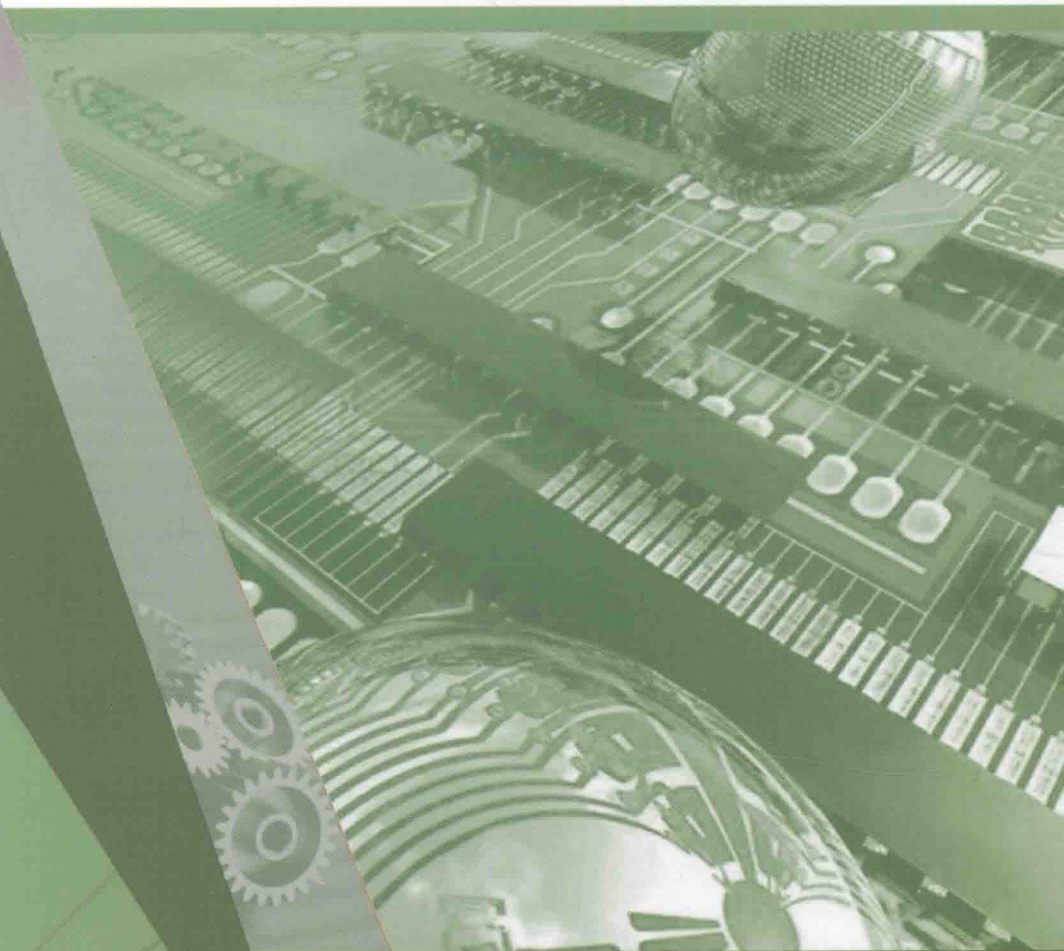


高职高专机电一体化专业规划教材

变频器 基础与技能

BIANPINGQI
JICHU YU JINENG

王易平 主编



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

变频器基础与技能

王易平 主编

重庆大学出版社

内容简介

本书以项目为导向,任务为引领,将变频器基础知识和运用技能,按认知结构的内在逻辑关系,本着“实用、够用”的选材原则,分为7个项目编撰而成:交流调速技术,变频器控制电路及控制方式,变频器的选型,变频器的运用技能,高压变频器,变频器的安装、调试与维护,变频器的应用。项目内容突出针对性、典型性和实用性。在每个项目中,都设立了若干任务,并提出明确的任务要求。

编者从应用的角度出发,在介绍交流拖动系统中运用变频器的基本技能的同时,还介绍了变频器在工业控制领域的应用,从而将 PLC、微机、总线等与变频器输入/输出功能相结合,扩大了变频器的应用领域。

本书可作为高职高专院校工业电气自动化、电气工程及自动化、机电一体化等相关专业的教材,同时也可供变频调速工程技术人员在设计、安装、调试、维护工作中作为阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

变频器基础与技能/王易平主编. —重庆:重庆大学出版社,2013.2

高职高专机电一体化专业系列教材

ISBN 978-7-5624-7186-8

I. ①变… II. ①王… III. ①变频器—高等职业教育—教材 IV. ①TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 012388 号

变频器基础与技能

王易平 主编

策划编辑:周立

责任编辑:文鹏 姜凤 邓桂华 版式设计:周立

责任校对:秦巴达 责任印制:赵晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023)88617183 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

万州日报印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:23.25 字数:580 千

2013 年 2 月第 1 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—3000

ISBN 978-7-5624-7186-8 定价:39.50 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

