

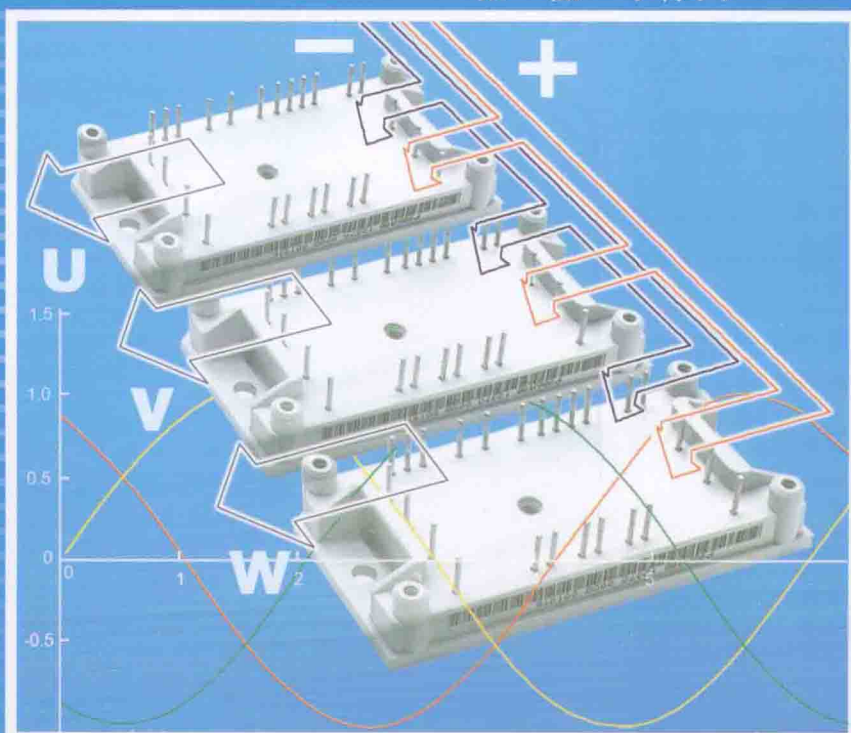


TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

现代交流变频调速系统

张加胜 马文忠 编著
张 磊 李保国



XIANDAI JIAOLIU BIANPIN
TIAOSU XITONG

中国石油大学出版社



TEACHING MATERIALS
FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

现代交流变频调速系统

张加胜 马文忠 编著
张 磊 李保国

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代交流变频调速系统/张加胜等编著. —东营:
中国石油大学出版社, 2013. 10
ISBN 978-7-5636-3891-8

I. ①现… II. ①张… III. ①交流调速—变频调速
IV. ①TM921.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 239000 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 现代交流变频调速系统
作 者: 张加胜 马文忠 张 磊 李保国

责任编辑: 高 颖(电话 0532—86983568)

封面设计: 赵志勇

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者: 莱芜市凤城印务有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 86983437)

开 本: 180 mm×235 mm 印张: 18.25 字数: 367 千字

版 次: 2013 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 30.00 元

前言

Preface

近年来,随着电力电子技术、微电子大规模集成电路和计算机控制技术的发展,交流电动机的变频调速技术发展迅猛。由于交流变频调速传动不存在直流传动由换向器带来的固有缺点,发挥了交流电动机的突出优势,工业领域中凡属可调速传动都采用直流电动机,不变速传动采用交流电动机的传统分工格局已经完全被打破。目前,交流变频调速已经占据工业可调速传动领域的主导地位。交流变频调速在国内外石油石化、新能源车辆、航空航天、军事国防等各行各业,尤其是围绕工业节能调速传动和工艺调速传动等领域已经取得了巨大的经济和社会效益,交流变频调速传动取代传统的交流电机调速方式、直流调速传动以及机械式调速传动的优势越来越明显,交流变频传动系统已经成为电气传动控制的主要发展方向。

