



全国高等职业教育“十二五”规划教材
中国电子教育学会推荐教材
全国高等职业院校规划教材·精品与示范系列

变频器技术及应用

◎ 陈志红 主编

◎ 马玉国 副主编 ◎ 殷建国 主审

变频器广泛应用于工业领域

变频调速技术

变频器应用与维护

PLC与变频器联机应用技能

已成为行业就业利器



- ◆ 以培养变频调速系统设计、安装、调试、维护等综合能力为核心
- ◆ 结合企业实践需求和自动化领域新知识，引入可编程控制器、传感器等
- ◆ 注重变频器操作与调速系统设计、安装等技能训练，提供20个实践项目
- ◆ 为教学方便，本书配有免费的电子教学课件、习题参考答案等



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

全国高等职业教育“十二五”规划教材
中国电子教育学会推荐教材
全国高等职业院校规划教材·精品与示范系列

变频器技术及应用

陈志红 主 编

马玉国 副主编

殷建国 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书根据教育部最新的职业教育教学改革要求,结合国家示范专业建设课程改革成果及作者多年的教学经验进行编写。全书以行业广泛使用的西门子 MM440 系列变频器为主线,系统而全面地介绍变频器的基本原理与实际应用知识,全书分为 7 章。第 1 章讲述变频器的发展与应用情况;第 2 章讲述变频器的基本功能及工作原理;第 3 章讲述变频器的基本操作;第 4 章讲述变频器的优化特性设置;第 5 章讲述变频器在调速系统中的应用;第 6 章讲述变频器的选择与维护;第 7 章介绍 S7-200 PLC 的基本应用。本书编写突出技术的先进性和知识的综合性,强调理论联系实际,重在应用技能训练。

本书为高等职业本专科院校相应课程的教材,也可作为开放大学、成人教育、自学考试、中职学校和培训班的教材,以及自动化技术人员的参考书。

本书配有电子教学课件、习题参考答案等,详见前言。

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

变频器技术及应用 / 陈志红主编. —北京:电子工业出版社, 2015.8

全国高等职业院校规划教材·精品与示范系列

ISBN 978-7-121-26403-0

I. ①变… II. ①陈… 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(2015)第 138290 号

策划编辑:陈健德(E-mail: chenjd@phei.com.cn)

责任编辑:康霞

印刷:三河市鑫金马印装有限公司

装订:三河市鑫金马印装有限公司

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:787×1 092 1/16 印张:16.5 字数:422.4 千字

版次:2015 年 8 月第 1 版

印次:2015 年 8 月第 1 次印刷

定价:39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,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 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

职业教育 继往开来 (序)

自我国经济在 21 世纪快速发展以来, 各行各业都取得了前所未有的进步。随着我国工业生产规模的扩大和经济发展水平的提高, 教育行业受到了各方面的重视。尤其对高等职业教育来说, 近几年在教育部和财政部实施的国家示范性院校建设政策鼓舞下, 高职院校以服务为宗旨、以就业为导向, 开展工学结合与校企合作, 进行了较大范围的专业建设和课程改革, 涌现出一批示范专业和精品课程。高职教育在为区域经济建设服务的前提下, 逐步加大校内生产性实训比例, 引入企业参与教学过程和质量评价。在这种开放式人才培养模式下, 教学以育人为目标, 以掌握知识和技能为根本, 克服了以学科体系进行教学的缺点和不足, 为学生的顶岗实习和顺利就业创造了条件。

中国电子教育学会立足于电子行业企事业单位, 为行业教育事业的改革和发展, 为实施“科教兴国”战略做了许多工作。电子工业出版社作为职业教育教材出版大社, 具有优秀的编辑人才队伍和丰富的职业教育教材出版经验, 有义务和能力与广大的高职院校密切合作, 参与创新职业教育的新方法, 出版反映最新教学改革成果的新教材。中国电子教育学会经常与电子工业出版社开展交流与合作, 在职业教育新的教学模式下, 将共同为培养符合当今社会需要的、合格的职业技能人才而提供优质服务。

