



新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材

· 电气自动化技术专业

变频调速 技术与应用

· 李良仁 主 编
· 王兆晶 副主编
· 汪临伟 主 审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

· <http://www.phei.com.cn>

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材 · 电气自动化技术专业

变频调速技术与应用

李良仁 主 编

王兆晶 副主编

汪临伟 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书主要包括:变频技术的基础知识,常用电力电子器件介绍和选用,变频调速原理,变频调速的应用。书中以三菱 FR-E540 系列变频器为例,介绍了变频器的参数设定,同时简要介绍了变频器的安装与维护。内容系统简洁,实用性较强。为方便教学,书中配有实验。

本书注重实际,强调应用,可作为高职高专院校工业自动化、电气工程及自动化、机电一体化、应用电子技术及其他相关专业的教材,同时也可供相关专业工程技术人员参考。

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

变频调速技术与应用/李良仁主编. —北京:电子工业出版社, 2004.12

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材. 电气自动化技术专业

ISBN 7-121-00521-2

I. 变… II. 李… III. 变频调速—高等学校:技术学校—教材 IV. TM921.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 123614 号

责任编辑:陈晓明 特约编辑:高文勇

印 刷:北京冶金大业印刷有限公司

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

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:10.75 字数:275 千字

印 次:2004 年 12 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:15.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

出版说明

高等职业教育是我国高等教育的重要组成部分。其根本任务是培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高技术应用型人才。近年来,高等职业教育发展迅猛,其宏观规模发生了历史性变化。为适应我国社会进步和经济发展的需要,高等职业教育的教学模式、教学方法需要不断改革,高职教材也必须与之相适应,进行重新调整与定位,突出自身的特色。为此,在国家教育部、信息产业部有关司局的支持、指导和帮助下,电子工业出版社在全国范围内筹建成立“全国高职高专教育教材建设领导小组”,下设“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等专业的多个编委会。各专业编委会成员由电子信息战线辛勤耕耘、功绩卓著的专家、教授、高工和富有高职教学经验的一线优秀教师组成。

2002年10月,“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”等四个专业的编委会精心组织全国范围内的优秀一线教师编写了《新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材》60余种。这批教材的主要特点是:

1. 在编写方法上打破了以往教材过于注重“系统性”的倾向,摒弃了一些一般内容和烦琐的数学推导,采用阶跃式、有选择的编写模式,强调实践和实践属性,精炼理论,突出实用技能,内容体系更加合理;

2. 注重现实社会发展和就业需求,以培养职业岗位群的综合能力为目标,充实训练模块的内容,强化应用,有针对性地培养学生较强的职业技能;

3. 教材内容的设置有利于扩展学生的思维空间和学生的自主学习;着力于培养和提高学生的综合素质,使学生具有较强的创新能力,促进学生的个性发展;

4. 教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法,具有超前性、先进性。

首批教材共有60余种,将于2003年8月陆续出版。所有参加教材编写的高职院校都有一个共同的愿望:希望通过教材建设领导小组、编委会和全体作者的共同努力,使这批教材在编写指导思想、编写内容和编写方法上具有新意,突出高等职业教育的特点,满足高职学生学习和就业的需要。

高等职业教育改革与教材建设是一项长期的任务,不会一蹴而就,而是要经历一个发展过程。这批高职教材的问世,还有许多不尽人意之处。随着教育的不断深化,我国经济和科学技术的不断发展,高职教材的改革与开发将长期与之相伴而行。在教育部和信息产业部的指导和帮助下,我们将一如既往地依靠本行业的专家,与科研、教学第一线的教研人员紧密联系,加强合作,与时俱进,不断开拓,逐步完善各类专业课教材、专业基础课教材、实训指导书、电子教案、电子课件及配套教材,为高等职业教育提供优质的教学资源和服务。

电子工业出版社高职高专教育教材事业部的全体成员殷切地希望全国高职高专院校的教师们能够踊跃投稿,提出选题建议,并对已出版的教材从多方面提出修改建议。除以上四个专业外,我们还设立了“计算机技术”、“电子商务”、“物流管理”、“会计类”、“金融类”、“环保类”等专业的编委会。我们衷心欢迎更多的志士仁人加入到各个编委会中来。

