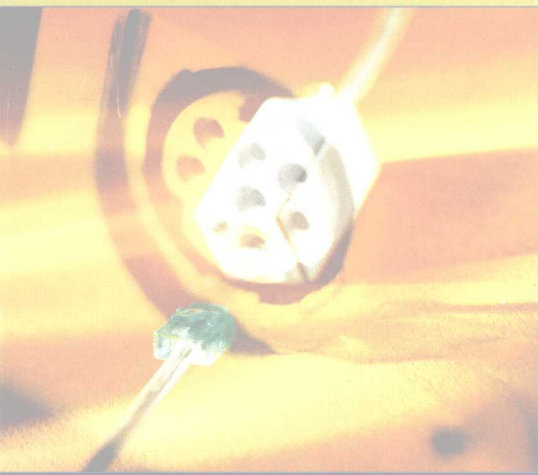


高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

变频器技术及应用

王廷才 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

变频器技术及应用

王廷才 主编

高等教育出版社

内容提要

本书内容主要包括:电力电子器件简介,变频器的基本组成原理和控制方式,电动机变频调速机械特性,变频调速系统主要电器的选用,变频器的操作、运行、安装、调试、维护及抗干扰,变频器在风机、水泵、中央空调、空气压缩机和液态物料传送等方面的应用实例等。

全书内容结构合理、通俗易懂、没有高深的理论分析及数学运算。为方便教学,书中编排有若干实验、实训课题,并列举了多种应用实例,具有很高的参考价值。本书可作为高等职业学校电子信息类、电气控制类及相关专业的教材,也可供从事机电技术和电气技术的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

变频器技术及应用/王廷才主编. —北京:高等教育出版社, 2007.6

ISBN 978-7-04-021007-1

I. 变… II. 王… III. 变频器—高等学校:技术学校—教材 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 075979 号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 唐笑慧 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 陆瑞红 责任校对 王效珍 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100011

总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16

印 张 15

字 数 360 000

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

网上订购 <http://www.landaco.com>

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

畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 6 月第 1 版

印 次 2007 年 6 月第 1 次印刷

定 价 20.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21007-00

前 言

本书是高等职业学校电子信息类、电气控制类及相关专业的教材,也可供从事机电技术和电气技术的人员参考。

变频器是将固定频率的交流电转换为频率连续可调的交流电的装置,是一种高科技的电子设备,其内部结构含有微处理器芯片,可以进行算术、逻辑运算和信号处理,具有多种自动控制功能。变频器的问世,使电气传动领域发生了一场技术革命,即交流调速取代直流调速。交流电动机变频调速技术具有节能、改善工艺流程、提高产品质量和便于自动控制等诸多优势,被国内外公认为最有发展前途的调速方式。

本书内容主要包括:电力电子器件简介,变频器的基本组成原理,电动机变频调速机械特性,变频器的控制方式,变频调速系统主要电器的选用,变频器的操作、运行、安装、调试、维护及抗干扰,变频器在风机、水泵、中央空调、空气压缩机和液态物料传送等方面的应用实例等。全书内容深入浅出、结构合理、通俗易懂、实用性强。

本书由河南工业职业技术学院王廷才主编,其中第1章至第3章由胡雪梅编写,第4章与第5章由李玉华编写,第6章与第7章由马林编写,第8章由北京理工大学王崇文编写,其余章节由王廷才编写。深圳技师学院宋峰青高级技师在百忙中仔细地认真地审阅了全书,提出了许多宝贵的意见。在编写过程中,编者参考了多家变频器制造企业提供的产品资料,参阅了许多同行专家的编著文献,在此一并表示诚挚谢意。

由于编者水平有限,不足之处敬请广大读者批评指正。

编 者

2007年3月

目 录

第 1 章 变频器技术概述

1.1 变频器技术的发展	1
1.2 变频器的分类	3
1.3 变频器的应用	6
小结	7
思考题 1	8

第 2 章 电动机与拖动系统

2.1 异步电动机	9
2.2 三相异步电动机的起动和制动	11
2.3 负载的机械特性	13
2.4 拖动系统与传动机构	16
小结	18
思考题 2	18

第 3 章 变频器常用电力电子器件

3.1 功率二极管(D)	20
3.2 晶闸管(SCR)	22
3.3 门极可关断晶闸管(GTO)	27
3.4 功率晶体管(GTR)	31
3.5 功率场效晶体管(P-MOSFET)	34
3.6 绝缘栅双极晶体管(IGBT)	39
3.7 集成门极换流晶闸管(IGCT)	42
3.8 智能功率模块(IPM)	43
小结	45