近期由电子工业出版社组织策划和编辑出版的“全国高等职业教育规划教材·精品与示范系列”, 具有以下几个突出特点, 特向全国的职业教育院校进行推荐。

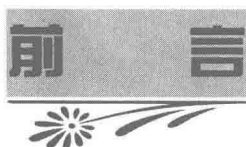
(1) 本系列教材的课程研究专家和作者主要来自于教育部和各省市评审通过的多所示范院校。他们对教育部倡导的职业教育教学改革精神理解得透彻准确, 并且具有多年的职业教育教学经验及工学结合、校企合作经验, 能够准确地对职业教育相关专业的知识点和技能点进行横向与纵向设计, 能够把握创新型教材的出版方向。

(2) 本系列教材的编写以多所示范院校的课程改革成果为基础, 体现重点突出、实用为主、够用为度的原则, 采用项目驱动的教学方式。学习任务主要以本行业工作岗位群中的典型实例提炼后进行设置, 项目实例较多, 应用范围较广, 图片数量较大, 还引入了一些经验性的公式、表格等, 文字叙述浅显易懂。增强了教学过程的互动性与趣味性, 对全国许多职业教育院校具有较大的适用性, 同时对企业技术人员具有可参考性。

(3) 根据职业教育的特点, 本系列教材在全国独创性地提出“职业导航、教学导航、知识分布网络、知识梳理与总结”及“封面重点知识”等内容, 有利于老师选择合适的教材并有重点地开展教学过程, 也有利于学生了解该教材相关的职业特点和对教材内容进行高效率的学习与总结。

(4) 根据每门课程的内容特点, 为方便教学过程对教材配备相应的电子教学课件、习题答案与指导、教学素材资源、程序源代码、教学网站支持等立体化教学资源。

职业教育要不断进行改革, 创新型教材建设是一项长期而艰巨的任务。为了使职业教育能够更好地为区域经济和企业服务, 殷切希望高职高专院校的各位职教专家和老师提出建议和撰写精品教材 (联系邮箱: chenjd@phei.com.cn, 电话: 010-88254585), 共同为我国的职业教育发展尽自己的责任与义务!



变频器是一种交流调速装置，以其优异的调速和启/制动性能、高功率因数和节电效果而被国内外公认为是最有发展前途的调速方式，成为当今节电、改善工艺流程、提高产品质量、改善环境、推动技术进步的有效手段，广泛应用于工业自动化的各个领域。变频器的相关课程也已成为应用型本科和高职高专院校多个专业的必修课程。

本课程是一门实践性较强的综合性课程，通过本课程的理论与实践教学，能够使学生掌握变频调速技术、变频器的应用与维护、PLC 与变频器的联机应用等多学科的基本知识与技能，具备变频调速系统的设计、安装、调试、维护等综合应用能力。全书以行业广泛使用的西门子 MM440 系列变频器为主线，系统而全面地介绍变频器的基本原理与实际应用知识。

本书在编写过程中力求反映以下特点。

(1) 本书编写兼顾了理论知识与实践技能两个方面，贯彻“理论够用，实践为重”的原则，坚持以培养学生的实践能力为根本，做到了详略得当，重点突出，符合高等职业教育的培养目标与学生实际学习的特点。

(2) 以技术应用为中心，增设知识拓展模块，强化理论知识学习与技术应用能力的培养，在理解知识的深度和广度上对正常教学内容予以恰当补充，以便学生能够更深刻地理解变频器，能够将本门课程与其他学科知识进行整合，有利于提高学生的可持续发展能力。

(3) 内容上突出新知识、新技能，涉及可编程序控制器、传感器等现代工业自动化领域的主要内容，有意识地引导学生将所学单科知识进行整合运用，既开阔学生的视野，又拓宽学生的知识面。

(4) 以变频器的实际工程应用为出发点，从系统描述、系统分析、方案设计、硬件设计、PLC 控制程序、变频器主要参数等几个角度详细介绍变频器在冶金、机械、水处理、加工制造等行业的典型综合应用，侧重学生工程意识的培养，以便就业后能够尽早进入工作状态。

本书由大连职业技术学院陈志红担任主编，并编写其中的前言、第 1、3~6 章；马玉国担任副主编，并编写第 2 章；谢斌、王翔、朱建红共同编写第 7 章，大连交通大学学生陈宇辰、大连职业技术学院学生刘观华参与本书的部分录入工作。本书由大连职业技术学院殷建国教授进行主审，对本书的内容构建提出了许多宝贵意见和建议；本书在