交流变频调速技术是一门横跨电力、电子、电机、计算机控制和现代自动控制理论的新兴综合技术,其内容一直在不断充实、更新、丰富和发展中。目前,遍及国内外相关技术及应用领域,围绕交流变频调速的电力变换拓扑、微机测控和自动控制等方法和技术,研究和应用非常广泛,发展也很迅速,连同风力发电、光伏发电等新能源变换及并网、电力系统无功补偿、电力有源滤波器等相关技术,已经成为电力电子及电气自动化领域研发和应用的热点。

本书绪论之后的内容共分为 10 章。绪论部分简述了交流电动机调速在工业和国民经济中的重要地位和现实意义,以及交流调速系统的发展和基本类型;第 1 章分析了变频调速的基本控制方式、常见的结构类型和交—直—交变频调速的基本工作状态;第 2 章介绍了逆变器的 PWM 控制及输出波形,主要阐述了正弦脉宽调制型 (SPWM) 变频调速的工作原理、多种 SPWM 控制方式;第 3 章介绍了 PWM 控制技术及变压变频调速系统,主要讨论了几种 PWM 波的产生方式和跟踪控制方法,并介绍了转速开环压频协调控制 PWM 变频调速系统和转速闭环转差频率控制变频调速系统;第 4 章介绍了矢量控制变频调速系统;第 5 章介绍了直接转矩控制变频调速系统;第 6 章介绍了同步电动机调速系统,主要讲述了有关同步电动机变频调速的一种典型系统——直流无换向器电动机及其调速系统(自控式同步电动机变频调速)和永磁同步电动机调速系统;第 7 章介绍了绕线式异步电动机调速系统,主要介绍了仅适

用于绕线式异步电动机的另一种交流调速方式,即串级调速系统;第8章介绍了交—交变频及矩阵式变换器;第9章介绍了高压大功率变频器;第10章介绍了变频器的应用技术,在前几章已经对变频调速原理进行较全面、系统分析的基础上,结合目前在各工业领域中应用较多的通用型变频器典型机种,介绍了变频器的外围设备、功能设定、运行控制及保护与故障处理等有关实际应用方面的问题。

本书是中国石油大学(华东)规划教材。本书在内容编排、材料取舍、内容阐述和分析方法、新技术介绍及理论分析等方面,注重理论联系实际,尽可能结合简捷的数学理论重点阐述物理概念,注重对物理内涵的定性分析,避免在分析中过于数学化,反而把物理含义冲淡的问题,具有一定的独特性和新颖性。本书是作者总结多年来从事有关电力电子与交流电动机变频调速的教学、科研、应用技术培训和工矿企业设备维修的经验基础上编写而成的。

本书可用作高等院校电气、自动化、电子和机电类专业及其他相关专业的本科教材,也可供研究生和有关工程技术人员作为学习参考书。

本书由中国石油大学(华东)的张加胜、马文忠、张磊和中国石化管道储运分公司的李保国高级工程师合作撰写。各章的编写分工为:绪论和第1、第2、第3章由张加胜编写;第4、第5、第9章由马文忠编写;第6、第7、第8章由张磊编写;第10章由李保国编写。全书由张加胜教授统稿。本书在编写过程中,中国石油大学(华东)的赵仁德副教授、潘大伟老师分别提供了许多内容素材和建设性意见和建议。此外,本书的编写出版还得到了中国石油大学(华东)教务处、中国石油大学出版社、中国石油大学(华东)信息与控制工程学院及电气工程系的许多领导及老师的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