随着变频技术在交流调速中的广泛应用,变频器在提高拖动系统生产效率、保障产品质量、节约电能等方面的作用已十分重要。这种通过改变电源频率,改变电动机的机械特性即可获得不同转速的电气调速手段,对既有交流拖动系统的调速改造,实施便捷,成效显著,这也正是变频器应用得以迅猛发展的原因之一。变频器在节能方面的突出性能,使之在机电设备节能改造中成为首选的节能产品。因此,掌握变频器的基础知识和运用技能,是从事电气技术人员必不可少的技能之一。

本书以项目为导向,任务为引领,将变频器基础知识和运用技能,按认知结构的内在逻辑关系,本着“实用、够用”的选材原则,分为7个项目编撰而成:交流调速技术,变频器控制电路及控制方式,变频器的选型,变频器的运用技能,高压变频器,变频器的安装、调试与维护,变频器的应用。项目内容的确定,突出针对性、典型性、实用性。在每个项目中,都设立了若干任务,并提出明确的任务要求。编者从应用的角度出发,在介绍交流拖动系统中运用变频器的基本技能的同时,还介绍了变频器在工业控制领域的应用,从而将 PLC、微机、总线等与变频器输入/输出功能相结合,扩大了变频器的应用领域。

本书在介绍变频技术的过程中,不可避免地要涉及电力电子技术、电机拖动系统、数字电子技术、现代控制理论等方面的相关知识。即便如此,在知识的链接上,仍力求简化理论推导、突出实际操作、反映最新技术、注重应用方法,旨在引导读者以变频器的运用为中心,逐步提升对变频器基本电路和相关知识的认知,最终形成运用变频器解决实际问题的能力。

本书可作为高职高专院校工业电气自动化、电气工程及自动化、机电一体化等相关专业的教材,同时也可供变频调速工程技术人员在设计、安装、调试、维护工作中作为阅读参考。

本书由西安铁路职业技术学院王易平担任主编并统稿,西安铁路职业技术学院林辉、武军、史富强及中铁第一勘察设计院集团有限公司环设处王帅参加了本书的编写工作。其中,项目三由武军编写,项目五由林辉编写,项目六中的任务1及任务2由史富强编写,项目七中任务2、任务3、任务4、任务5由王帅编写。本书的其余部分由王易平编写。

在编写过程中,得到西安康坦机电技术有限公司、宝鸡赫尔克电子有限公司等合作单位的大力支持,他们在提供翔实技术资料的同时,还提供了许多极富现场经验的有关变频器应用和维修的实例;西南交通大学陶若冰教授对本书的项目结构和任务内容,提出了诸多中肯的意见和建议,在此一并表示由衷的感谢。

本书在编写过程中,编者查阅和参考了有关的论著文献,并引用了参考文献中所列论著文献中的部分内容,在此向原文作者表示诚挚的感谢。

限于编者的学识水平以及对项目导向、任务引领模式的理解,书中难免有谬误之处,敬请批评指正。

编 者

2013年1月

目 录

【项目一】 交流调速技术	1
任务 1 变频调速技术	1
任务 2 交-直-交变频技术	20
任务 3 脉宽调制技术	40
任务 4 交-交变频技术	67
项目小结	78
思考练习	79
【项目二】 变频器控制电路及控制方式	81
任务 1 变频器控制电路及变频调速主要技术指标	81
任务 2 变频器的控制方式	85
任务 3 变频器数字控制技术	110
项目小结	118
思考练习	119
【项目三】 变频器的选型	120
任务 1 电动机与拖动系统	120
任务 2 变频器的分类及选择	130
任务 3 变频器容量选择及计算	145
项目小结	150
思考练习	151
【项目四】 变频器的运用技能	152
任务 1 变频器的结构和操作面板	152
任务 2 控制功能与参数设置	161
任务 3 变频器与 PLC 的连接	184
任务 4 变频器的总线控制	195
项目小结	212
思考练习	212
【项目五】 高压变频器	215
任务 1 高压变频器的主电路结构	215
任务 2 高压变频器故障处理及抗干扰措施	230
项目小结	234
思考练习	235



【项目六】 变频器的安装、调试与维护	236
任务1 变频器的安装及接线	236
任务2 变频器外围设备的接线及选用	259
任务3 变频器系统的调试和维护	268
任务4 变频器常见故障处理	279
项目小结	294
思考练习	295
【项目七】 变频器的应用	296
任务1 风机、水泵的变频调速	296
任务2 变频器在空调系统的应用	309
任务3 变频器在运输、提升机械中的应用	323
任务4 变频调速在电梯设备上的应用	335
任务5 机床的变频调速	340
任务6 交流传动电力机车变流器	355
项目小结	363
思考练习	363
参考文献	365

【项目一】 交流调速技术

【项目描述】

直流电动机良好的调速性能,使其在电气传动调速领域得以长期和广泛的使用。然而,在结构、转速、功率等方面,交流电动机比直流电动机更具有显著的优越性,在拖动系统中,所占的数量及所拖动的负荷远比直流电动机大。变频器的问世,为交流电动机调速提供了契机,随着电力电子技术的发展,采用大功率开关器件对电能进行变换和控制的能力不断提高,使交流调速技术取得重大进步。变频调速成为最理想、最有发展前景的交流调速方式之一,在工艺过程自动化、提高产品质量、节能等方面,变频器发挥着重要作用。

