



中等职业学校电子信息类教材 机电技术专业

交流调速技术

付娟 主编

王铁柱 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校电子信息类教材(机电技术专业)

交流调速技术

付 娟 主编

王铁柱 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍交流调速技术及应用。其内容包括交流调速概况、发展趋势、调速方法及主要应用领域,各种电力电子器件的工作原理、主要参数、驱动与保护,交-直-交型变频器及其组成的调速系统,脉宽调制(PWM)技术,交-交型变频器及其应用,矢量变换控制技术,绕线异步电动机串级调速系统及无换向器电动机调速系统等。

本书可作为中等职业学校机电类专业教材,也可作为高等职业技术学院、高等专科学校、职工大学、短期培训班相关专业的教材或参考书。

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

交流调速技术/付娟主编. —北京:电子工业出版社,2002.2
中等职业学校电子信息类教材. 机电技术专业
ISBN 7-5053-7223-8

I. 交... II. 付... III. 交流电动机—调速—专业学校—教材 IV. TM340.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 001117 号

责任编辑:陈晓莉

特约编辑:明卒群

排版制作:电子工业出版社计算机排版室

印刷者:北京大中印刷厂

装订者:三河市新伟装订厂

出版发行:电子工业出版社 URL:<http://www.phei.com.cn>

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:11.25 字数:284 千字

版 次:2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

印 数:5000 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

出版说明

职业教育的教育质量和办学效益,直接关系到我国 21 世纪劳动者和专门人才的素质,关系到经济发展的进程。要培养具备综合职业能力和全面素质,直接在生产、服务、技术和管理第一线工作的跨世纪应用型人才,必须进一步推动职业教育教学改革,确立以能力为本位的教学指导思想。在课程开发和教材建设上,以社会和经济需求为导向,从劳动力市场和职业岗位分析入手,努力提高教育质量。

电子工业出版社受国家教育部的委托,负责规划、组织并出版全国中等职业学校计算机技术、实用电子技术和通信技术三个专业的教材。电子工业出版社以电子信息产业为背景,以本行业的科技力量为依托,与教研、教学第一线的教研人员和教师相结合,已组织编写、出版计算机技术、实用电子技术及通信技术专业的教材 100 余种,受到了广大职业学校师生的好评,为促进职业教育做出了积极的努力。

随着科学技术水平日新月异,计算机、电子、通信技术的发展更是突飞猛进,而职业教育直接面向社会、面向市场,这就要求教材内容必须密切联系实际,反映新知识、新技术、新工艺和新方法。好的教材应该既要让学生学到专业知识,又能让学生掌握实际操作技能,而重点放在学生的操作和技能训练方面。在这一思想指导下,电子工业出版社根据《职业教育法》及劳动部颁发的《职业技能鉴定规范》,在教育部等相关部门的领导下,会同电子信息行业的专家、教育教研部门研究人员以及广大中等职业学校的领导和教师,在深入调查研究的基础上,制定了三个专业的指导性教学计划。该计划强调技能培养,充分考虑各学校课程设置、师资力量、教学条件的差异,突出了“宽基础多模块、大菜单小模块”灵活办学的宗旨。

新版教材具有以下突出的特点:

1. 发挥产业优势,以本行业的科技力量为依托,充分适应中等职业学校推行的学业证书和职业资格证书的双证制度,突出教材的实用性、先进性、科学性和趣味性。

2. 教材密切反映电子信息技术的发展,不断推陈出新。实用电子技术专业教材突出数字化、集成化技术;计算机技术专业教材内容涉及多种流行软件及实用技术;通信技术专业教材反映通信领域的先进技术。

3. 教材与中等职业学校开设的专业课程相配套,注意贯穿能力和技能培养于始终,精心安排例题、习题,在把握难易、深广度时,以易懂、广度优先,理论原理为操作技能服务,够用即可。