近年来,交流调速技术的发展速度几乎达到日新月异的地步,笔者学识有限,很难把所有的新技术都全面完整地反映出来,遗漏和错误亦在所难免,殷切期望读者批评指正。

作 者

2013年1月

目 录

Contents

第0章 绪 论	1
0.1 交流调速传动的发展与应用	1
0.1.1 工艺调速传动和节能调速传动	1
0.1.2 高性能的交流调速系统和伺服系统	3
0.1.3 特大容量、极高转速的交流调速	3
0.2 交流调速系统的基本类型	3
0.2.1 异步电动机调速系统的基本类型	3
0.2.2 同步电动机调速系统的基本类型	4
0.3 现代交流调速的技术基础	4
第1章 变频调速的基本分析	6
1.1 变压变频调速的基本控制方式和机械特性	6
1.1.1 恒压恒频正弦波供电时异步电动机的机械特性	7
1.1.2 基频以下压频协调控制及机械特性	8
1.1.3 基频以上恒压变频控制及机械特性	13
1.1.4 变频调速的恒流控制及机械特性	14
1.2 交—直—交变频器的分类及特点	16
1.2.1 交—直—交变频器的结构形式	16
1.2.2 电压源型和电流源型逆变器	18
1.3 六拍阶梯波逆变器	21
1.3.1 180° 导通型逆变器	21
1.3.2 120° 导通型逆变器	27
1.3.3 电流型逆变器换流浪涌电压及其吸收问题	28
1.4 交—直—交变频器的回馈制动	29
1.4.1 逆变器的两种工作状态	30
1.4.2 电流型逆变器的再生制动	30
1.4.3 两种变流器的关系	32

1.4.4 电压型逆变器的反馈制动	34
要点小结	35
习题及思考题	36
第2章 逆变器的 PWM 控制及输出波形	37
2.1 PWM 调制原理	37
2.2 SPWM 调制技术与控制方式	38
2.3 单相半桥逆变器的 PWM 控制	40
2.4 单相全桥逆变器的 PWM 控制	41
2.5 三相全桥逆变器的 PWM 控制	44
2.6 PWM 的协调控制方式	46
2.6.1 U/f 协调控制	46
2.6.2 f_c 与 f_r 的协调关系	46
2.7 电压型 SPWM 变频器的输出电流波形	49
要点小结	50
习题及思考题	50
第3章 PWM 控制技术及变压变频调速系统	51
3.1 SPWM 的数字化采样	51
3.1.1 自然采样法(Natural Sampling)	52
3.1.2 规则采样法(Regular Sampling)	52
3.2 三相 SPWM 逆变器电压利用率的提高	53
3.2.1 三相 SPWM 逆变器的电压利用率问题	53
3.2.2 过调制($m>1$)的影响	53
3.2.3 提高三相 SPWM 逆变器电压利用率的方法	54
3.3 跟踪型 PWM 逆变技术	56
3.3.1 滞环电流跟踪控制	56
3.3.2 磁链跟踪控制	58
3.3.3 电压跟踪控制	59
3.3.4 三角波比较式电流跟踪控制	60
3.3.5 无差拍电流跟踪控制	60
3.3.6 预测电流跟踪控制	64
3.4 PWM 波的生成方法	66
3.4.1 Δ 脉宽调制法	66
3.4.2 PWM 单周控制	67
3.4.3 特定谐波消除法	68
3.4.4 电压空间矢量控制法	70