电子工业出版社的全体员工将竭诚为教育服务,为高等职业教育战线的广大师生服务。

全国高职高专教育教材建设领导小组
电子工业出版社

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”

编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院

江西信息应用职业技术学院

江西蓝天职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

保定职业技术学院

安徽职业技术学院

杭州中策职业学校

黄石高等专科学校

天津职业技术师范学院

福建工程学院

湖北汽车工业学院

广州铁路职业技术学院

台州职业技术学院

重庆工业高等专科学校

济宁职业技术学院

四川工商职业技术学院

吉林交通职业技术学院

连云港职业技术学院

天津滨海职业技术学院

杭州职业技术学院

重庆职业技术学院

重庆工业职业技术学院

广州大学科技贸易技术学院

湖北孝感职业技术学院

江西工业工程职业技术学院

四川工程职业技术学院

广东轻工职业技术学院

西安理工大学

辽宁大学高职学院

天津职业大学

天津大学机械电子学院

九江职业技术学院

包头职业技术学院

北京轻工职业技术学院

黄冈职业技术学院

郑州工业高等专科学校

泉州黎明职业大学

浙江财经学院信息学院

南京理工大学高等职业技术学院

南京金陵科技学院

无锡职业技术学院

西安科技学院

西安电子科技大学

河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院

三峡大学职业技术学院

桂林电子工业学院高职学院

桂林工学院

南京化工职业技术学院

湛江海洋大学海滨学院

江西工业职业技术学院

江西渝州科技职业学院

柳州职业技术学院

邢台职业技术学院

漯河职业技术学院

太原电力高等专科学校

苏州工商职业技术学院

金华职业技术学院

河南职业技术师范学院

新乡师范高等专科学校

绵阳职业技术学院

成都电子机械高等专科学校

河北师范大学职业技术学院

常州轻工职业技术学院

常州机电职业技术学院

无锡商业职业技术学院

河北工业职业技术学院

天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院

浙江工商职业技术学院

河南机电高等专科学校

深圳信息职业技术学院

河北工业职业技术学院

湖南信息职业技术学院

江西交通职业技术学院

沈阳电力高等专科学校

温州职业技术学院

温州大学

广东肇庆学院

湖南铁道职业技术学院

宁波高等专科学校

南京工业职业技术学院

浙江水利水电专科学校

成都航空职业技术学院

吉林工业职业技术学院

上海新侨职业技术学院

天津渤海职业技术学院

驻马店师范专科学校

郑州华信职业技术学院

浙江交通职业技术学院

前 言

《变频调速技术与应用》是高职“电气自动化技术专业”的一门专业课程，也是一门实践性较强的综合性课程。通过本课程的理论教学和实践教学，能够使学生掌握电力电子器件、变频调速技术、PLC 应用技术等多学科综合知识与基本技能，具备变频调速系统的设计、安装、调试、维护及设备改造的综合应用能力。本课程教学内容包括：变频技术概述、常用电力电子器件介绍、变频调速原理、变频调速技术的应用、变频器的选择和参数设置、变频器的安装与调试及实验等。

本教材编写过程中遵守“精选内容，加强实践，培养能力，突出应用”的原则，力求做到以能力培养即控制技术应用能力为主线，体现实用性、先进性、适用性、浅显性。教学内容针对电气自动化技术专业高等技术应用人才岗位所需知识和能力要求，围绕常用电力电子器件的基本特性与选用、变频器的基本原理、变频器应用控制原理图的分析阅读的能力等内容编写。教材内容反映当前生产实际情况，淡化公式推导，注重实际应用。为使高职毕业生尽快适应工作岗位要求，教材中增加了新型电力电子器件和变频器的选择与维护，变频器的应用举例等基本知识，并以工程中广泛应用的三菱 FR-E 500 系列变频器为例，介绍变频器参数设置，突出了教材的工程实用性。根据当前高职院校的生源素质，重视在物理概念的基础上讲授知识，力求降低教材内容的难度，做到通俗易懂，图文并茂，简洁明了，使教材既适合高职学生选用，也可供相关专业工程技术人员参考。