本项目由4个任务组成,即:变频调速技术;交-直-交变频技术;脉宽调制技术;交-交变频技术。从交流调速技术的介绍开始,对变频器的关键环节——逆变电路和PWM控制技术进行了深入的分析。

【学习目标】

1. 了解变频调速的优点和难点;
2. 掌握变频器的基本类型;
3. 掌握脉宽调制的基本原理和方法;
4. 掌握变频器的基本原理。

【能力目标】

1. 能够区分不同调速方式之间的差异;
2. 能够分析变频器主回路结构和控制回路结构;
3. 能够对逆变电路结构、功率器件的工作状态以及逆变电路的输出波形进行分析。

任务1 变频调速技术

【活动情景】

交流电动机,特别是笼型异步电动机具有一系列直流电动机所不及的优点,因此,在电气传动中得到广泛应用。为了完成工艺过程自动化、提高拖动质量、降低电能消耗,对交流电动机进行调速运行,势在必行。在诸多的交流调速方式中,变频调速为何最具发展前途?通过对变频器的作用和基本结构的了解,便可回答这一问题。

【任务要求】

1. 了解交流电动机的调速方法。
2. 理解变频调速的意义。



一、交流电动机调速

电动机是一种常见的动力装置,已被广泛应用于人类生活的各个领域。电气传动,就是用电动机把电能转换成机械能,去带动各种类型的生产机械、交通车辆以及其他需要运动的物体。

被电动机拖动的机械负载,在完成特定功能时,需要电气传动系统有调节速度的功能,才能达到完成任务、提高功效、保证质量和节约电能的要求。在电机学中我们知道,直流电动机通过调节电压或调节励磁的方法,可以方便地实现平滑连续的无级调速。

电动机是工农业生产及日常生活中耗电量最多的电气设备,据资料统计,仅三相异步电动机的用电总量就占全国用电量的 60% 以上,拖动 90% 以上以电能为能源的机械设备。工矿企业使用的交流电动机及拖动系统,绝大部分都运行于非经济运行状态,造成电能的大量浪费。究其原因,大致由以下两个方面的原因造成:一种情况是,在选配电动机容量时,片面考虑了机械系统的最大负荷和过载能力,习惯性地加大安全余量,呈现“大马拉小车”现象,导致电动机偏离最佳工况而工作在非经济运行的低效率区,使得电动机动力指标降低;另一种情况是,电动机所拖动的机械负载在运行中具有速度调节的要求,在交流调速技术不成熟或未普及的情况下,交流电动机调速实施起来困难较大,因此大多仍为恒速拖动,不但不能保证拖动质量,还造成较大的电能损失。据估计,我国仅风机、水泵类机械设备每年耗电量就占全国发电量的 31%,其中变负荷运行占 70% 左右,而且相当大的一部分尚未实现调速运行。交流电动机比直流电动机经济耐用,是一种量大面广的机电产品,但在调速方面比起直流电动机却逊色很多,为了实现交流调速,人们从来没有放弃过积极的探索。

(一) 异步电动机的调速

由电机学知,当三相异步电动机定子绕组通入三相交流电后,定子绕组会产生旋转磁场,旋转磁场的转速 n_0 与交流电源的频率 f 及电动机的磁极对数 p 有如下关系:

$$n_0 = \frac{60f}{p} \quad (1-1-1)$$

电动机转子的旋转速度 n (电动机的转速) 略低于旋转磁场的旋转速度 n_0 (同步转速),两者之差称为转差率 s , 电动机的转速公式为

$$n = (1 - s) \frac{60f}{p} = (1 - s)n_0 \quad (1-1-2)$$

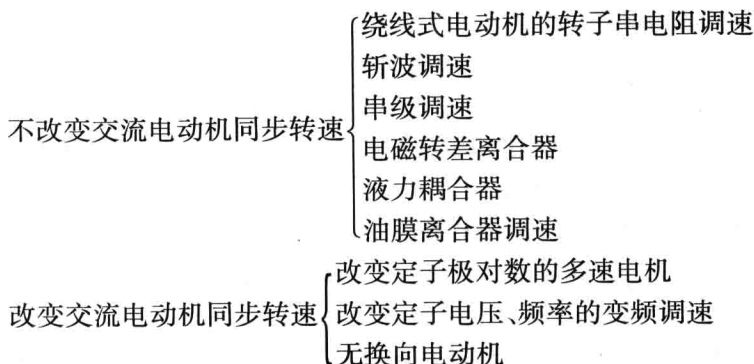
式中 n ——交流电动机转速, r/min;

f ——定子供电频率, Hz;

p ——电动机磁极对数;

s ——转差率。

由式(1-1-2)可知,改变供电频率 f 、电动机的极对数 p 及转差率 s 均可改变异步电动机转速 n 。从交流调速的本质来看,不同的调速方式无非有两种选择:即不改变交流电动机的同步转速或改变交流电动机同步转速。