思考题 3	45
-------	----

第 4 章 交-直-交变频技术

4.1 整流电路	47
4.2 中间电路	50
4.3 逆变电路	53
4.4 SPWM 控制技术	55
小结	59
思考题 4	60

第 5 章 交-交变频技术

5.1 单相输出交-交变频电路	61
5.2 三相输出交-交变频电路	64
5.3 矩形波交-交变频电路	66
小结	68
思考题 5	68

第 6 章 高(中)压变频器

6.1 高(中)压变频器概述	69
6.2 高(中)压变频器的主电路结构	72
小结	78
思考题 6	78

第 7 章 变频器的组成与功能

7.1 变频器的组成框图及接线端子	79
-------------------	----

7.2	变频器的主要功能参数及 预置	85
7.3	变频器的频率参数及预置	94
7.4	实训 变频器的基本认识	97
7.5	实训 变频器的基本参数及 预置	101
	小结	103
	思考题 7	103
第 8 章 变频器的控制方式		
8.1	U/f 控制	104
8.2	转差频率控制(SF 控制)	109
8.3	矢量控制(VC 控制)	110
8.4	直接转矩控制	116
8.5	实训 U/f 控制曲线测试	117
	小结	118
	思考题 8	119
第 9 章 变频器系统的选择与操作		
9.1	变频器的选择	120
9.2	变频调速系统的主电路及电 器选择	124
9.3	变频器系统的控制电路	131
9.4	外接给定电路	137
9.5	变频器与 PLC 的连接	139
9.6	变频器“1 控 X”切换技术	143
9.7	变频器与 PC 机的连接通信	145
9.8	实训 外部端子控制正反转 及点动运行操作	146
9.9	实训 多挡速控制与程序运 行控制	147
	小结	149
	思考题 9	149

第 10 章 变频器的安装与维护		
10.1	变频器的储存与安装	150
10.2	变频器的抗干扰	157
10.3	变频器系统的调试	162
10.4	变频器的维护与检查	165
10.5	变频器的常见故障与处理	170
10.6	实训 变频器正反转运行 控制电路安装与调试	172
10.7	实训 变频-工频切换电路 安装与调试	173
10.8	实训 变频器 PLC 控制电路 安装与调试	174
	小结	177
	思考题 10	177

第 11 章 变频器应用实例		
11.1	变频调速技术在风机上的 应用	178
11.2	空气压缩机的变频调速及 应用	182
11.3	变频器在供水系统中的节 能应用	188
11.4	中央空调的变频技术及应用	198
11.5	变频器在液态物料传输中 的应用	202
	小结	205
	思考题 11	205

附录 A	三菱 FR-A540 系列变频器	207
-------------	------------------------	-----

附录 B	森兰 SB60 系列变频器	219
-------------	---------------------	-----

参考文献	230
-------------	-------	-----

变频器是将固定频率的交流电变换为频率连续可调的交流电的装置。变频器的问世,使电气传动领域发生了一场技术革命,即交流调速取代直流调速。交流电动机变频调速技术具有节能、改善工艺流程、提高产品质量和便于自动控制等诸多优势,被国内外公认为最有发展前途的调速方式。

1.1 变频器技术的发展

变频器技术是随着微电子学、电力电子技术、计算机技术和自动控制理论等的不断发展而发展起来的。

1.1.1 电力电子器件是变频器发展的基础

变频器的主电路不论是交-直-交变频或是交-交变频形式,都是采用电力电子器件作为开关器件。因此,电力电子器件是变频器发展的基础。

早期的变频器由晶闸管等分立电子元器件组成,还未采用计算机控制技术,不仅可靠性差、频率低,而且输出的电压和电流的波形是方波。

当 GTR 和 GTO 问世并成为逆变器的功率器件时,脉宽调制(PWM)技术也进入到应用阶段,这时的逆变电路能够得到相当接近正弦波的输出电压和电流,同时 8 位微处理器成为变频器的控制核心,按压频比(U/f)控制原理实现异步电动机的变频调速,在工作性能上有了很大提高。

后来人们研制出绝缘栅双极晶体管 IGBT,其优良的性能很快取代了 GTR。进而,性能更为完善的智能功率模块 IPM 被广泛采用,使得变频器的容量和电压等级不断扩大和提高。

1.1.2 计算机技术和自动控制理论是变频器发展的支柱

现在,16 位乃至 32 位微处理器取代了 8 位微处理器,使变频器的功能也从单一的变频调速功能发展为包含算术、逻辑运算及智能控制的综合功能;自动控制理论的发展使变频器在改善压频比控制性能的同时,能实现矢量控制、直接转矩控制、模糊控制和自适应控制等多种模式。现代的变频器已经内置有参数辨识系统、PID 调节器、PLC 控制器和通信单元等,根据需要可实现拖动不同负载、宽调速和伺服控制等多种应用。

