

欢迎登录 **免费** 获取本书教学资源



www.huaxin.edu.cn
www.hxedu.com.cn

中等职业教育电类专业规划教材

变频器技术应用

中等职业教育机电技术应用专业规划教材

- | | |
|----------------------|--------------|
| 《工程制图与机械常识》 | 《液压与气动》 |
| 《工程制图与机械常识——练习与技能训练》 | 《液压与气动技能训练》 |
| 《电工与电子技术》 | 《机电控制技术》 |
| 《电工与电子技术技能训练》 | 《机电控制技术技能训练》 |
| 《电气控制与PLC应用技术》 | 《机电一体化概论》 |
| 《电气控制与PLC应用技术技能训练》 | 《机械CAD/CAM》 |

中等职业教育电类专业规划教材

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 《电工基础》 | 《EDA技术与应用》 |
| 《电工基础实验与实训》 | 《工厂供电（第2版）》 |
| 《电子技术基础》 | 《变频器技术应用》 |
| 《电子技术基础实验与实训》 | 《自动检测与转换技术》 |
| 《电力电子技术》 | 《自动检测与转换技术实验与实训》 |
| 《电力电子技术实验与实训》 | 《电机拖动与电控技术（第2版）》 |
| 《单片机技术与应用》 | 《电机与电控技术实验与实训》 |
| 《单片机技术与应用实验与实训》 | |
| 《可编程序控制器技术与应用（欧姆龙系列）（第2版）》 | |
| 《可编程序控制器技术与应用（欧姆龙系列）实验与实训》 | |
| 《可编程序控制器技术与应用（西门子系列）》 | |
| 《可编程序控制器技术与应用（西门子系列）实验与实训》 | |



策划编辑：白楠
责任编辑：刘真平
封面设计：喻晓



本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

ISBN 978-7-121-07359-5



9 787121 073595 >

定价：23.00 元

中等职业教育电类专业规划教材

变频器技术应用

程 周 丛书主编
姚锡禄 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

变频器技术应用是电气运行与控制专业的一门主干课程,本书共8章,主要介绍电力电子器件和微处理器的基本知识;“交-直-交”型变频器的电路结构及工作原理;变频器各种基本运行方式;变频器选择条件及方法;变频器可靠性的探讨及提高方法;变频器安装及使用知识;由变频器为核心构成的调速系统及其功能;最后介绍几个变频器实际应用的典型事例。在一些章节中,本书采用“案例分析”的方法,介绍变频器在实际应用中遇到的问题及解决方法,帮助读者总结经验,提高解决问题的能力。

本书适合作为中等职业教育电气工程类专业的教学用书,也可作为电气工程从业人员的参考书。

为了方便教师教学,本书还配有电子教学参考资料包(包括教学指南、电子教案及习题答案),详见前言。

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

变频器技术应用 / 姚锡禄主编. —北京: 电子工业出版社, 2009.1

中等职业教育电类专业规划教材

ISBN 978-7-121-07359-5

I. 变… II. 姚… III. 变频器—专业学校—教材 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 137632 号

策划编辑: 白 楠

责任编辑: 刘真平

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

装 订: 三河市万和装订厂

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: 787×1 092 1/16 印张: 15.5 字数: 395.2 千字

印 次: 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 23.00 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 zlls@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

在现代工业生产自动化中,各类交流变频器充当了极为重要的角色。它是电力电子技术、计算机技术、现代控制技术和网络技术的有机结合,具有调速范围宽,调速精度高,动态响应快,运行效率高,功率因数高,操作方便,成本低,节能显著等一系列优点。它已成为当今改造传统工业,改善工艺流程,提高生产过程自动化水平,提高产品质量,推动技术进步的主要手段之一。变频器控制技术的重要技术特征是可以充分地与现代网络技术相结合,发挥智能控制的优势,实现分布式现场总线控制系统,是工业企业自动化的重要发展方向。变频器应用所产生的显著节能效果,恰是当前工业领域最需要解决“节能减排”问题的最有力措施之一。变频控制技术广泛、迅速地普及,给我国的工业自动化事业带来了深刻的变革,产生了巨大的社会和经济效益。

当前变频器的应用业已普及到工业生产各个基层环节,了解变频器的基础知识,掌握变频器基本操作,是每一位电气工程从业人员必须掌握的基本职业技能。变频器控制系统终究是一个知识密集、技术复杂的系统,本书尽力做到深入浅出,淡化理论,注重实际应用,推荐学时为60~80学时,打“*”号的章节为选修章节。在重点章节中选择了一些生产实践中的实际事件作为典型“案例”,进行细致分析,帮助读者积累实践经验(积累包括他人的实践经验),增长分析问题、解决问题的能力。