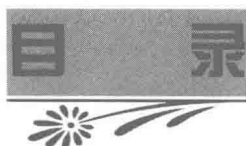
编写过程中参考了有关的书籍和研究成果,以及部分变频器制造商提供的产品资料,并引用其中的部分内容,在此一并表示感谢。

由于时间和编者水平所限,书中不当之处在所难免,敬请广大读者提出宝贵意见。

为了方便教师教学,本书还配有免费的电子教学课件、习题参考答案,请有此需要的教师登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)免费注册后进行下载,有问题时请在网站留言或与电子工业出版社联系(E-mail:hxedu@phei.com.cn)。

编 者





第 1 章 变频器的的发展与应用情况	(1)
学习目标	(1)
技能目标	(1)
1.1 变频器的发展历程	(2)
1.2 变频器的技术特点	(3)
1.3 变频器的发展趋势	(4)
1.4 变频器的应用领域	(7)
1.5 我国变频器的市场状况	(9)
习题 1	(11)
第 2 章 变频器的基本功能及工作原理	(12)
学习目标	(12)
技能目标	(12)
2.1 变频器的控制目标与工作原理	(13)
2.1.1 变频器的组成元件	(13)
2.1.2 变频器的控制目标	(15)
2.1.3 变频器的工作原理	(20)
2.2 变频器的分类	(20)
2.3 变频器的基本构成及工作原理	(24)
2.4 变频器的控制方式	(26)
2.4.1 U/f 控制	(26)
2.4.2 转差频率控制	(28)
2.4.3 矢量控制	(29)
2.4.4 直接转矩控制	(30)
2.4.5 变频器控制的发展方向	(31)
2.5 变频器的基本功能	(32)
习题 2	(34)
第 3 章 变频器的基本操作	(35)
学习目标	(35)
技能目标	(35)
3.1 变频器的基本功能与技术规格	(36)
3.2 变频器的运行环境与安装方法	(38)
3.2.1 变频器的设置环境	(38)
3.2.2 变频器的机械安装	(40)

3.2.3 变频器的电气安装	(43)
实践 1 变频器的拆装与配线	(50)
3.3 变频器的调试	(52)
3.3.1 变频器的调试方式	(52)
3.3.2 BOP 面板的基本操作	(54)
实践 2 利用 BOP 面板设置参数	(56)
实践 3 BOP 键盘面板的基本使用	(60)
3.3.3 MM440 变频器的调试过程	(62)
实践 4 MM440 变频器的快速调试	(74)
3.4 变频器的命令给定方式	(76)
3.4.1 通用变频器的命令给定方式	(76)
3.4.2 MM440 变频器的命令给定方式	(77)
实践 5 利用外端子控制变频器的运行	(78)
3.5 变频器的频率给定方式	(80)
3.5.1 频率给定的方式与选择	(80)
3.5.2 MM440 变频器的频率给定方式	(82)
实践 6 MM440 变频器运行频率的给定	(84)
实践 7 变频器的组合运行操作	(85)
3.6 频率给定线的设定及调整	(87)
3.6.1 频率给定线的概念	(87)
3.6.2 频率给定线的调整	(87)
3.6.3 模拟量给定的正/反转控制	(91)
3.6.4 MM440 变频器频率给定线的调整	(92)
实践 8 变频器的频率调整操作	(93)
3.7 MM440 变频器的多段速功能	(95)
实践 9 变频器的多段速运行操作	(98)
习题 3	(100)
第 4 章 变频器的优化特性设置	(103)
学习目标	(103)
技能目标	(103)
4.1 变频器的优化特性	(104)
4.1.1 失速防止功能	(104)
4.1.2 自寻速跟踪功能	(105)
4.1.3 瞬时停电再启动功能	(105)
4.1.4 节能特性	(105)
4.1.5 电动机参数的自动调整	(106)
4.1.6 变频和工频的切换	(106)
4.1.7 PID 控制功能	(107)
4.1.8 变频器的保护功能	(107)