4. 教材的编写一改过去又深又厚的模式,突出“小模块”的特点,为不同学校依据自己的师资力量和办学条件灵活选择不同专业模块组合提供方便。

另外,为满足广大中等职业学校教师的教学需要,我们还将根据每种教材的具体情况推出配套的教师辅助参考书以及供学生使用的上机操作/练习指导书。

随着教育体制改革的进一步深化,加之科学技术的迅猛发展,编写中等职业学校教材始终是一个新课题。希望全国各地中等职业学校的广大师生多提宝贵意见,帮助我们紧跟职业教育和科学技术的发展,不断提高教材的编写质量,以便更好地为广大师生服务。

全国中等职业学校电子信息类教材工作领导小组

2000 年 5 月



全国中等职业学校电子信息类教材工作领导小组

组长：

姚志清(原电子工业部人事教育司副司长)

副组长：

牛梦成(教育部职成教司教材处处长)

蔡继顺(北京市教委职教处副处长)

李 群(黑龙江省教委职教处处长)

王兆明(江苏省教委职教办主任)

陈观诚(福建省职业技术教育学会副秘书长)

王 森(解放军军械工程学院计算机应用研究所教授)

吴金生(电子工业出版社副社长)

成员：

褚家蒙(四川省教委职教处副处长)

尚志平(山东省教学研究室副主任)

赵丽华(天津市教育局职教处处长)

潘效愚(安徽省教委职教处处长)

郭菊生(上海市教委职教处)

翟汝直(河南省教委研究室主任)

李洪勋(河北省教委职教处副处长)

梁玉萍(江西省教委职教处处长)

吴永发(吉林省教育学院职教分院副院长)

王家诒(上海现代职业技术学校副校长)

郭秀峰(山西省教委职教处副处长)

彭先卫(新疆教委职教处)

李启源(广西教委职教处副处长)

彭世华(湖南省职教研究中心主任)

许淑英(北京市教委职教处副处级调研员)

姜昭慧(湖北省职教研究中心副主任)

张雪冬(辽宁省教委中职处副处长)

王志伟(甘肃省教委职教处助理调研员)

李慕瑾(黑龙江教委职教教材站副编审)

何雪涛(浙江省教科院)

杜锡强(广东省教育厅职业与成人教育处副处长)

王润拽(内蒙古自治区教育厅职成处处长)

秘书长：

林 培(电子工业出版社)

全国中等职业学校电子信息类教材编审委员会

名誉主任委员:

杨玉民(原北京市教育局副局长)

主任委员:

马叔平(北京市教委副主任)

副主任委员:

邢 晖(北京市教科院职教所副所长)

王家诒(上海现代职业技术学校副校长)

王 森(解放军军械工程学院计算机应用研究所教授)

韩广兴(天津广播电视大学高级工程师)

[实用电子技术编审组]

组长:

刘志平(北京市职教所教研部副主任)

副组长:

陈其纯(苏州市高级工业学校特级教师)

杜德昌(山东省教学研究室教研员)

白春章(辽宁教育学院职教部副主任)

张大彪(河北师大职业技术学院电子系副主任)

王连生(黑龙江省教育学院职教部副教授)

组员:

李蕴强(天津市教育教研室教研员)

孙介福(四川省教科所职教室主任)

沈大林(北京市回民学校教师)

朱文科(甘肃省兰州职业中专)

郭子雄(长沙市电子工业学院高级教师)

金国砥(杭州中策职业高级中学教研组长)

李佩禹(山东省家电行业协会副秘书长)

邓 弘(江西省教委职教处助理调研员)

刘 杰(内蒙古呼和浩特市第一职业中专教师)

高宪宏(黑龙江省佳木斯市职教中心)

朱广乃(河南省郑州市教委职教室副主任)

黄亲民(上海现代职业技术学校)

[计算机技术编审组]

组长：

吴清萍(北京市财经学校副校长)

副组长：

史建军(青岛市科协计算机普及教育中心主任)

钟 葆(上海现代职业技术学校教研组长)