3.5 转速开环压频协调控制 PWM 变频调速系统	70
3.6 转差频率控制变频调速系统	72
3.6.1 转差频率控制的基本原理	73
3.6.2 转差频率控制的基本规律	74
3.6.3 转差频率控制变频调速系统	75
3.6.4 转差频率控制变频调速系统的优点与不足	79
3.7 矢量控制变频调速系统概述	80
3.7.1 三相异步电动机的坐标变换控制模型	80
3.7.2 矢量控制系统的基本构想	82
要点小结	83
习题及思考题	84
第4章 矢量控制变频调速系统	85
4.1 三相异步电动机的多变量非线性数学模型	86
4.1.1 电压方程	86
4.1.2 磁链方程	87
4.1.3 转矩方程	89
4.1.4 电力拖动系统运动方程	89
4.2 矢量控制的基本思想	91
4.3 矢量坐标变换及变换矩阵	93
4.3.1 三相—两相变换	93
4.3.2 两相—两相旋转变换	95
4.4 三相异步电动机在两相坐标系上的数学模型	96
4.4.1 异步电动机在两相任意旋转坐标系(dq 坐标系)上的数学模型	96
4.4.2 异步电动机在两相静止坐标系($\alpha\beta$ 坐标系)上的数学模型	99
4.4.3 异步电动机在两相同步旋转坐标系上的数学模型	100
4.5 三相异步电动机在两相坐标系上的状态方程	101
4.5.1 $\omega\Psi_r-i_s$ 状态方程	101
4.5.2 $\omega\Psi_s-i_s$ 状态方程	102
4.6 矢量控制系统的结构	103
4.6.1 矢量控制系统的基本结构	103
4.6.2 按转子磁链定向的矢量控制方程及其解耦作用	104
4.6.3 转子磁链模型	106
4.6.4 转速、磁链闭环控制的矢量控制系统——直接矢量控制系统	109
4.6.5 磁链开环转差型矢量控制系统——间接矢量控制系统	111
4.6.6 数字化异步电动机矢量控制系统设计	112

要点小结	116
习题及思考题	116
第 5 章 直接转矩控制变频调速系统	117
5.1 概述	117
5.2 直接转矩控制(DTC)技术的理论基础	118
5.2.1 直接转矩控制(DTC)的基本思想	118
5.2.2 异步电动机定子轴系的数学模型	119
5.2.3 直接转矩控制的控制原理	126
5.2.4 电压空间矢量(Space Vector)控制	127
5.3 异步电动机直接转矩控制的基本结构	137
5.4 直接转矩控制系统的特点	138
要点小结	139
习题及思考题	140
第 6 章 同步电动机调速系统	141
6.1 同步电动机的特点及结构	141
6.1.1 同步电动机的特点	141
6.1.2 同步电动机的结构	142
6.2 自控式同步电动机变频调速	143
6.2.1 工作原理	145
6.2.2 自控式同步电动机的换流	149
6.2.3 自控式同步电动机的运行特性及调速方法	149
6.2.4 自控式同步电动机的闭环调速系统	152
6.3 永磁同步电动机调速系统	153
6.3.1 数学模型	153
6.3.2 永磁同步电动机矢量控制原理	157
6.3.3 永磁同步电动机矢量控制基本电磁关系	158
6.3.4 永磁同步电动机电流控制策略	160
6.3.5 永磁同步电动机的弱磁控制	165
要点小结	168
习题及思考题	169
第 7 章 绕线式异步电动机调速系统	170
7.1 串级调速简介	170
7.2 串级调速的基本原理	172
7.3 转子整流电路的特殊工作状态	174
7.3.1 理想情况	175

7.3.2 转子整流电路的换流重叠现象	175
7.3.3 两种工作状态	177
7.4 串级调速系统的机械特性	178
7.5 串级调速系统的能量指标	181
7.6 双闭环串级调速系统	182
7.7 串级调速系统的四种运转状态	183
7.8 双馈型串级调速与风力发电技术	185
要点小结	190
习题及思考题	190
第8章 交—交变频及矩阵式变换器	191
8.1 交—交变频电路	191
8.1.1 单相交—交变频电路	191
8.1.2 三相交—交变频电路	198
8.2 矩阵式变换器	201
8.2.1 矩阵式变换器的原理	201
8.2.2 矩阵式变换器的换流	206
8.2.3 矩阵式变换器的保护	208
要点小结	210
习题及思考题	210
第9章 高压大功率变频器	211
9.1 高压大功率变频器的分类及发展	211
9.1.1 高一低—高型变频器	211
9.1.2 直接高压型变频器	211
9.2 箝位型多电平变换器的原理	216
9.2.1 二极管箝位型(NPC)多电平变换器	216
9.2.2 电容箝位型多电平逆变器	223
9.3 级联型多电平变换器	224
9.3.1 级联型多电平变换器的典型结构	225
9.3.2 几类多电平变换器的结构比较	229
9.4 基于空间电压矢量(SVPWM)的三电平逆变器控制方法	230
9.4.1 三电平逆变器输出电压合成空间矢量	230
9.4.2 三电平逆变器的参考矢量所在区间和工作状态的判断	233
9.4.3 三电平逆变器空间矢量作用时间的计算	237
9.4.4 三电平逆变器中点电压平衡问题	239
要点小结	242