4.2 变频器的变频-工频切换控制	(108)
4.2.1 变频-工频的切换方式与特点	(108)
4.2.2 变频-工频的故障切换	(109)
4.2.3 MM440 变频器开关量输出功能	(112)
实践 10 MM440 变频器变频-工频的切换运行	(112)
4.3 变频器的 PID 闭环控制	(113)
4.3.1 PID 控制原理	(113)
4.3.2 PID 控制功能的预置	(116)
4.3.3 MM440 变频器 PID 的控制实现	(119)
实践 11 MM440 变频器的 PID 控制运行	(120)
习题 4	(124)
第 5 章 变频器在调速系统中的应用	(125)
学习目标	(125)
技能目标	(125)
5.1 PLC 与变频器的连接	(126)
5.1.1 数字信号的连接	(126)
5.1.2 模拟信号的连接	(131)
5.1.3 通信连接	(132)
实践 12 PLC 与变频器联机控制电动机的正/反转	(133)
实践 13 PLC 与变频器联机控制电动机的延时启动	(136)
实践 14 PLC 与变频器联机控制电动机的多段速运行 (一)	(137)
实践 15 PLC 与变频器联机控制电动机的多段速运行 (二)	(138)
5.2 变频调速控制系统的设计	(139)
5.2.1 变频调速系统的设计原则	(139)
5.2.2 变频调速系统设计的主要内容和步骤	(140)
5.3 变频调速控制系统的调试	(143)
5.3.1 模拟调试	(144)
5.3.2 现场调试	(144)
5.4 变频器在恒压供水系统中的应用	(145)
5.4.1 恒压供水系统的工作原理与控制方式	(145)
5.4.2 恒压供水系统分析	(147)
5.4.3 恒压供水系统设计	(147)
实践 16 恒压供水控制系统的模拟实现	(152)
5.5 变频器在高炉卷扬机中的应用	(153)
5.5.1 高炉卷扬机的形式与控制要求	(153)
5.5.2 高炉卷扬机系统分析	(154)
5.5.3 高炉卷扬上料系统设计	(154)
实践 17 高炉卷扬上料系统的模拟实现	(158)
5.6 变频器在冷却塔风机控制中的应用	(158)

5.6.1	风机、泵的特性与节能原理	(159)
5.6.2	风机实现变频调速的要点	(160)
5.6.3	冷却塔风机控制系统分析	(161)
5.6.4	冷却塔风机控制系统设计	(162)
实践 18	冷却塔风机控制系统的模拟实现	(165)
5.7	变频器在龙门刨床控制系统中的应用	(166)
5.7.1	龙门刨床的自动化改造	(166)
5.7.2	龙门刨床主拖动系统分析	(167)
5.7.3	龙门刨床主拖动系统设计	(168)
实践 19	龙门刨床控制系统的模拟实现	(170)
5.8	变频器在自动装箱生产线上的应用	(171)
5.8.1	自动化生产线系统设计要点	(172)
5.8.2	自动装箱生产线控制系统分析	(173)
5.8.3	自动装箱生产线控制系统设计	(174)
实践 20	自动装箱生产线控制系统的模拟实现	(182)
习题 5		(184)
第 6 章	变频器的选择与维护	(185)
	学习目标	(185)
	技能目标	(185)
6.1	变频器的选择	(186)
6.1.1	变频器的类型选择	(186)
6.1.2	变频器的容量选择	(190)
6.2	变频器外围设备的选择	(193)
6.2.1	断路器	(194)
6.2.2	接触器	(195)
6.2.3	输入交流电抗器	(195)
6.2.4	无线电噪声滤波器	(196)
6.2.5	制动电阻及制动单元	(196)
6.2.6	直流电抗器	(198)
6.2.7	输出交流电抗器	(198)
6.3	变频器的干扰及抑制	(198)
6.3.1	外部对变频器的干扰	(198)
6.3.2	变频器对外部的干扰	(199)
6.3.3	变频调速系统的抗干扰措施	(201)
6.4	变频器的维护	(205)
6.5	变频器的常见故障及处理	(207)
6.5.1	变频器常见故障及处理办法	(207)
6.5.2	MM440 变频器常见故障及报警信息	(210)
习题 6		(218)