全书共分8章,姚锡禄任主编,并编写了第1、第5、第6章,于磊编写了第3、第8章,李志刚编写了第4、第7章,李文艳编写了第2章,最后由姚锡禄统稿。在此书编写过程中,得到天津海鸥手表集团的陈琪高级工程师、津酒集团的赵景田高级工程师、西门子公司驻津办事处汪林经理等人的大力帮助;在2007年8月于甘肃兰州召开的全国轻工系统,机电、电类专业教材研讨会上,与会的李乃夫、程周、张颖熙、裴蓓等诸位专家也提出了一些宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。由于时间匆忙及编者的水平有限,书中难免有一些错误或不足,恳请大家批评、指正。

为了方便教师教学,本书还配有教学指南、电子教案和习题答案(电子版)。请有此需要的教师登录华信教育资源网(www.huaxin.edu.cn或www.hxedu.com.cn)免费注册后再进行下载,有问题时请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系(E-mail:hxedu@phei.com.cn)。

编 者
2009年1月

目 录

第 1 章 变频器技术应用发展概况	1
1.1 概述	1
1.1.1 交流变频技术的发展	1
1.1.2 变频器新技术及其发展方向	3
1.2 电力电子器件在变频器中的应用	5
1.2.1 电力电子器件发展概况	5
1.2.2 电力电子器件的简单分类	6
1.2.3 变频器中常用的电力电子器件	7
1.2.4 其他电力电子器件	12
1.2.5 各种电力电子器件的比较	14
1.3 全数字微机控制的应用	16
思考题与习题	20
第 2 章 变频器的电路结构及工作原理	21
2.1 变频调速的基本控制方式	21
2.2 变频器的基本构成	23
2.3 变频器的分类	25
2.3.1 按直流电源的性质分类	25
2.3.2 按输出电压调节方式分类	26
2.3.3 按控制方式分类	28
2.3.4 按电压等级分类	30
2.3.5 按用途分类	30
2.4 正弦波脉宽调制 (SPWM) 逆变器	31
2.4.1 正弦脉宽调制原理	31
2.4.2 同步调制与异步调制	34
*2.4.3 谐波分析与输出电压调节	35
*2.4.4 脉宽调制的控制方法	36
*2.5 变频器的控制方式与性能	40
2.5.1 变频器的 U/f 控制	41
2.5.2 转差频率控制	44
2.5.3 矢量控制	46
2.5.4 直接转矩控制	51
*2.6 高性能通用变频器	52
2.6.1 高性能通用变频器的类型	53
2.6.2 使用高性能变频器时的注意事项	56

*2.7	高压变频器	59
2.7.1	功率开关器件	59
2.7.2	主电路拓扑结构	60
2.7.3	控制方式	65
2.7.4	高压变频器对电网与电机的影响	65
	思考题与习题	66
第3章	变频器的运行	68
3.1	MM440变频器的面板操作	68
3.1.1	MM440变频器的面板介绍	68
3.1.2	操作面板的基本操作方法及功能	68
3.2	运行参数	72
3.2.1	常用频率参数	72
3.2.2	频率的给定	76
3.3	启动	80
3.3.1	升速特性	80
3.3.2	启动方式	81
3.4	制动	83
3.4.1	降速特性	83
3.4.2	制动方式	84
3.5	变频器的运行方式	86
3.5.1	点动运行	86
3.5.2	正/反转运行	88
3.5.3	瞬停再启动运行	90
3.5.4	MM440变频器多段速频率控制	91
3.5.5	同步运行	93
3.5.6	工频与变频运行	95
3.6	节能运行	96
3.6.1	节能运行分析	96
3.6.2	节能运行的具体应用	98
	思考题与习题	99
第4章	变频器的选择	100
4.1	常用变频器的品牌及主要参数	100
4.1.1	变频器常见品牌的介绍	100
4.1.2	变频器参数应用知识	101
4.2	变频器类型的选择	104
4.2.1	根据不同的负载类型选择变频器	104
4.2.2	根据系统的控制方式选择变频器	105
4.2.3	选择变频器应满足的条件	105
4.2.4	变频器的选型依据和方法	106

