



中等职业学校电气运用与维修专业教学用书

变频器技术及应用

李德永 李双梅 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

中等职业学校电气运用与维修专业教学用书

变频器技术及应用

李德永 李双梅 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是电气运用与维修专业系列教材之一。本书结合职业教育改革,以就业为目标,突出技能,强调与岗位衔接,注重增加相关实训内容,培养学生解决实际问题的能力。

本书主要内容有:变频技术基础知识,电动机调速与拖动系统基础知识,常用电力半导体器件的简介,变频调速原理,变频器的使用与参数设定。以三菱变频器为例,详细说明了变频器在工业生产中的应用。每章安排有相应的实训内容,强调理论与实践相结合,注重学生的技能培养。

本书可作为中等职业学校电类专业的教材,也可作为技术工人岗位培训教材及相关工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

变频器技术及应用 / 李德永, 李双梅主编. —北京: 高等教育出版社, 2007. 5

ISBN 978 - 7 - 04 - 021006 - 4

I. 变… II. ①李…②李… III. 变频器—专业学校—教材 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 040973 号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 许海平 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 余杨 责任校对 杨凤玲 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 高等教育出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16
印张 10
字数 230 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2007年5月第1版
印次 2007年5月第1次印刷
定价 13.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21006-00

前 言

随着自动控制技术的发展,在电气传动系统中,变频器控制的交流调速系统已经在很大程度上取代了直流电动机调速系统。变频器控制的交流调速系统技术含量高,因而该领域迫切需要掌握变频器应用技能的电气技术工人。

编者根据社会调查,结合多年从事的技术和教学实践,参照《中华人民共和国职业技能鉴定规范》编写本教材,以适应中等职业技术教育培养现代电气技术工人和在岗职业培训的需要。

本教材具有以下特点:

1. 内容的实用性。学完本书,能够掌握一定的变频器使用技能。
2. 内容的先进性。吸收了当今较为先进的变频器应用技术和经验。
3. 应用的广泛性。目前,家用电器已经广泛采用变频技术,为适应这一需要,本书专门介绍了“变频技术在家用电器中的应用”。
4. 技能培训的可操作性。在技术性较强的章节中,安排了实训内容和变频器使用要点,帮助学生掌握操作技能。

本书以实用技能培训为主,由浅入深,循序渐进,以帮助学生及中、高级电气技术岗位人员掌握变频器应用的基本技术理论与技术基础。

全书共分6章,安排一个学期讲授,共70学时,其中有2学时作为机动。建议各章学时安排如下:

章 节	学时	章 节	学时
第1章 概论	2	第4章 变频器的功能选择与参数设定	16
第2章 常用电力半导体器件	4	第5章 变频器的选择、安装与维护	18
第3章 变频器的原理、结构及控制方式	10	第6章 变频器在调速系统中的应用	18

根据学校条件,第6章中的有关内容可进行现场教学。

本书由秦皇岛市职业技术学校电气教研室李德永、李双梅编写。李双梅编写第1、2章,并负责文字编辑工作;李德永编写第3、4、5、6章以及实训,并统稿。

本书在编写过程中,得到了曹广智、宋占民两位老师的大力帮助以及教务主任程福生先生的悉心指导。本书由河北廊坊职业技术学院电气系主任王兆义主审,并提出许多宝贵意见。在此一并表示衷心感谢。