第7章 S7-200 PLC 的简单应用.....	(219)
学习目标.....	(219)
技能目标.....	(219)
7.1 PLC 的基本知识.....	(220)
7.2 S7-200 PLC 的硬件构成与性能指标.....	(224)
7.2.1 S7-200 CPU 模块.....	(224)
7.2.2 S7-200 CPU 的技术指标.....	(225)
7.2.3 CPU 模块接线方式.....	(226)
7.3 S7-200 PLC 的数据存储区及寻址方式.....	(227)
7.3.1 数据存储区.....	(227)
7.3.2 寻址方式.....	(230)
7.4 S7-200 PLC 的基本指令.....	(232)
7.4.1 输入/输出指令.....	(232)
7.4.2 逻辑指令.....	(232)
7.4.3 置位、复位及边沿触发指令.....	(234)
7.4.4 定时器和计数器指令.....	(235)
7.4.5 数据比较指令.....	(238)
7.5 S7-200 PLC 的编程工具软件.....	(239)
7.5.1 STEP7-Micro/WIN 编程软件基本功能.....	(239)
7.5.2 硬件连接与基本设置.....	(239)
7.5.3 STEP7-Micro/WIN 的基本操作.....	(242)
7.6 PLC 的编程规则与技巧.....	(244)
7.6.1 S7-200 PLC 程序结构与编程规则.....	(244)
7.6.2 PLC 的常见电路编程.....	(245)
习题 7.....	(251)
参考文献.....	(252)



第1章 变频器的发展与 应用情况

学习目标

1. 了解变频器的产生及发展趋势;
2. 了解变频器的应用状况;
3. 了解我国变频器的市场状况。

技能目标

1. 会查阅变频器的相关文献;
2. 能够分析比较不同厂家变频器的优缺点;
3. 调查变频器在当地的使用情况。



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、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,国内外变频器市场一直保持快速增长的势头,变频器已经越来越广泛地应用在工业生产和日常生活的诸多领域,取得了极佳的经济节能效益。

1.1 变频器的发展历程

直流电动机拖动和交流电动机拖动先后诞生于 19 世纪,至今已有 100 多年的历史,并已成为动力机械的主要驱动装置。相比较而言,直流调速系统具有良好的调速性能,主要表现在调速范围广、稳定性好,以及过载能力强等技术指标上。直流调速系统调速性能优越,但在结构上直流电动机却存在着不可回避的缺点:

- (1) 需要定期更换电刷和换向器,维护保养困难,寿命较短;
- (2) 由于直流电动机存在换向火花,因此难以应用于存在易燃易爆气体的恶劣环境;
- (3) 结构复杂,难以制造大容量、高转速和高电压的直流电动机,造价昂贵。

与直流电动机相比,交流电动机具有以下优点:

- (1) 结构坚固,工作可靠,易于维护保养;
- (2) 不存在换向火花,可以应用于存在易燃易爆气体的恶劣环境;
- (3) 容易制造出大容量、高转速和高电压的交流电动机。

不难看出,直流电动机在结构上存在着固有的、难以克服的缺点,但调速性能优越,具有较为优良的静/动态性能指标;交流电动机结构简单,造价低,工作可靠,易于维护,但调速性能远不及直流调速系统。因此在相当长的一段时期内,几乎所有不变速拖动系统中采用的都是交流电动机,而在需要进行速度控制的拖动系统中基本上都采用直流电动机。鉴于交流电动机无可比拟的优越性,人们一直希望它的调速性能能够有所改观,以使交流电动机能够应用于任何场合,因此对于交流调速的研究从未停止。交流电动机的调速理论很早就已经确立,但是由于受到电力电子器件和控制手段等多方面因素的制约,20 世纪 70 年代之前交流调速系统的研究开发一直没有取得令人满意的成果,交流调速仍然局限在理论层面,不能真正步入市场,走入实用。当时工业生产中大量使用的诸如风机、泵类等需要进行调速控制的电力拖动系统中不得不采用挡板和阀门来调节风速和流量,这种做法不仅增加了系统的复杂性,也造成了能源的浪费。

经历了 20 世纪 70 年代中期的第 2 次石油危机之后,人们充分认识到节能工作的重要性,并进一步重视和加强了对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发展,性能不断提高,并逐渐进入实用阶段。

20 世纪 60 年代,以晶闸管为基础的电力电子电路得到广泛应用,使得交流电动机变频调速进入实用化。此后的 20 年间,电力电子技术取得了惊人的发展,不断涌现出的各种全控器件(GTO、GTR、P-MOSFET)和复合型器件(IGBT、MCT、IGCT)等为变频器的发展奠定了坚实的硬件基础。

