兆赫级的电能处理方法,新型电路拓扑结构及分析方法等方面的不断突破,这一切使今天的电力电子技术具有全新面貌。随之而来的是应用领域日益广泛,对国民经济产生的效益日益显著,令人瞩目。

二、电力电子技术的基本特点及应用

电力电子技术的基本特点之一是能以小信号输入控制很大的功率输出,放大倍数极大,这就是电力电子设备成为强、弱电之间接口的基础。微电子和计算机技术的新成就,可以通过这一接口移植到传统工业产品,可以促使传统产品的更新换代。当今机电产品技术上的突破主要出路在于电子化。电力电子器件的另一基本特点是工作于开关状态,正向压降低而反向漏电流小,从而在理论上保证了各类电力电子设备所共有的节能性能。我国缺电严重,但另一方面却用电严重浪费,矛盾十分尖锐。电力电子技术的应用正是解决这一矛盾的有力措施。国家科委已将电力电子技术列为我国重点发展的高技术领域之一。

应用电力电子技术构成的变流装置,按其功能可分为如下几种类型:

可控整流器 把交流电压变换成固定或可调的直流电压;

逆变器 把直流电变换成频率固定或可调的交流电;

交流调压器 把固定或变化的交流电压变换成可调或固定的交流电压;

斩波器 把固定或变化的直流电压变换成可调或恒定的直流电压。

电力电子技术应用非常广泛,国防军事、工业交通、农业商业和文体医药等以至家用电器无不渗透着电力电子技术的新成就。下面概括举例说明。

1. 电机的调速技术

过去的研究仅限于直流电机的控制与调速,与其相配套的是晶闸管可控整流。由于全控功率器件的发展,推动了交流电动机变频调速技术的发展。交流电动机——异步机或同步机采用变频调速,带来巨大的节能效益。

交流电动机的拖动负荷用电,在世界各国的总用电中,都占 1/2 以上,在我国也不例外。在各行各业中,风机、水泵多用异步电动机来拖动;其用电量在我国占工业用电的 50% 以上,全

国用电量的 31%。

控制风量或水流量,过去是靠控制风门或节流阀的转角,而电机的转速是不变的。由于风门或节流阀转角的减小,却增大了流体的阻力,因而功率消耗变化甚小,结果造成在小风量或小水流时电能的浪费。

由于全控器件的发展,采用脉宽调制(PWM)技术,可以很方便地获得“VVVf”(变压变频)电源,维持 $V/f = \text{常数}$ 供电给交流异步机,就可以获得与直流电机相似的良好调速特性。用电效率明显增大,使节电达到 30% 以上。我国所拥有的风机、水泵,全面采用变频调速后,每年节电将达到百亿度电的数量级。

家用电器的空调,新近推出采用变频调速技术,可节电 30% 以上,其原理是一样的。

先进的三相变频调速控制器,全部器件包括功率半导体器件等,采用表面贴装技术,功率达 10kVA 而只有信用卡的大小。这给变频调速在各个领域的应用提供了方便。

变频调速技术的发展,一是功率容量的增大;二是性能的不断提。由于数字控制的引入,可以使电机具有我们所要求的各种拖动特性,如电梯、吊车、自动门等所要求的 S 形加减速特性;还可以使电机转速或旋转位置达到很高的精度,可以满足一些场合如化纤或造纸行业的特殊要求。

2. 照明

照明用电,又是一个用电大户。美国照明用电占总发电量的 24%,我国则只占 12%。

白炽灯由于发光效率低、热损耗大而广泛采用了日光灯。但是日光灯必须要有扼流圈(电感),起辉后,全部电流要流过扼流圈,无功电流较大,不能达到有效节能。近年来,电子镇流器的出现,较好地解决了这个问题。电子镇流器就是一个 AC-DC-AC 变换器。如用于 20~40W 的日光灯,其体积要比相应功率的扼流圈要小,可以减少无功电流和有功损耗。据美国统计,每灯每年可节电 30~70 美元,可见其节能效益。