习题及思考题	243
第10章 变频器的应用技术	244
10.1 变频器的外围设备	244
10.2 变频器的主电路接线端子及连接方式	246
10.3 变频器的操作及运行控制	248
10.3.1 输出频率的设定	248
10.3.2 变频器的启停运行与正反转控制	249
10.3.3 若干特定工作频率的设定	249
10.3.4 变频调速的加减速控制	252
10.3.5 变频调速的制动	253
10.3.6 电压/频率控制的设定功能	254
10.3.7 转差补偿、矢量控制和自动电压调整等功能的设定	254
10.3.8 节能运行功能	256
10.3.9 变频器的多步速控制功能	256
10.3.10 输出端子的连接与功能设定	259
10.3.11 交流电动机的变频与工频运行切换	259
10.4 变频器的保护与故障处理	260
10.4.1 过电流保护功能	260
10.4.2 过载(OL)保护功能	262
10.4.3 电压保护功能	263
10.4.4 瞬时停电的处理	265
10.4.5 其他保护功能	266
10.4.6 故障的处理	267
10.5 MM4 系列变频器	268
10.5.1 MM4 系列变频器简介	268
10.5.2 MM440 变频器的接线端子	269
10.5.3 MM440 变频器的参数设置	269
10.5.4 BOP 使用说明	272
10.5.5 BOP 快速调试	273
10.5.6 常规操作	276
要点小结	276
习题及思考题	277
参考文献	278

第 0 章 绪 论

0.1 交流调速传动的发展与应用

直流电机传动和交流电机传动在 19 世纪先后诞生。众所周知,在交流传动方面,三相交流异步电动机是在国民经济各行各业中应用最为广泛的电机,其功率小到数百瓦,大到数百万瓦,适用范围很宽。三相异步电动机的突出优点是结构简单、造价低廉、坚固耐用。然而其缺点也很明显:一方面起动电流大,起动转矩小;另一方面调速非常困难。所以,鉴于交流电气传动的这些特点,以及直流电气传动所具有的优越的调速性能,在 20 世纪上半叶,高性能可调速传动都采用直流电动机,而占电气传动总容量 80% 以上的不调速电气传动则采用交流电动机,这在一段时期内已经成为举世公认的一种分工格局。交流电机的多种调速方案尽管早已问世,并且有些已经得到了实际应用,但其性能却始终无法与直流调速系统相匹敌。直到上世纪 70 年代前后,随着电力电子技术的发展,基于电力电子变换器的交流传动系统得以实现,尤其是进入上世纪 80 年代以来,在大规模集成电路及其工艺促进下发展起来的快速全控型电力半导体器件和计算机测控等技术水平的迅速提高和完善,使高性能交流调速传动系统应运而生,并得以迅速推广应用。交流调速传动进入了与直流传动相媲美、相竞争的时代,并有明显的取代优势。交流和直流电气传动按照调速性能分工的格局终于被打破。与交流电动机相比,直流电动机有很多缺点,例如它带有电刷和换向器,因而需要经常检查维护,同时换向火花使其应用环境受到限制,而换向能力限制了直流电动机的容量和速度(极限容量和转速之积约为 $10^6 \text{ kW} \cdot \text{r/min}$),等等。于是,用交流调速传动取代直流调速传动的趋势越来越明显,交流调速传动控制系统已经成为电气传动控制的主要发展方向。据统计,在 2001 年的世界可调速电气传动产品中,交流传动已占到 70% 以上,占据了可调速传动的主导地位。交流传动系统的应用领域主要分为三个方面。

