

- 项目导向
- 任务驱动
- 侧重技能
- 面向就业

高等职业教育自动化类专业规划教材·项目导向系列

变频器控制技术

◎ 李方园 编著

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



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

内 容 简 介

本书从自动化类变频器方向的岗位出发,按照项目导入、任务驱动的原则共设置了六个项目背景与控制要求,对包括物料分拣输送带、化工厂泵与搅拌机、中央空调风机、数控车床变频主轴、卧螺离心机和造纸收卷系统在内的变频控制,进行逐个剖析,由浅入深,从知识讲座到技能训练,从综合解决方案到技术答疑,把变频器几乎所有的功能都一一应用进去。

本书透彻地阐述了变频器的基本工作原理、应用方案和维护技巧,并以三菱最新 A700 为例,设置了一个个可以操作的环节和项目。同时本书考虑到高职内尚有一定数量的 A500/E500 系列三菱变频器教仪设备,以附录任务书的形式进行了对比操作。

本书可作为高职高专电气自动化、机电一体化、楼宇智能化等专业的项目化教材,也可作为广大电工技术爱好者、求职者、下岗再就业者、职业培训人员的教材。

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

变频器控制技术/李方园编著. —北京:电子工业出版社,2010.4
高等职业教育自动化类专业规划教材·项目导向系列
ISBN 978-7-121-10496-1

I. 变… II. 李… III. 变频器-电气控制-高等学校:技术学校-教材 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 040717 号

策划编辑:王昭松

责任编辑:刘真平

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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

开 本:787×1092 1/16 印张:17.75 字数:451 千字

印 次:2010 年 4 月第 1 次印刷

印 数:4 000 定价:28.00 元

凡所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,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@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

变频器控制技术是目前高职高专电气自动化、机电一体化和楼宇智能化专业所必学的课程之一。本书作为高职院校自动化类专业项目化课程改革的阶段性成果,从自动化类变频器方向的岗位出发,按照项目导入、任务驱动的原则共设置了六个项目背景与控制要求,对包括物料分拣输送带、化工厂泵与搅拌机、中央空调风机、数控车床变频主轴、卧螺离心机和造纸收卷系统在内的变频控制,进行逐个剖析,由浅入深,从知识讲座到技能训练,从综合解决方案到技术答疑,把变频器几乎所有的功能都一一应用进去。

本教材源于2009年7月期间在德国爱科特教育集团学习德国先进职业教育课程时的一次IHK证书考试交流。IHK证书是德国国家职业资格证书,具有国际影响力。德国在多年前就已经尝试进行项目化IHK考试,规定学生在一定的时间内完成考试所给定的一个项目。在德国职业教育中,项目课程一般定义为:以工作任务为中心选择、组织课程内容,并以完成工作任务为主要学习方式。

在职教理论实践中,针对某个“项目”,学生可以根据已有的和新获取的知识(可从多个途径获取,如利用网络资源、教师资源和书籍资料自学等)、技能和经验制定出若干不同的实施方案,这样一来,不仅学生的专业技能得到了训练,而且学生的独立工作能力、沟通说服能力、创造能力、团队合作的能力以及综合应用能力等均得到了全面的培训和提高。

同时,对于“变频器应用”领域,作者已经“浸染”已久,相继出版了《变频器行业应用实践》、《变频器自动化工程实践》、《变频器应用技术》、《变频器应用与维护》、《变频器原理与维修》等多本相关书籍,并从2004年起一直担任《控制与传动》技术主编、《变频器世界》编委,在杂志上撰写了数十篇变频器的行业应用案例,其中“变频调速系统的设计与应用”系列文章荣获《自动化博览》举办的2008年中国自动化领域十大年度优秀论文。

因此,本教材力图通过六个项目来透彻阐述变频器的基本工作原理、应用方案和维护技巧,以三菱最新A700为例,设置了一个个可以操作的环节和项目;同时,考虑到高职院校内尚有一定数量的A500/E500系列三菱变频器教仪设备,以附录任务书的形式进行了对比操作。

在教材编写过程中,得到了爱科特教育集团艾伯科麦尔院长的帮助,在德国学习期间专程安排IHK专家进行变频器等自动化相关项目的介绍和实训操作。同时,本教材得到了三菱电机自动化(上海)有限公司、宁波中华纸业有限公司、宁波钢铁有限公司、常州米高电子科技有限公司等厂家相关人员的帮助并提供了相当多的典型案例和维护经验。在编写中曾参考和引用了国内外许多专家、学者最新发表的论文和著作等资料,另外,陈亚玲、叶明、陈贤富、沈阿宝、陈亚珠、李伟庄、章富科、方定桂、刘军毅、戴琴、王永行、刘伟红等参与了资料整理、文字录入和校对工作,作者在此一并致谢。

