

● 现代工业自动化技术应用丛书

网络化控制 变频调速系统

汪 明 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

现代工业自动化技术应用丛书

网络化控制 变频调速系统

汪 明 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书以变频器网络化控制为背景,系统、深入地介绍网络控制变频调速系统的组成、拓扑结构、控制原理,并结合实际工程应用详细介绍网络化控制变频调速系统的设计方法。

全书共含7章。内容包括变频调速的基本控制模式,变频器的组成和基本功能,变频器的选型,网络化控制变频调速系统的组成、拓扑结构,现场总线的选择和接口应用设计,网络化控制变频调速系统的应用设计等。

本书内容丰富、概念清楚、取材新颖、理论联系实际,充分反映了变频调速网络化控制方面的相关技术,并提供了网络化控制变频调速系统的设计范例。

本书可供工业控制领域的工程技术人员和科研人员阅读,也可作为高等学校工科相关专业的高年级本科生或研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

网络化控制变频调速系统 / 汪明编著. —北京: 中国电力出版社, 2006

(现代工业自动化技术应用丛书)

ISBN 7-5083-4518-5

I. 网… II. 汪… III. 变频调速-控制系统 IV. TM921.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 074124 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006年11月第一版 2006年11月北京第一次印刷

1000毫米×1400毫米 B5开本 18.25印张 368千字

印数 0001—4000册 定价 29.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



序 言



现代工业自动化技术是信息社会中的关键技术和核心技术之一。自动化技术促进了人类文明的发展。实现工业生产自动化可以提高系统性能、改善劳动条件、减轻劳动强度、大幅提高生产率、节约能源、提高产品质量和经济效益。自动化设备可以代替人完成各类高危作业。

现代工业自动化系统已呈现开放性、智能化、信息化与网络化的特点，它融合了自动化技术、信息技术、现代控制技术、网络技术、通信技术、先进制造技术及现代管理学等诸多学科的先进技术，需要各学科的专家及工程技术人员通力合作，从而实现多学科专业知识与系统集成、形成实现现代工业自动化发展的手段或模式。

为了推广现代工业自动化技术的应用，总结、发展和提高我国工业自动化技术的应用水平，培养高水平的工程技术人员，帮助工作在生产第一线的工程技术人员能够及时拓展知识结构，较全面地了解和掌握现代工业自动化领域中的最新技术和应用，中国电力出版社组织编写了《现代工业自动化技术应用丛书》。

一、丛书的编写宗旨

团结组织工业自动化领域的专家、学者、科技工作者、工程技术人员和团体，共谋策划与编写，促进我国工业自动化技术的繁荣和发展。

二、丛书的编写原则

1. 以技术应用为主。理论与实践密切结合，通过剖析工程实例，介绍最新技术和产品的应用，以适应工业现场的需要。可操作性强。

2. 丛书各分册均以现场应用实际或范围划分。各分册之间既相互联系又自成体系。

3. 编委会特邀请该领域有扎实理论基础并富有实践经验的专家、学者和工程技术人员来承担编写工作。

三、丛书读者对象

以工程技术人员为主要读者对象，也适宜科研人员和大中专院校师生参考。

我们相信《现代工业自动化技术应用丛书》的出版必将对我国工业自动化技术的应用起到积极作用。编写出版《现代工业自动化技术应用丛书》对于我

们是一种全新的尝试，难免存在一些问题，希望广大读者给予支持和帮助，我们的联系方式是 mo_bingying@cepp.com.cn。同时，热忱希望各行业从事工业自动化及相关技术的专家、学者、工程技术人员借此机会积极参与，将您在工作实践中获得的丰富经验总结出来，共同为提高我国工业自动化技术的应用水平做出贡献。

**《现代工业自动化技术应用丛书》
编委会**

前 言



随着计算机技术、网络技术、微电子技术和控制技术的迅猛发展,工业企业生产规模在不断扩大,自动化水平不断地得到提高,网络化的变频调速控制系统成为调速系统发展的必然趋势,因此深入细致地研究网络化控制变频调速系统不仅具有较高理论研究价值,还具有重要的实际应用意义。本书从工程应用的角度出发,结合应用实例,深入浅出地描述了网络化控制变频调速系统的基本概念、拓扑结构、系统组成、设计方法等知识,给研究者和广大工程技术人员提供了网络化控制变频调速系统设计的基本方法和思路。