周察金(四川省成都市新华职业中学教研组长)

组员：

刘逢勤(郑州市第三职业中专教研组长)

戚文正(武汉市第一职教中心教务主任)

肖金立(天津市电子计算机职业中专教师)

严振国(无锡市电子职业中学教务副主任)

魏茂林(青岛市教委职教室教研员)

陈民宇(太原市实验职业中学教研组长)

徐少军(兰州市职业技术学校教师)

白德淳(吉林省冶金工业学校高级教师)

陈文华(温州市职业技术学校教研组长)

邢玉华(齐齐哈尔市职教中心学校主任)

谭枢伟(牡丹江市职教中心学校)

谭玉平(石家庄第二职教中心副校长)

要志东(广东省教育厅职业教育研究室教研员)

王英武(呼和浩特市第二职业中专教导主任)

[通信技术编审组]

组长：

徐治乐(广州市电子职业高级中学副校长)

副组长：

陶宏伟(北京市西城电子电器职高主任)

陈振源(厦门教育学院职业教育教研室高级教师)

组员：

赖晖煜(福建省厦门电子职业中专学校主任)

许林平(石家庄市职业技术教育中心主任)

邱宝盛(山东省邮电学校副校长)

邹开跃(重庆龙门浩职业中学主任)

前 言

随着电力电子器件的制造技术、电力电子电路的变换技术、交流电动机的矢量变换控制技术、PWM 技术以及微型计算机和以大规模集成电路为基础的全控数字化控制技术的发展,交流调速得到广泛的应用。

本书以介绍现代交流调速为宗旨,着眼于实际应用技术并兼顾今后的发展趋势。全书共分 9 章:第 1 章介绍国内外交流调速发展概况及发展趋势,交流调速方法及主要应用领域;第 2 章介绍常用的电力电子器件,侧重于已经实用化的门极关断晶闸管(GTO 晶闸管)、功率晶体管(GTR)、功率 MOS 场效应晶体管(功率 MOSFET)和绝缘栅双极晶体管(IGBT)的驱动电路、工作原理及保护技术;第 3 章介绍交-直-交变频器及其组成的调速系统;第 4 章介绍脉宽调制(PWM)变频器的原理、控制模式及 PWM 脉冲的生成方法;第 5 章介绍交-交变频器的基本原理、类型及应用;第 6 章介绍矢量控制的基本概念、高性能的矢量变换控制系统;第 7、8 章介绍绕线型异步电动机和无换向器电动机的原理、运行特性及控制方法;第 9 章介绍变频器的选择和使用、抗干扰技术以及在家用电器、城市供水、印染、锅炉及电气牵引方面的应用。

本书由西安铁路运输学校付娟主编,本溪无线电工业学校王铁柱主审。参加编写工作的有山东省信息工程学校肖朋生(第 5 章及第 9 章的 9.1、9.2、9.3 节);淮阴电子工业学校史宜巧(第 6、7、8 章);西安铁路运输学校林辉(第 2、4 章),付娟(第 1、3 章),崔晶(第 9 章的 9.4 节)。

在本书的编写、定稿过程中,得到电子工业出版社的大力支持,本溪无线电工业学校的梁栋老师,南京无线电工业学校韩满林、顾海舟老师,辽宁电子工业学校刘靖岩老师,无锡无线电工业学校沈少锋老师,山东省信息工程学校崔玉祥老师,天津电子信息职业技术学院孙岩老师对本书提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。在编写过程中,参阅和利用了大量的文献、资料,在此对原作者一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者
2001 年 12 月