作 者
2009. 11. 21

目 录

项目 1 物料分拣输送带的变频控制	1
1.1 项目背景及要求	2
1.1.1 项目背景	2
1.1.2 控制要求	2
1.2 知识讲座:变频器原理及基本应用	3
1.2.1 交流异步电动机和同步电动机的调速	3
1.2.2 不同调速方式的工作原理	5
1.2.3 变频调速原理	9
1.2.4 变频器的频率给定	13
1.2.5 变频器的运转指令	18
1.2.6 交直交变频器的基本构造	21
1.3 技能训练一:三菱 A700 变频器的初步认识	24
1.3.1 三菱 A700 变频器的认识	24
1.3.2 A700 变频器 PU 操作	27
1.3.3 A700 变频器的参数设置要点	28
1.4 技能训练二:变频器运行模式与参数设置	31
1.4.1 运行模式功能与参数 Pr. 79 的设置	31
1.4.2 A700 外部端子的接线	32
1.4.3 A700 外部模拟量的接线	32
1.4.4 A700 常见的运行模式技能操作	33
1.5 项目设计方案	36
1.5.1 物料分拣输送带变频器的系统设计	36
1.5.2 硬件设计	36
1.5.3 变频器参数设置与调试	39
1.6 技术答疑	40
思考与练习	43
项目 2 化工厂泵与搅拌机的变频控制	45
2.1 项目背景及要求	46
2.1.1 项目背景	46
2.1.2 控制要求	46
2.2 知识讲座:变频器 I/O 端子功能与 V/f 控制	47
2.2.1 变频器数字量输入端子介绍	47
2.2.2 变频器数字量输出端子介绍	49
2.2.3 变频器模拟量输入端子介绍	52
2.2.4 变频器模拟量输出端子介绍	53

2.2.5	变频器高速脉冲输入/输出端子介绍	53
2.2.6	变频器 V/f 控制原理	54
2.2.7	变频器的启动、制动	57
2.2.8	外接负载的分类	62
2.3	技能训练一:变频器 A700 I/O 端子的熟悉	63
2.3.1	A700 变频器输入和输出端子的熟悉	63
2.3.2	A700 变频器多段速接线与参数设置	66
2.3.3	A700 模拟量通道的确定	68
2.4	技能训练二:针对特殊负载的变频器参数设置与接线	72
2.4.1	A700 手动转矩提升操作	72
2.4.2	A700 加减速的功能选择	73
2.4.3	A700 对电动机的热保护功能设置	74
2.4.4	电动机的节能运行	76
2.4.5	A700 变频器多功能输出端子操作	76
2.4.6	A700 变频器模拟量输出端子操作	78
2.5	项目设计方案	81
2.5.1	化工厂泵与搅拌机变频控制系统的硬件设计	81
2.5.2	化学品电动机的变频器参数设置与调试	83
2.6	技术答疑	84
	思考与练习	86
项目 3 中央空调风机的变频节能 PID 控制		88
3.1	项目背景及要求	89
3.1.1	项目背景	89
3.1.2	控制要求	90
3.2	知识讲座:PID 控制与变频器	91
3.2.1	变频器内置 PID 原理	91
3.2.2	中央空调变频风机的几种控制方式	92
3.2.3	温度传感器及其相关仪表的选型	95
3.3	技能训练一:A700 变频器 PID 控制线路设计	97
3.3.1	A700 变频器 PID 操作	97
3.3.2	A700 变频器 PID 构成与动作	98
3.4	技能训练二:变频器 A700 的节能计算	100
3.4.1	节能监视器	100
3.4.2	节能瞬时、节能平均和节能累计值	102
3.4.3	年度省电量和节能费用	104
3.4.4	实际工程中风机和泵类负载的节能计算	104
3.5	项目设计方案	107
3.5.1	中央空调风机的变频节能硬件设计	107
3.5.2	中央空调风机的变频器参数设置和调试	109
3.6	技术答疑	111
	思考与练习	118