20 世纪 70 年代初,世界上第一款 CPU Intel4004 诞生了,之后出现了以微电子技术为



核心的新兴技术群，开辟了人类历史上的一场现代技术革命。随着微电子技术的发展，交流调速领域开始了以微处理器为核心的数字控制新时代。微处理器的使用使得变频器的运算能力和可靠性得到很大提高，操作设置更加灵活、多样，成本和体积降低。

同期，关于系统辨识、最优控制、离散时间系统和自适应控制等控制理论的发展极大地丰富了现代控制理论的内容，也使得变频器的控制性能逐步走向完善和强大。第一代变频器是 U/f 恒定控制方式，它根据异步电动机等效电路确定的线性 U/f 比进行变频调速。其控制系统结构简单，成本较低，适用于对调速系统性能指标要求不高的场合。第二代变频器采用矢量控制方式，将异步电动机的定子电流空间矢量分解为转矩分量和励磁分量，使得交流调速系统的动态性能和转矩特性得到显著提高，开创了交流传动的新纪元。20 世纪 80 年代，又一种高动态性能的交流变频调速系统——直接转矩控制（DTC）应用于实际并取得成功。与矢量控制相比，直接转矩控制不需要进行坐标变换，并可获得更大的瞬时转矩和极快的动态响应，是继矢量控制之后交流传动控制理论上的又一次飞跃，是一种很有前途的控制技术。

虽然发展变频驱动技术最初的主要目的是为了节能，但是随着电力半导体器件和微处理器性能的不断提高，各种复杂控制技术在变频器技术中的应用，变频驱动技术得到了显著的发展，性能不断提高，应用范围越来越广。目前变频器不但在传统的电力拖动系统中得到广泛应用，而且几乎扩展到了工业生产的所有领域，在空调、洗衣机、电冰箱等家电产品中也得到广泛应用。目前，从数百瓦的家用电器，到数千千瓦级乃至数万千瓦级的调速传动装置，都可以用交流调速传动方式来实现。

几十年的发展，交流调速电气传动已经上升为电气调速传动的主流。在电气调速传动领域，过去由直流电动机占统治地位的局面已经受到猛烈的冲击。交流调速系统不断显示出其本身的优越性和巨大的社会效益，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。可以相信，在不久的将来交流调速电气传动将完全取代直流调速电气传动。

1.2 变频器的技术特点

变频器作为一种面向感应电动机的通用控制装置，与交流主轴驱动器、交流伺服驱动器等专用控制器相比较，有如下明显特点。

1) 多种控制方式兼容

变频器的 U/f 控制、矢量控制与直接转矩控制有各自的特点与应用范围，目前还没有哪一种控制方式可以完全取代其他控制方式。当代变频器一般可以兼容多种控制方式，使用者可以根据实际需要设定相关参数来选择控制方式。

2) 开环/闭环通用

闭环控制可以通过反馈消除误差，提高稳态精度，但同时也会带来系统的稳定性问题。为适应不同的控制要求，当代变频器一般采用开环/闭环通用的结构形式，只要简单地增加闭环接口模块便可以实现闭环控制。

这一结构变换可同时用于 U/f 控制、矢量控制和直接转矩控制。



3) 适应性强、性能低

通用变频器是一种面向普通感应电动机的控制装置,由于其内部兼容了多种控制方式,因而它可实现对各种负载类型、几乎所有交流电动机的控制,并具有 $1:n$ 多电动机控制功能,通用性强,适应面广。但是由于通用变频器的控制模型不确定,增加了控制难度,因此其性能明显低于使用专用电动机的交流主轴与伺服驱动器。

1.3 变频器的发展趋势

变频器自产生至今一直是交流调速系统的研究热点。20 世纪对变频器的研究主要集中在新型电力电子器件的应用、电路拓扑结构的改进与完善,以及控制理论与控制方法的探索上,并且取得了很大的进展,变频器的动态性能与控制精度得到大幅度提高。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,而生产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。

自 21 世纪以来,随着社会的进步、信息技术的普及,以及资源、环境等深层次社会问题的显露,人们在不断提高变频器本身性能的同时,更加注重如何提高变频器的功率因数、节能降耗、降低对电网的公害、改善环境影响,以及它与工业自动化网络的完美结合等系统性问题,高性能化、环保化、网络化已成为当代变频器发展的必然趋势,而这些趋势都将推进变频器的进一步普及。