1.1.3 市场需求是变频器发展的动力

直流调速系统具有良好的调速性能,因此在过去很长一段时间内被广泛地使用。直流调速系统的优点主要表现在调速范围广、稳定性好和过载能力强等技术指标上,特别是在低速时仍能

得到较大的过载能力,是其他调速方法无法比拟的。但直流调速系统也有着不可回避的弱点,主要表现在直流电动机结构复杂,要消耗大量有色金属,且换向器及电刷维护保养困难、寿命短、效率低等。

交流异步电动机结构简单,造价低廉,运行控制比较方便,在工农业生产中得到了广泛的应用。但在过去很长的一段时间内,由于没有变频电源,异步电动机只能工作在不要求变速或对调速性能要求不高的场合。

变频器的问世为异步电动机的调速提供了契机,不仅可以取代结构复杂、价格昂贵的直流电动机调速,而且原来由异步电动机拖动的负载实现变频调速后能节省大量的能源。

据1993年调查统计,全国各类电动机装机容量约为3.5亿千瓦,其耗电量约占全国发电量的60%。其中大多数电动机长时间处于轻载运行状态。特别是其中装机容量占总装机容量一半以上的风机、泵类负载的电动机,70%采用风挡或阀门调节流量,运行状态更差。这些电动机用电量占全国用电量的31%,占工业用电量的50%。若在此类负载上使用变频调速装置,将可节电30%左右。

估计现在全国电动机的装机容量有10亿千瓦,按一半为风机、泵类负载计算,有5亿千瓦。如果将其中的40%进行变频调速节能改造,就有2亿千瓦。目前我国已使用的变频器总容量大约为2000~3000万千瓦。可见,我国潜在的变频器应用市场是非常大的。

变频器作为商品在国内上市,是近十几年的事,其销售额呈逐年增加趋势,销售前景十分看好。据有关资料报道,我国2003年变频器的销售额已突破30亿元。目前阻碍变频器推广应用的主要原因仍然是价格偏高,其次是对一般电气技术人员来说,变频器的开发应用还具有一定的难度。但是随着科技的进步,变频器的价格会逐年降低,学习掌握变频器技术的人员也会越来越多,变频器全面推广应用的时代已经不远了。

1.1.4 变频器的发展趋势

在进入21世纪的今天,电力电子的基片已从Si(硅)变换为SiC(碳化硅),使电力电子新器件进入到高电压大容量化、高频化、组件模块化、微型化、智能化和低成本化的时代,多种适宜变频调速的新型电气设备正在开发研制之中。IT技术的迅猛发展,以及控制理论的创新,这些与变频器相关的技术将影响其发展的趋势。

1. 智能化

智能化的变频器安装到系统后,不必进行那么多的功能设定,就可以方便地操作使用,有明显的工作状态显示,而且能够实现故障诊断与故障排除,甚至可以进行部件自动转换。利用互联网可以遥控监视,实现多台变频器按工艺程序联动,形成最优化的变频器综合管理控制系统。

2. 专门化

根据某一类负载的特性,有针对性地制造专门化的变频器,这不但有利于经济有效地控制负载的电动机,而且可以降低制造成本。例如:风机、水泵用变频器,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。

3. 一体化

变频器将相关的功能部件,如参数辨识系统、PID调节器、PLC控制器和通信单元等有选择地集成到内部组成一体化机,不仅使功能增强,系统可靠性增加,而且可有效缩小系统体积,减少

外部电路的连接。据报道,现在已经研制出变频器和电动机的一体化组合机,使整个系统体积更小,控制更方便。

4. 环保化

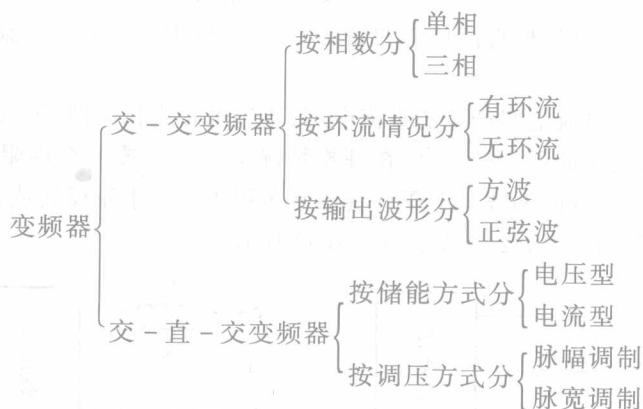
保护环境,制造“绿色”产品是人类的新理念。今后的变频器将更侧重于节能和低公害,即尽量减少使用过程中的噪声和谐波对电网及其他电气设备的污染干扰。