全书共分为7章。

第1章阐述了变频调速控制系统的发展;

第2章阐述了变频调速的控制模式,介绍了变频调速的压频比控制原理和常用的转差频率控制、电压空间矢量控制、矢量控制、直接转矩控制等控制模式;

第3章讨论了变频器的功能和相关电路,包括主电路的整流、逆变部分,保护等,并介绍了用于变频调速的专用集成芯片;

第4章介绍了网络化控制系统的结构、特征,突出了网络化控制变频调速系统的结构和特征;

第5章结合城市供水变频调速控制系统,着重论述了通过RS485构成网络化控制变频调速系统的设计方法、步骤和相关策略,并给出了PID调节器设计及参数的工程整定过程;在系统确定之后,给出了相关编程和监控软件设计的内容;

第6章介绍了现场总线方面的发展、特点,选择的原则等,特别给出了变频器常用现场总线技术开发的相关实例,为变频调速系统或其他领域的现场总线技术的应用开发提供了第一手资料;

第7章阐述了现场总线构成的网络化控制变频调速系统,并结合造纸机分部传动这个复杂的电气传动控制系统,研究了现场总线构成的网络化控制变频调速系统的结构、特征、硬件选择、软件设计等内容,也为造纸机传动设计提供了重要资料。

本书在编写过程中得到了杨修文老师、杨冬老师和张承慧教授的大力支持和帮助,在此表示感谢。

本书编写的不足之处,恳请业内专家和广大读者批评指正。

编 者

目 录



序言

前言

第1章 绪 论 1

第2章 变频调速原理及基本
控制模式 9

2.1 变频调速的基本控制方式 ... 9

2.2 变频调速系统的转差频率
控制 13

2.3 变频调速系统的电压空间
矢量 PWM 控制 16

2.4 变频调速系统的矢量
控制 20

2.5 变频调速系统的直接转矩
控制 28

第3章 通用变频器基本组成及
功能 32

3.1 变频器的基本类型 32

3.2 变频器的基本组成及主
电路 38

3.3 变频器的控制回路 45

3.4 变频器的应用选型 56

第4章 网络化控制系统 68

4.1 计算机网络 68

4.2 分布式网络控制系统 73

4.3 控制网络传输介质及
其访问控制方式 77

4.4 控制网络互联与互联
参考模型 85

4.5 网络控制系统的稳定性 95

第5章 基于 RS485 的网络化控
制变频调速系统 101

5.1 串行通信接口及组成 101

5.2 RS485 接口标准 107

5.3 城市供水变频调速系统的
设计要点 110

5.4 城市供水变频调速系统
方案 114

5.5 核心控制器 PLC 的选型 ... 118

5.6 变频器的选型 128

5.7 调节器参数整定及变频
器 PID 控制 135

5.8 PLC 程序控制 147

5.9 上位机监控软件的研发 ... 161

第6章 现场总线技术及应用
开发 170

6.1 现场总线技术 170

6.2 CAN 应用开发 186

6.3	Modbus 应用开发	198			
6.4	Profibus-DP 应用开发	211			
第7章 基于现场总线的网络化					
	控制变频调速系统	228			
7.1	现场总线网络控制系统 ...	228			
7.2	变频器的现场总线接口 ...	229			
7.3	基于现场总线的造纸机				
	传动调速系统	240			
7.4	造纸机传动现场总线网				
	络控制系统	249			
7.5	造纸机分部传动变频器				
	和电动机选型	260			
7.6	造纸机传动监控系统	276			
参考文献					281

第1章 绪论

交流电动机自 1885 年出现以后,由于一直没有理想的调速方案,因而在很长一段时间内只被应用于不变速的拖动控制领域。20 世纪 70 年代以后,随着变频调速技术的快速发展与成熟,异步电动机的变频调速技术以其良好的调速性能和显著的节能特点,在现代工业设备中获得越来越广泛的应用,并逐渐取代了直流调速系统。如果从 20 世纪 50 年代后期出现的第一个晶闸管算起,可以说变频调速技术已经历了近五十年的发展。但变频调速技术真正快速发展的时期,应该是在 PWM 调制技术出现和微处理机控制技术发展之后。如今,变频调速系统已在钢铁、石化、汽车、电力、造纸、矿业、机床、水泥、交通运输、国防等各行各业及人们日常生活中得到了十分广泛的应用。