目 录

第 1 章 交流调速概述	1
1.1 交流调速概况	1
1.1.1 交流调速的发展	1
1.1.2 交流调速方法	1
1.1.3 交流调速系统的发展趋势	2
1.1.4 交流调速的主要应用领域	3
1.2 交流调速系统介绍	4
1.2.1 变极调速	4
1.2.2 变转差率调速	4
1.2.3 变频调速	7
1.3 异步电动机变频调速的基本控制方式	7
1.3.1 变频调速的基本要求	7
1.3.2 变频调速的基本控制方式	7
本章小节	10
习题	11
第 2 章 电力电子器件及应用	12
2.1 普通晶闸管及其应用	12
2.1.1 晶闸管的结构与工作原理	12
2.1.2 晶闸管的特性	13
2.1.3 晶闸管的主要参数	14
2.1.4 晶闸管的触发电路	14
2.1.5 晶闸管的串并联	15
2.1.6 晶闸管的应用和保护	16
2.2 门极可关断晶闸管(GTO)及其应用	16
2.2.1 GTO 的结构与工作原理	16
2.2.2 GTO 的主要参数特性	18
2.2.3 GTO 的门极驱动电路	19
2.2.4 GTO 的应用	22
2.3 功率晶体管(GTR)及其应用	22
2.3.1 功率晶体管的开关特性	22
2.3.2 GTR 的驱动电路	23
2.3.3 GTR 的保护电路	24
2.4 功率 MOS 场效应晶体管(功率 MOSFET)	25
2.4.1 功率 MOSFET 的结构及工作原理	25
2.4.2 功率 MOSFET 主要参数	26

2.4.3	功率 MOSFET 的特性	26
2.4.4	功率 MOSFET 的驱动电路	27
2.4.5	功率 MOSFET 的保护技术	30
2.5	绝缘栅双极晶体管(IGBT)及其应用	31
2.5.1	IGBT 的基本结构和基本原理	31
2.5.2	IGBT 的特性	31
2.5.3	IGBT 的擎住效应与安全工作区	33
2.5.4	IGBT 的驱动与保护技术	34
2.6	MOS 控制晶闸管(MCT)	39
2.6.1	MCT 的结构原理及工作特性	39
2.6.2	MCT 与其他器件的比较	41
2.7	功率集成电路(PIC)	41
2.7.1	PIC 技术	42
2.7.2	智能功率模块(IPM)	43
	本章小节	44
	习题	44
第 3 章	交-直-交变频调速系统	46
3.1	交-直-交变频器的基本电路	46
3.1.1	交-直-交电压型变频器	46
3.1.2	交-直-交电流型变频器	49
3.2	脉宽调制(PWM)型变频器	50
3.2.1	交-直部分	50
3.2.2	直-交部分	51
3.2.3	制动电阻和制动单元	52
3.3	谐振型变频器	53
3.3.1	谐振直流环节逆变器的基本原理	53
3.3.2	谐振直流环节逆变电路举例	54
3.4	转差频率控制的转速闭环变频调速系统	57
3.4.1	转差频率控制的基本思想	57
3.4.2	Φ_m 恒定对定子电流的控制要求	57
3.4.3	转差频率控制的转速闭环变频调速系统	58
	本章小节	59
	习题	60
第 4 章	脉宽调制(PWM)技术	61
4.1	PWM 型变频器的工作原理	61
4.1.1	PWM 型变频器的基本控制方式	61
4.1.2	简单的 PWM 型变频器工作原理	63
4.1.3	单极性正弦波 PWM 调制原理	64
4.1.4	双极性正弦波 PWM 调制原理	64
4.2	PWM 的控制模式及实现	65