总之,变频器技术的发展趋势是朝着智能、操作简便、功能健全、安全可靠、环保低噪、低成本和小型化的方向发展。

1.2 变频器的分类

变频器的种类很多,下面根据不同的分类方法对变频器进行简单介绍。

1.2.1 按变频的原理分类



1. 交-交变频器

单相交-交变频器的原理框图如图 1-1(a)所示。它只用一个变换环节就可以把恒压恒频(CVCF)的交流电源转换为变压变频(VVVF)电源。因此,称为直接变频器,或称为交-交变频器。

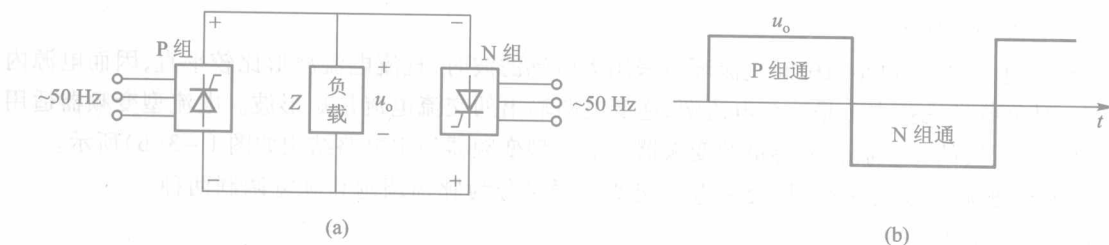


图 1-1 单相交-交变频器电路及输出电压波形

(a) 电路图; (b) 输出电压波形

电路由 P(正)组和 N(负)组反并联的晶闸管变流电路构成,两组变流电路接在同一交流电源上, Z 为负载。两组变流器都是相控电路,P 组工作时,负载电流自上而下,设为正向;N 组工作

时,负载电流自下而上,为负向。让两组变流器按一定的频率交替工作,负载就得到该频率的交流电,如图 1-1(b)所示。改变两组变流器的切换频率,就可以改变输出到负载上的交流电压频率,改变交流电路工作时的控制角 α ,就可以改变交流输出电压的幅值。

对于三相负载,其他两相也各用一套反并联的可逆电路,输出平均电压相位依次相差 120° 。这样,如果每个整流电路都用桥式,共需 36 个晶闸管。因此,交-交变频器虽然在结构上只有一个变换环节,但所用的器件多,总设备投资大。另外,交-交变频器的最大输出频率为 30 Hz,其应用受到限制。

2. 交-直-交变频器

交-直-交变频器又称为间接变频器,它是先将工频交流电通过整流器变成直流电,再经逆变器将直流电变成频率和电压可调的交流电。图 1-2 所示为交-直-交变频器的原理框图。



图 1-2 交-直-交变频器的原理框图

(1) 交-直-交变频器根据直流环节的储能方式,又分为电压型和电流型两种

1) 电压型变频器

在电压型变频器中,整流电路产生的直流电压,通过电容进行滤波后供给逆变电路。由于采用大电容滤波,故输出电压波形比较平直,在理想情况下可以看成是一个内阻为零的电压源,逆变电路输出的电压为矩形波或阶梯波。电压型变频器多用于不要求正反转或快速加减速的通用变频器中。电压型变频器的主电路结构如图 1-3(a)所示。

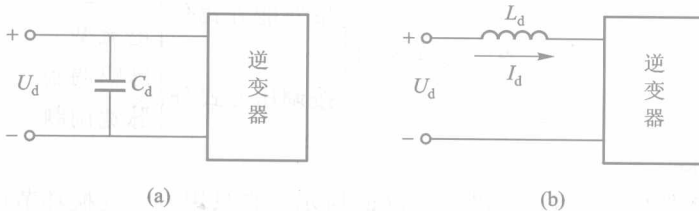


图 1-3 电压型和电流型变频器的主电路结构

(a) 电压型变频器; (b) 电流型变频器

2) 电流型变频器

当交-直-交变频器的中间直流环节采用大电感滤波时,直流电流波形比较平直,因而电源内阻很大,对负载来说基本上是一个电流源,逆变电路输出的交流电流是矩形波。电流型变频器适用于频繁可逆运转的变频器和容量的变频器。电流型变频器的主电路结构如图 1-3(b)所示。

(2) 根据调压方式的不同,交-直-交变频器又分为脉幅调制和脉宽调制两种

1) 脉幅调制(PAM)