项目 4 数控车床主轴的开环矢量控制	121
4.1 项目背景及要求	122
4.1.1 项目背景	122
4.1.2 控制要求	122
4.2 知识讲座:开环矢量控制与变频制动	123
4.2.1 变频器矢量控制原理	123
4.2.2 开环矢量控制方式	125
4.2.3 变频器容量选择的依据	130
4.2.4 电动机低频运行时所要考虑到的因素	131
4.2.5 变频器制动原理	132
4.2.6 变频器能耗制动的设计	133
4.2.7 变频器能耗制动的应用	135
4.3 技能训练一:变频器 A700 的开环矢量调试	137
4.3.1 A700 变频器离线自动调整	137
4.3.2 A700 变频器在线自动调整	140
4.3.3 开环矢量控制的实施步骤	141
4.4 技能训练二:主轴变频器与制动单元及电阻的连接	142
4.4.1 A700 变频器与专用外接制动电阻器的连接	142
4.4.2 A700 变频器与制动单元 FR-BU 的连接	143
4.4.3 A700 变频器与制动单元 MT-BUS 的连接	144
4.4.4 A700 变频器制动参数的设置与调试	145
4.5 项目设计方案	145
4.5.1 数控车床主轴驱动功率、转速范围和控制方式的确定	145
4.5.2 华中 HNC-21 数控装置与变频器的连接	148
4.5.3 数控车床主轴变频器的连线与调试	149
4.6 技术答疑	151
思考与练习	156
项目 5 变频多传动在卧螺离心机上的应用	158
5.1 项目背景及要求	159
5.1.1 项目背景	159
5.1.2 控制要求	159
5.2 知识讲座:多传动变频的组成与通信	160
5.2.1 共用直流母线方式的回馈制动	160
5.2.2 变频器回馈制动的原理	161
5.2.3 卧螺离心机电气控制结构	164
5.2.4 离心机双变频系统的模型分析	166
5.2.5 变频器共直流母线方案的应用	173
5.2.6 双电动机离心机变频器的两种连接方法	174
5.2.7 变频器的串口通信	175
5.2.8 Modbus 总线	177

5.3	技能训练一:变频器 A700 的直流供电方式	178
5.3.1	A700 变频器的直流供电模式一	178
5.3.2	A700 变频器的直流供电模式二	178
5.3.3	直流供电模式二的电梯变频器运行实例	179
5.4	技能训练二:变频器 A700 的通信测试	181
5.4.1	A700 变频器通信端子熟悉	181
5.4.2	A700 变频器 PU 口操作	182
5.4.3	变频器 RS485 端子操作	183
5.5	项目解决方案	183
5.5.1	卧螺离心机变频器的硬件设计	183
5.5.2	卧螺离心机变频器的参数设置	184
5.5.3	采用通信控制的卧螺离心机硬件与参数设置	185
5.6	技术答疑	189
	思考与练习	193
项目 6	造纸收卷系统的闭环矢量控制	195
6.1	项目背景及要求	196
6.1.1	项目背景	196
6.1.2	控制要求	197
6.2	知识讲座:矢量控制与转矩控制	197
6.2.1	闭环矢量控制方式	197
6.2.2	变频器的转矩控制原理	202
6.2.3	ABB 变频器的 DTC 方式	204
6.2.4	典型的张力控制系统	207
6.3	技能训练一:变频器 A700 矢量控制与转矩控制	212
6.3.1	A700 变频器的编码器接口卡 FR-A7AP 操作	212
6.3.2	A700 变频器闭环矢量控制的操作	215
6.3.3	A700 变频器闭环矢量速度控制的过程	217
6.3.4	A700 变频器闭环矢量转矩控制的过程	217
6.4	技能训练二:三菱张力控制器的设置与安装	218
6.4.1	三菱张力控制器 LE-30CTA 概述	218
6.4.2	三菱张力控制器 LE-30CTA 调试步骤	219
6.5	项目设计方案	227
6.5.1	收卷传动控制系统的硬件设计	227
6.5.2	收卷变频控制系统的参数设置	231
6.6	技术答疑	233
	思考与练习	235
附录 A	三菱 E540 变频器的安装、调试与维护	237
	任务一 变频器的安装	237
	第一部分 实训的目的与要求	237
	第二部分 技能训练	238

第三部分 总结提高	243
任务二 变频器的调试与参数设置	244
第一部分 实训的目的与要求	244
第二部分 技能训练	244
第三部分 总结提高	250
任务三 变频器的维修与保养	251
第一部分 实训的目的与要求	251
第二部分 技能训练	251
第三部分 总结提高	255
附录 B 三菱 A500 变频器与 A700 系列的比较	256
B.1 概述	256
B.2 安装时的注意事项	257
附录 C 三菱 A700 变频器参数总表	259
参考文献	272

物料分拣输送带的变频控制

变频器主要用于交流电动机转速的调节,是理想的调速方案。变频调速以其自身所具有的调速范围广,调速精度高,动态响应好等优点,在许多需要精确速度控制的应用中发挥着提高产品质量和生产效率的作用。除此之外,变频器还有显著的节能效果,不仅在相关工业设备,而且在民用产品中,也体现了节约电费,提高设备性能,保护环境等方面的优势,因而得到用户的普遍认可和广泛应用。本项目通过物流分拣输送带的变频控制方案来了解变频器的最简单应用。

本项目的学习目标如下:



知识目标

了解交流电动机的调速方式;熟悉变频调速的基本原理及其优点;掌握恒压频比工作方式及其特点;掌握变频器的电路基本结构。



技能目标

能对三菱 A700 变频器进行简单接线;能熟练掌握 A700 参数的初始化过程;能进行变频器的简单调试,并运用不同的运行模式来解决简单变频调速项目。



职业素养目标

树立用电安全意识,并能从电动机调速系统的发展轨迹看待变频器在实际工程中的应用背景。

1.1 项目背景及要求

1.1.1 项目背景

物料分拣输送带是现代物流系统的重要组成部分,通过变频器来控制输送带电动机,可以使物料分拣系统方便地进行系统集成,因此已经成为目前物流行业控制系统发展的趋势。如图 1.1 所示为物料分拣输送带与物料分拣过程示意。

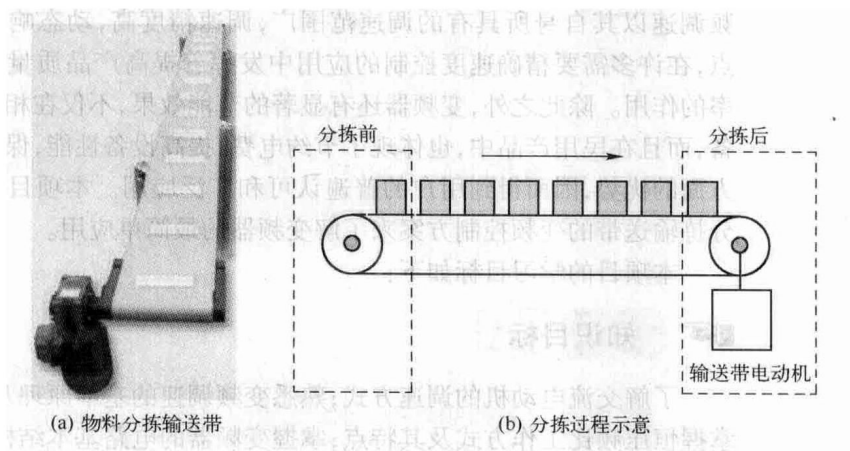


图 1.1 物料分拣输送带与物料分拣过程示意

以前物料输送带设备调速基本都采用手动机械式有级变速(比如更换皮带轮大小或齿轮箱变速比等),非常不方便。而作为交流调速最重要的驱动装置——变频器来说,其优点已经在物料输送设备中发挥着越来越重要的作用。比如变频调速启动大都从低速开始,频率较低,这样可以避免物料因惯性而倒下;加、减速时间可以任意设定,加、减速比较平缓,启动电流较小,因此可以进行较高频率的启停;变频调速很容易实现电动机的正、反转,只需要改变变频器内部逆变管的开关顺序,即可实现输出换相,也不存在因换相不当而烧毁电动机的问题。

1.1.2 控制要求

现在要求对该物料分拣输送带采用交流变频控制,已知输送带采用三相鼠笼式异步电动机 1.5kW,三相交流 380V,请设计合理的控制方案。具体要求如下。

- (1) 变频器直接安装在现场,以方便控制,但是该现场安装地振动比较大;
- (2) 能进行正转与反转控制,且用操作台上的按钮进行控制,不用变频器的操作面板;

- (3) 速度设定来自于用户自己安装的多圈电位器；
 (4) 根据工艺要求设置输送的加速度和最快速度。

1.2 知识讲座：变频器原理及基本应用

1.2.1 交流异步电动机和同步电动机的调速

1. 异步电动机

三相异步电动机要旋转起来的先决条件是具有一个旋转磁场，三相异步电动机的定子绕组就是用来产生旋转磁场的。三相电源相与相之间的电压在相位上是相差 120° 的，三相异步电动机定子中的三个绕组在空间方位上也互差 120° ，这样，当在定子绕组中通入三相电源时，就会产生一个旋转磁场，其产生的过程如图 1.2 所示。图 1.2 中分四个时刻来描述旋转磁场的产生过程。电流每变化一个周期，旋转磁场在空间旋转一周，即旋转磁场的旋转速度与电流的变化是同步的。

