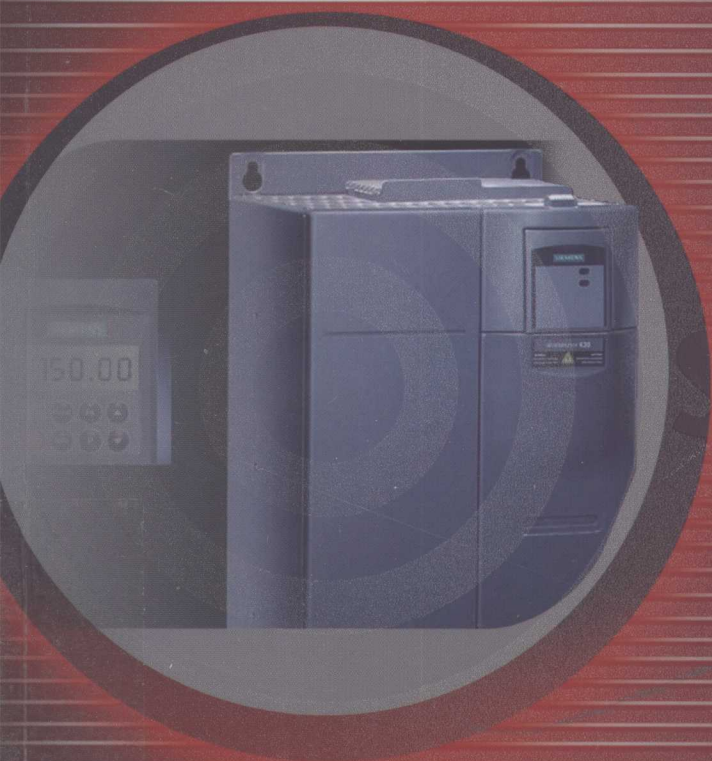


普通高等学校教材
西门子自动化产品培训用书

SIEMENS

西门子系列变频器 及其工程应用



SIEMENS

孟晓芳 李策 王珏 等编著

TN773/27

2008

普通高等学校教材

西门子自动化产品培训用书

西门子系列变频器及其工程应用

孟晓芳 李 策 王 珏 等编著

机械工业出版社

随着电力电子技术及控制技术的发展,变频器广泛应用于冶金、石化、电力、纺织、电梯等行业,对生产起着越来越重要的作用。

本书从实际应用的角度出发,详细地介绍了变频调速的基本理论知识、变频器的选择以及西门子几种变频器和实际应用。全书共分10章,包括绪论、变频器的原理与控制方式、变频器的选择、变频器控制原理图、MicroMaster4 (MM4) 系列变频器、SIMOVERT MASTERDRIVES 工程型变频器、SINAMICS 系列变频器、变频器的应用、变频器的测量与实验以及变频器的安装、接线、日常维护和检修。

本书力求清晰准确,注重理论联系实际,便于读者掌握变频器的应用。本书既可以作为高等学校相关专业师生的参考书,也可以作为广大工程师的参考书或自学教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

西门子系列变频器及其工程应用/孟晓芳,李策,王珏等编著. —北京:机械工业出版社,2008.6

普通高等学校教材

西门子自动化产品培训用书

ISBN 978-7-111-24328-1

I. 西… II. ①孟…②李…③王… III. 变频器-基本知识 IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 088406 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张俊红 责任编辑:朱林 版式设计:张世琴

责任校对:姜婷 封面设计:鞠杨 责任印制:邓博

北京双青印刷厂印刷

2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.5 印张 · 407 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-24328-1

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379764

封面无防伪标均为盗版 出业工赫社

西门子自动化产品培训用书

编 委 会

主 编 边春元 满永奎
副主编 任双艳 王志强
编 委 姜雪松 李艳杰 李爱平 邓 伟 王 璐
崔广臣 刘长勇 孙亦红 李 策 孟晓芳
王 珏 于艳秋 王卫红 胡 博 田有文
王 俊 解东光 王宇龙 杨 晨 杨 萍

丛书序

当今科技的飞速发展，对于改变人类社会的生产和生活面貌，推动人类社会的物质文明和精神文明向前发展，无疑具有极其重要的作用和意义。作为一门现代科学技术，自动化技术反映了人们改造大自然的能力，它是多种学科和技术的交叉与综合，尤其是在信息技术飞速发展和日益普及的今天，自动化新技术和新产品更是日新月异、层出不穷。毋庸置疑，自动化技术在推动社会进步、促进经济发展、改善生活质量和建设可持续发展的和谐社会等方面将发挥越来越重要的作用。

西门子 (Siemens) 公司是当今世界上最大的电气自动化公司之一，其自动化产品遍布于生产和生活的各个方面，电气自动化解决方案是其核心业务领域之一。以应用场合的可编程序控制器和各种控制系统配套解决方案为代表的西门子自动化产品，广泛应用于冶金、造纸、采矿、水处理、造船、石油和天然气、智能交通管理、工业服务和 IT 工厂解决方案等领域。