4.2.5 案例精选	107
4.3 变频器容量的计算	109
4.4 变频器选择注意事项	111
4.5 变频器外围设备及其选择	112
思考题与习题	116
第5章 变频器的可靠性	118
5.1 变频器常见的保护功能	118
5.1.1 过电流保护	118
5.1.2 过载保护	118
5.1.3 电压保护	120
5.1.4 其他保护	121
5.2 高次谐波及其抑制	122
5.2.1 高次谐波产生的机理	122
5.2.2 高次谐波对其他设备的影响	122
5.2.3 减小和防止高次谐波的方法	123
5.3 变频器抗干扰措施	125
5.3.1 变频器外部的干扰	125
5.3.2 变频器产生的干扰及抑制	131
思考题与习题	133
第6章 变频器的安装与使用	134
6.1 变频器的安装	134
6.1.1 安装使用环境要求	134
6.1.2 安装空间	135
6.1.3 安装柜的设计及选择	137
6.1.4 变频器的防尘	140
6.1.5 变频器与电机的距离	140
6.2 变频器的接线	141
6.2.1 主电路接线	141
6.2.2 控制电路的接线	145
6.3 变频器的测量	147
6.3.1 目前常见的测量仪表	147
6.3.2 变频器的测量与仪表的选择	148
6.3.3 输入侧的测量	149
6.3.4 输出侧的测量	150
6.4 变频器的调试与维修	151
6.4.1 通电前检查	151
6.4.2 通电与预置	151
6.4.3 带电机空载试验	151
6.4.4 带负载调试	152

6.4.5	维护与检查	153
6.4.6	变频器的故障检修	155
6.4.7	故障排除案例	156
6.5	变频器的通信组网	159
6.5.1	变频器与 PLC 的连接	160
6.5.2	使用注意事项	163
6.5.3	变频器在现场总线控制系统中的应用	165
	思考题与习题	167
第 7 章	变频器构成的调速系统	169
7.1	应用变频器的目的与效益	169
7.1.1	节能应用	170
7.1.2	提高生产率	174
7.1.3	提高产品质量	175
7.1.4	设备的合理化	176
7.1.5	适应或改善环境	177
7.2	应用变频器的技术优势	178
7.3	通用变频器的主要功能	180
7.3.1	系统所具有的功能	180
7.3.2	频率设定功能	183
7.3.3	与运行方式有关的功能	185
7.3.4	与状态监测有关的功能	187
7.3.5	其他功能	188
*7.3.6	多控制方式	189
7.4	生产机械的驱动	191
7.4.1	机械负载与电机转矩	191
7.4.2	转速—转矩特性	192
7.4.3	变频器驱动不同负载时需要注意的问题	193
7.5	异步电机的选择	198
7.5.1	异步电机形式与容量的选择	198
7.5.2	负载功率的计算	201
7.5.3	选用异步电机时的注意事项	204
7.5.4	变频器专用电机的选择	206
	思考题与习题	209
第 8 章	变频器的应用	210
8.1	变频器在高炉卷扬机中的应用	210
8.1.1	高炉卷扬机的基本结构和工作特点	210
8.1.2	电机的选用	211
8.1.3	变频器的选用	212
8.1.4	系统设计及接线	212

8.2	变频恒压供水控制系统	215
8.2.1	变频恒压供水控制系统的工作原理	215
8.2.2	变频器的选型及功能预置	219
8.3	线材绕机的变频调速	222
8.3.1	线材绕机概述	222
8.3.2	拖动系统的改造方案	223
8.3.3	变频调速系统的控制方式	223
8.3.4	变频器的基本功能预置	224
8.4	变频器在造纸机、胶片机及光缆护套机等方面的应用	225
8.4.1	变频器在造纸机上的应用	225
8.4.2	变频器在胶片机上的应用	227
8.4.3	变频器在光缆护套机上的应用	228
8.5	MM440 变频器在电梯上的运用	231
8.5.1	系统配置	231
8.5.2	系统功能与原理	232
8.5.3	电机和变频器主要参数设定	232
8.6	变频器在龙门铣床上的运用	233
8.6.1	概述	234
8.6.2	改造方案	234
8.6.3	龙门铣床工作台运动过程	234
8.6.4	龙门铣床的变频改造	235
	思考题与习题	236
	参考文献	237

第 1 章 变频器技术应用发展概况

【学习任务】

- 了解变频器发展概况，认识变频器在现代化建设中的作用。
- 了解各类电力电子器件的特性及应用。
- 了解变频器中各类微处理器及其作用。

本章主要介绍以变频器控制交流异步电机为典型的交流变频调速技术的发展概况，重点指出正是由于电力电子技术的发展，计算机微处理器技术的发展，才促进了变频器技术的发展。先进控制理论的应用，更是为变频调速技术插上了腾飞的翅膀，使之成为实现工业自动化的主要手段之一。