PAM(Pulse Amplitude Modulation)方式,是一种改变电压源的电压 U_d 或电流源的电流 I_d 的幅值进行输出控制的方式。因此,在逆变器部分只控制频率,整流器部分只控制输出电压或电流。采用 PAM 调节电压时,变频器的输出电压波形如图 1-4 所示。

2) 脉宽调制(PWM)

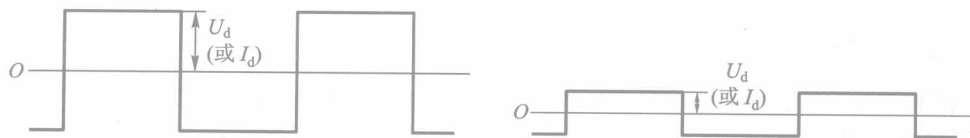


图 1-4 用 PAM 方式调压

PWM (Pulse Width Modulation) 方式,指变频器输出电压的大小是通过改变输出脉冲的占空比来实现的。目前使用最多的是占空比按正弦规律变化的正弦波脉宽调制,即 SPWM 方式。用 PWM 方式调压输出的波形如图 1-5 所示。

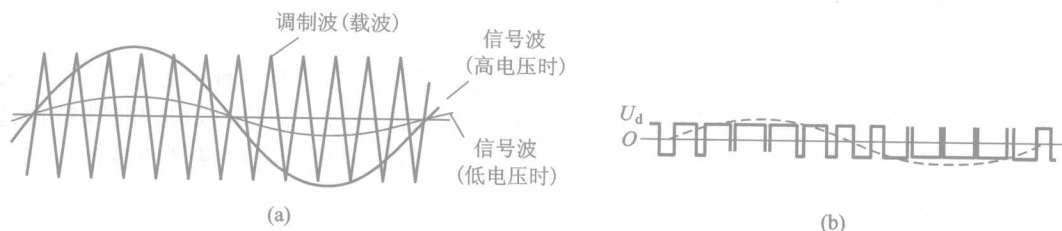


图 1-5 用 PWM 方式调压输出的波形

(a) 调制原理; (b) 输出电压波形

1.2.2 按变频器的控制方式分类

1. U/f 控制变频器

U/f 控制又称为压频比控制。它的基本特点是对变频器输出的电压和频率同时进行控制。在额定频率以下,通过保持 U/f 恒定使电动机获得所需的转矩特性。这种方式控制电路成本低,多用于精度要求不高的通用变频器。

2. SF 控制变频器

SF 控制即转差频率控制,是在 U/f 控制基础上的一种改进方式。采用这种控制方式,变频器通过电动机、速度传感器构成速度反馈闭环调速系统。变频器的输出频率由电动机的实际转速与转差频率之和来自动设定,从而达到在调速控制的同时也使输出转矩得到控制。该方式是闭环控制,故与 U/f 控制相比,调速精度与转矩特性较优。但是由于这种控制方式需要在电动机轴上安装速度传感器,并需依据电动机特性调节转差,故通用性较差。

3. VC 变频器

VC (Vector Control) 即矢量控制,是 20 世纪 70 年代由德国人 Blaschke 首先提出来的对异步电动机一种新的控制思想和控制技术,也是异步电动机的一种理想调速方法。矢量控制的基本思想是将异步电动机的定子电流分解为产生磁场的电流分量(励磁电流)和与其相垂直的产生转矩的电流分量(转矩电流),并分别加以控制。由于在这种控制方式中必须同时控制异步电动机定子电流的幅值和相位,即控制定子电流矢量。这种控制方式被称为矢量控制。

矢量控制方式使异步电动机的高性能成为可能。矢量控制变频器不仅在调速范围上可以与直流电动机相匹敌,而且可以直接控制异步电动机转矩的变化,所以已经在许多需要精密或快速控制的领域得到了应用。

1.2.3 按用途分类

对一般用户来说,更为关心的是变频器的用途,根据用途的不同,对变频器进行分类如下。

1. 通用变频器

顾名思义,通用变频器的特点是其通用性。随着变频技术的发展和市场需要的不断扩大,通用变频器也在朝着两个方向发展,一是低成本的简易型通用变频器;二是高性能多功能的通用变频器。它们分别具有以下特点:

简易型通用变频器是一种以节能为主要目的而简化了一些系统功能的通用变频器。它主要应用于水泵、风机、鼓风机等对于系统调速性能要求不高的场合,并具有体积小、价格低等方面的优势。

高性能通用变频器在设计过程中充分考虑了在变频器应用中可能出现的各种需要,并为满足这些需要在系统软件和硬件方面都做了相应的准备。在使用时,用户可以根据负载特性选择算法并对变频器的各种参数进行设定,也可以根据系统的需要选择厂家所提供的各种备用选件来满足系统的特殊需要。