0.1.1 工艺调速传动和节能调速传动

在工业领域特别需要交流电动机的平滑无级调速,尤其是在工艺调速传动和节能调速传动方面,它可以带来巨大的经济效益。

1) 工艺调速传动

工艺调速传动指按一定的工艺要求控制电机转速,以提高产品质量、产量和劳动生产率,比如在机械加工、轧钢、纺织、化工、采油等部门都有大量需求。在各油田,抽油机采油工艺需要跟踪井下液位、改变冲次、提高泵充满度及效率、改变上下冲程速比等,这些都需要电机平滑无级调速。

许多在工艺上需要调速的生产机械过去多用直流传动,鉴于交流电动机比直流电动机的机构简单、成本低廉、工作可靠、维护方便、惯量小、效率高,如果改成交流传动,显然能够带来不少的效益,于是一般按工艺要求需要调速的场合都纷纷采用交流调速。

2) 节能调速传动

在传统的不调速交流传动中,有大量的风机水泵类通用型生产机械,其容量几乎占到工业电气传动总容量的一半以上,其中有不少的场合并不是不需要调速,只是由于过去的交流传动设备本身无法实现调速,不得不依赖挡板和阀门来调节送风和供水的流量,因而把许多电能白白地浪费了。据统计,风机水泵类生产机械耗电量占全国工业用电总量的一半左右。油田风机水泵类机械很多,功率也较大,比如采油注水泵、油气集输泵、采油泵等,以及炼油石化行业的供油泵、空压机、锅炉引风机、送风机、供水系统等。过去由于没有解决三相交流电机的调速问题,调液体排量靠阀门,调风机风量靠挡板,压力大部分降在阀门、挡板上,电能浪费巨大。

供水系统就是一种典型范例。传统的供水系统如图 0-1 所示。由于驱动水泵的电机无法调速,出口压力靠阀门开度调节,在用水量很小时将出口阀门开得很小,压力几乎全降在阀门上,水泵及管阀承受的压力很大。为防止憋泵,实际调节往往另开辟一条“打回流”循环通路,另用一只阀门控制打回流,以减缓泵压,但仍然浪费电能。如今的供水系统大都采用变频调速实现恒压供水:在供水泵的出口处安装压力传感器(变送器),将此压力反馈信号与给定压力信号相比较,其偏差信号作用于 PI 调节器来控制变频器输出的电机运行频率,从而调节泵速及出口压力,以满足给定压力的要求,使水管保持恒压。

据测算,如果将风机、水泵类生产机械由原来的恒速调挡板、阀门改造成交流变频调速系统,把消耗在挡板和阀门上的能量节省下来,平均可以节约电能 20%~40%,节能效果非常可观,尤其是对大功率负载,节能意义更为重大,是交流调速非常广阔的应用领域。同时,风机、水泵类生产机械对调速范围和动态性能的要求不高,只要有一般的调速性能就足够了。

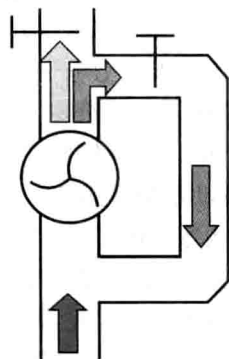


图 0-1 传统的供水系统打回流

0.1.2 高性能的交流调速系统和伺服系统

由于交流电动机的电磁转矩难以像直流电动机那样通过电枢电流实行灵活的直接控制,交流调速系统的控制性能尤其是动态性能在一段时期内一直赶不上直流调速系统。直到20世纪末,随着PWM逆变器和计算机及DSP控制性能的快速提高,矢量控制技术(或称磁场定向控制技术)得以实现,通过一系列坐标变换,把交流电动机定子电流的转矩分量和励磁分量准确分离出来,模仿直流电动机的控制方式,对交流电动机的转矩和磁链分别进行直接控制,可以获得和直流电动机相仿的高动态性能,才使交流电动机的调速技术取得了突破性的进展。其后,又陆续提出了直接转矩控制、解耦控制等方法,形成了一系列可以和直流调速系统相媲美的高性能调速系统和交流伺服系统。