本教材的理论课时约为 50 学时，实验、实训课时约为 20 学时。在教学时可根据实际情况适当调整。

参加本书编写工作的有：九江职业技术学院李良仁、龚素文，山东劳动职业技术学院王兆晶、刘传顺。本书由李良仁任主编，负责全书的组织、修改和定稿工作，王兆晶任副主编。本书编写过程中得到九江职业技术学院电气工程系主任汪临伟的大力支持，倪志莲校对本书的部分书稿，杨静云参与了本书的绘图和部分文字录入，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中缺点在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见，以便修改。

编 者
2004 年 7 月



Contents

第1章 概述	(1)
1.1 变频技术	(1)
1.2 变频技术的发展过程	(2)
1.3 我国变频调速技术的发展状况	(3)
1.3.1 我国变频调速技术的发展概况	(3)
1.3.2 目前国内主要的产品状况	(4)
1.4 变频技术的发展方向	(4)
思考题与习题	(6)
第2章 常用电力电子器件介绍及选择	(7)
2.1 晶闸管的结构原理及测试	(7)
2.2 功率晶体管 (GTR)	(9)
2.3 功率场效应晶体管 (MOSFET)	(10)
2.4 绝缘栅双极晶体管 (IGBT)	(12)
2.5 集成门极换流晶闸管 (IGCT)	(13)
2.6 MOS 控制晶闸管 (MCT)	(15)
2.7 电力半导体器件的应用特点	(16)
2.8 智能电力模块 (IPM)	(17)
思考题与习题	(20)
第3章 变频调速原理	(21)
3.1 变频调速的基本原理	(21)
3.1.1 变频调速系统的控制方式	(21)
3.1.2 PWM 控制技术	(22)
3.2 通用变频器简介	(25)
3.2.1 变频器的基本结构	(25)
3.2.2 变频器的类别	(26)
3.2.3 变频器的额定值和频率指标	(27)
3.2.4 变频器的主电路	(28)
3.3 通用变频器的控制电路原理	(29)
3.3.1 v/f 控制型通用变频器	(29)
3.3.2 矢量控制通用变频器	(36)
3.3.3 直接转矩控制	(38)



3.4 高压变频器主电路结构及其控制特点	(44)
3.4.1 高压变频器需要解决的主要问题	(44)
3.4.2 多电平电压源型逆变器	(45)
3.4.3 多电平逆变器的空间电压矢量 PWM 控制技术	(49)
3.4.4 高压大功率变频器的整流电路	(53)
3.4.5 高压变频器对电机的影响及防治措施	(54)
思考题与习题	(56)
第 4 章 变频器的选择和参数设定	(57)
4.1 变频器的分类	(57)
4.1.1 按电压的调制方式分类	(57)
4.1.2 按工作原理分类	(57)
4.1.3 按用途分类	(58)
4.1.4 按变换环节分类	(59)
4.1.5 按直流环节的储能方式分类	(59)
4.2 变频器的选择	(59)
4.2.1 对恒转矩负载变频器的选择	(59)
4.2.2 对恒功率负载变频器的选择	(60)
4.2.3 对二次方律负载变频器的选择	(61)
4.2.4 对其他类型的负载变频器的选择	(63)
4.3 变频器的功能及参数	(64)
4.3.1 三菱 FR-E500 系列变频器	(65)
4.3.2 功能及参数	(69)
4.4 变频器容量计算	(80)
4.4.1 根据电动机电流选择变频器容量	(80)
4.4.2 输出电压	(83)
4.4.3 输出频率	(83)
4.4.4 保护结构	(83)
4.4.5 v/f 模式	(83)
4.4.6 电网与变频器的切换	(83)
4.4.7 瞬时停电再启动	(84)
思考题与习题	(84)
第 5 章 变频调速技术的综合应用	(85)
5.1 变频技术应用概述	(85)
5.2 水泵的变频调速	(87)
5.2.1 水泵供水的基本模型与主要参数	(87)
5.2.2 供水系统的节能原理	(88)
5.2.3 恒压供水系统的构成与工作过程	(90)
5.2.4 恒压供水系统的应用实例	(92)