3. 通信用高频开关电源

这是一种 DC/DC 高频开关电源,自然也适用于通信以外的其它领域。通信领域用的高频开关电源具有代表性,这里以其为例来作介绍。

近年来,通信事业的发展极大地推动了通信用电源的发展。1992 年,全国邮电部门全年用电达到 25 亿度(1 度 = $1\text{kW} \cdot \text{h}$)。到了 1995 年底,全国电话交换机总容量是 1992 年的 4.5 倍,用电量也成倍增长。可见邮电部门一年的耗电是很可观的。

通信电源有一次电源和二次电源。

一次电源是将电网市电变换成标称值为 48V 的直流电。传统采用可控硅整流器,这比起历史上曾采用电阻箱改变电压的方法,是一个“飞跃的进步”,效率显著提高了。缺点是比起主机(用电负荷)来说,体积庞大、笨重,热损耗仍较大,输出电压纹波较大,对电网有污染。

新型的通信用一次电源,是将市电直接整流,然后经过高频开关功率变换,再经过整流、滤波,最后得到 48V 的直流电源。这里功率 MOSFET 管的广泛应用,开关工作频率广泛采用 100kHz。与传统的一次电源相比,其体积、重量大大减小,效率显著提高。国内已先后推出 48V/20A、48V/30A、48V/50A、48V/100A、48V/200A 等系列产品,以满足不同容量的需求。

二次电源是电信设备内部集成电路所需用的电源,因而要求体积小,规格齐全,有 $\pm 5\text{V}$ 、

±12V,等等。将一次电源(48V),经过DC-DC高频功率变换,获得不同规格的直流电压输出,即是二次电源。开关工作频率在几十kHz或100kHz以上,已有500kHz的商品,功率密度达到5~20W/in³。开关频率的提高,为了减小开关损耗,因而又推动了“软开关”技术的研究。

4. 高频逆变整流焊机电源

随着国民经济高速发展,弧焊电源需求量迅速增加。已由国务院八个部委联合发文在1996年强制淘汰AX系列旋转直流电机供电的弧焊机,而以节能、节材效果明显的ZX5系列可控硅整流式直流弧焊机所取代。然而与此同时,国外在高频逆变整流焊机的研制方面,取得了实质性进展,以功率MOSFET和IGBT为主开关元件的逆变焊机已占主流。对于我国,面对的形势是在淘汰了旋转直流弧焊机之后,如何赶超国际先进水平问题。逆变焊机电源的工作原理模式与高频开关通信电源是一样的,焊机电源是低压大电流输出。由于采用高频(20kHz以上)逆变,体积重量有明显减小,因而便于携带,方便地适用于各种场合,如高空作业。

5. 电源电网净化技术

近20年来,随着电弧炉、电子变流器等非线性用电设备逐年增多,电网波形畸变日趋严重,它的高次谐波、低功率因数等不仅影响邻近其它用电设备的工作,而且也使输电线上损耗增加。为此,国际上已制定了与此相关的标准,如IEC555-2。它对用电装置的输入功率因数和输入电流谐波含量都作了具体限制。目前,如何改善开关电源的输入功率因数也是通信电源的研究热点。应用电力电子技术,对于交流电网单相输入的中小功率开关电源输入功率因数校正技术,现在已经比较成熟,可以达到不低于0.99。三相交流电网输入功率因数校正技术,目前仍是各国关注和研究的热点。

对于大功率三相交流电网输入的非线性用电设备,仍难于避免对电网的污染。随着电力电子技术的发展,目前认为比较有效的办法是采用一套可控的无功电流源向电网注入一个畸变电流,用来抵消非线性负载所产生的谐波。这种电网波形畸变的有源补偿系统已被公认是治理谐波的最有前途的方法。