0.1.3 特大容量、极高转速的交流调速

直流电动机的换向能力限制了它的容量转速积不能超过 $10^6 \text{ kW} \cdot \text{r/min}$, 否则其设计与制造将非常困难。交流电动机没有换向问题,不受这种限制,因此特大容量的电气传动设备,如厚板轧机、矿井卷扬机、巨型电动船舶等,以及极高转速的传动设备,如高速磨头、离心机等,都以采用交流调速为宜。

0.2 交流调速系统的基本类型

交流电动机有异步电动机(即感应电动机)和同步电动机两大类。每种电动机又有不同类型的调速方法。

0.2.1 异步电动机调速系统的基本类型

现有文献中介绍的异步电动机调速方法种类繁多,常见的有:① 变压调速;② 转差离合器调速;③ 转子回路串电阻调速;④ 绕线转子电动机串级调速和双馈电机调速;⑤ 变极对数调速;⑥ 变压变频调速等。在研究开发阶段,人们从多方面探索调速的途径,因而其种类繁多是很自然的。现在交流调速的发展已经比较成熟,为了深入地掌握其基本原理,就不能满足于这种表面的罗列,而是要进一步探讨其本质,认识交流调速的基本规律。

按照交流异步电动机的原理,从定子传入转子的电磁功率 P_m 分成两部分:一部分 P_{mech} [$P_{\text{mech}} = (1-s)P_m$] 是带动负载的有效功率,称为机械功率;另一部分 P_s ($P_s = sP_m$) 是传给转子回路的转差功率,与转差率 s 成正比。从能量转换角度看,转差功率是否增大,是消耗掉还是得到回收,是评价调速系统效率高低的标志。从这点出发,可以把异步电动机的调速系统分成以下三类。

1) 转差功率消耗型调速系统

在这种类型的调速系统中,全部转差功率都转换成热能消耗在转子回路里面,上述第①,②,③三种调速方法都属于这一类。在三类异步电动机调速系统中,这类系统的效率最低,而且越到低速时效率越低,它是以增加转差功率的消耗使转速下降(恒转矩负载时)的。但相对来说,这类系统的结构简单、设备成本最低,所以还是有一定的应用价值的。

2) 转差功率馈送型调速系统

在这类系统中,除转子铜耗外,大部分转差功率在转子侧通过变流装置馈出或馈入,且转速越低,能馈送的功率越多,上述第④种调速方法属于这一类。无论是馈出还是馈入的转差功率,扣除变流装置本身的损耗后,最终都转化成有用的功率,因此这类系统的效率较高,但需要增加一些设备。

3) 转差功率不变型调速系统

在这类系统中,转差功率只有转子铜耗,而且无论转速高低,转差功率基本不变,因此效率更高,上述第⑤和⑥两种调速方法属于此类。其中变极对数调速是有级的,应用场合有限。只有变压变频调速应用最广,可以构成高动态性能的交流调速系统,取代直流调速,但在定子回路中需配备与电动机容量相当的变压变频器,相比之下设备成本最高。

0.2.2 同步电动机调速系统的基本类型

同步电动机没有转差,也就没有转差功率,所以同步电动机调速系统只能是转差功率不变(恒等于0)型的,而同步电动机转子极对数又是固定的,因此只能靠变压变频调速,没有像异步电动机那样的多种调速方法。在同步电动机的变压变频调速方法中,从频率控制的方式来看,可分为他控变频调速和自控变频调速两类。后者利用转子磁极位置的检测信号来控制变压变频装置换相,类似于直流电动机中电刷和换向器的作用,因此有时又称无换向器电动机调速,或无刷直流电动机调速。