异步电动机变频调速系统是变压变频(VVVF)系统的简称,它是通过变频变压装置把恒压恒频的工频交流电转变为频率可调的变压变频交流电供给异步电动机。异步电动机调速传动时,变频器可以根据电动机的特性对供电电压、电流和频率进行适当的控制,不同的控制方式所得到的调速性能、特性及用途是不同的。随着科学技术的不断发展,变频调速的控制技术也在不断进步,现阶段的矢量控制技术、直接转矩控制技术可实现与直流调速相媲美的性能,为变频调速技术的进一步推广奠定了坚实的基础。

早期基于 U/f 恒定控制的变频器的原理、控制方法和结构都比较简单,机械特性硬度也比较好,基本上能够满足某些生产机械变速传动的要求。但是,这种调速控制方式在低频运行时,由于受电动机定子电阻压降的影响比较显著,输出最大转矩受到限制,降低了机械特性硬度,使动态转矩能力与调速性能大打折扣。与调速性能优异的直传动系统相比,它的静、动态性能还不能完全达到直流双闭环系统的水平。这是因为恒 U/f 控制依据的是异步电动机稳态等效电路和稳态转矩公式,所得到的维持磁通恒定的结论也只有在稳态下才能成立,并没有考虑在动态情况下磁通是否会变化。另外,在推导磁通恒定时忽略了定子电阻压降的影响,在低速时,这种影响有时是不能忽略的,只好采用定子压降补偿,而补偿的程度会影响调速性能。此外, U/f 控制采用标量控制方法,即仅控制电动机的电压或电流的幅值而不控制其相位。实际上在动态过程中,如果不能及时控制电动机的电压或电流的相位,必将延缓动态转矩的变化。

针对交流异步电动机恒 U/f 控制的变频调速系统存在的问题,许多学者提出了

众多改进方案,其中应用最为成功的当数矢量控制理论和直接转矩控制技术。1968年首先由 Darmstädter 工科大学的 K. Hasse 博士发表,后又于 1971 年由 Siemens 公司的 F. Blaschke 将这种一般化的概念形成系统理论,并以磁场定向控制 (field orientation control) 的名称发表。矢量控制理论的基本思想是把交流电动机模拟成直流电动机进行控制,它是把磁场矢量的方向作为坐标轴的基准方向,采用矢量变换的方法实现交流电动机的转速和磁链控制的完全解耦,以得到类似直流电动机的优良的动态调速性能。迄今为止,矢量控制技术已经获得了长足的发展,走向实用化,并逐步取代传统的双闭环直流调速系统。与此同时,现代控制理论在交流调速系统中的应用及速度观测、参数自设定等技术的研究,促进了无速度传感器矢量控制的发展。

直接转矩控制技术是继矢量控制技术之后发展起来的又一种高性能变频调速技术。1985 年德国学者 M. Depenbrock 首次提出的直接转矩控制 (DTC) 技术,摒弃了矢量控制中的解耦思想,直接对电动机的磁通和转矩进行控制,并用定子磁链定向代替转子磁链定向,避开了转子电阻等交流电动机中不易确定的参数对磁场定向的影响。因定子磁链的估算只与相对比较容易测量的定子电阻有关,所以对磁链的估算更容易、更精确,受电动机参数变化的影响也更小。与磁场定向控制相比,直接转矩控制有着同样优异的性能,但实现更为简单,对电动机参数不敏感,功率器件的开关能力可以得到最充分的发挥,因此成为异步电动机高性能调速的一种新方法。

1. 通用变频器相关技术的发展

(1) 功率开关器件。在变频器的主电路中要用到功率开关器件,功率开关器件的性能直接影响着变频器的性能好坏。从某种意义上来说,变频器的发展过程就是电力电子功率开关器件发展过程的反映。两者互相促进,共同发展,目前,这些功率开关器件继续向大容量化、高速化和低导通电压化的方向发展,以适应更大容量变频器的需要。