5.3 中央空调的变频调速	(95)
5.3.1 中央空调的构成	(95)
5.3.2 循环水系统的特点	(96)
5.3.3 冷却水系统的变频调速	(98)
5.3.4 冷冻水系统的变频调速	(100)
5.4 家用空调的变频调速	(101)
5.5 风机的变频调速	(104)
5.5.1 风机的机械特性	(104)
5.5.2 风机的主要参数和特性	(105)
5.5.3 风量的调节方法与比较	(105)
5.5.4 风机变频调速实例	(106)
5.6 工厂运输机械的变频调速	(108)
5.6.1 工厂运输机械的任务和类别	(108)
5.6.2 工厂运输机械的拖动系统	(108)
5.6.3 起升机构的变频调速	(109)
5.6.4 电梯设备的变频调速	(115)
5.7 机床的变频调速	(120)
5.7.1 普通车床的变频调速改造	(121)
5.7.2 刨台运动的变频调速改造	(124)
5.7.3 数控机床的变频调速	(128)
5.8 生产线的变频调速	(130)
5.8.1 胶片生产线	(130)
5.8.2 喷涂生产线的吸排气装置	(132)
5.9 通用变频器在浆染联合机上的应用	(132)
5.9.1 系统概述	(132)
5.9.2 控制系统组成	(133)
5.9.3 可编程序控制器部分	(134)
5.9.4 该控制系统设计的缺陷及注意事项	(134)
思考题与习题	(135)
第6章 变频器的安装与调试	(136)
6.1 变频器的安装	(136)
6.1.1 设置场所	(136)
6.1.2 使用环境	(136)
6.1.3 安装环境	(137)
6.1.4 安装方法	(139)
6.2 变频器的接线	(139)
6.2.1 主电路的接线	(139)
6.2.2 控制电路的接线	(140)
6.3 变频调速系统的调试	(141)



6.3.1 通电前的检查	(141)
6.3.2 变频器的功能预置	(141)
6.3.3 电动机的空载试验	(141)
6.3.4 拖动系统的启动和停机	(142)
6.3.5 拖动系统的负载试验	(142)
6.4 变频器的抗干扰技术	(142)
6.4.1 变频器的干扰	(142)
6.4.2 干扰信号的传播方式	(143)
6.4.3 变频器的抗干扰措施	(143)
6.5 变频器的常见故障检修	(144)
思考题与习题	(145)
第7章 变频技术实训	(146)
实训1 变频器的结构和功能预置	(146)
实训2 变频器外部操作模式的运行	(148)
实训3 电动机带负载实训	(152)
实训4 综合实训	(154)
附录 三菱 FR-E500 系列变频器功能参数表	(155)
参考文献	(160)

第1章 概述



内容提要与学习要求

- 了解变频技术的基本概念及类型;
- 了解我国变频调速技术的发展状态。

1.1 变频技术

在现代化生产中需要各种频率的交流电源,其主要用途是:

- (1) 标准 50Hz 电源 用于人造卫星、大型计算机等特殊要求的电源设备,对其频率、电压波形和幅值及电网干扰等参数,均有很高的精度要求。

- (2) 不间断电源(UPS) 平时电网对蓄电池充电,当电网发生故障停电时,将蓄电池的直流电逆变成 50Hz 的交流电,对设备临时供电。

- (3) 中频装置 广泛应用于金属熔炼、感应加热及机械零件的淬火。

- (4) 变频调速 用三相变频器产生频率、电压可调的三相变频电源,对三相感应电动机和同步电动机进行变频调速。

简单地说,变频技术就是把直流电逆变成不同频率的交流电,或是把交流电变成直流电再逆变成不同频率的交流电,或是把直流电变成交流电再把交流电变成直流电等技术的总称。总之,这一切都是电能不发生变化,而只有频率发生变化。

变频技术的类型主要有以下几种。

1. 交-直变频技术(即整流技术)

它是通过二极管整流、二极管续流或晶闸管、功率晶体管可控整流实现交-直流(0Hz)功率转换。这种转换多属于工频整流。

2. 直-直变频技术(即斩波技术)