随着西门子自动化产品在我国各个应用领域的逐步普及和大量应用，需要掌握西门子自动化产品基础和实用开发技术的工程人员和技术人员等群体也在不断扩大，国内多所高等院校和高职高专院校也已先后开设了与西门子自动化产品相关的专业课程，要求某些专业的本科生和研究生必须学习这些课程。可见，西门子自动化产品开发技术已经成为广大院校师生、工程人员和技术人员等竞相掌握的一门重要技能。

随着西门子自动化产品的广泛应用，如何更好地使用西门子自动化产品？如何更好地在实践中进行西门子自动化产品的应用开发？如何更好地利用特定西门子自动化产品的内部资源来完成复杂项目的开发？……这些问题不断地在困扰着采用西门子自动化产品进行项目开发的相关人员。因此，如何帮助广大工程人员和技术人员迅速解决上述难题成为一个困扰已久的问题。目前，解决这个问题的重要手段就是在学习源头上多下功夫，即编写和出版一些高质量的科技图书。通过学习这些科技图书，读者能够解决在实际开发工作中遇到的各种困扰，真正地掌握西门子自动化产品的基础知识和各种实用开发技术，从而能够更快、更好地完成实际项目的开发。

通过多年的教学实践和培训经验以及广泛的技术交流，广大院校师生、工程人员和技术人员等需要全面系统地阐述西门子自动化产品的书籍，这些书籍不应以介绍产品手册内容为主，而是应该在介绍基础知识的基础上能够介绍具有实际工程背景的实例，同时能够对实际应用中的使用方法、开发技巧和涉及到的重要知识点进行重点阐述。

基于目前西门子自动化产品图书的现状，决定立项出版这套“西门子自动化产品培训用书”，以满足广大读者希望快速、全面地学习和掌握西门子自动化产品系列应用技术的迫切愿望。



这套丛书在总体上遵循循序渐进、理论与实践相结合的原则，内容涵盖了西门子 S7 系列 PLC、变频器、现场总线、工业网络、触摸屏、STEP7、WinCC、PLC 的梯形图与语句表编程方法等内容。另外，编写本丛书的目的是不仅是对所积累知识的一个总结，更希望能将它与广大读者分享，共同探讨与进步。概括起来，这套丛书的主要特点体现在以下方面：

内容全面、体系完备：从不同层面和深度介绍利用西门子自动化产品开发工具进行应用开发的全过程，内容详实，覆盖面广。

实践性强、实例典型：最大程度地强调了实践性，书中所有的实例都经过验证可实现，并具有代表性，读者可通过实例对相应技术点有清晰直观的了解。

把握新知、结合实际：对西门子自动化系列产品的新知识、新特性作了详细的介绍。书中很多技术点都是作者已经在实际工作中大量运用的，它们是开发经验的提炼和总结，相信会给读者带来很大的帮助。

相信这套丛书对于读者掌握西门子自动化产品将发挥重要的作用，使读者能够对西门子自动化产品和技术有一个系统的、全面的、深入的理解，同时能够利用它们开发出满足需要的工业自动化控制系统。

最后对参与这套丛书编写工作的各位作者表示衷心的感谢，感谢大家为我国工业自动化的技术发展和人才培养所作的巨大努力！

同时，也恳切希望读者能够对这套丛书的不足之处提出宝贵意见和建议，以便再版时更正，从而更好地服务广大读者。

本丛书编委会

序

2008年7月

前言

随着微电子学、电力电子技术、电子计算机、自动控制理论的发展,变频技术已经进入一个崭新的时代,变频器也广泛应用于冶金、石化、电力、纺织、电梯等行业。本书是为现场工程技术人员学习应用西门子主流变频器和变频调速系统而编写的。

本书着重于应用技术,既有理论指导又有实例应用。本书的主体内容是应用技术、变频器的实际操作控制和实际应用系统的设计组建与调试,指导思想是根据实际应用情况选择和设计变频调速系统。

本书共10章,第1章为绪论,主要阐述变频器的产生与发展、变频器的分类、应用情况以及性能指标等。第2章主要分析了变速调速的基本原理和基本控制方式。第3章重点介绍了变频器的选择,对于电动机及变频器常用外围设备的选择也作了较为详细的说明。第4章重点阐述了变频器控制原理图,而且给出了实际工程应用中的典型控制接线图。第5章、第6章和第7章分别介绍了西门子的主流系列变频器 MicroMaster4 (MM4)、SIMOVERT MASTERDRIVES 和 SINAMICS 的操作运行、主要参数与调试等。第8章介绍了西门子 MM4、MASTERDRIVES 和 SINAMICS 系列变频器的部分应用实例,既有现场描述又有变频器的选型及接线。第9章简要介绍了变频器的测量与实验方面的内容。第10章简要介绍了变频器安装、接线以及日常维护与检修知识。