从 20 世纪 50 年代后期开始,电力电子功率开关器件经历了普通晶闸管 (thyristor)、门极关断 (GTO, Gate Turn-off Thyristor) 晶闸管、双极型功率晶体管 (BPT, Bipolar Power Transistor)、功率场效应晶体管 (Power MOSFET)、双极型大功率晶体管 (GTR, Giant Transistor)、绝缘栅双极型晶体管 (IGBT, Isolated Gate Bipolar Transistor)、智能功率模块 (IPM, Intelligent Power Module)、集成门极换流晶闸管 (IGCT, Integrated Gate-Commutated Thyristor) 和复合模块 (指将变频器的主电路的整流电路、制动电路和逆变电路封装在一起的器件) 的发展过程,这些功率开关器件的更新换代,促进了变频调速技术的不断发展。这些器件的发展大致趋向于由半控型到全控型,由低速型到高速型,由高导通电压型到低导通电压型的过程,这个过程也是变频器不断提高性能的过程。用全控型功率开关器件代替半控型功率开关器件可以控制器件的关断,从而使得逆变器可以输出 PWM 调制波;用

高速型器件代替低速型器件提高了开关频率,逆变器的输出可以获得更逼近于正弦波的波形;由高导通电压型功率开关器件到低导通电压型器件可以用低电压控制器件导通,控制电路简化,易于实现。

最初逆变器采用的是半控型器件普通晶闸管,后来发展成采用全控型器件 GTR,其输出波形从交流方波发展为脉宽调制 PWM 波形,大大减小了谐波分量,拓宽了异步电动机变频调速范围,也减小了转矩的脉动幅度。然而, GTR 工作频率一般在 2kHz 以下,载波频率和最小脉宽都受到限制,难以得到较为理想的正弦脉宽调制波形,使异步电动机在变频调速时产生刺耳的噪声,难以受到用户欢迎。

针对 GTR 存在频率低的问题,新器件 IGBT 的出现,使问题得到了有效解决。IGBT 的工作频率可以在 10 ~ 20kHz 之间,与 GTR 相比,不仅工作频率高出一个数量级,而且在电压和电流指标(如浪涌电流耐量、电压阻断峰值、导通电流密度、门极驱动功耗率等各项指标)均已超出 GTR。由于逆变器载波频率的提高,异步电动机变频调速器的谐波噪声大为降低。因此在新一代的变频器中 IGBT 已经基本上代替了 GTR。采用 IGBT 的低压变频器的最大容量在 380V 级可达 540kV · A,而 600V 级可达 700kV · A,能对 485kW 电动机进行变频调速,最高输出频率可达 400 ~ 500Hz,能对中频电动机进行变频调速控制。利用 IGBT 组合构成的高压(3kV/6.3kV)变频器也已有系列产品,最大容量可达 7640kW,其特点是效率高和谐波小。

IPM 是以 IGBT 为开关器件,同时含有驱动电路和保护电路,是一种功率集成器件。IPM 的保护功能有过电流、短路、欠电压、过电压和过热保护等,还可以实现再生制动。由 IPM 组成的逆变器只需对桥臂上各个 IGBT 提供隔离的 PWM 信号即可。简单的外部电路和控制电路的集成化,使变频器体积大为减小。其次,由于功能开关器件的故障监测和保护电路靠近故障点,故可以抑制故障扩大,保证装置可靠运行。目前,模块的最大额定电流可达 600A,小型通用变频器基本上都用 IPM 作为主电路,采样 IPM 后的综合性能大大提高,其性能价格比超过 IGBT,有很好的经济性。智能功率模块 IPM 除了在通用变频器上被大量采用之外,经济型的 IPM 在一些家用电器,如变频空调、变频冰箱、变频洗衣机中得到广泛应用。

IGBT 虽有较好的频率特性,但由于它的高阻断电压下损耗较高,同时 MOS 结构比较复杂,使 IGBT 芯片尺寸已至极限 1 ~ 2cm² 等,这些器件都不能更好地满足大功率应用的要求。于是人们试图采用各种新结构、新技术来改进器件的特性。20 世纪 90 年代中期,ABB 公司的科研人员通过优化门极驱动单元和器件外壳设计,采用集成门极等技术,大大降低了门极驱动回路中的电感,并采用负门极电流上升率(- di/dt)的方法来缩短贮存时间,这就是所谓的 GTO “硬驱动”技术,从而产生了一个新型功率器件——集成门极换流晶闸管(IGCT)。它综合了 GTO 和 IGBT 两者的优点,不仅有与 GTO 相同的高阻断能力和低通态压降,而且有与 IGBT 相同的开关性能。IGCT 综合了晶闸管通态损耗低和晶体管的均匀关断特性,