它是通过改变电力电子器件的通断时间即改变脉冲的频率(定宽变频),或改变脉冲的宽度(定频调宽),从而达到调节直流平均电压的目的。

3. 直-交变频技术(即逆变技术)

在电子学中,振荡器利用电子放大器件将直流电变成不同频率的交流电甚至电磁波,又称为振荡技术。在变频技术中,逆变器则利用功率开关将直流电变成不同频率的交流电又称



为逆变技术。如果输出的交流电频率、相位、幅值与输入的交流电相同,称为有源变频技术;否则称为无源变频技术。

4. 交-交变频技术(即移相技术)

它通过控制电力电子器件的导通与关断时间,实现交流无触点的开关、调压、调光、调速等目的。

本书主要讨论变频调速原理和应用。

1.2 变频技术的发展过程

变频技术是应交流电机无级调速的需要而诞生的。自 20 世纪 60 年代以来,电力电子器件从 SCR(晶闸管)、GTO(门极可关断晶闸管)、BJT(双极型功率晶体管)、MOSFET(金属氧化物场效应管)、SIT(静电感应晶体管)、SITH(静电感应晶闸管)、MGT(MOS 控制晶体管)、MCT(MOS 控制晶闸管)发展到今天的 IGBT(绝缘栅双极型晶体管)、HVIGBT(耐高压绝缘栅双极型晶闸管)等,器件的更新促使电力变换技术不断发展。自 20 世纪 70 年代开始,脉宽调制变压变频(PWM-VVVF)调速研究引起了人们的高度重视。20 世纪 80 年代,作为变频技术核心的 PWM 模式优化问题吸引着人们的浓厚兴趣,并得出诸多优化模式。20 世纪 80 年代后半期,美、日、德、英等发达国家的 VVVF 变频器已投入市场并广泛应用。

VVVF 变频器的控制相对简单,机械特性硬度也较好,能够满足一般传动的平滑调速要求,已在生产的各个领域得到广泛应用。但是,在低频时这种控制方式,由于输出电压较小,受定子电阻压降的影响比较显著,故造成输出最大转矩减小。另外,其机械特性终究没有直流电动机硬,动态转矩能力和静态调速性能都还不尽如人意,因此人们又研究出矢量控制变频调速技术。

矢量控制变频调速的做法是:将异步电动机在三相坐标系下的定子交流电流 i_a 、 i_b 、 i_c 、通过三相-二相变换,等效成两相静止坐标系下的交流电流 i_{a1} 、 i_{b1} ,再通过按转子磁场定向旋转变换,等效成同步旋转坐标系下的直流电流 I_{m1} 、 I_{t1} (I_{m1} 相当于直流电动机的励磁电流; I_{t1} 相当于与转矩成正比的电枢电流),然后模仿直流电动机的控制方法,求得直流电动机的控制量,经过相应的坐标反变换,实现对异步电动机的控制。

矢量控制方法的提出具有划时代的意义。然而在实际应用中,由于转子磁链难以准确观测,系统特性受电动机参数的影响较大,且在等效直流电动机控制过程中所用矢量旋转变换较复杂,使得实际的控制效果难以达到理想分析的结果。

1985 年,德国鲁尔大学的 DePenbrock 教授首次提出了直接转矩控制变频技术。该技术在很大程度上解决了上述矢量控制的不足,并以新颖的控制思想、简洁明了的系统结构、优良的动静态性能得到了迅速发展。目前,该技术已成功地应用在电力机车牵引的大功率交流传动上。

直接转矩控制的优点是它直接在定子坐标系下分析交流电动机的数学模型、控制电动机的磁链和转矩。它不需要将交流电动机转化成等效直流电动机,因而省去了矢量旋转变换中的许多复杂计算;它不需要模仿直流电动机的控制,也不需要为解耦而简化交流电动机的数



学模型。

VVVF 变频、矢量控制变频、直接转矩控制变频都是交-直-交变频中的一种。其共同缺点是输入功率因数低,谐波电流大,直流回路需要大的储能电容器,再生能量又不能反馈回电网,即不能进行四象限运行。为此,矩阵式交-交变频应运而生。由于矩阵式交-交变频省去了中间直流环节,从而省去了体积大、价格贵的电解电容器。它能实现功率因数为 1,具有输入电流为正弦能四象限运行,且系统的功率密度大等优点。该技术目前虽尚未成熟,但仍吸引着众多的学者深入研究。