4.2.1	SPWM 逆变器的同步调制和异步调制	65
4.2.2	SPWM 的控制模式及其实现	67
4.3	PWM 脉冲的生成方法	74
4.3.1	完全由模拟电路生成	74
4.3.2	用于 SPWM 控制的专用芯片及微处理器	74
	本章小节	81
	习题	81
第 5 章	交-交变频调速系统	82
5.1	交-交变频器的基本原理	82
5.1.1	交-交变频器的工作原理	82
5.1.2	运行方式	83
5.1.3	主电路形式	84
5.2	交-交变频器的基本类型	86
5.2.1	正弦电压波交-交变频器	86
5.2.2	正弦电流波交-交变频器	87
5.3	交-交变频调速系统的应用	88
	本章小节	89
	习题	90
第 6 章	矢量变换控制技术	91
6.1	矢量变换控制的基本概念	91
6.1.1	矢量变换控制的基本思想	91
6.1.2	矢量变换控制系统的构想	92
6.2	矢量变换控制的异步电动机数学模型	93
6.2.1	异步电动机动态数学模型的性质	93
6.2.2	三相异步电动机的多变量非线性数学模型	93
6.2.3	三相异步电动机在两相坐标系上的数学模型	95
6.3	交流电动机矢量变换变频调速系统	97
6.3.1	矢量控制基本方程式	97
6.3.2	磁链开环转差控制的矢量控制系统	98
6.3.3	转速磁链闭环控制的电流滞环型 PWM 变频调速系统	99
6.4	基于 DSP 的高性能矢量控制系统	100
6.4.1	矢量控制系统的控制原理	100
6.4.2	系统组成及功能实现	101
6.4.3	系统软件设计	101
	本章小节	102
	习题	102
第 7 章	绕线异步电动机串级调速系统	103
7.1	串级调速的原理及基本类型	103
7.1.1	串级调速的原理	103
7.1.2	串级调速的基本运行状态及其功率传递关系	104

7.1.3	调速系统的基本类型	106
7.2	串级调速系统的机械特性	107
7.2.1	串级调速系统的转子整流器的工作状态	107
7.2.2	串级调速系统的调速特性	109
7.2.3	异步电动机在串级调速时的机械电磁转矩特性	110
7.3	串级调速系统的效率和功率因数	111
7.3.1	串级调速系统的效率	111
7.3.2	串级调速系统的功率因数及其改善途径	112
7.4	串级调速的闭环控制系统	114
7.4.1	双闭环串级调速系统的组成	114
7.4.2	双闭环串级调速系统的动态结构图	114
7.5	超同步串级调速系统	116
7.5.1	超同步串级调速的工作原理	116
7.5.2	超同步串级调速系统的再生制动	117
7.5.3	超同步串级调速系统的优点	118
7.6	串级调速系统应用举例	118
7.6.1	TJC 系列串级调速装置	118
7.6.2	单片机控制的串级调速系统举例	121
本章小节		122
习题		123
第 8 章	无换向器电动机调速系统	124
8.1	无换向器电动机的工作原理	124
8.1.1	同步电动机与异步电动机的区别	124
8.1.2	同步电动机变频调速系统的分类	124
8.1.3	无换向器电动机的类型	125
8.1.4	无换向器电动机的工作原理	125
8.1.5	无换向器电动机的转子位置检测器	127
8.2	无换向器电动机的换流	129
8.2.1	反电动势自然换流法	129
8.2.2	电流断续换流法	130
8.2.3	电源换流法	130
8.2.4	强迫换流	131
8.3	无换向器电动机的基本特性	131
8.3.1	无换向器电动机的调速特性	131
8.3.2	无换向器电动机的转矩特性	132
8.3.3	无换向器电动机的机械特性	132
8.3.4	无换向器电动机的过载能力	132
8.4	无换向器电动机调速控制系统	133
8.4.1	无换向器电动机的控制方案	133
8.4.2	无换向器电动机调速系统	133

8.4.3 晶体管式无换向器电动机调速控制系统	134
本章小节	135
习题	135
第9章 交流调速的应用	136
9.1 变频器的选择与使用	136
9.1.1 变频器的标准规格	136
9.1.2 变频器类型的选择	141
9.1.3 变频器容量的选择	142
9.1.4 变频器外部设备及其选择	144
9.2 变频器的抗干扰技术	145
9.2.1 对变频器输入侧干扰	145
9.2.2 防止变频器输入侧干扰的对策	147
9.2.3 对变频器输出侧干扰的防止	149
9.3 变频器的应用举例	150
9.3.1 交流变频调速在空调中的应用	150
9.3.2 变频调速在恒压供水系统中的应用	154
9.3.3 工业锅炉燃烧过程的变频调速系统	157
9.3.4 印染机械多电机同步调速系统	160
9.4 电气牵引技术	163
9.4.1 变频调速机车的特点	163
9.4.2 变频调速机车主电路	163
9.4.3 电流型逆变器	163
9.4.4 国外交流传动机车与高速电力机车的发展	164
本章小节	165
习题	165
参考文献	166