1.1 概述

【知识目标】 了解变频调速技术发展概况及其在国家经济建设中的重要作用。

1.1.1 交流变频技术的发展

直流电机与交流电机先后诞生于 19 世纪后期，它们刚一问世，立即引发工业生产的“第二次革命”，使世界由“蒸汽机时代”迈入“电气化时代”。100 多年来各类电机已经成为人类生产、生活中最重要的动力机械，其地位与作用是其他动力机械（如热机）不可比拟的。由于结构和技术上的原因，在需要进行调速控制的拖动系统中基本上采用直流电机。但是，同样由于结构上的原因，直流电机存在一些难以克服的缺陷，主要是：制造工艺复杂，消耗有色金属较多，成本高，且难以制造大容量、高转速和高电压的直流电机；需要定期更换电刷和换向器，维护保养困难；由于存在换向火花，难以应用于存在易燃易爆气体的恶劣环境。诞生时间稍晚于直流电机的三相交流异步电机，以其结构简单坚固，运行可靠，价格低廉而迅速地在电力拖动领域独占鳌头；由于制造工艺相对简单，容易制造出大容量、高转速和高电压的交流电机，在冶金、建材、矿山、化工等重工业领域发挥着巨大的作用。很久以来，人们希望在许多场合下能够用可调速的交流电机来代替直流电机，从而降低成本，提高运行的可靠性。与此同时，大量采用交流电机拖动的所谓不变速拖动系统中，相当一部分是风机、水泵类的负载。这类负载约占工业电力拖动总量的一半，其中大部分并不是真的不需要变速，只是因为交流电机都不调速，因而不得不依赖挡板和阀门来调节流量，但是电机轴上输出功率并没有减小，相当一部分能量损耗在挡板、阀门上，所以白白消耗掉大量电能。如果实现交流调速，每台电机可节能 20% 以上。总起来节能效果非常可观。另一方面，据统计，工业电机负荷率通常为 50%~60%。这是因为一



般情况下,电机的功率选择要考虑最大负载、电网波动、安全系数、电机规格等因素,电机选择的功率大,而实际上通常在50%~60%额定功率下工作。如采取交流调速,在恒转矩的条件下,降低轴上的输出功率,既能满足工作的要求,提高电机效率,也可获得节能效果。综上所述,实现交流调速,是人们长期以来孜孜以求的愿望。

如何实现交流调速呢?从现有的文献资料上来看,尽管异步电机调速系统种类很多,但是效率最高、性能最好、应用最广的就是变频调速,它可以构成高动态性能的交流调速系统,取代直流调速系统,是交流调速的主要发展方向。变频调速是以变频器向交流电机供电,并构成开环或闭环系统,从而实现与交流电机的宽范围内的无级调速。变频器是把固定电压、固定频率的交流电变换为可调电压、可调频率的交流电的变换器。变换过程中没有直流环节的,称为“交—交”变频器,有中间直流环节的,称为“交—直—交”变频器。由直流电变为交流电的变换器称为逆变器。目前应用最为广泛的就是“交—直—交”变频器,通常是由整流器(AC-DC变换)、中间直流储能电路和逆变器(DC-AC变换)三部分构成,其中最为关键的就是“逆变”。

长期以来人们追求、探索交流变频调速,直到20世纪80年代这项技术才在应用上得到普及和推广,这主要得益于以下三个方面。

① 诞生于1956年的电力电子技术经20年的发展进入了现代电力电子技术阶段,制造出高耐压、大功率,具有自关断全控型电力电子器件,并且具有驱动功率小,开关频率高的特点,应用在“逆变电路”中,极大地提高了变频的性能。应该说高性能的电力电子器件为变频技术提供了良好的“硬件”条件。

② 1964年,德国的A.Schönung等人率先提出了脉宽调制(PWM)变频的思想,就是把通信系统中的调制技术推广应用于交流变频,几十年来此项技术日臻完善,使变频器具有良好的输出波形,降低了噪声和谐波,提高了系统的性能。