电力电子技术还应用于不停电电源(UPS)、高压直流输电等,应用极为广泛。可以肯定,大力推广电力电子技术,具有广泛的现实意义和深远的潜在的巨大的经济和社会意义。

三、教学要求

本课程是电气技术(电气工程及其自动化)专业的一门专业基础课程。内容包含器件、电路、应用三个方面,但应以电路为主,讲解器件和应用目的是为了应用器件组成电路,故应注意掌握器件外部特性及极限额定参数。本课程的主要篇幅在于研究不同电力半导体器件所构成的各种典型功率变换电路。学生应掌握功率变换主电路的构成和工作原理、不同负载对电路工作特性的影响以及主电路的元件参数计算与选择。学生应熟悉、了解各种典型触发、控制、驱动以及必要的辅助电路的工作原理和特点。在组成各种功率电路时,脉冲变压器和电感常常必不可少,并且是重要的组成部分。为了建立完整的概念和掌握设计方法,本书专门用一章系统分析了铁心不同的工作状态、材料的选用和参数的设计计算。学生应能运用这些知识进行设计和计算工作。

第一章 晶闸管

晶体闸流管简称晶闸管。电力电子技术,就是以晶闸管和功率晶体管等电力半导体器件对电能进行变换与控制的技术。它包括电压、电流、频率、波形和相数的变换等。自从1958年第一只晶闸管问世以来(当时额定值只有16A/300V),由于科学技术的发展和进步,现在已能生产数千安培、数千伏的大功率晶闸管元件。晶闸管也从普通晶闸管(又称可控硅)发展到快速晶闸管、双向晶闸管、逆导晶闸管、可关断晶闸管及光激发晶闸管等。晶闸管作为大功率可以控制的静态固体开关,只需用几十至几百毫安的电流,就能控制几百至几千安培的电流,实现了弱电对强电的控制,使电子技术从弱电扩展到强电领域。

晶闸管作为电力半导体器件,由于具有体积小、重量轻、效率高、反应快、控制特性好等优点,特别是它的高压大容量、低损耗和高性能使其在国民经济各个领域及国防方面获得了广泛的应用。

普通晶闸管又称可控硅整流元件,是国内目前强电领域中应用最为广泛的一种。在以后的各章节中,如果不做特别说明,通常用晶闸管代替普通晶闸管的名称。

第一节 晶闸管的结构和工作原理

一、晶闸管的结构

晶闸管的外形与符号如图1-1所示。目前国内生产的晶闸管,外形有两种形式,一种为螺栓形,一种为平板形。晶闸管在工作过程中,由于损耗而产生的热量将通过散热器散发,以降低管芯的温度。螺栓形晶闸管有三个极,螺栓一端是阳极A,使用时用螺帽固定在散热器上,另一端粗引线是阴极K,细引线是门极(也称控制极)G。平板形晶闸管,它的两面分别是阳极和阴极,中间引出线是门极。使用时,用两个互相绝缘的散热器把元件紧夹在中间,由于平板形元件