鉴于编者水平有限,书中难免存在遗漏与欠缺,恳请广大读者批评指正。

编者

2006年11月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 概论	1	3.2.1 交-交变频器	18
1.1 变频技术的一般概念	1	3.2.2 交-直-交变频器的组成	19
1.2 变频技术的基本类型	1	3.3 变频器主电路	19
1.3 变频技术的发展	2	3.3.1 交-直变换环节	19
1.4 变频器的发展趋势	3	3.3.2 中间直流环节	20
1.5 变频器的功能与应用	3	3.3.3 直-交变换环节	21
1.6 我国变频器应用概况	4	3.4 变频器的控制电路	23
1.7 学习本课程的要求及方法	4	3.4.1 控制电路的组成及端子	23
习题 1	5	3.4.2 控制电路的作用	25
第 2 章 常用电力半导体器件	6	3.5 变频调速原理及 V/F 控制方式	25
2.1 晶闸管(SCR)	6	3.5.1 变频调速基本原理	25
2.1.1 晶闸管的结构	6	3.5.2 V/F 控制方式	26
2.1.2 晶闸管的工作原理	7	3.5.3 变频调速的机械特性	27
2.1.3 晶闸管的主要参数	8	3.5.4 电动机实际转速控制	27
2.2 功率晶体管(CTR)	8	3.6 矢量控制方式(VC)	28
2.2.1 功率晶体管的结构	8	3.6.1 直流电动机调速特征	28
2.2.2 功率晶体管的主要参数	8	3.6.2 交流电动机调速特征	28
2.2.3 功率晶体管的驱动电路	9	3.6.3 矢量控制方式基本思想	29
2.3 功率场效晶体管(MOSFET)	10	3.6.4 矢量控制方式原理	29
2.3.1 功率场效晶体管的结构特点	10	3.6.5 矢量控制中的反馈	30
2.3.2 功率场效晶体管的主要参数	10	3.7 直接转矩控制方式	30
2.3.3 使用功率场效晶体管的注意事项	11	3.8 中、高压变频器简介	30
2.4 绝缘栅双极晶体管(IGBT)	11	3.8.1 中、高压变频器的特点	31
2.4.1 绝缘栅双极晶体管的基本结构	11	3.8.2 中、高压变频器存在的问题	31
2.4.2 绝缘栅双极晶体管的主要参数	11	3.8.3 中、高压变频器应用场合	31
2.4.3 绝缘栅双极晶体管的驱动	12	本章实训	32
2.5 智能功率模块(IPM)	12	实训项目 变频器的结构	32
2.5.1 智能功率模块结构特点	12	习题 3	33
2.5.2 智能功率模块的功能	12	第 4 章 变频器的功能选择与参数	
习题 2	14	设定	34
第 3 章 变频器的原理、结构及控制		4.1 三菱 FR-A540 系列变频器简介	34
方式	15	4.1.1 三菱 FR-A540 系列变频器的特点	34
3.1 PWM 变频调速控制技术	15	4.1.2 三菱 FR-A540 系列变频器的规格型号	35
3.1.1 PWM 原理	15	4.2 三菱 FR-A540 系列变频器的接线	
3.1.2 SPWM 调制技术	16	原理	35
3.2 变频器的组成	18	4.2.1 主回路接线端子及外接选件端子	35

II 目录

4.2.2 控制回路接线端子	37	5.4.2 自动空气开关	75
4.3 变频器的操作模式	38	5.4.3 输入侧交流接触器	76
4.3.1 面板(PU)操作模式	38	5.4.4 输出侧交流接触器	76
4.3.2 外部操作模式	39	5.4.5 保护电器	77
4.3.3 组合操作模式	40	5.4.6 交流电抗器	77
4.3.4 计算机通信模式	40	5.4.7 直流电抗器	78
4.4 变频器常用控制功能与参数设定	40	5.4.8 直流制动电阻与制动单元	78
4.4.1 功能与参数设置	40	5.5 变频调速系统控制电路	80
4.4.2 频率给定功能	41	5.5.1 正转控制电路	80
4.4.3 变频器特定频率的功能和意义	43	5.5.2 正、反转控制电路	81
4.4.4 起动控制功能	45	5.6 变频器与 PLC 的连接	82
4.4.5 制动控制功能	47	5.6.1 开关指令信号输入	82
4.4.6 工频与变频的切换功能	48	5.6.2 数值型信号输入	83
4.4.7 瞬时停电再起功能	51	5.6.3 PLC 与变频器的匹配	84
4.4.8 多挡转速控制功能	51	5.7 变频器的选择	84
4.4.9 程序控制功能	53	5.7.1 变频器的分类	84
4.4.10 PID 调节功能	55	5.7.2 变频器额定值	85
4.4.11 控制方式的选择功能	58	5.7.3 变频器连续运行时所需容量的计算	85
4.4.12 保护控制功能	60	5.7.4 频繁升、降速运行时变频器容量的选择	86
4.4.13 适用负载选择功能	61	5.7.5 电动机直接起动变频器容量计算	86
本章实训	62	5.7.6 不同负载变频器的选择	86
实训项目 1 使用变频器的接线端子	62	5.8 变频器的安装	87
实训项目 2 变频器面板操作	63	5.8.1 变频器安装对周围环境的要求	87
实训项目 3 升降速控制操作	64	5.8.2 变频器的安装工艺	88
实训项目 4 PID 参数的整定方法	64	5.8.3 变频器使用注意事项	89
变频器使用要点	65	5.9 变频器的抗干扰	89
习题 4	66	5.9.1 变频器干扰的来源	90
第 5 章 变频器的选择、安装与维护	67	5.9.2 干扰信号的传播方式	90
5.1 拖动系统的组成	67	5.9.3 变频调速系统抗干扰对策	91
5.1.1 拖动系统组成与参数	67	5.10 变频调速系统调试方法	93
5.1.2 异步电动机的机械特性	68	5.10.1 试车前的工作	93
5.2 负载的机械特性	69	5.10.2 系统空载试验	94
5.2.1 恒转矩负载	69	5.10.3 系统的带载试验	94
5.2.2 恒功率负载	70	5.11 变频调速系统的维护与维修	95
5.2.3 二次方律负载	71	5.11.1 系统的维护和检查	95
5.3 拖动系统的运行状态	72	5.11.2 变频器常见故障	95
5.3.1 拖动系统的工作点	72	本章实训	96
5.3.2 拖动系统动态过程分析	73	实训项目 1 主电路接线	97
5.3.3 拖动系统的传动机构	74	实训项目 2 控制电路接线	98
5.4 变频调速系统主电路及外接电器的选择	74	实训项目 3 通电试车	98
5.4.1 变频调速系统主电路	74	变频器使用要点	98