从调速过程的能耗观点来看,可分为高效调速和低效调速两种。

(1) 高效调速

转差率不变的调速方式。调速过程基本上无转差损耗,如多速电动机、变频调速以及能将转差损耗回收的调速方法(如串级调速等)。

(2) 低效调速

有转差损耗的调速方式样。如转子串电阻调速方法,能量损耗在转子回路中;电磁离合器的调速方法,能量损耗在离合器线圈中;液力耦合器调速,能量损耗在液力耦合器的油液中。一般来说转差损耗随调速范围扩大而增加。

(二) 交流电动机的调速方法

1. 异步电动机的变极对数调速

这种调速方法采用改变定子绕组的接线方式来改变笼型电动机定子极对数达到调速目的。由于极对数 p 是整数,因此,这种调速方法不可能实现平滑调速。采用变极对数调速的电动机,通常称为多速感应电动机或变极感应电动机,其特点如下:

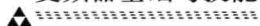
- ①具有较硬的机械特性,稳定性良好。
- ②无转差损耗,效率高。
- ③接线简单、控制方便、价格低。
- ④对电网无干扰。
- ⑤有级调速,级差较大,不能获得平滑调速。

变极对数调速方法只适用于有级调速的生产机械,现已很少采用。

2. 串级调速

串级调速只限于绕线式电动机,在转子回路中串入可调节的附加电动势来改变电动机的转差,从而达到调速的目的。大部分转差功率被串入的附加电动势所吸收,再利用附加的装置,把吸收的转差功率返回电网或转换为其他能量并加以利用。根据转差功率吸收利用方式,串级调速可分为电机串级调速、机械串级调速及晶闸管串级调速等形式,目前,大多采用晶闸管串级调速,其特点如下:

- ①可将调速过程中的转差损耗回馈到电网或生产机械上,效率较高。
- ②装置容量与调速范围成正比,适用于调速范围在额定转速为70%~90%的生产机械上。
- ③调速装置故障时可以切换至全速运行,避免停产。
- ④晶闸管串级调速功率因数偏低,谐波影响较大。



⑤功率因数低,常需要移相电容补偿。

串级调速机械特性较软,适合于在风机、水泵及轧钢机、矿井提升机、挤压机上使用。

3. 绕线式电动机转子串电阻调速

绕线式异步电动机转子串入附加电阻,使电动机的转差率加大,致使电动机在较低的转速下运行。串入的电阻越大,电动机的转速越低。

此方法设备简单,控制方便,但转差功率以发热的形式消耗在电阻上。机械特性较软,动态响应速度慢,属有级调速。

4. 定子调压调速

当改变电动机的定子电压时,可以得到一组不同的机械特性曲线,从而获得不同转速。由于电动机的转矩与电压平方成正比,故最大转矩下降很多,其调速范围较小,对一般笼型电动机难以应用。为了扩大调速范围,调压调速应采用转子电阻值大的笼型电动机,如专供调压调速用的力矩电动机,或者在绕线式电动机上串联频敏电阻。为了扩大稳定运行范围,当调速在2:1以上的场合应采用反馈控制以达到自动调节转速的目的。调压调速的主要装置是一个能提供电压变化的电源,目前常用的调压方式有串联饱和电抗器、自耦变压器以及晶闸管调压等,其中晶闸管调压方式为最佳方式。调压调速的特点如下:

①线路简单,易实现自动控制。

②调压过程中转差功率以发热形式消耗在转子电阻中,效率较低,低速运行调速效率更低。

③调速范围窄。

④调速特性比较软,精度差。

⑤对电网干扰大。

定子调压调速方法,适用于调速范围要求不宽,较长时间在高速区运行的中、小容量异步电动机。以前常用于电梯系统,现已很少见。市场上近年来出现的“交流电动机动态调压节能装置”就属于这类产品。

5. 电磁调速电动机调速

电磁调速电动机由笼型电动机、电磁转差离合器和直流励磁电源(控制器)3部分组成。直流励磁电源功率较小,通常由单相半波或全波晶闸管整流器组成,改变晶闸管的导通角,可改变励磁电流的大小。电磁转差离合器由电枢、磁极和励磁绕组3部分组成。电枢和后者没有机械联系,都能自由转动。电枢与电动机转子同轴联接称为主动部分,由电动机带动;磁极用联轴节与负载轴对接称为从动部分。当电枢与磁极均为静止时,如励磁绕组通以直流,则沿气隙圆周表面将形成若干对N,S极性交替的磁极,其磁通经过电枢。当电枢随拖动电动机旋转时,由于电枢与磁极间相对运动,因而使电枢感应产生涡流,此涡流与磁通相互作用产生转矩,带动有磁极的转子按同一方向旋转,但其转速恒低于电枢的转速 n_1 ,这是一种转差调速方式,变动转差离合器的直流励磁电流,便可改变离合器的输出转矩和转速。电磁调速电动机的调速特点如下:

①结构及控制线路简单、运行可靠、维修方便。

②调速平滑、无级调速。

③对电网无谐波影响。

④高速区调速特性较软,不能全速运行,低速区速度损失大、效率低。

该方法适用于中、小功率,短时低速运行的生产机械。

6. 液力耦合器调速

液力耦合器是一种液力传动装置,一般由泵轮和涡轮组成,它们统称工作轮,放在密封壳体中。壳中充入一定量的工作液体,当泵轮在原动机带动下旋转时,处于其中的液体受叶片推动而旋转,在离心力作用下沿着泵轮外环进入涡轮时,就在同一转向上给涡轮叶片以推力,使其带动生产机械运转。液力耦合器的动力传输能力与壳内相对充液量的大小是一致的。在工作过程中,改变充液率就可以改变耦合器的涡轮转速,实现无级调速,其特点如下:

- ①功率适应范围大,可满足从几十千瓦至数千千瓦不同功率的需要。
- ②控制调节方便,容易实现自动控制。

液力耦合器调速方法可用于风机、水泵的调速。

7. 变频调速

变频调速是改变电动机定子电源的频率,从而改变其同步转速的调速方法。变频调速系统主要设备是提供变频电源的变频器,变频器是一种将交流电源整流成直流后再逆变为频率、电压可变的交流电源的专用装置。变频器可通过多种控制方式,向交流电动机提供频率、电压可调节的交流电源,以满足机械负载要求,从而实现相当宽频率范围内的无级调速。

- ①调速时平滑性好,效率高;低速时,效率较高,相对稳定性好。
- ②调速范围较大,精度高;调速过程中没有附加损耗。
- ③启动电流低,对系统及电网无冲击,节电效果明显。
- ④体积小,便于安装、调试、维修简便。
- ⑤易于实现过程自动化。
- ⑥应用范围广,可用于笼型异步电动机。
- ⑦在恒转矩调速时,低速段电动机的过载能力较低。

(三) 变频调速的运用及发展

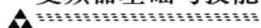
1. 直流调速和交流调速

可调速的电力拖动系统,分为直流调速系统和交流调速系统两类。自从第一台交流电动机在1885年问世到20世纪60年代,交流调速技术的研究开发工作,终究未能取得突破性进展,交流拖动主要用于恒速拖动,调速拖动由直流调速系统占据主导地位。交流电动机尽管结构简单,价格低廉,但不能实现像直流电动机那样调速性能的缺憾持续了将近一个世纪。

由于直流电动机在结构上比交流电动机复杂,在使用和维护上交流电动机与之相比具有许多优越之处:

- ①直流电机的单机容量最高一般为12~14 MW,还常需要制成双电枢形式,而交流电机单机容量可数倍于它。
- ②直流电机由于受换向限制,其电枢电压最高只能做到1千多伏,而交流电机可做到6~10 kV。
- ③直流电机受换向器部分机械强度的约束,其额定转速随电机额定功率而减小,一般仅为每分钟数百转到一千多转,而交流电机的转速可达到每分钟数千转。
- ④直流电机的体积、重量要比同等容量的交流电机大,价格高。

交流调速技术的突破,可进一步开拓交流电动机的运用领域。特别要指出的是,交流调速系统在节约电能方面有着很大的潜力。一方面,交流拖动的负荷在总用电量中占有很大



比重,这类负荷实现节能,可以获得十分可观的节电效益;另一方面,交流拖动本身存在可以挖掘的节电潜力,电动机轻载时,采用交流调速技术对电机转速进行控制,就能达到节电的目的。工业上大量使用的风机、水泵、压缩机等,如采用交流调速技术,既可大大提高其效率,又可减少电能消耗。

20 世纪 70 年代后,电力电子器件的生产工艺、大规模集成电路和计算机控制技术的发展,以及现代控制理论的应用,使得以变频器为核心的交流调速技术产生了突破性的进展,尤其是变频调速技术在交流电力拖动系统逐步具备了调速范围宽、稳速范围大、稳速精度高、动态响应快以及可在四象限作可逆运行等良好的技术性能,在调速性能方面,已经完全可以与直流电力拖动媲美。

2. 交流变频调速

在交流调速技术中,变频调速具有绝对的优势,并且它的调速性能与可靠性在不断完善和提高,价格也在不断降低,特别是变频调速明显的节电效果以及易于实现过程自动化等优点备受市场青睐。

变频技术,运用变频技术来改变用电设备的供电频率,进而达到控制设备输出功率的目的。变频技术随着电力电子、计算机和自动控制理论的发展,已经进入了一个崭新的时代。变频技术通过改变电源频率实现电动机调速,从而改变输出功率,达到减少输入功率节省电能的目的,是感应式异步电动机节能的重要技术手段之一,也是异步电动机调速效果最好、最成熟、最有发展前途的节能技术。

自 1956 年世界上第一只晶闸管诞生到现在历时近半个世纪,随着电力电子技术的飞速发展,变频控制器在控制模块、功率输出和控制软件等方面的技术已十分成熟,在提高性能的同时,功能上也有较大的扩展,很多专用变频设备附带简易 PLC 功能,再加上产品价格的降低,为变频器的应用开辟了广阔的市场。

3. 变频器

常用的变频器分为低、中、高压变频器。

(1) 低压变频器

低压变频器是指工作电压小于 400 V 的变频器。电子技术中将交流变成直流称为整流,交流变直流的装置通常称为整流器。将直流变为频率、电压可调的交流称为逆变。把工频电源(50 Hz)交流变成任意频率、任意电压的逆变装置称为变频器。低压变频器按电路结构可分为交-直-交和交-交变频器。

