



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
电子信息、电气控制应用技术培训用书

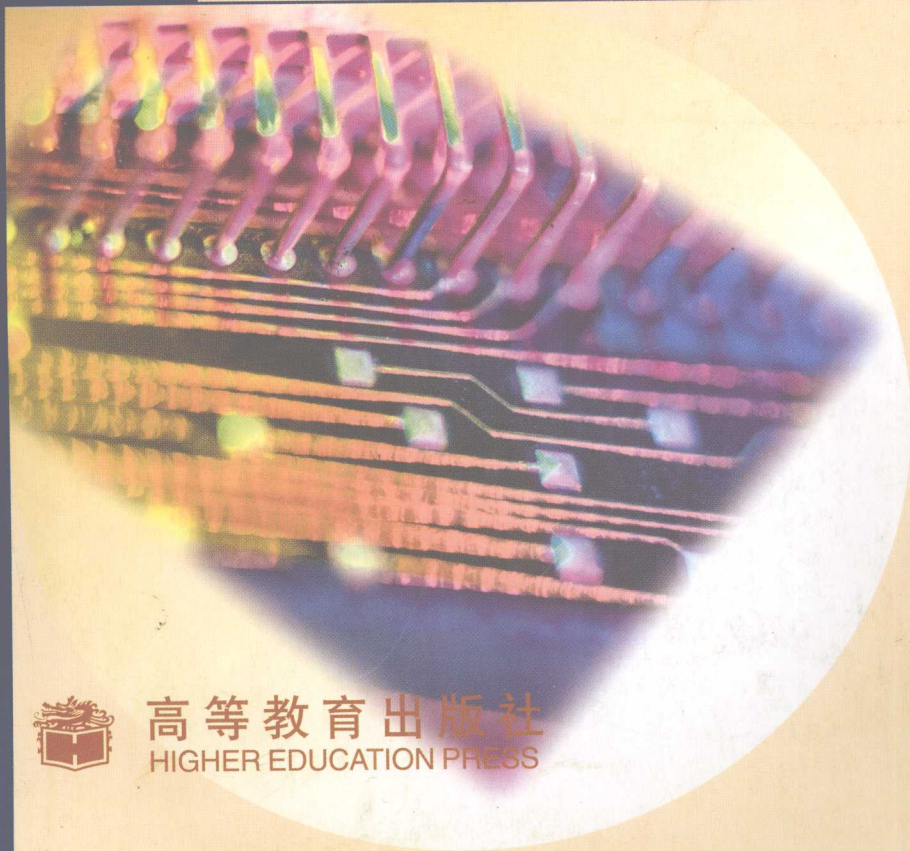
国家信息化
计算机教育认证

CEAC

指定教材

变频器技术

孙传森 钱平 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

24

CD00503270

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
电子信息、电气控制应用技术培训用书

变频器技术

孙传森 钱 平 主编
王廷才 姚锡禄 主审

高等教育出版社

内容提要

本书是电气智能技术应用系列用书,是教育部职业教育与成人教育司推荐教材,并被信息产业部指定为“CEAC 电气智能技术应用工程师”认证专用培训教材。

本书针对 21 世纪对电气智能技术应用型人才的需要编写,重点介绍变频器的综合应用知识,增强变频器技术的应用能力。该书主要内容包括引言、变频器的组成和基本工作原理、变频器的运行、变频器的分类与选型、变频器的维护以及通用变频器的应用。

本书可作为电子信息、电气控制应用技术培训用书、“电气智能技术应用”工程师认证培训教材以及全国职业院校电类专业教学用书,也可供相关工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

变频器技术 / 孙传森, 钱平主编. —北京: 高等教育出版社, 2005. 7(2006 重印)
ISBN 7-04-017044-2

I. 变... II. ①孙... ②钱... III. 变频器 - 教材
IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 050490 号

策划编辑 王卫民 责任编辑 李 刚 封面设计 于 涛 责任绘图 朱 静
版式设计 胡志萍 责任校对 杨雪莲 责任印制 毛斯璐

| | | | |
|------|----------------|------|---|
| 出版发行 | 高等教育出版社 | 购书热线 | 010-58581118 |
| 社 址 | 北京市西城区德外大街 4 号 | 免费咨询 | 800-810-0598 |
| 邮政编码 | 100011 | 网 址 | http://www.hep.edu.cn |
| 总 机 | 010-58581000 | | http://www.hep.com.cn |
| 经 销 | 蓝色畅想图书发行有限公司 | 网上订购 | http://www.landaco.com |
| 印 刷 | 国防工业出版社印刷厂 | | http://www.landaco.com.cn |
| | | 畅想教育 | http://www.widedu.com |
| 开 本 | 787×1092 1/16 | 版 次 | 2005 年 7 月第 1 版 |
| 印 张 | 10 | 印 次 | 2006 年 8 月第 2 次印刷 |
| 字 数 | 230 000 | 定 价 | 19.00 元(含光盘) |