习题 5	99	6.6 变频器在电梯控制中的应用	123
第 6 章 变频器在调速系统中的应用	100	6.6.1 电梯传动系统组成	123
6.1 变频技术应用综述	100	6.6.2 变频调速电梯实例分析	126
6.2 变频器在风机控制中的应用	101	6.6.3 自动扶梯技术改造简介	126
6.2.1 风机负载的机械特性	101	6.7 变频器在啤酒灌装生产线上的应用	127
6.2.2 变频器的设置	101	6.7.1 系统的组成	128
6.2.3 风机变频调速系统电路组成	103	6.7.2 电气控制原理	128
6.2.4 节能效益分析	104	6.7.3 变频器的选择及参数设置	130
6.3 变频器在恒压供水系统中的应用	104	6.8 变频器在龙门刨床上的应用	130
6.3.1 供水系统的主要参数	104	6.8.1 龙门刨床的机械运动	130
6.3.2 供水系统的特性	105	6.8.2 龙门刨床变频调速系统的组成	131
6.3.3 供水系统流量的调节方法	106	6.8.3 刨台变频调速系统工作原理	132
6.3.4 恒压供水的控制目标	106	6.9 变频技术在家用电器上的应用	133
6.3.5 恒压供水变频调速系统控制原理	107	6.9.1 家用变频空调	133
6.3.6 变频器选型及功能设置	109	6.9.2 变频洗衣机	135
6.3.7 恒压供水变频调速系统实例分析	110	6.9.3 变频冰箱	136
6.4 变频器在中央空调控制系统中的 应用	113	6.9.4 变频微波炉	136
6.4.1 中央空调系统构成	113	本章实训	136
6.4.2 冷却水系统变频调速控制	114	实训项目 PLC 与变频器连接实现多段速 控制	136
6.4.3 冷冻水系统变频调速控制	116	习题 6	137
6.4.4 中央空调变频调速的节能作用	117	附录 1 森兰 SB61 系列变频器	138
6.5 变频器在起重设备中的应用	117	附录 2 安川 G7 系列变频器	142
6.5.1 变频调速起重设备系统的特点	117	主要参考文献	150
6.5.2 起升机构拖动系统的技术要求	119		
6.5.3 变频器在起重设备中的应用实例分析	121		

概 论

学习目的与要求：

1. 掌握变频技术的基本概念。
2. 认识变频器的功能与发展趋势。
3. 了解本课程的学习方法。

1.1 变频技术的一般概念

变频技术是将一种频率电源变换成另一种频率电源的技术。例如,将直流电逆变成不同频率的交流电;将交流电变换成直流电,或再逆变成不同频率的交流电;将一定频率的交流电变换成频率连续可调的交流电。当然,在这种转换过程中,电能并不发生变化,只是频率在发生改变。