③ 采用全数字微机控制技术,使变频器缩小了体积,降低了成本,提高了效率,增强了功能。

以上三项技术的应用,一举打破了制约变频技术发展的“瓶颈”,即在“逆变”电路中由全控制电力电子器件组成“逆变桥”,甩掉了复杂的“强迫换流电路”,使结构紧凑合理;在异步电机的定子和转子的气隙间重现了频率可调,按正弦分布的旋转磁场,使电机基本上能够运行平稳,无噪声,无抖动。自此以后,变频调速技术(变频器控制技术)的发展日新月异。随着新型的电力电子器件、大容量微处理器和先进的控制理论的应用,交流变频调速的综合性能已经赶上并在某些方面超过了直流调速,已经上升为电气调速传动的主流。变频器传动已成为实现工业自动化的主要手段之一,在各种生产机械中,如风机、水泵、生产装配线、机床、纺织机械、轻工包装机械、造纸机械、食品、化工、矿山、冶金、轧钢等工程设备及家用电器中得到广泛的应用。变频调速技术可获得提高自动化水平,提高机械性能,提高生产效率,提高产品质量和节约能源等综合效益。其中,最主要的技术特征是可以充分地与现代网络技术结合,发挥智能控制的优势,实现分布式网络控制系统。这是工业企业自动化的重要发展方向,并已取得很成功的经验。实践证明,变频器在各种设备上的应用,已成为节能,改造传统工业,提高产品质量,改善环境,推动技术进步,提高自动化水平的主要手段之一,是国民经济普遍需要的新技术,也是发展最快的新



技术之一，在国际上称其为“绿色技术”。

当前，工业自动化正向着网络化方向发展，现代工业生产自动化的核心是生产过程信息化、网络化，呈现开放性、智能性、分散控制性的特点。在这一系统中，计算机控制技术充当了极为重要的角色，而支持这一系统的则是那些具有通信功能的智能化设备，例如，可编程序控制器、变频器、智能化仪器仪表和传感器等，它们为计算机控制技术在工业自动化方面的应用，提供了坚实的“硬件”基础。现代控制理论的应用，全数字化技术及网络通信功能的增强，使变频器技术日新月异地发展，使它在网络化控制技术方面起到了举足轻重的作用。目前，网络控制技术取代单机控制已成事实，现代交流电机的传动控制已不再仅局限于单一的调速控制要求，而更多的要求是系统化、网络化应用，以获得更强的控制功能。因此，当今的变频调速控制技术已成为高科技领域的综合性技术之一。

我国从20世纪80年代后期引进交流变频技术，推广使用变频器，目前已广泛应用在各行业，取得了巨大的经济效益和社会效益，但是在应用变频器上仍有巨大的空间。我国在交流电机上使用变频调速运行的仅占6%左右，而世界上工业发达国家已达到60%~70%。变频器最主要应用领域是节能调速和工艺调速，单从节能调速方面来讲，我国现运行的风机、水泵、空调类负载在4200万台以上，占全国用电量的1/3，其中60%适合调速。而仅在风机、泵类负载中，70%仍采用挡板、阀门来调节流量，这样电机在运行中会长期处于空载或轻载状态，造成能源的浪费。因此变频调速的重要性日益得到了国家的重视，1998年1月1日开始实施的《中华人民共和国节约能源法》第39条将变频调速列入了通用节能技术加以推广。可以说，在我国推广变频器调速技术有着非常重大的现实意义及巨大的经济价值和社会价值。

1.1.2 变频器新技术及其发展方向

1. 变频器新技术

伴随着变频器应用的日益广泛，其性能和技术也在飞速发展，主要体现在：

(1) 模块化

新型变频器的模块化已经取得了很大进展，例如，日立公司的通用变频器专用集成功率模块（ISPM），将整流电路、逆变电路、逻辑控制、驱动和保护、电源回路全部集成在一个模块内，使整机的元器件数量比原来减少了40%以上，可靠性得到很大提高。

(2) 专用化

新型变频器为更好地发挥其控制技术的独特功能，并尽可能满足现场控制的需要，派生了许多专用机型，例如，风机、水泵、空调专用型，注塑机专用型，电梯专用型，纺织机械专用型，中频驱动专用型，机车牵引专用型等。

(3) 软件化

新型变频器的功能软件化已进入实用阶段，通过内置软件编程可实现所需的功能。变频器内置多种可选的应用软件，以满足现场过程控制的需要，如PID控制软件、张力控制软件、同步控制软件、速度跟随软件、变频器调试软件、通信软件等。



(4) 网络化

新型变频器内装 RS-485 接口, 可提供多种兼容的通信接口, 支持多种不同的通信协议, 可由计算机控制和操作变频器, 通过选件可与 Lonworks、InterBus、DeviceNet、Modbus、Profibus、Ethernet、CAN 等多种现场总线联网通信, 并可通过提供的选件支持上述几种或全部类型的现场总线。例如, 西门子 MM4 系列通用变频器可以通过 USS 通信协议连接调试和控制多达 31 台变频器。