旋转磁场的转速为

$$n = 60f/P$$

式中， f 为电源频率， P 是磁场的磁极对数， n 的单位是转/分 (r/min)。根据此式我们知道，电动机的转速与磁极数和使用电源的频率有关。

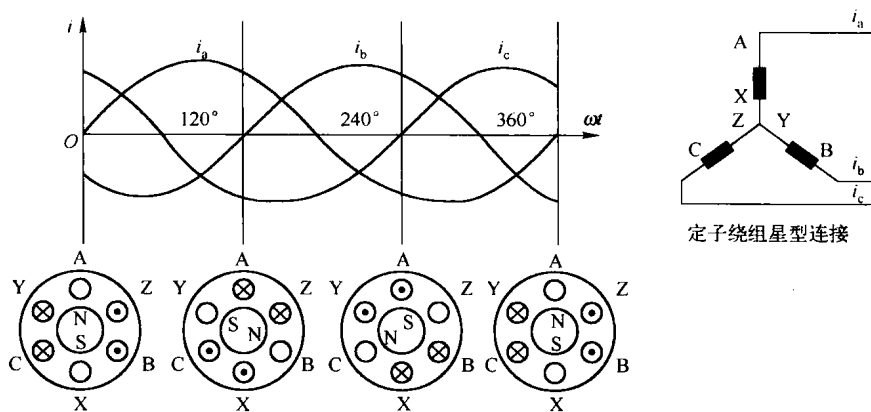


图 1.2 三相异步电动机原理

定子绕组产生旋转磁场后，转子导条（鼠笼条）将切割旋转磁场的磁力线而产生感应电流，转子导条中的电流又与旋转磁场相互作用产生电磁力，电磁力产生的电磁转矩驱动转子沿旋转磁场方向以 n_1 的转速旋转起来。一般情况下，电动机的实际转速 n_1 低于旋转磁场的转速 n 。因为假设 $n = n_1$ ，则转子导条与旋转磁场就没有相对运动，就不会切割磁

力线,也就不会产生电磁转矩,所以转子的转速 n_1 必然小于 n 。为此将这种结构的三相电动机称为异步电动机。

2. 同步电动机

同步电动机和其他类型的旋转电动机一样,由固定的定子和可旋转的转子两大部分组成。一般分为转场式同步电动机和转枢式同步电动机。

图 1.3 给出了最常用的转场式同步电动机的结构模型,其定子铁芯的内圆均匀分布着定子槽,槽内嵌放着按一定规律排列的三相对称交流绕组。这种同步电动机的定子又称为电枢,定子铁芯和绕组又称为电枢铁芯和电枢绕组。转子铁芯上装有制成一定形状的成对磁极,磁极上绕有励磁绕组,通以直流电流时,将会在电动机的气隙中形成极性相间的分布磁场,称为励磁磁场(也称为主磁场、转子磁场)。气隙处于电枢内圆和转子磁极之间,气隙层的厚度和形状对电动机内部磁场的分布和同步电动机的性能有重大影响。

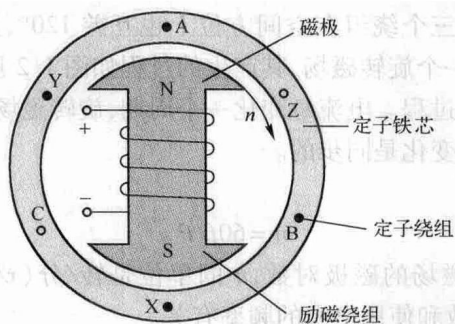


图 1.3 同步电动机的结构模型

除了转场式同步电动机外,还有转枢式同步电动机,其磁极安装于定子上,而交流绕组分布于转子表面的槽内,这种同步电动机的转子充当电枢。图中用 AX、BY、CZ 三个在空间错开 120° 电角度分布的线圈代表三相对称交流绕组。

3. 交流电动机的调速

交流电动机比直流电动机经济耐用得多,因而被广泛应用于各行各业,是一种量大面广的传统产品。在实际应用场合,往往要求电动机能随意调节转速,以便获得满意的使用效果。但交流电动机在这方面比起直流电动机就要逊色得多,于是不得不借助其他手段达到调速目的。根据感应电动机的转速特性表达式可知,它的调速方式有三大类:频率调节、磁极对数调节和转差率调节。从而出现了目前常用的几种调速方法,如变极调速、调压调速、电磁调速、变频调速、液力耦合器调速、齿轮调速等(如图 1.4 所示)。

基于节能角度,通常把交流调速分为高效调速和低效调速。高效调速指基本上不增加转差损耗的调速方式,在调节电动机转速时转差率基本不变,不增加转差损失,或将转差功率以电能形式回馈电网或以机械能形式回馈机轴;低效调速则存在附加转差损失,在相同调速工况下其节能效果低于不存在转差损耗的调速方式。

属于高效调速方式的主要有变极调速、串级调速和变频调速；属于低效调速方式的主要有滑差调速（包括电磁离合器调速、液力耦合器调速、液粘离合器调速）、转子串电阻调速和定子调压调速。其中，液力耦合器调速和液粘离合器调速属于机械调速，其他均属于电气调速。变极调速和滑差调速方式适用于笼型异步电动机，串级调速和转子串电阻调速方式适用于绕线型异步电动机，定子调压调速和变频调速既适用于笼型，也适用于绕线型异步电动机。变频调速和机械调速还可用于同步电动机。