1. 结构的小型化

变频器结构的小型化要求其功率和控制电路必须具备极高的集成度。主电路中的功率电路的模块化,控制电路采用大规模集成电路和全数字控制技术,结构设计采用平面安装技术,以及冷却技术的发展等一系列措施均促进了变频器结构的小型化。

变频器结构的小型化同时要解决好发热问题,目前主电路中占发热量 50%~70% 的 IGBT 的损耗已大幅度减小。

2. 高性能化和多功能化

随着微电子技术的发展,以微处理器为核心的数字控制已经成为现代控制器的主要发展方向。数字控制具有精度高、存储能力强、运算能力强、稳定可靠等特点,为进一步提高变频器的性能提供了条件。各种控制规律软件化的实施,大规模集成电路微处理器的出现,基于现代控制理论和智能控制思想的矢量控制、转矩控制、模糊控制等高水平控制技术的出现,使变频控制进入一个崭新的阶段。

8 位、16 位 CPU 奠定了通用变频器全数字控制的基础,32 位数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 的应用将通用变频器的性能又提高了一大步,实现了转矩控制,推出了“无跳闸”功能。目前,新型变频器开始采用新的精简指令计算机 (Reduced Instruction Set Computer, RISC),将指令执行时间缩短到纳秒级。据报道,RISC 的运算速度可达 10 亿次/秒,相当于巨型计算机的水平,指令计算时间为纳秒量级,是一般微处理器无法比拟的。有的变频器以 RISC 为核心进行数字控制,可以支持无速度传感器的矢量控制算法、转速估计运算、PID 调节器的在线实时运算等。



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,促使变频器功能的多样化。

为使变频器能够适用于有特殊要求的负载,更好地发挥变频器的独特功能并尽可能地方便用户,出现了针对特殊负载的专用变频器,专用变频器是相对通用变频器而言的。例如,用于电梯的变频器,不仅要求变频器可以在四象限运行,而且要求频率的上升和下降速率呈S形,以使电梯可以平稳地加速和减速,富士公司的FRENIC Lift系列变频器就是电梯专用变频器的一种。针对提升机、恒压供水系统、纺织机、机车牵引等均有专用变频器系列可供用户选择。

3. 环保化

随着人们对环境问题的关注,如何减小变频器对外界环境的影响已成为其未来发展中不容忽视的问题。开发出清洁电能的变频器,尽可能降低网侧和负载的谐波分量,以减小对电网的公害和电动机转矩的脉动,推出真正的无公害变频器已经成为大势所趋。

减小网侧谐波、提高功率因数、节能降噪、缩小体积等是变频器环保化的主要内容。当代变频器的环保化主要体现在改变电路拓扑结构、采用矩阵控制技术、改善PWM控制性能、采用强制水冷等方面。此外,变频器新增的节能控制运行、工频/变频切换等也是为适应环保化的要求而开发的功能。

1) 拓扑结构的改进

在传统“交-直-交”变换、PWM逆变的变频器基础上,拓扑结构的改进目前主要集中在整流侧的12脉冲整流、双PWM变频、逆变侧的三电平逆变技术等。

(1) 12脉冲整流是通过两组三相桥式6脉冲整流电路对相位互差 30° 交流输入电源进行的整流(可以通过 Δ/Y 变压得到),可以抵消整流电路(网侧)上的5, 7, 17, 19, ...次谐波,降低整流谐波与直流纹波。在先进的变频器上已设计有用于12脉冲整流的电路,具备12脉冲整流功能,但中小功率的变频器仍以6脉冲整流为主。

(2) 双PWM变频是指变频器的整流与逆变同时采用PWM控制的拓扑结构。双PWM变频不但解决了变频器能量的双向流动问题,可在不增加附加设备的情况下实现四象限运行与能量回馈制动,同时还可以通过对整流侧的高频正弦波PWM控制,改善输入电流的波形,使得变频器的功率因数接近于1。