改变变频器的输出电压有两种不同的方法,即 PAM 脉冲幅值调制控制和 PWM 脉冲宽度调制控制。

PAM 控制,因受晶闸管换流时间的限制不能工作在高频下。PWM 控制,输出脉冲的幅值恒定,通过控制逆变器输出电压的导通脉冲频率和宽度来同时改变输出频率和电压。运用晶闸管,尤其是全控型电力电子器件做逆变器开关元件,发挥高速开关特性和自关断特性,使 PWM 控制方式变得更容易实现,为此大多数逆变器都采用 PWM 控制方式。

(2) 中、高压变频器

应用在 0.6 ~ 10 kV 交流电动机调速系统中的变频器。由于中、高压变频器有着共同的电路特征,为讨论方便起见,统称为高压变频器。高压变频器因输入输出电压等级较高,成套时,必需与整套高压开关设备相配套。由于电力电子器件受限于功率,高压变频器采用了不

同于低压变频器的电路结构来实现高压输出方式,借助于计算机控制,经高压母线、断路器、移相变压器、功率单元、控制器等组成完整的高压变频调速系统。

4. 变频器的控制对象

变频器应用可分为两大类:一类用于传动调速;另一类作为静止电源使用。变频传动调速通过对电动机调速来达到提高生产率、提高产品质量、节约能源的目的。变频器的控制对象是在动力设备上实现电-机转换的交流电动机。对一个绕制好的电动机,其旋转磁场转速完全取决于供电频率。从异步电动机变频时机械特性曲线中不难看出,转速的变化对电机的转矩影响较小,对于传动机械功率要求完全可以满足。变频调速控制是在降低输出频率的同时其输出电压也相应降低,转矩正比于输出电压,因此转矩也会有些减少。这种通过改变电动机的机械特性来获得不同转速的纯电气调速系统,直接与拖动机械相连接而无需对原机械设备作任何调整,这对于降低节能改造成本,保持原有机性能都大有好处。变频传动调速的特点如下:

①不用改动原有设备包括电动机本身。

②可实现无级调速,满足传动机械要求。

③变频器软启、软停功能,可以避免启动电流冲击对电网的不良影响,减少电源容量的同时还可以减少机械惯动量,从而减少机械损耗。

④不受电源频率的影响,可以开环、闭环手动/自动控制。

⑤低速过载能力较好。

⑥电动机的功率因数随转速增高、功率增大而提高。

5. 变频调速技术的运用

(1) 工艺变速控制

为提高生产率,满足特定的工艺要求,完成平滑无级调速,减少噪声,实现集中控制,变频调速技术被典型地运用于轻纺、机床等设备。如:针织厂的大园针织机、定型机,被单厂的印花机,造纸厂的卷纸机,糖厂的运输机,药厂的药丸机,纺织厂的印染机等设备,应用变频调速技术均可达到相应的工艺要求,且长期工作无故障。在机床上运用变频调速技术,减少了变速传动齿轮的对数,降低噪声,提高主轴精度,有较强的适应各类产品及各种不同材质加工时所需主轴速度配给的特性。可方便地实现数控,且其成本大大低于同类由直流调速组成的数控系统。目前大量长期配套使用的领域有:雕刻机、注塑机、挤压机、拉丝机、数控车床、铣床、研磨机、磨光机等专业生产厂家的产品上。

(2) 机电设备节能

机电设备配合设计的原则是:电动机的最大功率必须满足负载下的机械功率和转矩。电动机实际运行中对于不同的负载,最大值并非时刻都发生,负载的变化是非线性的,而电机的输出功率却是恒定的。这就意味着在非最大负载时电机输出了相当一部分多余功率,电能就此白白地被浪费掉了。

典型的机电设备比如风机、水泵类,基本上都是由进行恒速运转的鼠笼型异步电动机拖动的。当需要改变风量或流量时,通过采用调节挡风板或节流阀来实现,这种控制虽然简单易行,也可满足流量控制要求,但从节能的角度来看是非常不经济的。长时间运行的风机、水泵,在实测中发现,除了在极短时间流量为最大值外,有近 90% 的时间,运行在中等或较低负荷状态,总用电量中至少有 40% 以上被浪费。对风机、水泵类机械采用变频调速技术,以控制

电动机的转速来调节流量,对节约能源,提高经济效益具有非常重大的意义。

(3) 高压变频控制

高压变频器调速系统是将变频调速技术和智能控制技术应用于大功率、高电压电机调速的一种电力变换系统,是国家重大装备节能改造及建设推广项目,特别是对能源工业和工矿企业中大型电机的安全运行和节能降耗意义重大,一般能大幅度降低电力消耗,节能 30% 以上,具有明显的节能和环保效益,在很大程度上可提高能源的利用率,减少能耗,延长重大装备的使用寿命,确保用户的电能质量和用电可靠性。高压变频控制的对象一般为电压等级 3 kV 以上,功率为几百千瓦到几千千瓦,负载率大于 0.5 的高压电动机。节电效率较低压变频控制略低为 18% ~ 25%。高压变频设备技术复杂、设备体积大、成本较高,但由于高压电机容量大、耗电多,用电基数大,所以高压变频器的应用具有非常可观的节能效益。