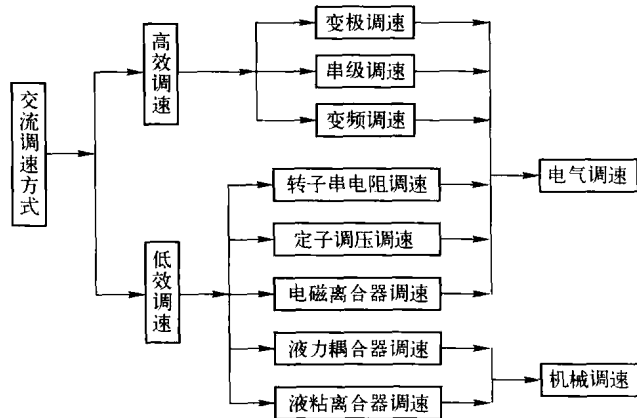


图 1.4 交流电动机主要调速方式分类图

液力耦合器调速技术属于机械调速范畴，它将匹配合适的调速型液力耦合器安装在常规的交流电动机和负载（风机、水泵或压缩机）之间，从电动机输入转速，通过耦合器工作腔中高速循环流动的液体，向负载传递力矩和输出转速。只要改变工作腔中液体的充满程度即可调节输出转速。

液粘离合器调速是指利用液粘离合器作为功率传递装置完成转速调节的调速方式，属于机械调速。液粘离合器是利用两组摩擦片之间接触来传递功率的一种机械设备，如同液力耦合器一样安装在笼型感应电动机与工作机械之间，在电动机低速运行的情况下，利用两组摩擦片之间摩擦力的变化无级地调节工作机械的转速，由于它存在转差损耗，是一种低效调速方式。

1.2.2 不同调速方式的工作原理

1. 异步电动机的变极调速

变极调速技术是通过变极多速异步电动机实现调速的。这种多速电动机大都为笼型转子电动机，其结构与基本系列异步电动机相似，现国内生产的有双、三、四速等几类。

变极调速是通过改变定子绕组的极对数来改变旋转磁场同步转速进行调速的，是无附加转差损耗的高效调速方式。由于极对数 p 是整数，它不能实现平滑调速，只能有级调速。在供电频率 $f = 50\text{Hz}$ 的电网， $p = 1, 2, 3, 4$ 时，相应的同步转速 $n_0 = 3\ 000, 1\ 500, 1\ 000,$

750r/min。改变极对数是用改变定子绕组的接线方式来完成(见图 1.5),图 1.5(a)中 $p=2$,图 1.5(b),(c)中 $p=1$ 。双速电动机的定子是单绕组,三速和四速电动机的定子是双绕组。这种改变极对数来调速的笼型电动机,通常称为多速感应电动机或变极感应电动机。

多速电动机的优点是运行可靠,运行效率高,控制线路很简单,容易维护,对电网无干扰,初始投资低。缺点是有级调速,而且调速级差大,从而限制了它的使用范围。它适合于按 2~4 挡固定调速变化的场合,为了弥补有级调速的缺陷,有时与定子调压调速或电磁离合器调速配合使用。

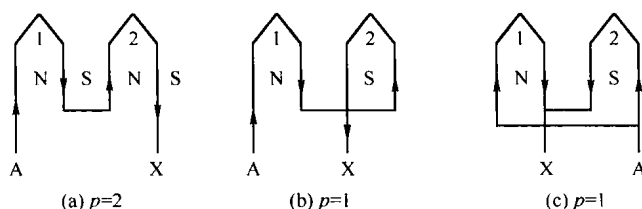


图 1.5 定子绕组改变极对数示意图

2. 电磁调速

电磁调速技术是通过电磁调速电动机实现调速的技术。电磁调速电动机(又称为滑差电动机)由三相异步电动机、电磁转差离合器和测速发电机组成,三相异步电动机作为原动机工作。该技术是传统的交流调速技术之一,适用于容量在 0.55~630kW 范围内的风机、水泵或压缩机。

电磁离合器调速是由笼型感应电动机和电磁离合器一体化的调速电动机来完成的,把这种调速电动机称为电磁离合器电动机,又称为滑差电动机,属于低效调速方式。电磁调速电动机的调速系统主要由笼型感应电动机、涡流式电磁转差离合器和直流励磁电源三个部分组成(见图 1.6),直流励磁电源功率较小,通过改变晶闸管的控制角改变直流励磁电压的大小来控制励磁电流。它以笼型电动机作为原动机,带动与其同轴连接的电磁离合器的主动部分,离合器的从动部分与负载同轴连接,主动部分与从动部分没有机械联系,只有磁路相通。离合器的主动部分为电枢,从动部分为磁极,电枢是一杯状铸铜体,磁极则由铁芯和励磁绕组构成,绕组与部分铁芯固定在机壳上不随磁极旋转,直流励磁不必经过滑环而直接由直流电源供电。当电动机带动电枢在磁极磁场中旋转时,就会感生涡流,涡流与磁极磁场作用产生的转矩将使电枢牵动磁极拖动负载同向旋转,通过控制励磁电流改变磁场强度,使离合器产生大小不同的转矩,从而达到调速的目的。