2. 专用变频器

(1) 高性能专用变频器

随着控制理论、交流调速理论和电力电子技术的发展,异步电动机的矢量控制得到了发展,矢量控制变频器及其专用电动机构成的交流伺服系统已经达到和超过了直流伺服系统。此外,由于异步电动机还具有环境适应性强、维护简单等许多直流伺服电动机所不具备的优点,在要求高速、高精度的控制中,这种高性能交流伺服变频器正在逐步代替直流伺服系统。

(2) 高频变频器

在超精密机械加工中常要用高速电动机。为了满足其驱动的需要,出现了采用 PAM 控制的高频变频器,其输出主频可达 3 kHz,驱动两极异步电动机时的最高转速为 180 000 r/min。

(3) 高压变频器

高压变频器一般是大容量的变频器,最大功率可做到 5 000 kW,电压等级为 3 kV、6 kV、10 kV。

高压大容量变频器主要有两种结构形式:一种是用低压变频器通过升降压变压器构成,称为“高-低-高”式变压变频器,亦称为间接式高压变频器;另一种采用大容量 GTO 可关断晶闸管或 IGCT 集成门极换流晶闸管串联方式,不经变压器直接将高压电源整流为直流,再逆变输出高压,称为“高-高”式高压变频器,亦称为直接式高压变频器。

1.3 变频器的应用

变频调速已被公认为最理想、最有发展前途的调速方式之一,它主要应用在以下几个方面。

1.3.1 在节能方面的应用

风机、泵类负载采用变频调速后,节电率可以达到 20% ~ 60%,这是因为风机、泵类负载的耗电功率基本与转速的三次方成比例。当用户需要的平均流量较小时,风机、泵类采用变频调速

使其转速降低,节能效果非常可观。而传统的风机、泵类采用挡板和阀门进行流量调节,电动机转速基本不变,耗电功率变化不大。在此类负载上使用变频调速装置具有非常重要的意义。以节能为目的变频器的应用,在最近十几年来推广发展非常迅速,据有关方面统计,我国已经进行变频调速改造的风机、泵类负载约占总容量的5%以上,年节约约800亿千瓦时。由于风机、水泵、压缩机在采用变频调速后,可以节省大量电能,所需的投资在较短的时间内就可以收回,因此,在这一领域中变频调速应用得最多。目前应用较成功的有恒压供水、各类风机、中央空调和液压泵的变频调速。特别值得指出的是恒压供水,由于使用效果很好,现在已形成典型的变频控制模式,广泛应用于城乡生活用水、消防、喷灌等。恒压供水不仅节省大量电能,而且延长了设备的使用寿命,使用操作也更加方便。一些家用电器,如冰箱、空调等采用变频调速,也取得了很好的节能效果。

1.3.2 在自动化系统中的应用

由于变频器内置有32位或16位的微处理器,具有多种算术逻辑运算和智能控制功能,输出频率精度高达0.1%~0.01%,还设置有完善的检测、保护环节,因此在自动化系统中获得了广泛的应用。例如,化纤工业中的卷绕、拉伸、计量、导丝;玻璃工业中的平板玻璃退火炉、玻璃窑搅拌、拉边机、制瓶机;电弧炉自动加料、配料系统以及电梯的智能控制等。

1.3.3 在提高工艺水平和产品质量方面的应用

变频器还可以广泛应用于传送、起重、挤压和机床等各种机械设备控制领域,它可以提高工艺水平和产品质量,减少设备的冲击和噪声,延长设备的使用寿命。采用变频调速控制后,使机械系统简化,操作和控制更加方便,有的甚至可以改变原有的工艺规范,从而提高了整个设备的功能。例如,纺织和许多行业用的定型机,机内温度是靠改变送入热风的多少来调节的。输送热风通常用的是循环风机,由于风机速度不变,送入热风的多少只有用风门来调节。如果风门调节失灵或调节不当就会造成定型机失控,从而影响成品质量。循环风机高速起动,传送带与轴承之间磨损非常厉害,使传送带变成了一种易耗品。在采用变频调速后,温度调节可以通过变频器自动调节风机的速度来实现,解决了产品质量问题;此外,变频器能很方便地实现风机在低频低速下起动,减少了传送带与轴承的磨损,延长了设备的使用寿命,同时可以节能40%。

小 结

1. 变频器技术的发展

电力电子器件是变频器发展的基础,计算机技术和自动控制理论是变频器发展的支柱。电力电子器件由最初的晶闸管半控器件,发展为全控器件GTO、GTR、MOSFET、IGBT,近年来又研制出智能功率模块IPM,单个器件的电压和电流值的定额越来越大,工作速度越来越高,驱动功率和管耗越来越小。变频器内部的核心控制由CPU完成,最初是8位机,后来发展为16位机甚至32位机。这些新技术和自动控制新理论使变频器的容量越来越大,功能越来越强。