本书由沈阳农业大学孟晓芳、王珏和沈阳铝镁设计研究院的李策共同编著,沈阳农业大学的胡博、田有文、王俊和东北电力大学的解东光对本书编写作出了贡献,另外参加本书编写工作的还有杜平、杨晨、杨萍、田雪、姜善春和唐喜燕等,全书由东北电力大学的任先文教授主审。在编写过程中,参阅了国内外的大量文献资料,在此对原作者表示敬意和感谢。

本书的编写也得到了有关领导、专业人士和同仁的支持,在此一并致谢。

由于水平和时间有限,疏漏与不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

2008年7月

录

目

丛书序

前言

第1章 绪论 1

1.1 概述 1

1.1.1 变频器的产生与发展趋势 1

1.1.2 变频技术的概况 5

1.1.3 变频技术的发展 6

1.2 变频器的应用范围及其市场情况 10

1.3 变频器的分类 13

1.4 变频器的基本功能与质量性能指标 15

1.4.1 变频器的基本功能 15

1.4.2 变频器的质量性能指标 16

第2章 变频器的原理与控制方式 19

2.1 变频调速原理 19

2.2 变频器的工作原理 25

2.3 变频器的控制方式 26

2.3.1 U/f 恒定控制 27

2.3.2 转差频率控制 28

2.3.3 矢量控制 29

2.3.4 直接转矩控制 30

2.3.5 直接转速控制 31

2.3.6 矩阵式控制方式 32

第3章 变频器的选择 33

3.1 负载分类及特性 33

3.1.1 恒转矩负载 33

3.1.2 恒功率负载 34

3.1.3 二次方律负载 34

3.1.4 其他类型的负载 34

3.2 负载的飞轮转矩 35

3.3 电动机的选择 35

3.4 根据负载特性选择变频器 36

3.4.1 变频器电压和电流的选择 38

3.4.2 变频器容量的选择 39

3.4.3 恒转矩负载变频器的选择 40

3.4.4 恒功率负载变频器的选择 41

3.4.5 二次方律负载变频器的选择 42

3.5 变频器外围设备的选择 42

3.5.1 制动电阻的选择 43

3.5.2 电抗器的选择 45

3.5.3 EMC 滤波器的选择 47

第4章 变频器控制原理图 50

4.1 变频器的主电路 50

4.1.1 变频器的外接主电路 50

4.1.2 变频器的内部主电路 52

4.2 变频器的控制电路 58

4.3 变频器的电气制动 59

4.4 变频调速的常用控制原理图 65

4.5 变频器的故障切换控制 66

4.5.1 切换控制的主电路 66

4.5.2 切换控制电路举例 67

第5章 MicroMaster4 (MM4) 系列变频器 69

5.1 MM440 变频器的特点 69

5.2 MM440 变频器的电路结构 71

5.3 MM440 变频器的参数以及技术规格 72

5.3.1 MM440 变频器的参数 72



5.3.2	MM440 变频器的技术规格	73
5.4	MM440 变频器的显示及保护	75
5.5	MM440 变频器的调试	82
5.5.1	调试方法	82
5.5.2	常规操作	89
5.6	MM440 变频器的可选件	90

第 6 章 SIMOVERT MASTER-DRIVES 工程型变频器

6.1	MASTERDRIVES 变频器概述	91
6.1.1	MASTERDRIVES VC	92
6.1.2	MASTERDRIVES MC	95
6.2	MASTERDRIVES 变频器的控制板结构	97
6.2.1	MASTERDRIVES VC 的控制板	97
6.2.2	MASTERDRIVES MC 的控制板	99
6.3	MASTERDRIVES 变频器的参数以及技术规格	100
6.3.1	MASTERDRIVES VC	100
6.3.2	MASTERDRIVES MC	102
6.4	MASTERDRIVES 变频器的显示及保护	103
6.4.1	MASTERDRIVES 变频器的状态显示	103
6.4.2	MASTERDRIVES 变频器的故障和报警显示	103
6.5	MASTERDRIVES 变频器的调试	108
6.5.1	工程工具 Drive ES 概述	109
6.5.2	MASTERDRIVES 变频器的参数设置	114
6.6	MASTERDRIVES 变频器的可选件	116

第 7 章 SINAMICS 系列变频器

7.1	SINAMICS 系列变频器概述	118
7.1.1	G110 变频器	118
7.1.2	G120 变频器	119
7.1.3	S120 变频器	120
7.1.4	G150 变频器	122

7.2	SINAMICS 系列变频器的应用	123
7.3	SINAMICS 系列变频器的软件工具	124
7.4	SINAMICS 系列变频器的选件	125
7.5	SINAMICS 系列变频器的调试	128
7.5.1	基本调试	128
7.5.2	数据备份	132
7.5.3	恢复出厂设置	133
7.5.4	利用 STARTER 进行调试	134