在现代工业生产与人们的日常生活中,往往根据节能、控制等各种不同要求,将公共电网中的交流电转换成不同频率的交流电。常用工业电源主要有以下几种:

1. 工频电源

用于工业生产和生活,频率为 50 Hz。

2. 整流电源

将工频电源通过整流变换成直流电,用于需要直流供电的场合,频率为 0 Hz。

3. 不间断电源

平时,电网对蓄电池充电,当电网停电时,将蓄电池的直流电逆变成 50 Hz 的交流电,为设备提供临时电源。

4. 交流调速电源

用三相变频器产生电压和频率连续可调的交流电源,用于三相交流异步电动机调速。

5. 中频电源

主要用于金属冶炼、精密铸造过程中的感应加热。

1.2 变频技术的基本类型

变频技术的类型有下面几种:

1. 整流技术

通过二极管组成的不可控或者晶闸管组成的可控整流器,将工频交流电变换成频率为 0 的直流电,称为整流技术。

2. 直流斩波技术

通过改变电力半导体器件的通断时间,也就是脉冲频率(定宽变频),或者改变脉冲的宽度(定频调宽)达到调节直流平均电压的目的。

3. 逆变技术

在变频技术中,逆变器是利用半导体器件的开关特性,将直流电转换成不同频率的交流电。

4. 交-交变频技术

通过控制电力半导体器件的导通与关断时间,将工频交流电转换成频率连续可调的交流电。

5. 交-直-交变频技术

先将交流电经过整流器转换成直流电,再将直流电逆变成频率可调的交流电。

1.3 变频技术的发展

变频技术是在电力电子技术、交流调速控制理论和计算机技术基础上发展起来的,是应交流异步电动机无级调速和节能需求诞生的。人们根据变频技术制造出用于交流异步电动机调速的电气设备称为变频器,其外形如图 1-1 所示。

自 20 世纪 60 年代以来,电力电子器件经历了从普通晶闸管 SCR、门极可关断晶闸管 GTO、双极功率晶体管 BJT、金属氧化物场效应晶体管 MOSFET 等阶段,发展到今天的绝缘栅双极晶体管 IGBT 和智能化电力模块 IPM。电力电子器件的不断更新与性能的提高,推动着大功率电子变频技术的发展。

自 20 世纪 70 年代以来,在交流调速控制理论成熟的基础上,对脉宽调制型(PWM)调压、调频(VVVF)调速技术的研究引起人们的高度重视。20 世纪 80 年代作为变频技术核心内容的 PWM 模式不断得到优化。在 20 世纪 80 年代后期,欧、美、日本等发达国家的 VVVF 变频器已经商品化并且在工业生产中得到广泛应用。

VVVF 控制方式的变频器属于第一代变频器,这类变频器控制比较简单,机械特性较硬,能够满足一般生产机械无极平滑调速的技术要求,因而在生产和生活领域得到广泛的应用。但在生产技术要求较高的场合还存在着不足。VVVF 这种控制方式在低频运行时,由于变频装置的输出电压较低,对交流异步电动机的定子阻抗压降的影响较明显。这样,造成电动机输出转矩不足,加之其机械特性毕竟没有直流电动机硬,动态和静态指标都不尽如人意。因此,人们又开始研究更加优化控制方式的变频器,即第二代变频器——矢量控制方式的变频器。

1968 年,德国科学家哈斯(Hasse)首先提出了磁场定向控制理论。接着,1971 年德国科学家伯拉斯切克(Blaschke)又提出了异步电动机转子磁场定向矢量控制方法。它参照直流电动机的控制方式,将定子电流的空间矢量分解为转子励磁分量和转矩分量。因其首先是要控制励磁,所以又把矢量控制称为磁通矢量控制。

矢量控制方式的提出具有划时代的意义,使交流异步电动机的调速性能接近了直流电动机



图 1-1 变频器的外形

的调速性能。然而,在工程应用中,矢量控制系统受电动机参数的制约,在等效直流电动机控制过程中的矢量变换较为复杂。所以,和直流电动机相比,其调速性能还具有一定的差距。