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 17044-00

出版说明

随着电子信息、自动控制技术的发展,特别是计算机技术的广泛应用,电气设备逐渐向智能化方向发展。21世纪,我国工业控制水平逐渐达到了世界发达国家的智能水平,我国工业水平已经迈向了自动化,但能够综合掌握电工、电子、单片机、可编程序控制器(PLC)、变频器、计算机、网络通信等技术的电气智能技术应用型人才十分短缺。多数职业院校目前开设的电工技术、电子技术、电力拖动等课程内容仍较为传统,注重学科体系的理论性与完整性;单片机、PLC、变频器的实践教学环节较为薄弱,与实际生产中的操作与应用结合不够紧密;对新知识、新技术、新工艺、新方法体现不足,职业教育的实践性特色不明显,无法满足工业自动化发展对技能型人才的需要。

为落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,促进国家实施制造业信息化工程和培养、培训技能型人才工程,科学技术、教育、劳动和社会保障部门联合创建了电气智能实验教学公共平台,即以职业技术学院为依托,协调地方(科技局)生产力促进中心,由企业提前介入教学过程,开发学校与企业共建平台。该平台是企业 and 学校紧密合作、共同开发贴近生产实践的教学环境的成果,平台中的电气智能实验教学系统融合了电工、电子、单片机、PLC、变频器等的实训功能,通过平台培训企业员工和培养职业院校的学生,可以深化职业教育改革,推进职业资格证书制度,帮助企业培训生产一线的电气智能技术人才。

结合平台中济南星科公司生产的XK-2001型电气智能实验教学系统,高等教育出版社与济南星科公司共同组织编写了这套电气智能技术应用教材。该套教材包括《电工技术》、《电子技术》、《单片机技术》、《PLC技术》和《变频器技术》5本。教材的开发是“国家发改委2004年度信息化装备专项”、“科技部科技型中小企业创新基金”、“国家级火炬计划”及“国家重点新产品推广计划”支持项目。教材按照《2004—2007年职业教育教材开发编写计划》的有关精神,从全国遴选多年从事职业教育、经验丰富的优秀教师,结合企业生产一线技术人员的实际经验,坚持以就业为导向,以能力为本位的原则进行编写。本套教材为教育部职业教育与成人教育司立项推荐教材,并被信息产业部指定为“CEAC电气智能技术应用工程师”认证专用培训教材。

本套教材的主要特点有:

1. 以“必需”和“够用”为度,采用模块化结构

教材内容打破学科型教学模式,采用模块化结构,以本专业通用部分构筑能力平台,通过灵活的模块化结构来满足不同的能力需求,满足企业员工培训和职业院校学生培养的需求。

2. 了解企业需求,反映企业新技术

教材旨在为国家实施制造业信息化工程培养电气技术应用人才和开展企业职工电气技术应用培训服务,所以在教材编写过程中注意了解企业技术发展动向,教材内容与企业新技术挂钩,力求实现培养培训工作与企业需求的无缝连接。

3. 与电气智能实验教学系统相结合,注重技能的培养

教材内容结合电气智能实验教学系统,注重理论联系实际,把提高学生的职业能力放在突出

的位置,加强实践性教学环节。

4. 配有多媒体光盘

教材配有多媒体光盘,内含电子教案和多媒体演示,形象生动地展现电气智能实验教学系统的模拟、仿真画面,使读者真实感受企业电气操作的信号流程,有利于教师备课和学生独立学习。多媒体光盘的配备也使得没有配置电气智能实验教学系统的企业和职业院校能方便地使用本教材,体现了教材的独立性。

在教材编写过程中得到了中国科学技术协会的大力支持,在此表示谢意。

本套教材的不足之处,敬请广大读者批评指正。

高等教育出版社

2005年3月

前 言

为落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，实施《2003—2007 年教育振兴行动计划》中提出的“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训计划”，高等教育出版社联合研发电气智能教学系统的企业（济南星科公司）组织教育专家、职业教育一线的骨干教师、企业的工程技术人员和培训工程师，编写了一套电气智能技术应用教材。该套教材根据技能型人才培养模式的要求，结合电气智能教学系统，在内容上强调所学知识与实际相结合，着重培养培训企业需求的技能型人才。