第 8 章 变频器的应用

8.1	变频器在冶金行业中的应用	143
8.1.1	MM4 变频器的应用	145
8.1.2	MASTERDRIVES 变频器的应用	158
8.1.3	SINAMICS 系列变频器的应用	169
8.2	变频器在石化行业中的应用	170
8.2.1	MM4 变频器的应用	171
8.2.2	MASTERDRIVES 变频器的应用	174
8.3	变频器在电力系统中的应用	184
8.3.1	MM4 变频器的应用	185
8.3.2	MASTERDRIVES 变频器的应用	193
8.4	变频器在其他行业中的应用	196
8.4.1	MM4 变频器的应用	197
8.4.2	MASTERDRIVES 变频器的应用	213
8.4.3	SINAMICS 系列变频器的应用	225

第 9 章 变频器的测量与实验

9.1	变频器的测量方法	234
9.2	测定位置和测定仪表	236
9.3	变频器的实验	238

第 10 章 变频器的安装、接线以及日常维护与检修

10.1	变频器的安装	240
------	--------	-----



10.2	变频器的接线	242
10.2.1	主电路的接线	242
10.2.2	控制电路的接线	244
10.3	变频器的日常维护与检修	244
10.3.1	变频器的维护与故障处理	244
10.3.2	使用变频器时的注意事项	249
附录		251

附录 A 小容量变频器安装在低压

	配电盘内	251
附录 B	小容量变频器安装在变频	
	控制柜内	252
附录 C	大容量变频器安装在变频	
	控制柜内	253
参考文献		254

第1章

绪论

变频器是利用电力电子器件把工频电源转换成各种频率的交流电源以实现电动机的变速运行的设备,是运动控制系统中的功率变换器。交流变频调速技术是现代电力传动技术的重要发展方向,随着新型大功率半导体器件的推出,控制理论不断更新和发展,微电子技术不断完善,各种通用的和高性能的交流传动控制系统相继诞生,多种交流调速技术已经趋于成熟,变频器的控制精确度和动态特性也趋于完善。

近年来,国外变频器市场的增长速度每年都在10%以上,随着我国改革开放的深入、科技和社会的发展,国外的变频器大量涌入国内市场。变频器也越来越广泛地应用于工业生产和日常生活的诸多领域,并已取得了极佳的经济节能效益。

1.1 概述

交流变频器自20世纪60年代左右在西方工业化国家问世以来,到现在已经在我国得到了大面积的普及,并业已形成60亿元以上的年销售规模。根据变频器在不同行业的应用特点,很多厂家都推出了非常新颖的变频器,并将个性化发挥得淋漓尽致。

交流变频调速技术发展至今已有几十年的历史。低压变频器构成的交流调速系统,因其技术上的不断创新,使系统在性能上不断完善,并在电气传动领域挑战直流调速系统,已得到了广泛的应用。现在,变频技术在发达国家已经成熟,随着新的电力电子器件的不断出现,新的变频技术层出不穷,使其得到了更广泛的推广应用。

1.1.1 变频器的产生与发展趋势

直流电动机拖动和交流电动机拖动先后诞生于19世纪,已有100多年的历史,已经成为动力机械的主要驱动装置。但是,由于技术上的原因,在很长一段时间内,需要进行调速控制的拖动系统基本上采用直流电动机。由于换向器的存在,直流电动机的维护量大,单机容量和最高转速受限。因此,直流电动机存在维护保养困难、寿命较短、不适于恶劣环境应用、结构复杂等缺点,在许多场合下,人们希望用可调速的交流电动机来代替直流电动机。于是,在交流调速系统方面展开了大量的研究。

20世纪70年代的能源危机使人们认识到了节能的重要性,促使人们向不调速系统中占很大比重的风机、泵类等负载要能源,世界各国纷纷开始重视交流调速技术,进一步加强了



交流调速技术的研究开发工作。同时,随着电力电子技术、控制理论和数字电子技术的发展,交流变频技术也得到了显著的发展,性能不断提高。

20 世纪初期,可调速传动的电动机在钢铁工业和汽车工业中就获得了广泛的应用。在早期阶段,直流电动机由于其优良的静、动态性能,广泛地用于调速系统。然而,从 20 世纪 60 年代后期开始,交流电动机以其低成本、高可靠性以及环境适应性强等优点,在宽广的工业应用领域正式取代直流电动机。随着电力电子器件和数字控制技术的发展,各种通用的和高性能的交流传动控制系统相继诞生,多种交流调速技术也趋于成熟,运行可靠性已经很高,特别是转子磁场定向的矢量控制系统,通过坐标变换实现了转矩和磁通的解耦,其性能指标已经可以做到与直流调速系统一样,交流变频器应用范围越来越广泛。随着电力电子技术及控制理论的发展,交流调速将逐步取代直流调速。