(4) 电力牵引

变频技术的应用,使电力牵引技术得以“跨越式”迅猛发展,牵引与调速系统由最初的变阻调速发展到斩波器调速,进而发展到调压变频调速(VVVF)。牵引技术开始了交-直传动向交-直-交传动进步的行程。法国、德国、日本等发达国家研制的大功率电力机车以及采用交流牵引的地铁和轻轨车辆,几乎全部采用交流变频调速牵引技术。

据计算,一辆 5 600 kW 的交流传动机车每小时可节电 392 kW,若按年运行 3 000 h 计算,则每年节电可达 117.6 万 kW。

国际上在交流牵引领域处于领先水平的日本和德国,基本都是采用 PWM(交-直-交)型 GTO-VVVF 逆变器(简称 GTO 变频器)和异步牵引电动机配套组成变频牵引系统。

近年来,德国、日本等国家研制的用于交流牵引系统的新型三点式逆变器,采用了 IGBT 作为开关器件。IGBT 器件与可关断器件 GTO 相比有较多优点:IGBT 为电压驱动,其开关频率高,抗干扰和短路保护能力强,损耗小,性能好及工作可靠。虽然 IGBT 耐压不如 GTO 高,但采用新型的三点式电压型逆变器,则可使用耐电压等级低一半的器件,而且还可以有效地减少谐波电流,抑制电磁噪声。由高压大电流的 GTO 和 IGBT 模块构成的变压变频装置在机车车辆上的应用已取得了很大的进展。

我国于 1996 年就研制成功了 AC4000 型交流传动电力机车。在随后的铁路跨越式发展的进程中通过引进国外先进技术,联合设计生产,经逐步发展与完善,具有了单轴功率 1 200 ~ 1 600 kW 的交流传动货运机车和 1 200 ~ 1 400 kW 的交流传动客运机车。采用交流传动的和谐号系列动车组、干线机车,标志着中国高铁已跨入世界先进行列。

我国在 DC750V 系统下运行的地铁,成功实施了由国产 IGBT 器件构成的以三点式逆变器为核心的交流传动方案,从而使我国城轨交流牵引技术跨入了国际先进行列。

表 1-1-1 列举出变频调速技术的部分应用范围。

表 1-1-1 变频调速技术应用范围及用途

变频传动的效能	应用领域	主要相关技术	使用变频器
节能	风扇、鼓风机、泵、提升机、挤压机、搅拌机、传送带、工业洗衣机	为提高运行可靠性,台数控制和调速控制并用	通用变频器

续表

变频传动的效能	应用领域	主要相关技术	使用变频器
提高生产率	提升机、起重机、机床、食品机械、挤压机和自动仓库	运行程序或加工工艺的最佳速度,原有设备的增速运行运转可靠性提高	变频器、专用变频器
提高产品质量	风扇、鼓风机、泵、机床、食品机械、造纸机、薄膜生产线、钢板加工生产线、印刷电路板基板钻孔机、高速雕刻机	平滑加减速,加工对象所需最佳速度选定,高精度转矩控制,高精度定位停止,无转矩脉动,高速传动	通用变频器、矢量控制变频器,高速通用变频器
设备合理化,少维护,低成本,机械的标准化、简单化与工厂自动化(FA)	搬送机械、金属加工机械、纤维机械、造纸生产线、薄膜生产线、钢板加工生产线	原有设备的增速运行,高精度转矩控制,多台电动机联动运行,多台电动机联动比例运行,提高运转可靠性,传送控制	通用变频器、通用矢量控制变频器,矢量控制变频器
改善或适应环境	空调机、风扇、鼓风机、压缩机、电梯	静音化,平滑加减速,使用防爆电动机。安全性等技术	通用变频器、专用变频器

6. 变频控制技术的显性和隐性效益及利弊分析

显性效益是指节电效益。交流传动因负载性质和负载率的不同,节电率也不同,低压变频控制设备,负载率在 0.5 左右时,节电率为 20% ~ 47%。定量泵注塑机、排污电机、给氧风机、空调、水泵等基本上平均节电率都为 25% ~ 60%。低压设备变频调速改造,投资少、见效快。

隐性效益主要体现在以下两个方面:

①实现了电动机软起软停,消除电动机启动电流对电网的冲击,减少了启动电流的线路损耗。

②消除了电动机因起停所产生的惯动量对设备的机械冲击,大大降低了机械磨损,从而减少设备的维修,延长了设备的使用寿命。

除上述的有利面外,同时也存在一些问题。低压变频器输出波形为脉冲形式,会产生一些干扰,实际运行中单台干扰不严重,以 30 kW 容量为例,干扰辐射基本在 10 m 之内,在设计电路中加装滤波电路可以将干扰减少到最少;变频器多台集中安装时,安装位置要尽量拉开距离,还需专门加装滤波设备并做好电路屏蔽接地,将干扰减少到最低。