电磁离合器的优点是结构比较简单,可无级调速,维护方便,运行可靠,调速范围也比较宽,对电网无干扰,它可以空载启动,对需要重载启动的负载可获得容量效益,提高电动机运行负载率。缺点是高速区调速特性软,不能全速运行;低速区调速效率比较低。它适用于调速范围适中的中小容量电动机。

3. 串级调速

串级调速的典型调速系统有两种:一种是电气串级调速系统,另一种是电动机串级调

速系统。电气串级调速电路是由异步机转子一侧的整流器和电网一侧的晶闸管逆变器组成的。用改变逆变器的逆变角来调节异步机转速,将整流后的直流通过逆变器转换成具有电网频率的交流,将转差功率回馈电网。电动机串级调速电路把转子整流后的直流作为电源接到一台直流电动机的电枢两端,用调节励磁电流来调节异步机转速,直流机与异步机同轴相接,将转差功率变为直流器的输入功率与异步机一起拖动负载,使转差功率回馈机轴。电动机串级调速的调速范围不大,又增加了一台直流电动机,使系统复杂化,因此应用不多。电气串级调速系统比较简单,控制方便,应用比较广泛。

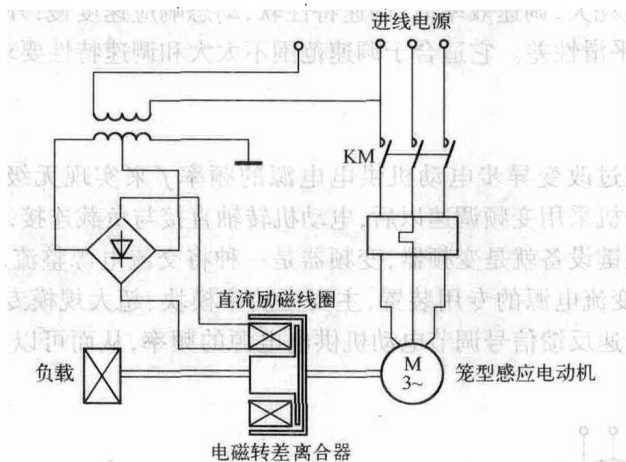


图 1.6 电磁调速示意图

串级调速的主要优点是调速效率高,可实现无级调速,初始投资不大。缺点是对电网干扰大,调速范围窄,功率因数也比较低,与转子串电阻相比,主要是它的效率优势。

4. 定子调压调速

定子调压调速用改变定子电压实现调速的方法来改变电动机的转速,调速过程中它的转差功率以发热形式损耗在转子绕组中,属于低效调速方式。由于电磁转矩与定子电压的平方成正比,改变定子电压就可以改变电动机的机械特性,与某一负载特性相匹配就可以稳定在不同的转速上,从而实现调速功能。供电电源的电压是固定的,它用调压器来获得可调压的交流电源。传统的调压器有饱和电抗器式调压器、自耦变压器式调压器和感应式调压器,主要用于笼型感应电动机的减压启动,以减小启动电流。晶闸管是交流调压调速的主要形式,它利用改变定子侧三相反并联晶闸管的移相角来调节转速,可以做到无级调速。

调压调速的主要优点是控制设备比较简单,可无级调速,初始投资低,使用维护比较方便,可以兼做鼠笼机的降压启动设备。缺点是调速效率比较低,低速运行调速效率更低;调速范围窄,只有对风机和泵类工作机械调速才可以获得较宽的调速范围并减少转差损耗;调速特性比较软,调速精度差;对电网干扰也大。它适用于调速范围要求不宽,较长时间在高速区运行的中小容量的异步电动机。

5. 转子串电阻调速

转子串电阻调速是通过改变绕线型感应电动机转子串接附加外接电阻从而改变转子电流使转速改变的方式进行调速的(见图 1.7),为减少电刷的磨损,中等容量以上的绕线型感应电动机还设有提刷装置。当电动机启动时接入外接电阻以减小启动电流,不需要调速时移动手柄,可提起电刷与集电滑环脱离接触,同时使三个集电滑环彼此短接起来。

串电阻调速的优点是技术成熟,控制方法简单,维护方便,初始投资低,对电网无干扰。缺点是转差损耗大,调速效率低;调速特性软,动态响应速度慢;外接附加电阻不易做到无级调速,调速平滑性差。它适合于调速范围不太大和调速特性要求不高的场合。