1985年,德国科学家首次提出了直接转矩控制的变频技术。它以异步电动机的转矩作为被控量,强调转矩的控制效果。这项技术在很大程度上解决了矢量控制中的不足,并且以新颖的控制思想、简洁的系统结构、优良的动态和静态特性,得到广泛应用。

近年来,人工智能化控制和模糊控制理论开始引入交流变频调速技术中,并已经成为控制理论和控制技术研究及其发展的方向。

变频技术的发展得益于计算机技术的发展,数字化技术使得变频器中的控制器对信息的处理能力大幅度提高。许多难以用硬件实现的复杂控制,如矢量控制中的坐标变换运算、参数识别的自适应控制等,采用计算机控制后便得以解决。此外,计算机控制技术还给变频器增加了多种功能,使之更加完善。

交流调速技术和变频器的发展历程表明,现代工业生产及社会发展的需要推动了交流调速和变频器的飞速发展,推动了现代控制理论的发展和应用,推动了电力电子技术的发展和应用,推动了计算机控制技术及大规模集成电路的发展和应用,为交流调速技术和变频器的飞速发展奠定了技术和物质基础。

1.4 变频器的发展趋势

进入21世纪,电力电子器件已经进入高电压、大容量、组件模块化、小型化、智能化和低成本时代;多种适宜变频调速的新型电动机正在研发之中;计算机技术和控制理论也在不断地创新与发展,这些与变频器相关的技术都在影响着变频器的发展趋势。

1. 智能化

智能化变频器应用到拖动系统后,不需要那么多的功能设定就可以进行操作,就能实现故障的自诊断和排除。利用互联网可以遥控并监视其工作状态,实现多台变频器按工艺要求联动,形成最优化的变频器综合管理控制系统。

2. 专业化

根据某一类负载的机械特性,有针对性地制造出专业化的变频器,不但有利于对负载电动机进行有效控制,而且可以降低制造与应用成本。例如,风机、水泵专用变频器,起重机械专用变频器,电梯专用变频器以及空调专用变频器等。

3. 模块化

将与变频器相关的功能部件,如参数识别系统、PID调节器、PLC以及通信单元等有选择地与变频器集成到一起,组成一体化机,使其功能大为增强,系统的可靠性明显提高。

4. 环保化

新型变频器更加节能和环保。抗干扰技术的应用使得变频器噪声低,并降低了对电网的影响以及对其它电气设备的影响。

1.5 变频器的功能与应用

变频器已经成为交流异步电动机最理想的调速设备。它的功能与应用主要有以下几个

方面:

1. 节能

传统的风机和泵类是用挡板和阀门来调节风量和流量,其拖动电动机在额定电压下工作,功率也为额定功率。风机和泵类负载采用变频器调速以后,当用户需要的风量或液体流量较小时,采用变频器将风机或泵的转速控制在较低的转速范围,此时电动机在低电压下工作,实际功率远小于电动机额定功率。节电效果十分显著,节电可达20%~60%。

据有关资料表明,风机和泵类电动机的用电量占全国电动机用电量的30%左右,占工业用电量的50%,因此,这类负载使用变频器调速具有非常重要的节能意义。以节能为目的,采用变频器对风机和泵类进行的技术改造,发展非常迅速。全国每年因此而节约电能的数量相当可观。因此在这类负载中变频器应用最多。目前应用比较成熟的有恒压供水系统、各类风机、中央空调等系统的变频调速。近年来,家用电器也开始广泛采用变频技术。变频家电已经成为新一代家用电器的发展趋势。变频器的生产与应用,已成为最具发展前景的高新技术产业之一。

2. 自动控制

变频器的控制核心是微型计算机(微机)。目前,变频器已经广泛采用16位机或32位机实施控制。它具有多种算术和逻辑运算、存储记忆和智能控制功能,所控制的变频器输出频率的精度高达0.1%~0.01%,而且还具有完善的检测、报警及保护功能,因此,在自动控制系统中获得了广泛应用。

3. 提高产品质量

电气传动控制系统通常由电动机、控制装置和信息装置三部分组成。电气传动关系到控制运行状态、合理使用电动机和节能,以实现电能与机械能的高效转换。如今变频技术和变频器已经成为提高工业产品质量的有效手段之一,如应用在注塑设备、轧钢设备、造纸设备、灌装设备以及各类机床等中,可使它们的产品质量获得明显提高。