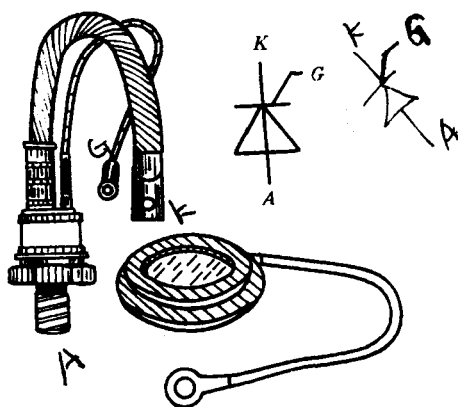


图 1-1 晶闸管的外形与符号

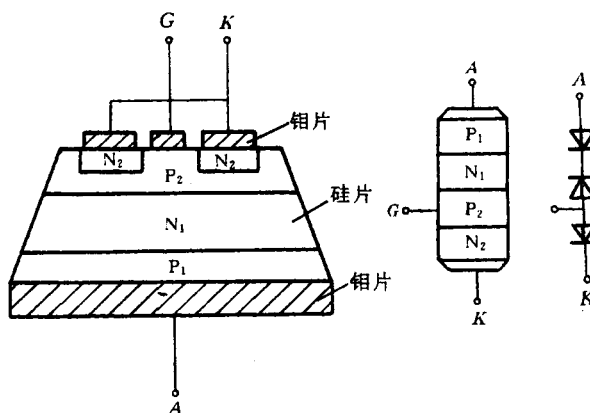


图 1-2 晶闸管的结构

散热效果较好,故容量较大的晶闸管都采用平板式结构。晶闸管内部的管芯结构如图 1-2 所示,它是硅单晶体为基本材料的 P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2 四层三端器件。

二、晶闸管导通关断条件

晶闸管作为功率开关器件,它在什么条件下导通和关断,通过以下实验来说明,实验原理线路如图 1-3 所示。晶闸管的阳极和阴极通过开关 S_1 与电源 E_A 连接,门极和阴极通过开关 S_2 与电源 E_G 相连。当晶闸管阳极 A 接电源正端、阴极接电源负端时,称晶闸管接正向阳极电压,否则为反向阳极电压;当晶闸管门极 G 接门极电源 E_G 正端、阴极 K 接 E_G 负端时,称晶闸管门极接正向门极电压,否则为反向门极电压。

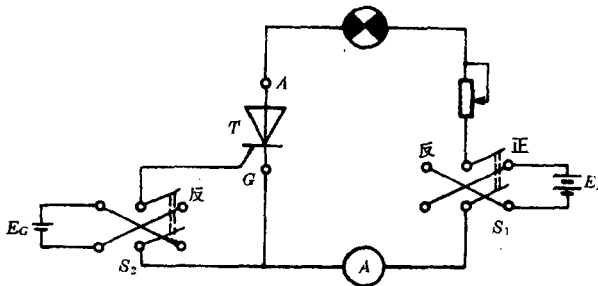


图 1-3 晶闸管导通、关断实验电路

晶闸管的导通、关断实验如下所述：

1. 晶闸管加上正向阳极电压,门极电路断开或接反向门极电压时,电路灯泡不亮,说明晶闸管处于关断状态。
2. 晶闸管加上反向阳极电压,则不论门极电源开关闭合与否,灯泡均不亮,说明晶闸管仍处于关断状态。
3. 晶闸管加上正向阳极电压,门极接正向门极电压,这时灯泡亮,说明晶闸管导通。
4. 当晶闸管导通以后,如果将门极电路开关 S_2 打开或接反向门极电压,灯泡继续亮,说明晶闸管继续保持导通。
5. 在晶闸管主电路中接上电流表,当减小晶闸管正向阳极电压,电路中电流表读数减小,说明流过晶闸管电流减小;当电流减小到某最小值时,灯泡熄灭,说明晶闸管关断。将这个能保持晶闸管导通的最小电流称为晶闸管的维持电流,一般为十几毫安到几十毫安。

通过上述试验现象,可以得出以下结论:

1. 晶闸管的导通条件有两个,一是晶闸管的阳极、阴极间必须加上正向阳极电压;二是晶闸管的门极、阴极间必须加上适当的正向门极电压和电流。
2. 晶闸管一旦导通,门极电压即失去控制作用。故欲使晶闸管从阻断变为导通,在晶闸管承受正向阳极电压的同时,只需在门极和阴极间加正向脉冲电压或电流即可。
3. 当晶闸管导通后,欲使其关断,需使流过晶闸管的电流减小到其维持电流以下。这可以用减小阳极电压到零或在晶闸管阳极、阴极间加反向阳极电压的办法达到。

晶闸管承受正向阳极电压时,给门极加正向脉冲,晶闸管从阻断变为导通的过程称为触发导通。门极触发电流一般只有几十毫安到几百毫安,而晶闸管触发导通以后,则可通过几百安到几千安的电,故晶闸管是一个可以控制的大功率静态开关。