具有良好的可制造性及高可靠性,功率容量比 GTO 更大,工作频率比 GTO 更高,因此在中高压领域得到了广泛应用。

(2) 微型计算机及集成电路的发展。近几十年来,从最早以晶闸管为逆变器功率开关器件、8 位微处理器为控制核心、按压频比 U/f 控制原理的变频器,到现在使用 IGBT 或 IGCT 功率开关器件、32 位微处理器或 ASIC 为控制核心、按矢量控制或直接转矩控制的变频器,变频器在性能和品种上出现了巨大的技术进步。这种进步不仅体现在功率开关器件的更新上,也体现在微处理器的发展上。微处理器在变频器中担负着实现控制算法,进行保护等功能,是整个变频器的神经中枢。随着半导体技术的发展,大规模及超大规模集成电路的出现,微处理器的运算速度加快、可靠性提高、体积缩小、价格也降下来了。特别是近年来,高性能、低价格微处理器、嵌入式微控制器、数字信号处理器 (DSP) 等的制造厂商越来越多,生产的微处理器或微控制器的数据运算宽度从 8 位到 64 位应有尽有,给设计者带来了极大的便利,也使得变频器的功能从单一的变频调速功能发展为含有逻辑和智能控制的综合功能。

(3) 脉宽调制 (PWM) 技术。变频器变频功能最终都是通过控制功率开关器件的导通来实现的。1964 年德国人 A. Schonung 和 H. Stemmler 首先提出把通信技术中的脉宽调制 (PWM, Pulse Width Modulation) 技术应用到交流传动中,从此, PWM 调速技术的研究引起了专家、学者和工程师们的高度重视。自从 PWM 技术用到调速领域后,取代了常规的六拍脉波导通方式,迅速占领了变频器功率开关器件导通方式的主导地位。如今, PWM 技术已经成为通用变频器的控制核心,几乎所有控制算法的实现最终都是通过各种 PWM 控制方式完成的。在 20 世纪 80 年代初,由于当时大功率晶体管的载波频率一般最高不超过 5kHz,电动机的电磁噪声及谐波引起的振动引起人们的关注,为求得改善, PWM 控制技术一直是人们研究的热点。尤其是微处理器应用于 PWM 控制技术并使之数字化以后,从最初追求电压波形的正弦,到电流波形的正弦,再到磁通的正弦;从效率最优、转矩脉动最少、再到消除噪声等, PWM 控制技术经历了一个不断创新和完善的过程。

所谓的正弦脉宽调制 (SPWM) 波形,就是与正弦波等效的一系列等幅不等宽的矩形脉冲波形。SPWM 的开关频率越高,谐波含量越少。因为当载波频率越高时,半周期内开关次数越多,把期望的正弦波分段也越多, SPWM 的基波就越接近期望的正弦波。由于高频载波方式的 SPWM 追求的是实现电流谐波最小、电压利用率最高、效率最优及转矩脉动最小等优化目标,所以它具有可以同时实现变频、变压、抑制谐波的特点,并可通过调整载波频率而减弱或消除机械和电磁噪声,因此在通用变频器乃至其他能量变换系统中得到广泛应用。

经典的 SPWM 控制主要着眼于使逆变器输出电压尽量接近正弦波,对于电流波形,在控制上则没有考虑。电流跟踪控制针对经典 SPWM 控制的这个缺陷,直接着眼于逆变器输出电流是否按正弦变化,这就比只考查输出电压波形更进了一

步。然而异步电动机需要输入三相正弦交流电的最终目的是在空间产生圆形旋转磁场,从而产生恒定的电磁转矩。电压空间矢量 PWM 技术正是对准这一目标,把逆变器和异步电动机视为一体,按照跟踪圆形旋转磁场来控制 PWM 电压。电压空间矢量 PWM 技术以其电压利用率高、控制算法简单、电流谐波小等特点在通用变频器中得到了越来越广泛的应用。