第 1 章 交流调速概述

交流调速传动,主要是指采用电子式电力变换器对交流电动机的变频调速传动。除变频以外的另一些简单的调速方案,例如变极调速、定子调压调速、转差离合器调速等,虽然仍在特定场合有一定的应用,但由于其性能较差,终将会被变频调速所取代。

1.1 交流调速概况

1.1.1 交流调速的发展

20 世纪 30 年代,不少国家开始提出各种交流电动机调速的原始方案,但由于电力变换技术控制手段的制约,进展十分缓慢;在相当长的时期内,直流调速一直以性能优良而领先于交流调速。

直流电动机虽然有调速性能好的优越性,但也有一些固有的难以克服的缺点,主要是机械式换向器带来的弊端。其缺点是:(1) 维修工作量大,事故率高;(2) 容量、电压、电流和转速的上限值,均受到换向条件的制约,在一些大、特大容量的调速领域中无法应用;(3) 使用环境受限,特别是在易燃易爆场合难于应用。

而交流电动机有一些固有的优点:(1) 容量、电压、电流和转速的上限,不像直流电动机那样受限制;(2) 结构简单,造价低;(3) 坚固耐用,事故率低,容易维护。它的最大缺点是调速困难,简单调速方案的性能指标不佳。

20 世纪 60 年代中期,普通晶闸管、小功率晶体管实现了实用化,使交流电动机调速也进入了实用化。采用晶体管的同步电动机自控式变频调速系统(包括不属于变频方案的绕线转子异步电动机的串级调速系统)等先后实现了实用化,使变频调速成为交流调速的主流。20 世纪 70 年代以后,电力电子技术和微电子技术的迅速发展,使变频传动技术也取得了很大的进步。这种进步集中表现在变频器的大容量化、主开关器件的自关断化、开关模式的 PWM 化以及控制方式的全数字化等方面。

交流调速传动控制技术之所以发展得如此迅速,和如下一些关键性技术的突破性进展有关。它们是电力电子器件(包括半控型和全控型器件)的制造技术;基于电力电子电路的变换技术;交流电动机的矢量变换控制技术;PWM 技术以及微型计算机和以大规模集成电路为基础的全数字化控制技术。

随着交流电动机调速理论问题的突破和调速装置(主要是变频器)性能的完善,交流电动机调速性能差的缺点已经得到克服。目前,交流调速系统的性能已经可以和直流调速系统相匹敌,甚至可以超过直流系统。

1.1.2 交流调速方法

交流电动机按其工作原理分为异步电动机(感应电动机)和同步电动机两类。

1. 异步电动机

所谓异步电动机调速是指在某一转矩下,调节转速使它为某一指定值。异步电动机的转速可表示为:

$$n = n_1(1-s) = \frac{60f_1}{p_N}(1-s) \quad (1-1)$$

式中: n ——转子转速;

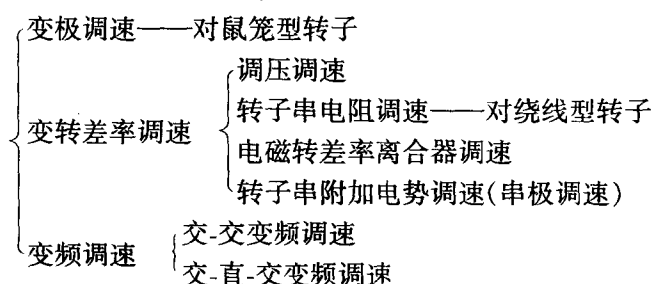
n_1 ——同步转速;

f_1 ——定子供电频率;

p_N ——极对数;

s ——转差率。

由此归纳出三种调速方法:



2. 同步电动机

同步电动机的转速可表示为:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p_N} \quad (1-2)$$

式中 n_1 为同步转速。如果接入恒频电源,则由于同步电动机的转速将与电源频率保持严格的同步关系故而不可调。随着电力电子变频技术的飞速发展,同步电动机同样可以进行变频调速。而且由于旋转磁场的转速可以调节,曾经困扰同步电动机的启动、振荡及失步问题也随之得到解决,扩大了应用范围。

同步电动机变频调速可以分为他控式变频调速和自控式变频调速两大类。

1.1.3 交流调速系统的发展趋势

1. 发展水平

(1) 已从中、小容量等级发展到大、特大容量等级,解决了交流调速系统的性能指标问题,填补了直流调速系统在特大容量调速时的空白。例如法国 AL STHON 公司制造,1984 年投入使用的交-直-交无换向器电动机。该公司提供的 5000kW 以下的无换向器电动机调速系统,转速可达 10000r/min;75000kW 以下的转速可达 4000r/min。又如德国西门子公司,1984 年生产的一台低速大容量交-交变频器,为 2×10920 kW 同步电动机交-交矢量控制系统,用于厚轧钢机,其技术指标已优于直流传动。

(2) 可使交流调速系统具有较高的可靠性和长期连续运行能力,从而满足有些场合长期不停机检修的要求或对可靠性的特殊要求。例如用 GTR 组成电流型逆变器、笼型异步电动机传动的高速电梯(1000kg、240m/min)1986 年投入使用后,取得了显著的效果。

(3) 可以使交流调速系统实现高性能、高精度的转速控制。除了控制部分可以得到和直流调速同样良好的性能外,异步电动机本身固有的优点又使整个控制系统得到更好的动态性能。采用锁相控制的异步电动机变频调速系统,调速精度可达到 0.002%。

(4) 交流调速已从直流调速的补充手段发展到与直流调速系统相竞争、相媲美、相抗衡,并且逐渐取代的地位。

2. 技术发展趋势

交流调速技术依赖于电子逆变技术的发展,也依赖于交流电动机制造技术的发展。其技术发展趋势概括为如下 5 点。

(1) 研制新型的开关元件和储能元件。

20 世纪 80 年代以来,各种具有自关断能力的全控型、高速型功率开关器件相继研制成功,为现代化的变频装置提供了物质保证。采用 IGBT 作为功率开关实现了信号处理、故障诊断、自我保护等多种智能功能,是功率器件的一个重要发展方向。

(2) 引入新的控制思想、理论和技术,改善交流调速系统的性能。

目前,这方面最先进的是采用交流电动机的矢量变换控制,在建模、电动机的某些参数变化对系统影响、矢量变换的模块化问题上,尚有许多待研究的课题。另外对电流型变频器,可以使用近年来才发展的多重化技术,改善输出波形。

(3) 控制系统硬件由模拟技术转向数字技术。

微型计算机在性能、速度、价格、体积等方面的不断发展,为交流电动机调速理论的实现提供了最重要的物质保证。

(4) 进一步改进现有交流调速装置的可靠性,彻底解决瞬时停电后的装置安全及恢复正常工作问题。

(5) 研制大、特大容量调速系统理想的新型交流电动机。

随着现代控制理论的不断出现,交流电动机控制技术的发展,交流调速系统的性能将大大提高。

1.1.4 交流调速的主要应用领域

交流调速技术的飞速发展,扩大了它的应用范围,在工业上的应用大体有三大领域。

(1) 凡是能用直流调速的场合,都能改用交流调速。

(2) 直流调速所不能达到的,如大容量、高电压以及环境十分恶劣的场所,都能使用交流调速。

(3) 原来不调速的风机、泵类负载,采用交流调速后,可以大幅度节能。

国外已经普遍采用交流调速节能技术,国内在变负载的风机、水泵上正在加速推广应用中。交流电动机调速产品一般分为两大系列:普通型和高性能型,分别用于性能要求不高的风机、泵、压缩机等类的调速场合以及连接轧机用的直流电动机调速系统等性能要求很高的场合。