(5) 低电磁噪声、静音化

新型变频器采用高频载波 SPWM 方式实现静音化。在逆变电路中, 采用电流过零开关控制技术, 以改善波形, 降低谐波, 在电磁兼容性 (EMC) 方面符合国际标准, 实现清洁电能变换。

(6) 图形化用户界面

新型变频器的操作面板除了通常的下拉式菜单外, 同时还提供图形工具、中文菜单等监控操作功能。

(7) 引导式调试步骤

新型变频器机内固化“调试指南”, 引导操作者按步骤调试, 无须记忆参数, 充分体现了易操作性。随着变频器技术的发展, 变频器参数自调整将实用化。

(8) 参数趋势图形

新型变频器的参数趋势图可显示实时运行状态, 在调试过程中可随时监控和记录运行参数。

2. 变频器未来的发展方向

(1) 进一步提高控制理论, 发展控制策略

尽管矢量控制与直接转矩控制使交流调速系统的性能有了较大的提高, 但是还有许多领域有待深入研究。未来的变频器控制技术将在现有的基础上进一步得到发展, 将融入基于现代控制理论的模型参考自适应技术、多变量解耦控制技术、最优控制技术和基于智能控制技术的模糊控制、神经网络、专家系统和过程自寻优、故障自诊断技术等, 使变频器“傻瓜化”, 更容易使用。

(2) 高速全数字化控制

随着 32 位高速微处理器为基础的数字控制器的应用, 新型电力电子器件应用技术、Windows 操作系统以及各种 CAD 软件、通信软件被引入到变频器控制技术中, 使其能够实现各种控制算法、参数自设定、自由设计控制功能、图形编程技术等数字化控制技术。

(3) 新型电力电子器件的应用技术

随着新型电力开关器件的发展, 可关断驱动技术, 双 PWM 逆变技术, 柔性 PWM 技术, 全数字自动化控制技术, 静、动态均流技术, 浪涌吸收技术, 光控及电磁触发技术, 导热与散热技术将得到迅速发展。

(4) 变频器的大容量化和小体积化

随着新型的电力电子器件的发展、智能型功率模块的应用, 变频器的大容量化和小体积化会逐步实现。



(5) 更符合环境保护要求, 成为真正的“绿色产品”

变频器的电磁兼容技术越来越受到重视。人们在解决了变频器低频噪声的基础上, 正在探索解决变频器的电磁辐射和谐波污染问题, 并已取得了积极的成果。相信在不久的将来, “绿色产品”的变频器将会展示在人们面前。

1.2 电力电子器件在变频器中的应用

【知识目标】 了解电力电子器件发展概况。

掌握电力电子器件分类方法。

掌握常用的电力电子器件的基本特性和在使用中应注意的问题。

由于电力电子器件是变频器中的核心器件, 其性能如何对变频器的内在品质起到至关重要的影响, 所以必须对它们有所了解。

1.2.1 电力电子器件发展概况

通常认为, 1956年第一个普通晶闸管(SCR)发明之日即为电力电子技术诞生之时, 开创了利用半导体器件及电子技术控制电气运行的先河。1957—1980年称为传统电力电子技术阶段, 这一阶段, 虽然电力电子器件已由普通晶闸管衍生出了快速晶闸管(KK)、逆导晶闸管(RCT)、双向晶闸管(TRIAC)、不对称晶闸管(ASCR)等, 但是它们存在两个共同的缺陷: 一是控制功能上的欠缺, 它们通过门极只能控制开通而不能控制关断, 所以成为“半控型”器件。如果要想关断, 一是必须增加比较复杂的“强迫换流”电路, 从而使电路“臃肿”而效率降低; 二是工作频率低, 一般晶闸管均低于400Hz, 因而大大限制了它们的应用范围, 这些电子器件无法应用在通用变频器中。由于大容量晶闸管制造工艺相对简单, 并且具有较好的耐过流特性, 现在主要应用在可控整流、大功率、低速的“交—交”变频装置中和交流串级调速装置中。

20世纪70年代后期可关断晶闸管(GTO)和电力晶体管(GTR)相继产生并实用化, 为通用变频器大规模普及应用带来了曙光。20世纪80年代, 绝缘栅双极型晶体管(IGBT)的开发成功及应用, 真正使变频器产生了质的飞跃。它在许多性能上优于GTR, 并且逐步取代GTR, 可以说, IGBT为变频调速的迅速普及和进一步提高奠定了基础。此后各种高频化全控型器件如雨后春笋般地不断问世, 并得到迅速发展, 而IGBT也逐步完成集成化、模块化过程。新型电力电子器件的产生使电力电子技术由传统阶段跨入了现代阶段。