作为当今的运动控制系统中的功率变换器的变频器,总的发展趋势是:驱动的交流化、功率变换器的高频化、控制的数字化、智能化和网络化。因此,变频器作为系统的重要功率变换部件,提供可控的高性能变压变频的交流电源而得到迅猛发展。

经历大约 30 年的研发与应用实践,变频器的性价比越来越高,体积越来越小,而厂家仍然在不断地提高可靠性以实现变频器的进一步小型轻量化、高性能化和多功能化以及无公害化而做着新的努力。随着技术的进一步发展,变频器的发展和应用也将更为活跃,比如矩阵变频器的出现和推广、网络化配置的变频器将成为主流以及同步电动机的变频应用等。而这些趋势都将推进变频器的进一步普及。

1. 矩阵变频器的出现

PWM 变频器作为应用于各种用途的电力变换器,已得到广泛应用。但另一方面,近几年随着 PWM 变频器的普及,它对周边设备所造成的影响也日益增加,例如由于电源的高次谐波引起的误动作、电源干扰引起的误动作、射频干扰引起的误动作等。同时,它还易造成电动机性能的劣化,例如电动机的冲击电压引起的绝缘老化,电动机的轴电压引起的电动机轴承的损坏等,这些问题都使人们寻求一种真正的环保型变频器。矩阵式交-交变频器就是这样一种变频器,它没有中间直流环节,功率因数为 1,能四象限运行。

由于矩阵式交-交变频器省去了中间直流环节,从而省去了体积大、价格贵的电解电容。它能够实现功率因数为 1,输入电流为正弦且能四象限运行,系统的功率密度大,并能实现轻量化,具有非常诱人的前景。几个主要的传动供应商包括罗克韦尔、西门子等公司都在研究该项技术。“矩阵变换”技术的变频器将会是下一代变频器,但是由于成本太高而无法在目前进行商业化应用。

另外一个吸引点就是矩阵变频器去掉了直流电容,作为有一定寿命的铝电解电容,交-直-交变频器就必须在一定年限要更换电容,如 5~8 年,矩阵变频器才能长时间可靠工作。

矩阵变频器主要用到能够发挥其长处和优点的场合中,如它的处理再生能量功能,应用在起重、电梯、离心机和其他需要连续电动又连续制动发电的场合。当然,它也可以装在这些需要制动,但又没有空间安装制动电阻或者安装电阻会引起意外事故的地方,如酒精厂、化工厂等。另外一个非常有潜力的地方,就是需要有低谐波的应用场合。如在轮船上,就能允许安装更小的发电机组。在一些隔离系统中能降低设备的体积,而省去了类似 12 脉波变频器系统中的额外变压器。

2. 变频器的小型化、多功能化、网络化和无公害化发展

变频器性能的优劣,一要看其输出交流电压的谐波对电动机的影响;二要看对电网的谐波污染和输入功率因数;三要看本身的能量损耗如何。

在变频器主电路的拓扑结构方面,变频器的网侧变流器对低压小容量的装置常采用6脉波变流器,而对中压大容量的装置采用多重化12脉波以上的变流器。负载侧变流器对低压小容量装置常采用两电平的桥式逆变器,而对中压大容量的装置采用多电平逆变器。对于四象限运行的转动,为实现变频器再生能量向电网回馈和节省能量,网侧变流器应为可逆变流器,同时出现了功率可双向流动的双PWM变频器,对网侧变流器加以适当控制可使输入电流接近正弦波,减少对电网的公害。

脉宽调制变压变频器的控制方法可以采用正弦波脉宽调制控制、消除指定次数谐波的PWM控制、电流跟踪控制、电压空间矢量控制(磁链跟踪控制)。

交流电动机变频调整控制方法的进展主要体现在由标量控制向高动态性能的矢量控制与直接转矩控制(Direct Torque Control, DTC)发展,和开发无速度传感器的矢量控制和直接转矩控制系统方面。

微处理器的发展使数字控制成为现代控制器的发展方向。运动控制系统是快速系统,特别是交流电动机高性能的控制需要存储多种数据和快速实时处理大量信息。近几年来,国外各大公司纷纷推出以DSP(数字信号处理器)为基础的内核,配以电动机控制所需的外围功能电路,集成在单一芯片内的称为DSP单片电动机控制器,价格大大降低,体积缩小,结构紧凑,使用便捷,可靠性提高。DSP和普通的单片机相比,处理数字运算能力增强了10~15倍,可确保系统有更优越的控制性能。数字控制使硬件简化,柔性的控制算法使控制具有很大的灵活性,可实现复杂的控制规律,使现代控制理论在运动控制系统中应用成为现实,易于与上层系统连接进行数据传输,便于故障诊断、加强保护和监视功能,使系统智能化(如有些变频器具有自调整功能)。

变频器的网络化配置主要基于3个层面:设备层、控制层和信息层。其中变频器作为执行器,可以配接最基本的RS232/RS485串行通信协议、PROFIBUS等现场总线协议以及局域网协议。针对不同的控制系统和不同的用户要求,配置和选用不同的网络协议。