在家电产品的研制与开发中,变频器也得到应用,如应用在家用空调与中央空调设备、电梯设备、洗衣机、冰箱、电磁炉等中,可降低设备的噪声,延长设备的使用寿命,使设备控制方便,使用效率明显提高。

1.6 我国变频器应用概况

我国是发展中国家,变频器的研发和制造与发达国家相比相对较晚。随着我国改革开放不断深入,经济高速发展,在不断引进和吸收国外先进技术的情况下,变频器的研究与生产有了飞速发展。我国自主研发、生产的变频器已接近国际先进水平。已为国内外重大工程项目提供了先进的变频调速设备。目前国内生产的各种机械设备大多应用了变频器控制技术。因此,作为中等职业学校电工、电子电器专业的学生,有必要学习和掌握有关变频器的基本原理及其使用和维护的知识与技能,为毕业后从事本专业工作打下比较坚实的理论与技术基础。

1.7 学习本课程的要求及方法

首先,必须清醒地认识这门课程在本专业中的重要地位和作用。在工业生产过程中,为提高

生产效率和产品质量,交流变频调速系统已经基本取代了直流电动机调速系统。变频器的使用已经十分广泛。这就需要从事电工、电子电器专业的技术工人,必须掌握一定的变频技术基本理论和操作技能。

变频器技术及应用是一门综合性专业技术课程。学习好这门课程必须掌握一定的电工基础、电子线路、电机与变压器、电力拖动、传感器技术、PLC 和机械原理等课程的理论与技能。因此,在本课程的学习过程中,要经常与上述课程的内容紧密联系。

通过本课程的学习,要求了解变频调速的基本知识、变频器的基本组成和原理,基本掌握变频器的应用技术、变频器功能设置以及日常维护和系统维修等技能。

学习本课程,需要循序渐进。在这门课程的学习过程中,在掌握好变频调速基本知识的基础上,重视实训环节。在参加工厂维修电工的有关实习和实践中,多动脑、多动手,将变频调速技术与生产实践紧密结合,不断提高自己分析问题和解决问题的能力。

本课程具有较强的综合性、实践性以及较高的科技含量,在学习过程中,要掌握系统分析方法,掌握变频调速系统的组成,熟练掌握系统功能与参数的设置,关心和了解变频器应用技术的发展动态,从而实现本课程的培养目标。



习题 1

1. 什么叫变频技术?
2. 什么叫变频器?
3. 学习变频技术的意义是什么?
4. 变频技术有哪几种类型?
5. 简述变频技术的发展历程。
6. 变频技术的发展方向如何?

常用电力半导体器件

学习目的与要求：

1. 掌握晶闸管的结构、导通与关断条件。
2. 了解各种电力半导体器件的应用特点。
3. 熟悉智能功率模块的结构与应用。

用于电能变换和电能控制电路的大功率(通常指电流为数十安至数千安、电压为数百伏以上)半导体器件,称为电力电子器件,或称功率电子器件。20 世纪 50 年代,电力电子器件主要是汞弧闸流管和大功率电子管。20 世纪 60 年代发展起来的晶闸管,因其工作可靠、寿命长、体积小、开关速度快等优点,在电力电子电路中得到广泛应用。到 20 世纪 70 年代初期,已逐步取代了汞弧闸流管。到了 20 世纪 80 年代,普通晶闸管的开关电流已达数千安,能承受的正、反向工作电压达数千伏。在此基础上,为适应电力电子技术发展的需要,又开发出门极可关断晶闸管、双向晶闸管、光控晶闸管、逆导晶闸管等一系列派生器件,以及单极型 MOS 功率场效应晶体管、双极功率晶体管、静电感应晶闸管、功能组合模块和功率集成电路等新型电力电子器件。

变频器的核心元件就是电力半导体开关器件。自 1948 年美国贝尔实验室发明第一只晶体管以来,到现代的电力电子器件“智能化开关模块(IPM)”的应用,使得变频器性能产生了质的飞跃。下面介绍几种常用电力半导体开关器件。

2.1 晶闸管(SCR)

晶闸管是晶体闸流管(Thyristor)的简称,晶闸管具有硅整流器件的特性,能在高电压、大电流条件下工作,且其工作过程可以控制。被广泛应用于可控整流、交流调压、无触点电子开关、逆变及变频等大功率电子电路中。