高压变频设备,控制技术较高,输出电压波形近似正弦波形,但设备体积较大,安装调试都比较复杂。

7. 变频调速技术的发展

20 世纪 80 年代中期,随着全控型电力电子器件,如门极可关断晶闸管(GTO)、电力晶体

管(GTR)、绝缘栅双极型晶体管(IGBT)等功率器件的研制成功,以及电力电子器件从电流驱动型到电压驱动型全控器件的发展,日本等国已先后研制开发出了功率等级不同的集控制、驱动、检测、保护及功率输出于一体的变频调速产品,从而使交流变频调速的关键环节——逆变器性能优良,主电路简单,驱动方便,工作可靠。同时随着控制理论、微电子技术和计算机技术的发展,使交流电动机变频调速技术取得了突破性进展,并以其优越的调速性能和良好的节能效果逐渐取代了直流调速系统和其他的交流调速方式,如变极调速、串级调速、滑差电机调速、整流子电机调速等。

随着全球能源短缺趋势的加剧以及变频器的性能和功能的日趋完善,变频调速技术越来越广泛地应用于工业生产的各个领域。

随着电力电子技术、计算机技术以及自动控制技术的迅速发展,电气传动技术正面临一场历史性的革命。交流传动逐渐成为电气传动的主流,在异步电动机调速系统中,效率最高、性能最好的是变频调速系统。受益于节能减排、绿色新政,作为节能的重要设备,变频器产业的潜力非常巨大,是未来战略性新兴产业之一。

近年来,变频器产品已在工业生产和国计民生中得到了广泛应用。低压变频调速产品的应用已非常普及和成熟,高压变频调速也在高耗能设备上得到应用。变频器已成为对交流拖动系统进行技术改造或产品、设备更新换代的理想调速装置。

(1) 国内变频器产品的状况

变频器在我国应用潜力很大,市场容量从开始的几亿元,在不到 20 年的时间就发展到 200 多亿元。无论是行业规模、应用领域,还是变频器功能、集成度和系统化程度,都有了质的飞跃,越来越多的行业专用变频器的出现,个性化地满足了不同行业用户对交流调速的特殊需求。

凭借电力电子器件制造的优势,日、美及欧洲的各大变频器生产厂家几乎全数云集中国,一度占据了我国变频器 95% 以上的市场份额。

日本变频器较早进入中国市场,至今仍居明显优势。在诸多日本变频器品牌中,市场占有率的排行依次是:富士、三菱、安川、欧姆龙、松下以及日立。

欧美公司进入中国变频器市场的时间虽然较晚,但变频器档次高、容量大。随着应用领域的扩大,在中国市场的占有份额呈上升趋势。其中西门子、ABB、施耐德等品牌的变频器,发展势头尤其强劲。

从变频器产品的构成来看,大功率占市场份额的 5% ~ 10%, 中小功率占 90% ~ 95%。欧美品牌的变频器如:西门子、AB、GE、罗宾康、ABB 等,多集中在大功率领域,几乎占据市场垄断地位。而中小容量变频器的 85% 份额为日本产品占领,如富士、安川、三肯、日立、东芝、三菱、松下等。在抢占市场方面,实力品牌各显其能。

自 21 世纪以来,随着节能降耗意识的不断增强以及国家节能减排政策力度的加大,变频器行业竞争也趋于激烈,为了应对竞争,众多外资品牌在中国建厂,实施本地化经营。

国产变频器产品进入市场的时间较短,控制方式还主要以 U/f 为主,对于性能优越、技术含量高的矢量变频器产品,绝大多数企业还没有开发出成熟的产品。在电力电子器件的加工制造、产品结构设计、品牌的成熟度和知名度等方面,国产品牌变频器还难以与国际知名品牌抗衡。但中国变频器市场,仍然具有以价格导向为主的特点,导致国际品牌变频器在与国产变频器的竞争中,为本土变频器品牌的发展留有一定的空间。随着国产品牌的兴起,近几年

出现了加速替代外资品牌的趋势,部分细分产品在市场上显示出一定的竞争优势,市场份额在逐步扩大,已成功超越了韩资、台资品牌。变频器产品的市场,会逐步形成欧美品牌、日本品牌、内资品牌三足鼎立的格局。

(2) 变频技术的发展方向

交流变频调速技术是强弱电结合、机电一体化的综合性技术,既要处理电能的变流转换(整流、逆变),又要处理信息的采集、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。

综合起来,变频技术主要发展方向如下:

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: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: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:模糊控制、神经网络、专家系统和自优化、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较高的集成度,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相当有效。

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能力实现各种控制算法,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。其研究开发项目主要有以下4项内容:

- a. 数字控制的大功率交-交变频器供电的传动设备。
- b. 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、大型风机和泵上的应用。
- c. 逆变器在铁路机车上的推广应用。
- d. 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。如四象限运行,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。

⑥专门化。根据某一负载的特性,有针对性地制造专门化的变频器,这不但有利于对电动机实行经济有效的控制,而且可降低制造成本。例如:风机和泵用专用变频器、起重机械专用变频器、电梯控制专用变频器、张力控制专用变频器和空调专用变频器等。