1.3 我国变频调速技术的发展状况

近 10 年来,随着电力电子技术、计算机技术、自动控制技术的迅速发展,电气传动技术面临着一场历史革命,即交流调速取代直流调速、计算机数字控制技术取代模拟控制技术已成为发展趋势。电机交流变频调速技术是当今节电、改善工艺流程以提高产品质量和改善环境、推动技术进步的一种主要手段。变频调速以其优异的调速起动、制动性能,高效率、高功率因数和节电效果,广泛的适用范围及其他许多优点而被国内外公认为最有发展前途的调速方式。

1.3.1 我国变频调速技术的发展概况

电气传动控制系统通常由电动机、控制装置和信息装置 3 部分组成。电气传动关系到合理地使用电动机以节约电能和控制机械的运转状态(位置、速度、加速度等),实现电能-机械能的转换,达到优质、高产、低耗的目的。电气传动分成不调速和调速两大类,调速又分交流调速和直流调速两种方式。不调速电动机直接由电网供电,但随着电力电子技术的发展这类原本不调速的机械越来越多地改用调速传动以节约电能(可节约 15%~20%或更多),改善产品质量,提高产量。在我国 60%的发电量是通过电动机消耗的,因此调速传动是一个重要行业,一直得到国家重视,目前已有一定规模。

交流调速中最活跃、发展最快的就是变频调速技术。变频调速是交流调速的基础和主干内容。上个世纪变压器的出现使改变电压变得很容易,从而造就了一个庞大的电力行业。长期以来,交流电的频率一直是固定的,变频调速技术的出现使频率变为可以充分利用的资源。

我国电气传动与变频调速技术的发展应用见表 1-1 所示。我国是一个发展中国家,许多产品的科研开发能力仍落后于发达国家。至今自行开发生产的变频调速产品大体只相当于国际上 20 世纪 80 年代水平。随着改革开放,经济高速发展,变频调速产品形成了一个巨大的市场,它既对国内企业,也对外国公司敞开。很多最先进的产品从发达国家进口,在我国运行良好,满足了国内生产和生活需要。国内许多合资公司生产当今国际上最先进的变频调速产品并进行应用软件的开发,为国内外重大工程项目提供一流的电气传动控制系统。在变频调速领域,我国虽然取得了很大成绩,但应看到由于国内自行开发、生产产品的能力弱,对国外公司的依赖性仍较严重。

表 1-1 我国电气传动与变频调速技术的发展简史

技术特征	应用年代
带电机扩大机的发电机-电动机机组传动	20 世纪 50 年代初期~70 年代中期
汞弧整流器供电的直流调速传动	20 世纪 50 年代后期~60 年代后期
磁放大器励磁的发电机-电动机机组传动	20 世纪 60 年代初期~70 年代中期
晶闸管变流器励磁的发电机-电动机机组	20 世纪 60 年代后期~70 年代后期
晶闸管变流器供电的直流调速传动	20 世纪 70 年代初期~现在
饱和磁放大器供电的交流调速传动	20 世纪 60 年代初期~60 年代后期
静止串级调速交流调速传动	20 世纪 70 年代中期~现在
循环变流器供电的交流变频调速传动	20 世纪 80 年代后期~现在
电压或电流型 6 脉冲逆变器供电的交流变频调速传动	20 世纪 80 年代初期~现在
BJT (IGBT) PWM 逆变器供电的交流变频调速传动	20 世纪 90 年代初期~现在

1.3.2 目前国内主要的产品状况

1. 晶闸管交流器和开关器件 (DJT、IGBT、VDMOS) 斩波器供电的直流调速设备

这类设备的市场很大, 随着交流调速的发展, 该设备虽在缩减, 但由于我国旧设备改造任务多, 以及它在几百至一千多 kW 范围内价格比交流调速低得多, 所以在短期内市场不会缩减很多。自行开发的控制器多为模拟控制, 近年来主要采用进口数字控制器配国产功率装置。