网络化配置的变频器具有高精度的频率设定、远程控制与工厂信息化的基本要素以及远程诊断系统的特点。通过网络设定频率是一种高精度的频率设定,其具有通信速率高,稳定可靠,接线简单等优点,而且在模拟量控制时,输出端经过一个数/模转换器,经过导线,进入输入端(变频器)又经过一个模/数转换器才能参与控制。两个转换器位数不同和导线损耗都可能造成一定误差,而通信传递直接是数字量,不需要转换,没有误差,在传输过程中不会造成损耗,而且响应速度率也会很高。

变频器经常被用于系统复杂、工作环境恶劣、高负荷、长时间运行的工况中,如无人值守泵站、油田抽油机等,变频器故障率在这种环境中自然比较高,一般都采取事后维修的方式进行,随着电子技术的发展,传统的维修方式将变为故障预报和整机在线维修。因此,有必要对其实现在线工作状态的监测以及对常规故障机理进行综合分析研究,以便对其故障的事先诊断分析。目前大功率变频器的故障诊断、远程监控系统及智能控制方面取得了较大进展,并已经投入实际运行。

在网络化日益普及的今天,对普通的点对点硬线连接方式而言,通过高速通信连接的变



变频器系统可以最大程度上降低系统维护时间、提高生产效率、减少运行成本。目前安装的现场总线模块有 PROFIBUS-DP、Interbus、DeviceNet、CANOpen 和 ModbusPlus 等。用户可以有更大的自由根据生产过程来选择 PLC 型号和品牌,并非常简单地集成到现有的网络中去。而且通过现场总线模块可以不考虑变频器的型号,而以同一种语言来与不同功率段、不同型号的变频器进行组构,如功率、速度、转矩、电流、设定值等。

由于采用了通信方式,可以通过 PC 来方便地进行组态和系统维护,包括上传、下载、复制、监控、参数读写等。

工业控制网络作为工业企业综合自动化系统的基础,现今推出的变频器具有极其灵活的通信功能,通过总线不仅可在变频器之间进行通信,还可与 PLC 或上一级自动化系统进行通信,如西门子 SIMOVERT MASTERDRIVES 安装通信模块后,即可通过 PROFIBUS-DP 以 12Mbit/s 的速率,或 CAN 总线与更高级别的系统或与其他变频传动装置通信。通过一个高水平的、用户友好的界面,变频器的所有参数都可形象化地显示、设定、处理,也可进行诊断操作以及实现在线或离线操作等。

此外,随着变频器的进一步推广和应用,用户也在不断提出各种新的要求,促使变频器功能多样化。

近年来,人们对环境问题非常重视,并出现了“绿色产品”的名称,因此,也必须考虑变频器对周围环境的影响。在变频器的推广和应用初期,噪声问题曾经是一个比较大的问题,随着 IGBT 的低噪声变频器的出现,噪声问题基本上得到了解决。通过在变频器中采用 PWM 整流电路,基本上解决了变频器本身造成的谐波,防止影响接于同一电源上的其他设备。随着变频技术的发展以及人们对环境问题的重视,变频器对周围环境的影响可以不断减少,无公害化变频器的推出已经成为大势所趋。

3. 向伺服系统发展

在电气传动领域,综合利用各种控制技术和控制方法,可有效地完成各种复杂的自动化控制任务。由于生产工艺发展的需要,要求控制精度更高、速度更快、定位更准,通用变频器已经不能完全满足工艺的要求了,这就促进了变频器向伺服系统的发展。许多变频器厂家都生产了伺服系统,德国路斯特(LUST)公司推出的伺服驱动系统不仅控制精度高,而且容量大。异步电动机伺服驱动系统的容量为 370W ~ 90kW;同步电动机伺服驱动的电流为 2 ~ 170A,这都是目前可以见到的最大容量的伺服系统。

4. 同步电动机的配合应用

交流同步电动机已成为交流可调速传动中的一颗新星,特别是永磁同步电动机,电动机是无刷结构,功率因数高,效率也高,转子转速严格与电源频率保持同步。同步电动机变频调速系统有他控变频和自控变频两大类,自控变频同步电动机在原理上和直流电动机极为相似,用电力电子变流器取代了直流电动机的机械换向器,如采用交-直-交变压变频器时叫做“直流无换向器电动机”或称“无刷直流电动机”。传统的自控变频同步机调速系统有转子位置传感器,现正开发无转子位置传感器的系统,且已经取得重大进步并已在市场成功应用。同步电动机的他控变频方式也可采用矢量控制,其按转子磁场定向的矢量控制方式比异步电动机简单。