(3) 三电平逆变原本是针对高压变流所设计的电路,现已推广到中小容量的通用变频器。三电平逆变的逆变电路的每个桥臂上使用两只串联的IGBT以代替传统的单IGBT,然后利用二极管的电压钳位控制,使每个IGBT所承受的最大电压降低 $1/2$,从而实现了中低压器件对中高电压的控制。中小容量的通用变频器采用三电平逆变可在增加可靠性的同时缩小体积,改善输出电流波形,降低电动机侧的电磁干扰与谐波。当前,在先进的400V/18kW以上变频器已经采用了三电平逆变技术。

2) 矩阵控制变频器

矩阵控制变频器(Matrix Converter)是一种借鉴了传统“交-交”变频方式并融合现代控制技术的新型变频器,它采用了与“交-直-交”PWM控制变频器完全不同的结构形式,可直接将输入的M相交流转换为幅值与频率可变、相位可调的N相交流输出。目前,小容量的矩阵控制变频器产品已经问世,其研究与应用正在日益引起人们的关注。



矩阵控制变频器具有如下优点。

(1) 能够实现能量双向流动, 便于电动机实现四象限运行, 输出电压幅值和频率宽度范围连续可调。

(2) 能够实现单位输入功率因数, 与负载阻抗特性无关, 输入功率因数可任意调节。

(3) 实现功率集成后能够改善变频器内部的电磁兼容性。

(4) 结构简单, 无储能元件, 便于集成, 能量密度大, 传递能量效率高, 是一种极有发展前途的电力环保产品。

由于矩阵式交-交变频器没有中间直流环节, 从而省去了体积大、价格贵的电解电容。它能实现功率因数为 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, 具有非常诱人的发展前景。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。

矩阵控制变频利用现代控制技术解决了传统“交-交”变频存在的输出频率只能低于输入频率的问题, 还可以直接实现从 M 相到 N 相的变换 ($M:N$ 变换), 是一种有着广阔应用前景的新型结构, “矩阵变换”技术的变频器将会是下一代变频器的主流产品。

实现矩阵控制变频当前存在的主要问题不仅是所需功率器件数量众多, 而且需要采用双向器件, 变换控制的难度较大, 电压的传输比较低, 这些都将导致实现成本较高, 无法在目前进行商业化应用。

3) 低噪声控制技术

降低变频器的噪声是变频器环保化的重要内容之一。在变频器推广和应用初期, 噪声问题曾经是一个比较大的问题, 随着 IGBT 低噪声变频器的出现, 噪声问题基本得到解决。

变频器产生的噪声包括电磁干扰与音频干扰(噪声)两大方面: 前者包括空中传播的无线干扰、高频谐波产生的磁干扰、分布电容产生的静电干扰、电路传播的接地干扰等; 后者是影响人类健康的噪声。

传统降低电磁干扰的方法主要有网侧进线与电动机电枢线安装滤波器、采用屏蔽电缆、进行符合要求的接地系统等。为了方便用户使用, 并保证产品能够满足 EMC 规范, 当代变频器已将 EMC 滤波器、零相电抗器等外置器件直接集成于变频器内部, 使得变频器的电磁噪声可限制在 EN61800-3 第 2 类环境的 QP 限值以内。

变频器的 PWM 控制会产生噪声, 研究表明, 人耳对 3~4 kHz 的噪声最敏感, 但对 500 Hz 以下或 8 kHz 以上的噪声反应迟钝, 利用这一特点, 当代变频器一般可以采用柔性 PWM 控制技术 (Soft-PWM), 通过变频器的 PWM 频率自动调整功能来回避敏感区。采用柔性 PWM 控制技术不仅可以降低噪声, 而且还具有限制射频干扰、减小功率损耗、保护功率器件的作用。例如, 当变频器在满负载工作时, 如果 PWM 频率设定过高, 变频器的逆变功率器件损耗将增加, 从而导致发热损坏; 当采用柔性 PWM 控制技术后, 变频器可以根据负载情况 (通常在大于 85% M_e 时) 自动降低 PWM 频率以保护功率器件。

4. 网络化

信息技术发展到了今天, 网络控制已成为所有自动化控制的基本功能之一。与普通的点对点硬线连接方式相比较, 通过网络总线连接, 将变频器作为网络从站纳入现场总线网, 再由主站 (如计算机、PLC、CNC 等) 进行集中、统一控制的变频器系统可以最大限