2. 国外交流变频调速技术现状

国外交流变频调速技术的发展主要体现在几个方面:

(1) 控制理论和控制技术的发展。矢量控制、直接转矩控制、模糊控制、神经网络、专家系统、自适应控制、预测控制、解耦控制、微分几何学、随机控制等控制理论为高性能变频器提供了理论基础。尽管矢量控制和直接转矩控制使交流变频调速系统的性能有了较大的提高,但是还有许多领域有待深入研究,如磁通的准确估计或观测、无速度传感器的控制方法、电动机参数在线辨识、零速下电动机控制、电压重构与死区补偿策略、多电平逆变器的控制策略等。未来的通用变频器控制技术将在基于电动机模型的矢量控制、直接转矩控制的基础上,进一步得到发展,并融入基于现代理论的模型参考自适应技术、多变量解耦控制技术、最优控制技术和基于智能控制技术的模糊控制、神经网络、专家系统和过程自寻优、故障自诊断技术等,使通用变频器傻瓜化、更容易使用。此外,随着新型电力开关器件的发展,可关断驱动技术、双 PWM 逆变技术、柔性 PWM 技术、全数字化自动化控制技术、静态均流技术、浪涌吸收技术、光控及电磁触发技术、导热与散热技术也在迅速发展。

(2) 功率开关器件和微电子技术的发展。功率开关器件由最初的半控型发展到现在的全控型,功率开关器件和变频调速技术相辅相成、互相促进、共同发展。国外的电力电子功率开关器件正向低开关损耗、高开关频率、低开关电压、高功率等方面的发展。可以说,由晶闸管和 GTR 到 IGBT 的发展,是功率开关器件从低速到高速发展的例证,而由 IGBT 到 IGCT,则是功率开关器件向大功率发展的例证。除了功率开关器件的发展,微处理器的发展和性能的提高也是变频调速技术快速发展的一个重要方面。高速微处理器、数字信号处理器 DSP 和专用集成电路 ASIC 技术的快速发展,为实现通用变频器高精度、高性能、多功能、智能化目标提供了硬件手段。

(3) 功能更强大,智能化程度更高。新一代的变频器由于有功能很强的微处理器支持,除能完成电动机变频调速的基本功能外,还具有内置的可编程、参数辨识等功能。例如,变频器可实现“模糊最优加减速”,它根据电动机的负载状态自动设定加减速的最短时间,或者在设定的最短加减速时间内,将加减速电流限制,将减速的直流过电压控制在允许值以内;变频器还可以程序运行,可根据预设的速度值和运行时间执行多段程序运行,各段运行时间、加减速时间以及正反向均可事先设定;变频器还可以节电运行,能自动选定输出电压使电动机运行于最小电流状

态,从而使电动机运行损耗最低,其效率在原有节能基础上再提高3%。又例如,变频器可实现电动机参数辨识,无速度传感器矢量控制变频器需要根据电动机参数推算转速测值,一般制造厂可将变频器供电的标准电动机参数事先设定好,也可以由用户将所用电动机的参数进行设定,新型变频器还可以做到第一次试运行按规定程序自动辨识电机参数并打印出来。这样就拓宽了变频器的应用范围,而且使用更方便。

(4) 通信能力更强。新型变频器一般都带有 RS232/422/485 通信接口,可以实现上位工控机对变频器的 1 对 1 或 1 对 32 的通信功能,可将上位机的运行指令下达,或将变频器的运行状态上传。为了适应生产规模扩大和自动化程度提高的需要,各大著名的传动生产厂商都提供各种现场总线接口卡,如 Profibus - DP、DeviceNet、CAN、InterBus、Modbus 等诸多板卡供用户选择,可以很方便的组成各种变频调速控制网络。

(5) 朝大功率、大容量方面发展。高电压、大功率器件 SCR、GTO、IGBT、IGCT、HV - IGBT 的生产及其串联、并联技术发展迅速,促进了高电压、大中功率变频器产品的生产和应用。

(6) 生产社会化、专业化。通用变频器相关配套件社会化、专业化生产,小功率通用变频器已实现全数字化,采用 IGBT 的通用变频器已形成系列产品,正向以软件化、网络化、智能化为基础的高动态性能方向发展。