市场需求也是变频器发展的动力,据测算我国潜在变频调速市场在2亿千瓦以上。

变频器技术的发展趋势为:智能化、专门化、一体化、环保化。

2. 变频器的分类

(1) 按变频的原理分类:

交-交变频器 交-直-交变频器。

(2) 按变频器的控制方式分类

变频比控制变频器(U/f)、转差频率控制变频器(SF)、矢量控制(VC)等。

(3) 按用途分类

通用变频器、专用变频器。

3. 变频器的应用

变频调速已被公认为最理想、最有发展前途的调速方式之一,它的应用主要在节能、自动化系统及提高工艺水平和产品质量等方面。



思考题 1



1. 什么叫变频器?变频器技术能解决什么问题?
2. 为什么说电力电子器件是变频器发展的基础?
3. 为什么计算机技术和自动控制理论是变频器发展的支柱?
4. 变频器的发展趋势如何?
5. 按工作原理变频器分为哪些类型?按用途变频器分为哪些类型?
6. 交-交变频器与交-直-交变频器在主电路的结构和原理上有何区别?两者中哪种变频器得到广泛应用?
7. 按控制方式变频器分为哪几种类型?
8. 简述变频器的应用。

变频器技术主要用于异步电动机的调速,异步电动机结构参数、机械特性及其所带负载的特性对变频器的正常工作有着极大的影响。

2.1 异步电动机

异步电动机结构简单、价格低廉、控制方便,在生产中有着广泛的应用。异步电动机按转子的结构不同分为笼型和绕线转子异步电动机两类,按使用的电源相数不同分为单相、两相和三相几种。变频调速主要用于三相笼型电动机。

2.1.1 异步电动机变频调速工作原理

根据电机学原理可知,三相异步电动机的同步转速 n_0 可表示为

$$n_0 = \frac{60f_1}{p} \quad (2-1)$$

式中, f_1 为定子的频率;

p 为电动机的磁极对数。

如果频率调节成 f_x , 则同步转速 n_{0x} 也随之调节成

$$n_{0x} = \frac{60f_x}{p} \quad (2-2)$$

这就是变频调速的理论依据。

异步电动机的转速 n 的表达式为

$$n = n_0(1-s) = \frac{60f_1}{p}(1-s) \quad (2-3)$$

式中, s 为转差率, $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$ 。

异步电动机在额定状态下运行时, 转子转速 n 通常与 n_0 相差不大, 因此额定转差率 s_N 一般都比较小, 其范围在 0.01 ~ 0.05 之间。

2.1.2 三相异步电动机的机械特性

当加在电动机上的电压 U_1 为额定电压时, 电动机的电磁转矩 T 与转子转速 n 之间的关系, 称为电动机的机械特性, 即

$$n = f(T)$$

三相异步电动机的机械特性曲线如图 2-1 所示。下面讨论曲线上几个特殊的转矩。

1. 起动转矩 T_{st}

在 $n=0$ ($s=1$), $T=T_{st}$ 点, 这点的转矩称为起动转矩 T_{st} , 也称为堵转转矩。当电动机的负载转矩大于 T_{st} 时, 电动机将不能起动。

2. 额定转矩 T_N

在 $n=n_N$ ($s=s_N$), $T=T_N$ 点, 这点的转矩称为额定转矩 T_N 。当电动机工作在额定转矩 T_N 时, s_N 通常在 0.02 ~ 0.06 之间, 转速在很小的范围内变化时, 转矩即可在很大的范围内变化, 即工作于额定转矩 T_N 时, 电动机具有很硬的机械特性。

3. 最大转矩 T_M

在 $n=n_L$ ($s=s_L$), $T=T_M$ 点, 这点的转矩称为最大转矩 T_M 。 T_M 的大小象征着电动机的过载能力, 用过载倍数 λ 表示, $\lambda = T_M/T_N$ 。在任何情况下, 电动机的负载转矩都不能大于 T_M , 否则电动机转速将急剧下降, 致使电动机堵转停止, 因此, 这一点称为临界转速点。临界转速 n_L 的大小决定了 L 点的上下位置, 从而反映了机械特性的硬度。