2.1.1 晶闸管的结构

晶闸管是三端大功率半导体器件,它由 P、N、P、N 四层半导体构成,其外形有平板形和螺栓形,三个引出管脚分别是:“阳极”用 A 表示,“阴极”用 K 表示,“控制极(门极)”用 G 表示。晶闸管的外形及符号如图 2-1 所示。

晶闸管是四层(P_1 、 N_1 、 P_2 、 N_2)三端器件,具有三个 PN 结 J_1 、 J_2 、 J_3 ,如图 2-2(a)所示。若把中间的 N_1 和 P_2 分成两部分,如图 2-2(b)所示,就构成了一个 NPN 型晶体管和一个 PNP 型晶

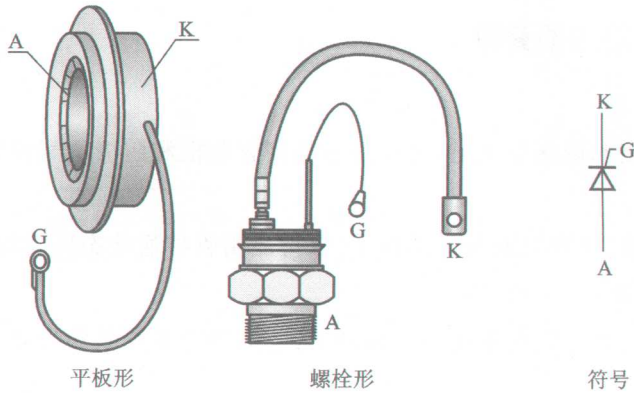


图 2-1 晶闸管外形及符号

体管的复合管。每一个晶体管的基极与另一个晶体管的集电极相连,在连接回路中形成正反馈,如图 2-2 (c)所示。

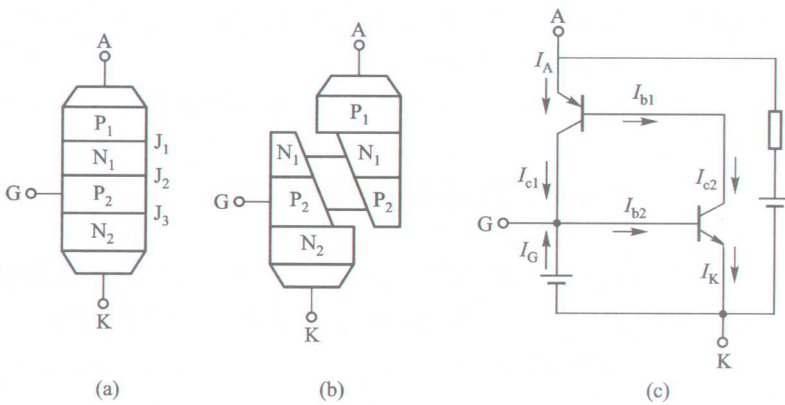


图 2-2 晶闸管的结构

2.1.2 晶闸管的工作原理

当晶闸管反向连接,阳极(A)接电源负极,阴极(K)接电源正极时,无论控制极(G)所加电压是什么极性,晶闸管均处于阻断状态。当晶闸管正向连接,即阳极(A)接电源正极,阴极(K)接电源负极时,若控制极(G)所加触发电压为负时,晶闸管不导通。因此,晶闸管具有单向导电性和正向导通的可控性。

晶闸管的导通条件为:

- ① 阳极(A)与阴极(K)之间加正向电压。
- ② 控制极(G)与阴极(K)之间加正向触发电压,且有足够的控制极电流。

晶闸管关断条件为:

阳极(A)电流等于小于导通维持电流。

由此可见,晶闸管为可控的开关器件。

2.1.3 晶闸管的主要参数

1. 通态平均电流 I_T

在规定的环境温度和散热条件下,允许通过晶闸管阳极和阴极之间的电流平均值。

2. 维持电流 I_H

在规定的环境温度、控制极断开的条件下,保持晶闸管导通状态所需的最小正向电流。

3. 控制极触发电压 U_G 与电流 I_G

在规定的环境温度及一定的正向电压条件下,使晶闸管从关断到导通,控制极所需的最小电压和电流。

4. 断态重复峰值电压 U_{DRM}

当控制极开路,器件处于额定结温状态时,允许重复加在晶闸管阳极与阴极间的正向峰值电压,要求重复频率 50 Hz,每次时间不大于 10 ms。

5. 反向重复峰值电压 U_{RRM}

当控制极开路,器件处于额定结温状态时,允许重复加在晶闸管阳极与阴极间的反向峰值电压,要求重复频率 50 Hz,每次时间不大于 10 ms。

一般将 U_{DRM} 和 U_{RRM} 两值中的较小者定义为晶闸管的额定电压 U_N 。

2.2 功率晶体管(GTR)