(7) 更加绿色环保。新型变频器设计都已极力减小谐波和电磁污染。

(8) 结构更加优化。新型变频器已做到结构紧凑化、标准化,体积最小化。

3. 国内交流变频调速技术发展概况

通用变频器在中国的应用始于 20 世纪 80 年代末,从 1988 年日本三菱公司第一台通用变频器进入中国市场后,经过近十多年的推广和使用,通用变频器已得到各行各业的认可,并显示出了它的活力。随着能源的紧缺和认识的深入,20 世纪 90 年代末以来,交流变频调速技术在我国有了突飞猛进的发展。变频调速在调速范围、调速精度、动态响应、低速转矩、通信功能、智能控制、功率因数、节约电能、工作效率、使用方便等方面具有优异的性能,是其他的交流调速方式无法比拟的。通用变频器以体积小、重量轻、通用性强、适用范围广、保护功能完善、可靠性高、操作简便等优点,受到钢铁、冶金、矿山、石化、医药、食品、纺织、印染、机械、电力、建材、造纸等诸多行业的欢迎,通用变频器的应用取得了良好的经济效益和社会效益。

我国目前市场上,生产、销售变频器的国内外公司、厂商甚多,产品品牌达上百种,几乎世界上所有的大型电气公司、厂商都有自己的变频器品牌。我国自行设计、生产变频器的公司、厂商也达数十家,有些品牌还大量出口。从通用变频器产品来看,国内目前虽已掌握通用变频器制造技术,但是缺乏通用变频器基础技术开发和制造能力,如电力电子开关器件、微处理器、数字信号处理芯片等的制造尚很

薄弱, 整机制造工艺尚处在初级阶段, 还不能形成市场规模, 总体技术水平较国际先进水平尚有较大差距, 具有自己独立知识产权的产品甚少等, 虽在中小功率通用变频器制造方面, 近几年发展迅速, 以价格优势和市场优势在国内普通用途 U/f 控制方式通用变频器市场上占有了一定的市场份额, 且有少量产品采用无速度传感器矢量控制方式, 但尚没有形成系列产品占有市场份额。

4. 现代控制理论的工程应用

现代控制理论在近几十年中得到了较大发展, 其理论体系也非常完善。现代控制理论在不断揭示控制的本质规律的同时, 还提供了适合不同场合与要求的新的强有力的设计方法。然而, 由于其理论体系是建立在精确的数学模型之上, 在复杂场合, 尤其是复杂的工业生产过程难以获得精确的数学模型, 因此在应用方面困难重重。然而, 社会发展的需要是促进科学技术发展的主要动力之一, 随着炼油、化工、冶金、造纸、电力等工业过程的生产规模越来越大型化、复杂化, 生产过程的连续性不断加强, 设备的操作更加强化, 为了保证正常过程正常运行, 降低能耗, 增加产量, 提高质量, 获得最大的经济效益, 必须提高工业过程的自动化水平。因此现代控制理论的应用问题也成为诸多专家学者的研究热点之一。计算机技术、微电子技术、传感器技术、网络技术等迅猛发展, 为实现各种复杂的控制策略提供了灵活、可靠和功能齐全的技术工具, 使工业过程控制的理论和实践在近二十年取得了重大的进展。

5. 网络控制系统概况

随着变频调速技术、计算机技术、微电子技术、信息技术、网络技术和传感器技术等的高速发展, 网络化、智能化无疑成为了变频调速控制系统发展的必然趋势。在 20 世纪 90 年代初, 有人提出了网络控制系统 (NCS, Networked Control Systems) 的概念。网络控制系统又称为网络化的控制系统或分布式网络控制系统, 即在网络环境下实现的控制系统, 是指在某个区域内一些现场检测、控制及操作设备和通信线路的集合, 用以提供设备之间的数据传输, 使该区域内不同地点的设备和用户实现资源共享和协调操作。网络控制系统的主要优点在于可以实现资源共享、价格低、重量轻、能耗小、安装方便、容易维护。网络技术在控制系统中的应用给系统设计和系统理论带来了新的机遇, 也因此成为诸多学者和专家研究和关注的热点。随着网络控制系统在远程机器人控制中的成功应用, 网络控制系统对工业自动化等领域也产生了深远影响, 诸如深海操作的机器人、远程操作的太空机器人、家庭自动化、远程医疗、远程科学实验及军事指挥等领域都有相关的研究和应用。