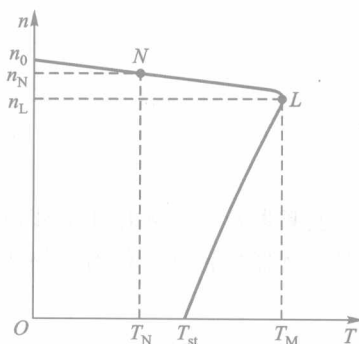


图 2-1 三相异步电动机的机械特性曲线

2.1.3 三相异步电动机的调速

1. 变极调速

三相异步电动机的变极调速属于有级调速, 通过改变磁极对数 p , 可以得到 2:1 调速、3:2 调速、4:3 调速及三速电动机等, 调速的级数很少。由于磁极对数 p 取决于定子绕组的结构, 而且笼型转子的极数能自动地保持与定子极数相等, 所以此调速只适用于特制的笼型异步电动机。这种电动机结构复杂, 成本高。

2. 变转差率调速

变转差率调速一般适用于绕线转子异步电动机或转差电动机。具体的实现方法很多, 比如: 转子串电阻的串级调速、调压调速、电磁转差离合器调速等。随着 s 的增大, 电动机的机械特性变软, 效率降低。

3. 变频率调速

(1) 异步电动机的等效电路

异步电动机的转子能量是通过电磁感应而得到的。定子和转子之间在电路上没有任何联系, 其电路可用图 2-2 来表示。

在图 2-2 中, \dot{U}_1 为定子的相电压; \dot{I}_1 为定子的相电流; r_1 为定子每相绕组的电阻; x_1 为定子每相绕组的漏电抗; \dot{E}_{2s} 、 \dot{I}_{2s} 、 x_{2s} 分别为转子电路中产生的电动势、电流、漏电抗; \dot{E}'_1 为每相定子绕组的反电动势, 它是定子绕组切割旋转磁场而产生的, 其有效值计算如下:

$$E_1 = 4.44f_1 k_{N1} N_1 \Phi_M \quad (2-4)$$

式中, f_1 为电源频率;

k_{N1} 为与绕组结构有关的常数;

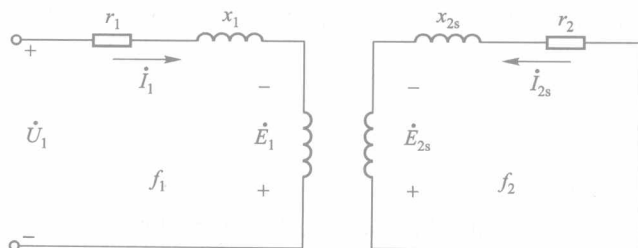


图 2-2 异步电动机定子转子等效电路

N_1 为每相定子绕组的匝数；

Φ_M 为每极气隙磁通量 (Wb)。

由式(2-4)可见,只要控制好 E_1 和 f_1 ,便可达到控制磁通量 Φ_M 的目的。

(2) 变频调速要求

由于 $4.44k_{N1}N_1$ 均为常数,所以定子绕组的反电动势 E_1 可用下式表示:

$$E_1 \propto f_1 \Phi_M \quad (2-5)$$

在额定频率时,即 $f_1 = f_N$ 时,可以忽略 ΔU ,可得到

$$U_1 \approx E_1 \quad (2-6)$$

因此进而得到

$$U_1 \approx E_1 \propto f_1 \Phi_M$$

此时若 U_1 没有变化,则 E_1 也可认为基本不变。如果这时从额定频率 f_N 向下调节频率,必将使 Φ_M 增加,即 $f_1 \downarrow \rightarrow \Phi_M \uparrow$ 。

由于额定工作时电动机的磁通已接近饱和, Φ_M 增加将会使电动机的铁心出现深度饱和,这将使励磁电流急剧升高,导致定子电流和定子铁心损耗急剧增加,使电动机工作不正常。可见,在变频调速时单纯调节频率是行不通的。

为了达到下调频率时磁通量 Φ_M 不变的目的,可以根据式(2-5),让

$$\frac{E_1}{f_1} = \text{常数} \quad (2-7)$$

即在频率 f_1 下调时,也同步下调反电动势 E_1 ,但是由于 E_1 是定子反电动势,无法直接进行检测和控制,但根据式(2-6),有 $U_1 \approx E_1$,式(2-7)即可写为

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{常数} \quad (2-8)$$

因此,在额定频率以下(即 $f_1 < f_N$)调频时,同时下调加在定子绕组上的电压,即恒 U/f 控制。

这时应当注意的是,电动机工作在额定频率时,其定子电压也应是额定电压,即

$$f_1 = f_N \quad U_1 = U_N$$

若在额定频率以上调频时, U_1 就不能跟着上调了,因为电动机定子绕组上的电压不允许超过额定电压,即必须保持 $U_1 = U_N$ 不变。

2.2 三相异步电动机的起动和制动

在拖动系统中,电动机要经常起动和停止(即制动)。从提高劳动生产率的角度看,电动机