现代电力电子技术在器件、电路及其控制技术方面有如下特点。

1. 集成化

几乎所有全控型器件都由许多单元管子并联而成, 即一个器件是由许多子器件集成的。例如, 一个1000A的GTO含有近千个单元GTO, 一个40A的功率场效应晶体管(MOSFET)由上万个单元并联而成。



2. 高频化

一般的 IGBT 工作频率均达到 20kHz，而功率 MOSFET 可达数百千赫兹，静电感应晶体管（SIT）工作频率可达 10MHz 以上。

3. 全控化

电力电子器件实现全控化，即自关断化，是现代电力电子器件在功能上的重大突破。无论双极型器件如 GTR、GTO，或单极型器件如 MOSFET，以及混合型器件如 IGBT、MOS 控制晶闸管（MCT），都实现了全控化，从而避免了传统电力电子器件关断时所需要的强迫换流电路。

4. 控制电路弱电化、控制技术数字化

全控型器件的高频化促进了电力电子控制电路的弱电化。许多弱电领域的电子技术可以应用到电力领域中来，例如，PWM 调制技术、谐振变流等。控制这些电路的技术也逐步数字化。

1.2.2 电力电子器件的简单分类

电力电子器件的分类方法很多，常见的分类有如下几种。

1. 根据不同的开关特性分

① 不控器件。这种器件通常为两端器件，一般只有整流的作用而无可控的功能，如整流二极管、肖特基势垒二极管等。

② 半控型器件。这种器件通常为三端器件，只能控制其开通而不能控制其关断，普通晶闸管（SCR）及其大部分派生器件属于这一类。

③ 全控型器件。这种器件也为三端器件，通过控制信号，既可以控制其开通，又可以控制其关断。这类器件主要有 GTR、GTO、IGBT 及大部分新型的电力电子器件。

2. 根据器件内参与导电的载流子情况分

① 双极型。凡由电子和空穴两种载流子参与导电的称为双极型器件，如普通晶闸管、电力晶体管等。

② 单极型。凡只有一种载流子参与导电的称为单极型器件。大部分场控器件属单极型，如功率 MOSFET。

③ 混合型。由单极型和双极型两种器件组成的复合型器件称为混合型器件，如 IGBT、MOS 控制晶闸管（MCT）等。

3. 根据控制信号不同分

(1) 电流控制型

这类器件一般从控制极的电流变化来控制器件的开通或关断，有时又称之为电流驱动型。应用比较广泛的电流控制型器件可分为两大类：一类是晶体管类，如电力晶体管（GTR）、达林顿晶体管等，这类器件适用于 500kW 以下，380V 交流供电的领域；另一类是晶闸管



类, 如 SCR、GTO 等, 这类器件适用于电压更高, 电流更大的应用领域。

电流控制型器件的共同特点如下。

① 器件内有两种载流子导电, 当管子由导通转向截止时, 两种载流子在复合过程中产生热量, 使器件结温升高。过高的结温限制了工作频率的提高。因此, 电流控制型器件比电压控制型器件的工作频率要低。

② 电流控制型器件具有电导调制效应, 使其导通压降很低, 导通损耗较小, 这是电流控制型器件的一大优势。

③ 此类器件的控制极输入阻抗较低, 因此驱动电流和控制功率较大, 其电路也比较复杂。

(2) 电压控制型

这类器件的开通和关断是由电压信号进行控制的, 如功率 MOSFET、IGBT 和 MOS 控制晶闸管 (MCT) 等。从广义上讲, 一切用场控原理进行控制的电力电子器件均属电压控制型, 因此, 电压控制型器件也称为场效应电力电子器件或场控电力电子器件。

场控电力电子器件一般也分为两类: 一类是结型场效应器件, 如静电感应晶体管 (SIT)、静电感应晶闸管 (SITH) 等, 这类器件多为常开型器件, 目前多用于高频感应加热系统; 另一类是绝缘栅场效应器件, 如绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)、MOS 控制晶闸管 (MCT) 等。由于 IGBT 的性能优于 GTR, 因此近年来基本上取代了 GTR。而 MCT 是集高电压、大电流和高频化于一体的电压控制型器件, 是未来与 SCR、GTO 相竞争的新型器件。