现在以 ABB 公司应用在造纸同步电动机上的变频应用为例来说明。

ABB 公司有着 100 多年从事纸机传动系统设计和供应的历史,从最初的长轴传动,到



20 世纪 60 年代的直流分部传动, 然后再到 1983 年的世界第一个纸机工业的交流分部传动, 最后在 1999 年在芬兰一家造纸厂应用了一个新的纸机传动系统, 即采用同步电动机的直接变频传动。其后, ABB 公司非常顺利而且成功地在纸机工业规模化应用了同步变频系统。

传统的系统(包括直流或异步交流电动机)都是通过减速箱与电动机相连, 最后与纸机传动部分连接; 而在同步变频传动中, 电动机是直接耦合到纸机传动部分的, 取消了中间环节。

在 ABB 系统中, 传动系统通常是由 ACS600 变频器组成的, 其硬件组成是与传统的交流异步传动一致的, 而软件的设计则是专用的永磁电动机(同步电动机的一种)驱动软件。同步电动机允许在纸机上采用无编码器的运行方式。传动部分的控制系统、应用软件以及人机界面的控制这几部分都是跟 ABB 公司在纸机上的解决方案一致。因此, 直接传动能与其他 ABB 公司传动方案同时并列运行, 而且 ACS600 变频器无须更换就可以升级到新的直接传动系统上。

采用同步电动机的最有效特点:

- 1) 大大降低电动机尺寸;
- 2) 高效率的转矩输出;
- 3) 无编码器运行。

目前大多数的纸机需要安装速度编码器来反馈电动机转速, 而且编码器也被证明是可靠的。但是安装的编码器由于是采用轴承, 需要常规定期性地维护保养和润滑, 在一个大型的纸机(如 50 个传动)上每隔一定的周期还必须更换所有的编码器以防止意外的由编码器故障引起的纸机停机。从这个层面上来说, 无编码器的运行自然是同步电动机直接传动的一个优点和着眼点。

电动机的实际速度是需要同时反馈和监测的, 一个计算电动机速度的新方法已经在 ACS DTC 得到了发展和应用。将 ABB 公司传统的交流传动纸机改造成一个直接传动的纸机系统是非常简单的, 造纸厂需要购买新的直接传动部分的电动机, 同时将 ABB 公司的常规变频器 ACS600 通过下载 PM-DTC 软件来升级, 而且新的直接传动的系统可以与现有的交流或直流传动同时正常运行。总而言之, 用户将从直接传动中获益。

当然, 在其他行业如纺织、电梯等行业同步电动机的变频系统也取得了卓有成效的推广。

我们知道, 同步变频系统在硬件上并无太大区别, 甚至可以直接使用, 而软件上就必须采用新的控制思路, 矢量控制是一种控制永磁同步电动机的实用而有效的方法。随着技术的进一步发展, 变频器的发展和应用也将呈现更为活跃的现象, 比如矩阵变频器的出现和推广、网络化配置的变频器将成为主流以及同步电动机的变频应用等, 而这些趋势都将推进变频器的进一步普及。

1.1.2 变频技术的概况

自 20 世纪 70 年代变频器问世以来, 经过近半个世纪的研究, 变频技术从晶闸管(SCR)发展到今天的大功率晶体管(IGBT、IGCT)和耐高压大功率晶体管(HV-IGBT), 控制技术也发展到今天的矢量控制和直接转矩控制, 且已全数字化, 其机械特性硬度能满足具有一定硬性负载的调速要求。



IGBT、IGCT（集成门极换流晶闸管）等新型电力电子器件的发展、DSP（数字信号处理器）和 ASIC（Application Specific Integrated Circuit，专用集成电路）的快速发展以及新颖控制理论和技术（如磁场定向矢量控制、直接转矩控制等）的完善，使变频调速系统在调速范围、调速精度、动态响应、功率因数、运行效率和使用方便等性能指标都超过了直流调速系统，受到各行各业的欢迎并取得显著的经济效益。

此后的 20 多年中，电力电子技术和微电子技术以惊人的速度向前发展，变频调速传动技术也随之取得了日新月异的进步。这种进步，突出表现在变频装置的大容量化、主开关器件的自关断化、开关模式的 PWM 化及控制方式的全数字化等方面。

在经过大约 30 年的发展后，交流调速电气传动已经成为电气调速传动的主流。目前，从数百瓦级的家用电器到数千瓦级乃至数万瓦级的调速传动装置，可以说无所不包地都可以用交流调速传动方式来实现。交流调速传动的应用范围已经从最初的只能用于风机、泵类的调速过渡到要求具有高精度、快响应等高性能指标的调速控制。从性价比的角度看，交流调速装置已经优于直流调速装置。现在人们所说的交流调速传动，主要是指采用电力电子变换器对交流电动机的变频调速传动。由于交流调速系统不断显示出本身的优越性和巨大的社会效益，所以使得变频器——交流电动机调速系统具有越来越旺盛的生命力。

现今交流变频调速传动装置已经具有很好的运行特性，并且可以将现场与自动化级连接在一起，应用更灵活，通信更自由，对供电系统也可实现无干扰，应用范围几乎涉及到整个工业领域。