6. 变频调速

变频调速是通过改变异步电动机供电电源的频率 f 来实现无级调速的,其原理如图 1.8 所示。电动机采用变频调速以后,电动机转轴直接与负载连接,电动机由变频器供电。变频调速的关键设备就是变频器,变频器是一种将交流电源整流成直流后再逆变成频率、电压可变的交流电源的专用装置,主要由功率模块、超大规模专用单片机等构成。变频器能够根据转速反馈信号调节电动机供电电源的频率,从而可以实现相当宽频率范围内的无级调速。

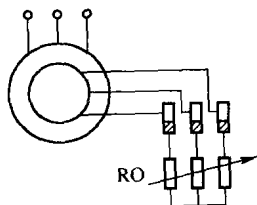


图 1.7 串电阻调速转子电路示意

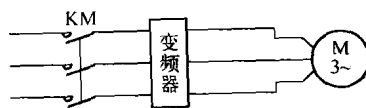


图 1.8 变频调速原理

7. 调速方式汇总

根据实际应用效果,将交流电动机的各种调速方式的一般特性和特点汇总于表 1.1 之中。

表 1.1 调速方式的一般特性和特点

调速方式	转子串电阻	定子调压	电磁离合器	液力耦合器	液粘离合器	变极	串级	变频
调速方法	改变转子串电阻	改变定子输入调压	改变离合器励磁电流	改变耦合器工作腔充油量	改变离合器摩擦片间隙	改变定子极对数	改变逆变器的逆变角	改变定子输入频率和电压
调速性质	有级	无级	无级	无级	无级	有级	无级	无级
调速范围	50% ~ 100%	80% ~ 100%	10% ~ 80%	30% ~ 97%	20% ~ 100%	2,3,4 挡转速	50% ~ 100%	5% ~ 100%
响应能力	差	快	较快	差	差	快	快	快
电网干扰	无	大	无	无	无	无	较大	有
节电效果	中	中	中	中	中	高	高	高

续表

调速方式	转子串电阻	定子调压	电磁离合器	液力耦合器	液粘离合器	变极	串级	变频
初始投资	低	较低	较高	中	较低	低	中	高
故障处理	停车	不停车	停车	停车	停车	停车	停车	不停车
安装条件	易	易	较易	场地	场地	易	易	易
适用范围	绕线型异步机	绕线型异步机、笼型异步机	笼型异步机	笼型异步机、同步电动机	笼型异步机、同步电动机	笼型异步机	绕线型异步机	异步电动机、同步电动机

1.2.3 变频调速原理

交流电动机不论三相异步电动机还是三相同步电动机,其转速 N 的公式均为

$$N_0 = 60f/p \text{ (同步电动机)} \quad N = N_0(1-s) = 60f/p(1-s) \text{ (异步电动机)}$$

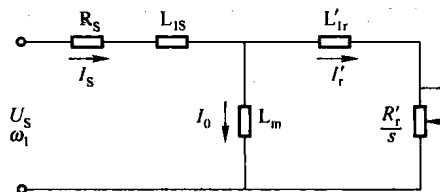
式中, f 表示频率; p 表示极对数; s 表示转差率(0% ~ 3% 或 0% ~ 6%)。

由转速公式可见,只要设法改变三相交流电动机的供电频率 f ,就可十分方便地改变电动机的转速 N ,比改变极对数 p 和转差率 s 两个参数简单得多。特别是近二十多年来,交流变频调速器得到了突飞猛进的发展,使得三相交流电动机变频调速成为当前电气调速的主流。

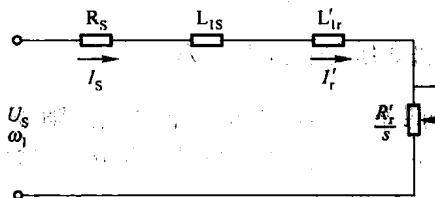
实际上仅仅改变电动机的频率并不能获得良好的变频特性。例如,标准设计的三相异步电动机,380V,50Hz,如果电压不变,只改变频率,会产生什么问题? 380V 不变,频率下调 (<50Hz),会使电动机气隙磁通 Φ (约等于 V/f) 饱和;反之,380V 不变,频率向上调 (>50Hz),则使磁通减弱。所以,真正应用变频调速时,一般需要同时改变电压和频率,以保持磁通基本恒定。因此,变频调速器又称为 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)装置。

1. 感应电动机稳态模型

根据电机学原理,在下述三个假定条件下(忽略空间和时间谐波,忽略磁饱和,忽略铁损),感应电动机的稳态模型可以用 T 型等效电路表示,如图 1.9(a)所示。



(a) 感应电动机 T 型等效电路



(b) 感应电动机简化等效电路

图 1.9 感应电动机等效电路