网络控制系统属于多学科交叉的研究领域, 是计算机网络在控制领域的扩展和应用。目前的网络控制系统的理论研究主要包括网络理论和控制理论。网络控制系统是基于网络的闭环实时控制系统, 因此, 网络控制系统的主要研究侧重在通过对网络系统和控制系统的时间、建模和设计分析, 确保系统在稳定的基础上, 获得满

意的性能指标,提高网络控制系统的服务质量和控制性能等指标。由于网络控制系统在反馈系统中引入通信机制,往往会对控制性能或服务质量带来一些问题,主要表现在以下几个方面:首先,网络控制系统是闭环系统,分析和判断需要根据反馈信息,控制决策也是通过网络进行的,从而需要进行大量数据交换,通过网络进行数据交换就存在网络延时问题;其次,当网络阻塞时,网络节点可能会丢失数据包,造成信息损失;再次,对象输出可能因为通信网络的帧结构形式决定了采用多数据包传递信息,而这些数据包会出现不能同时达到控制器的现象。如果不解决好上述几个问题,就会降低网络控制系统的性能,甚至引起系统不稳定。

网络控制系统目前研究的方向主要集中在减少网络延时、提高系统实时性方面,根据实际情况可把有些网络控制系统当作一种有任意延时的线性控制器模型,用李雅普诺夫随机函数法、增广确定离散时间模型法、缓冲队列法、最优随机控制法等来分析;有些网络控制系统可看作非线性系统,用摄动法和鲁棒控制方法来分析和设计。在应用研究方面,主要侧重于控制网络的实现,如系统各总线的集成,通过网关或者相关措施把不同类型的现场总线集成起来,或将 DCS 和控制网络连接起来;协议的统一,如统一于 TCP/IP 协议;改进网络协议,减小端对端的传输延时;网络控制系统的安全性;改善网络控制系统的结构等方面。

第2章 变频调速原理及 基本控制模式

三相交流异步电动机在电力拖动领域属于最具典型意义的一种电动机,应用非常广泛。随着电力电子技术的迅速发展和变频器的广泛应用,变频调速成为异步电动机最理想的调速方式。变频调速具有调速范围宽,平滑性好,效率高的优点,并具有良好的静态和动态特性,是应用范围最广的一种高性能调速方式。

本章首先介绍变压变频调速的基本控制方式,然后介绍转差频率控制、电压空间矢量 PWM 控制、矢量控制和直接转矩控制,这些是学习和掌握变频调速原理和正确应用变频器的基础。

2.1 变频调速的基本控制方式

三相交流异步电动机实现变频调速的关键是解决好变频又变压的问题。由电机学知

$$E_1 = 4.44f_1 N_1 K_{N1} \Phi_m \quad (2-1)$$

式中, E_1 是气隙磁通在定子每相感应电动势有效值; N_1 是定子每相绕组匝数; K_{N1} 是基波绕组系数; Φ_m 是每极气隙主磁通。在额定电压和额定频率时,电动机的磁通 Φ_m 也就是额定值,为使电动机铁心得到充分利用,额定磁通密度总是设计在磁化曲线的临界饱和点。

因为异步电动机定子内阻很小,其压降也小,如忽略定子上的内阻压降,则有 $U_1 \approx E_1$, 即

$$U_1 = 4.44f_1 N_1 K_{N1} \Phi_m \quad (2-2)$$

则有

$$\Phi_m \approx \frac{U_1}{4.44f_1 N_1 K_{N1}} \quad (2-3)$$

若调速时只改变定子频率 f_1 , 例如调高频率而不改变供电电压 U_1 , 则磁通 Φ_m 将减小, 这时电动机的拖动能力降低, 若带恒转矩负载会因电磁转矩小于负载转矩而堵转, 这种情况称为欠励磁。若仅调低频率而不改变电压, 则由式 (2-3) 可知, Φ_m 将增大, 引起磁路饱和, 励磁电流大大增加, 定子铜损大大增加, 严重时还会因绕组过热而损坏电动机, 这种情况称为过励磁。因此, 在异步电动机变频调速