应该指出, 所有电压控制型器件都是用场控原理对其通断状态进行控制的, 但是它们不一定全是单极型器件, 大部分混合型器件也属电压控制型器件, 少量双极型器件如 SITH, 也属电压控制型器件。

电压控制型器件的共同特点如下。

① 作为电压控制型器件, 因为输入信号是加在门极的反偏结或是绝缘介质上的电压, 输入阻抗很高, 因此控制功率小, 控制电路比较简单。

② 对单极型器件来说, 因为只有一种载流子导电, 没有少数载流子的注入和存储, 其开关过程中不存在像双极型器件中的两种载流子的复合问题, 因而工作频率很高, 其工作频率可达几百、几千赫兹。对于混合型器件来说, 其工作频率也远高于双极型器件。因此可以说, 工作频率高是电压控制型器件的另一共同特点。

③ 电压控制型器件的工作温度高, 抗辐射能力也强。因此, 这类器件的发展前景十分广阔。

1.2.3 变频器中常用的电力电子器件

电力电子器件在变频器的主电路中起核心作用, 它的性能优劣标志着变频器档次的高低。从某种意义上说, 变频器的发展过程正是电力电子器件发展过程的反映。变频器的发展刺激并调动了对电力电子器件的研究与发展, 而电力电子器件的发展则进一步推动了变频器发展和水平的提高。目前变频器市场新品不断涌现, 而正在运行中的变频器, 有的已经运行了十多年了, 有的也该进行维护或“换代”。在这里介绍一下多数变频器中常用的



电力电子器件，帮助读者加深对变频器的了解。

1. 电力晶体管（又称大功率双极型晶体管）

电力晶体管（Bipolar Junction Transistor）或称为巨型晶体管（Giant Transistor），其研制、开发大约在 1974 年，大规模应用在 20 世纪 70 年代后期。它是电流控制型电力电子器件。

单个电力晶体管的放大系数很小，一般只有 10 左右，通常采用至少由两个晶体管，按达林顿接法组成的单元结构。一个成品 GTR 要由许多这种单元结构并联而成。

表 1-1 中给出了由两个晶体管组成的两级达林顿 GTR 的等效电路图。当前应用的 GTR 均已模块化，图 1-1 所示为富士公司生产的 EV1298 型 GTR 的内部线路，它只相当于一个单元模块，电路中 VD_1 为续流二极管， VD_2 、 VD_3 为加速二极管， R_1 、 R_2 、 R_3 均为电阻，电流增益可达 10 000 左右。单元模块可分为一单元、二单元、四单元和六单元模块。通常四单元模块可构成单相桥式电路，而六单元结构可构成三相桥式电路。不同单元的简化结构如图 1-2 所示。

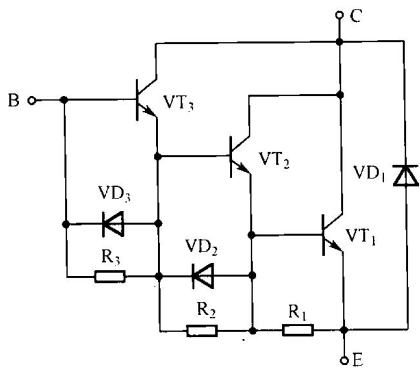


图 1-1 EV1298 型 GTR 的内部线路

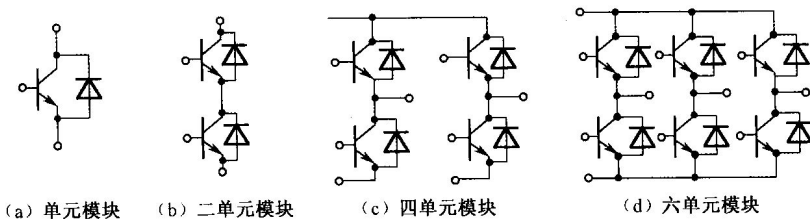


图 1-2 模块化 GTR 的内部简化结构

对 GTR 来说，最主要特性是耐压高，电流大，开关特性好，如同其他电流控制型半导体开关器件一样，具有导通压降小，导通损耗低的优点。由于内部是达林顿结构且为双极型，必然开关时间较长，一般工作频率为 2kHz。GTR 缺点是：电流波形较差；电机的转矩略小；电机内的电磁噪声较大；在开关期间可能发生局部过热的二次击穿，这是 GTR 最具破坏力的多发性故障。GTR 在早期的中小容量变频器中使用。20 世纪 90 年代后 GTR 逐步被 IGBT 取代，现在它只在较低档的、中小容量的变频器中应用。