交流调速已经遍及国民经济各部门的传动领域,如冶金机械、电气牵引、数控机床、矿井提

升机械、起重装卸机械、原子能及化工设备、建筑电气设备和纺织食品机械等。

目前,从数百瓦的家用电器到数千千瓦级乃至数万千瓦级的调速传动装置,可以说无所不包地都可以用交流传动方式来实现。交流传动已经从最初的只能用于风机、泵类的调速过渡到针对各种高精度、快响应的高性能指标的调速控制。从性能价格比的角度看,交流调速装置已经优于直流调速装置。

1.2 交流调速系统介绍

1.2.1 变极调速

由公式(1-1)知,改变异步电动机的极对数,同步转速随之变化,因而改变电动机转速达到调速的目的,其机械特性如图 1.1 所示。

通过变极,不仅可以得到 2:1 调速,还可以得到 3:2 或 4:3 调速以及三速甚至四速电机;但不管有多少种极对数,都只能一级一级地改变,因此属于有级调速。

在变极调速系统中,有时为了减少电动机在低速时的转差损耗,而又不影响电动机的输出,提出了异步电动机变极与调压综合应用的调速方法,即变极调压调速,图 1.2 所示为变极调压调速时的机械特性。

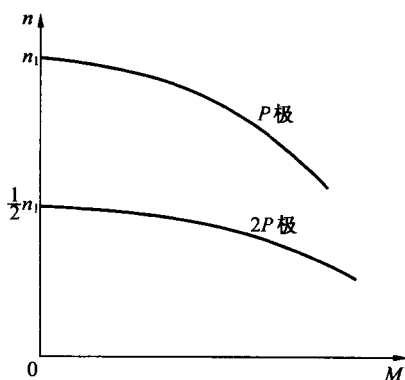


图 1.1 变极调速时的机械特性

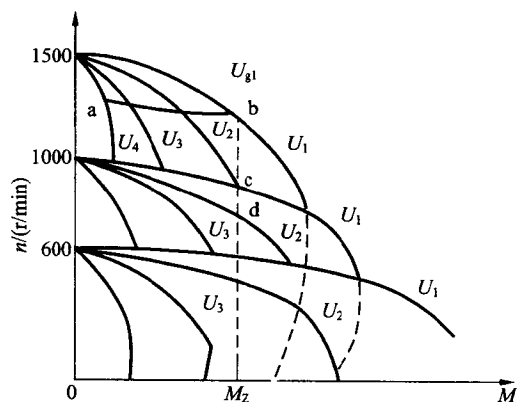


图 1.2 变极调压调速时的机械特性

1.2.2 变转差率调速

由式(1-1)可知,保持同步转速 n_1 不变,改变转差率 s ,可以改变电动机转速 n 。根据电机学原理,异步电动机的电磁功率 P_M 可分为两部分:一部分构成机械功率 P_{mec} ,另一部分则为转差功率 P_s 。其中:

$$P_{mec} = (1 - s)P_M \quad (1-3)$$

$$P_s = sP_M \quad (1-4)$$

变频、变极都是设法改变同步转速以达到调速的目的。无论转速高低,转差功率仅由转子绕组铜损耗构成,基本上不变。故从能量转换角度来看,又称转差功率不变型,其效率最高。变转差率调速则不同,转差功率与转差率成正比地改变,根据转差功率是全部消耗掉,还是能够回馈到电网,又可将其分成转差功率消耗型和转差功率回馈型两类。转差功率消耗型有绕