2. IGBT 或 BJT PWM 逆变器供电的交流变频调速设备

这类设备的市场很大, 总容量占的比例不大, 但台数多, 增长快, 应用范围从单机扩展到全生产线, 从简单的 v/f 控制到高性能的矢量控制。目前, 国内约有 50 家工厂和公司生产, 其中合资企业占很大比重。

3. 负载换流式电流型晶闸管逆变器供电的交流变频调速设备

这类产品在抽水蓄能电站的机组起动, 大容量风机、泵、压缩机和轧机传动方面有很大需求。国内只有少数科研单位有能力制造, 目前容量最大做到 12MW。功率装置国内配套, 自行开发的控制装置只有模拟式的, 数字装置需进口, 能自行开发应用软件。

4. 交-交变频器供电的交流变频调速设备

这类产品在轧机和矿井卷扬传动方面有很大需求, 台数不多, 功率大。主要靠进口, 国内只有少数科研单位有能力制造。目前最大容量做到 7000~8000kW。功率部分国产, 数字控制装置进口, 包括开发应用软件。

1.4 变频技术的发展方向

交流变频调速技术是强弱电混合、机电一体的综合性技术, 既要处理巨大电能的转换



(整流、逆变), 又要处理信息的收集、变换和传输, 因此它的共性技术必定分成功率和控制两大部分。前者要解决与高电压大电流有关的技术问题, 后者要解决控制模块的硬、软件开发问题。

其主要发展方向有如下几项。

1. 实现高水平的控制

利用各种控制策略实现高水平控制, 包括基于电动机和机械模型的控制策略, 有矢量控制、磁场控制、直接转矩控制等; 基于现代理论的控制策略, 有滑模变结构技术、模型参考自适应技术、采用微分几何理论的非线性解耦、鲁棒观察器, 在某种指标意义下的最优控制技术和逆奈奎斯特阵列设计方法等; 基于智能控制思想的控制策略, 有模糊控制、神经网络、专家系统和各种各样的自优化、自诊断技术等。

2. 开发清洁电能的变流器

所谓清洁电能变流器是指变流器的功率因数为 1, 网侧和负载侧有尽可能低的谐波分量, 以减少对电网的公害和电动机的转矩脉动。对中小容量变流器, 提高开关频率的 PWM 控制是有效的。对大容量变流器, 在常规的开关频率下, 可改变电路结构和控制方式, 实现清洁电能的变换。

3. 缩小装置的尺寸

紧凑型变流器要求功率和控制元件具有高的集成度, 其中包括智能化的功率模块、紧凑型的光耦合器、高频率的开关电源, 以及采用新型电工材料制造的小体积变压器、电抗器和电容器。功率器件冷却方式的改变(如水冷、蒸发冷却和热管)对缩小装置的尺寸也很有效。

4. 高速度的数字控制

以 32 位高速微处理器为基础的数字控制模块有足够的实现各种控制算法, Windows 操作系统的引入使得软件设计更便捷。图形编程的控制技术也有很大的发展。

5. 模拟器与计算机辅助设计(CAD)技术

电机模拟器、负载模拟器以及各种 CAD 软件的引入对变频器的设计和测试提供了强有力的支持。

主要的研究开发项目有如下各项。

(1) 数字控制的大功率交-交变频器供电的传动设备。

(2) 大功率负载换流电流型逆变器供电的传动设备在抽水蓄能电站、大型风机和泵上的推广应用。

(3) 电压型 GTO 逆变器在铁路机车上的推广应用。

(4) 扩大电压型 IGBT、IGCT 逆变器供电的传动设备的功能, 改善其性能。如 4 象限运行, 带有电机参数自测量与自设定和电机参数变化的自动补偿以及无传感器的矢量控制、直接转矩控制等。



(5) 风机和泵用高压电动机的节能调速研究。众所周知, 风机和泵改用调速传动后能有效节约电能。特别是高压电动机, 容量大, 节能效果更显著。研究经济合理的高压电动机调速方法是当今的重大课题。



思考题与习题

- 1.1 什么是变频技术?
- 1.2 变频技术的类型有哪几种?
- 1.3 我国变频调速技术的发展概况如何?
- 1.4 简述变频技术的发展方向?