功率晶体管(GTR)也称双极晶体管(BJT),是一种大功率高反压开关晶体管。应用于高电压大电流场合。具有自关断、开关时间短、饱和压降低和安全工作区宽等优点,被广泛应用于交直流电机调速、中频电源等电力变流装置中。

2.2.1 功率晶体管的结构

功率晶体管通常采用模块化结构,也称为模块型晶体管,其内部结构既有单管型,也有达林顿(复合)型,容量范围从 450 V/30 A 到 1 400 V/800 A 不等。为使用方便,使器件集成度更高、体积更小,模块型功率晶体管内部有一单元结构、二单元结构、四单元结构和六单元结构,如图 2-3 所示。所谓一单元结构,是指在一个模块内有一个功率晶体管(也可能是达林顿型或单管型)和一个续流二极管反向并联。

2.2.2 功率晶体管的主要参数

1. 开路阻断电压

① 基极开路,集电极-发射极间能承受的电压 U_{CEO} 。

② 发射极开路,集电极-基极间所承受的电压 U_{CBO} 。

开路阻断电压体现了 GTR 的耐压能力。

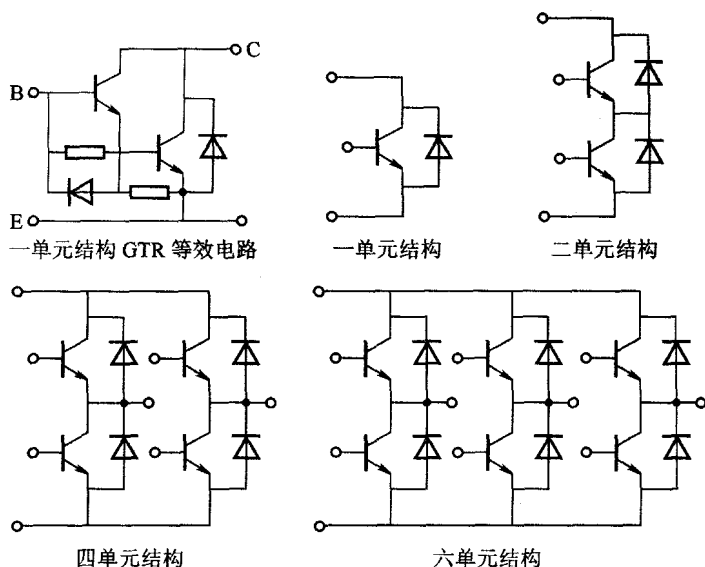


图 2-3 模块化 GTR 的结构

2. 集电极最大允许电流 I_{CM}

当基极正向偏置时,集电极所能流入的最大电流。

3. 电流放大倍数 h_{fe}

晶体管工作在放大状态时,集电极电流 I_C 与基极电流 I_B 的比值

$$h_{fe} = \frac{I_C}{I_B} \quad (2.1)$$

4. 集电极最大耗散功率 P_{CM}

指 GTR 消耗的最大允许平均功率。超过此值,GTR 会因过热而损坏。

$$P_{CM} = I_C U_{ce} \quad (2.2)$$

5. 开关频率

GTR 产品使用说明书中,并不直接给出开关频率这个参数,而是给出开通时间、存储时间和下降时间,通过这几个时间值,可估算出 GTR 的最高工作频率。

2.2.3 功率晶体管的驱动电路

1. 对驱动电路的要求

GTR 是电流控制型器件,正向基极电流控制其导通,反向基极电流控制其关断。由于 GTR 并不是理想的开关器件,因此对驱动电路有以下要求:

① GTR 在开通时,驱动电流的前沿要足够陡峭,并有一定的过冲,以加速开通过程,减小损耗。