交-交变频是早期变频的主要形式，适应于低转速大容量的电动机负载。交-直-交变频采用了多种拓扑结构，其发展较早，技术也比较成熟，所以目前仍广泛应用。随着中压变频技术的发展，特别是新型大功率可关断器件的研制成功，直接中压变频方式，有着广阔的发展前景。

1.1.3 变频技术的发展

变频技术的迅速发展是建立在电力电子技术的创新、电力电子器件及材料的开发及器件制造工艺水平提高基础之上的，尤其是高压大容量绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、集成门极换流晶闸管（IGCT）器件的成功开发，使大功率变频技术得以迅速发展，性能日益完善。由于变频器使用领域不断扩大，其所采用的技术也不断拓宽。

1. 电力电子器件的发展

电力电子器件作为现代化交流调速装置的支柱，其发展直接决定和影响交流调速的发展。电力电子器件的发展表现在器件的成功开发，如 GTR、GTO、SCR、IGBT、IGCT 及 IEGT，而且朝着高压大功率化、高频化、模块化、智能化发展。理想的功率器件见表 1-1。

表 1-1 理想的功率器件特性

名 称	Thyristor/SCR	GTO	IGCT	HV-IGBT
特 性				
内部损耗低	低	高	中等	低
开关控制简单	复杂	中等	中等	简单

(续)

特 性 \ 名 称	Thyristor/SCR	GTO	IGCT	HV-IGBT
开关频率	低	中等	高	高
浪涌等级	高	中等	中等	中等
额定电流电压	高	高	高	中等
内部损耗	低	高	中等	低

20 世纪 80 年代中期以前,变频装置功率回路主要采用第一代电力电子器件,以晶闸管为主,这种装置的效率、可靠性、成本、体积均无法与同容量的直流调速装置相比。80 年代中期以后采用第二代电力电子器件如 GTR、GTO、VDMOS & IGBT 等制造的变频装置在性价比上可以与直流调速装置相媲美。随着向大电流、高电压、高频化、集成化、模块化方向继续发展,第三代电力电子器件是 20 世纪 90 年代制造变频装置的主流产品,中小功率的变频调速装置(1~1000kW)主要采用 IGBT,大功率的变频调速装置(100~10000kW)采用 GTO。20 世纪 90 年代末,电力电子器件的发展进入了第四代,如高压 IGBT、IGCT、IEGT、SGCT、智能功率模块(IPM)等。

变频器的逆变器普遍采用大功率场效应晶体管(MOSET)、功率晶体管(GTR)、门极关断(GTO)晶闸管等的自关断器件,其中 GTR 应用最为普遍。但是在调制策略发展和要求逆变器输出谐波分量更小的情况下,必须提高开关频率,为此,GTR 满足不了这个要求,于是开发出了一种新器件——IGBT。IGBT 的全称是绝缘栅双极型晶体管,是一种把 MOSET 与 GTR 巧妙结合在一起的电压型双极/MOS 复合器件,IGBT 具有输入阻抗高、开关速度快、元器件损耗小、驱动电路简单、驱动功率小、极限温度高、热阻小、饱和压降和电阻低、电流容量大、抗浪涌能力强、安全区宽、并联容易、稳定可靠及模块化等一系列优点,是一种极理想的开关器件。目前,2400A 电流、3300V 电压、40kHz 开关频率的 IGBT 已在小、中、大功率范围内使用。IGBT 不仅用于 500V 以下低压变频器,还可以用于 1000V 以上高压变频器以驱动高压电动机。此类中压、高压变频器采用多电平逆变器输出高压,也可用变压器降压-低压变频器-变压器升压的方式。由于 IGBT 具有性能较好的优势,预计近十年内不会被新开发的器件所取代。

目前,在交流电动机的传动控制中应用最多的功率开关器件是 IGBT 和(IPM),它们集 GTR 的低饱和电压特性和 MOSFET 的高频开关特性于一体。IGBT 于 1992 年前后在变频器中得到应用,并持续向开关损耗更低、开关速度更快、耐压更高、容量更大的方向发展。IPM 内包含了 IGBT 芯片及外围的驱动电路和保护电路,有的还集成了霍尔传感器和光耦合器。因此 IPM 是一种高度集成型功率开关器件。目前,模块的最大额定电流可达 60A,小型变频装置中基本上采用 IPM 作为主电路,采用 IPM 后的变频器的综合性能大大提高,其性价比已超过 IGBT,有很好的经济性。

当今交流变频传动装置大多采用正弦脉冲宽度调制(Sin Pulse Width Module, SPWM)方法,即三相交流经整流和电容滤波后,形成恒定幅值的直流电压,加在逆变器上,逆变器的功率开关器件按一定规律控制其导通和断开,使输出端获得一系列宽度不等的矩形脉冲电压波形。如改变脉冲宽度即可控制逆变器输出交流基波电压的幅值;改变调制周期即可控制