开关磁阻电动机是一种特殊类型的同步电机,具有独特的、比较简单的调速方法,在小容量交流电动机调速系统中很有发展前途。

0.3 现代交流调速的技术基础

早在半个多世纪以前,现在常用的变压、串级、变压变频等主要交流调速方法的原理就已经很清楚,只是当时电力电子器件性能不够完善,只能用电磁元件和旋转变流机组来实现调速,而控制性能又赶不上直流调速,所以长期得不到推广。20世纪80年代开始,由快速全控型电力半导体器件构成的静止式电力电子变流装置性能越来越完善,使交流调速系统设备减少、体积缩小、成本降低、效率提高、噪音消除等,逐

步获得了广泛应用和飞速发展。

现代交流调速系统一般是由电力变换器及控制、检测和保护等环节组成的。其中,电力变换器是由电力电子器件构成的,完成 AC—DC—AC 或 AC—AC 变换。控制装置是由大规模集成电路或微处理器构成的,现代交流调速系统大多选用 32 位 DSP 芯片,控制更加可靠、体积减小、成本降低。除此之外,还需要检测传感器,主要检测电压、电流和转速等参数。

第 1 章 变频调速的基本分析

由电机学可知,交流电机的旋转磁场转速 $n_0 = 60f_1/p$, 当电机的极对数 p 不变时,同步转速 n_0 与电源频率 f_1 成正比。连续改变供电电源频率,就可以平滑地调节电动机转速。这种通过改变电动机定子绕组的供电频率来改变 n_0 的调速方法称为变频调速。在各种异步电机调速方法中,变频调速的效率最高、性能最好,它是实现交流电动机调速的最理想方法。为了提供变频电源,人们曾采用过多种方法,最早的变频装置是旋转变频机组,即由直流电动机拖动交流同步发电机,调节直流电动机的转速就能控制交流发电机输出电压和频率。这相当于重新发电,机械设备庞大、可靠性差,一直没有得到实际推广应用。直到 20 世纪 70 年代,随着大功率半导体器件及电力电子技术的迅速发展,人们对变频调速技术的研究又重新兴起,各种静止式变频调速装置得到迅速发展。变频调速已经成为现代交流调速的主要发展方向。相对于过去的旋转机组而言,由新型电力半导体器件构成的变频器称为静止式变频器。

变频调速系统在调速时,并非只改变频率,而须同时改变定子电源的电压和频率,即所谓变压变频调速。在这种情况下,交流异步电动机的机械特性基本上随频率发生平移,而转差功率不变。

本章首先介绍变频调速的基本控制方式和机械特性,然后阐述交—直—交变频器的基本结构及特点,并通过分析六拍阶梯波逆变器进一步说明变频调速的基本原理。

1.1 变压变频调速的基本控制方式和机械特性

异步电动机通过改变定子电源频率 f_1 即可以平滑地调节同步转速。但是,随着 f_1 的改变,电动机的机械特性将如何变化、能否满足生产机械的要求等问题都应该加以研究。

任何电机和变压器在设计时,一般都使其铁芯的额定工作磁通 Φ_N 处于磁化曲线的线性区与饱和区的临界点附近,如图 1-1 所示。如果磁通太小,没有充分利用铁芯则是一种浪费。电机的每极气隙磁通 Φ_m 的大小直接决定着电机的功率和转矩。但是,若过分增大磁通,又会

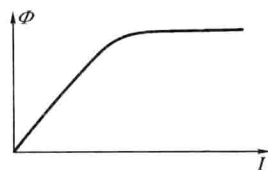


图 1-1 铁芯的磁化曲线
(第 I 象限)