进入 21 世纪以来，智能技术发展迅速，它表现在以微处理器为核心的智能控制两大重要应用领域，其一是消费类产品（如洗衣机单片机智能控制），其二是生产类产品（工业设备 PLC 控制）。在生产类产品中，PLC 技术和变频调速技术已成为基本的通用技术。变频调速技术以其精度高、性能好、内部软件齐全、价格低、应用方便等优点替代了直流调速和电磁调速，占据了调速领域的主导地位。变频器与 PLC 通过软件来改变控制过程，具有编程简单、灵敏度高、可靠性高、体积小等特点。因此，被广泛应用于制造业、冶金、矿业、轻工等各个领域，有力地推进了生产力发展，现已成为工业控制的标准设备。

本书是电气智能技术应用系列教材之一，该书结合电气智能实验教学系统，结合实际应用，从解决实际问题角度出发，重点介绍变频器的综合应用知识，增强对变频器技术的应用能力。该书主要内容有变频器的组成和基本工作原理、变频器的运行、变频器的分类与选型、变频器的维护、通用变频器的应用等。

本书按 40 学时的授课内容编写，如果学时紧张，可以不讲 2.3 节、2.4 节。建议学时分配为：第 1 章 2 学时、第 2 章 14 学时（少学时 8 学时）、第 3 章 4 学时、第 4 章 5 学时、第 6 章 5 学时、第 7 章 10 学时（少学时 6 学时）。

本书配有多媒体助学、助教光盘，形象生动地展示了电气智能实验教学系统的模拟、仿真画面，使读者真实感受企业电气操作的信号流程。使用本书有助于改变过去单纯以传授知识为主的教学观念和教学方法，打破传统的授课模式，充分利用现代化的教学手段，使教学内容更加形象、直观。同时，重视实践环节，有利于提高读者对知识的应用能力和创新能力。

本书由孙传森（山东大学）和钱平（上海应用技术学院）任主编，参加本书编写的还有解永辉（潍坊职业学院）、潘效良（潍坊职业学院）、沈志梅（潍坊职业学院）、陶权（广西工业职业技术学院）、黎炜（陕西工业职业技术学院）等，其中解永辉负责编写了第 4 章和第 6 章，参编的有潘效良和沈志梅；陶权负责编写了第 3 章；黎炜负责编写了第 5 章。钱平负责全书的统稿和编写组织工作并编写了其余各章。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在错误和不足之处，恳切希望使用本书的广大读者批评指正。

编 者

2005 年 3 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

| | | | |
|----------------------------------|----|----------------------------|-----|
| 第1章 引言 | 1 | 3.1 变频器的显示和操作 | 61 |
| 1.1 交流调速技术概况 | 1 | 3.1.1 理论基础 | 61 |
| 1.2 电气智能实验教学平台用变频器的主要技术特点 | 3 | 3.1.2 仿真教学思路 | 63 |
| 练习题 | 4 | 3.2 变频器系统主回路和控制回路的连接 | 64 |
| 第2章 变频器的组成和基本工作原理 | 5 | 3.2.1 理论基础 | 64 |
| 2.1 交流电动机的变频调速 | 5 | 3.2.2 仿真教学思路 | 65 |
| 2.1.1 引言 | 5 | 3.3 变频器主要参数的设定 | 66 |
| 2.1.2 变频调速基本原理 | 5 | 3.3.1 理论基础 | 66 |
| 2.1.3 逆变器 | 7 | 3.3.2 仿真教学思路 | 67 |
| 2.2 U/f 变频调速系统 | 12 | 3.4 变频器常用控制方式 | 68 |
| 2.2.1 U/f 控制方式及其机械特性 | 12 | 3.4.1 理论基础 | 68 |
| 2.2.2 U/f 控制系统组成及工作原理 | 15 | 3.4.2 仿真教学思路 | 71 |
| 2.3 矢量变换控制的变频调速系统 | 19 | 第4章 变频器的分类与选型 | 72 |
| 2.3.1 矢量变换控制的基本概念 | 19 | 4.1 变频器的分类 | 72 |
| 2.3.2 矢量变换规律及其实现 | 22 | 4.2 变频器的选型 | 75 |
| 2.3.3 异步电动机模型 | 25 | 4.3 常用国产变频器简介 | 78 |
| 2.3.4 矢量变换控制的变频调速系统 | 28 | 4.3.1 佳灵变频器简介 | 78 |
| 2.4 直接转矩控制(DTC)技术 | 30 | 4.3.2 AMB变频器介绍 | 80 |
| 2.4.1 直接转矩控制原理 | 31 | 4.3.3 科姆龙变频器介绍 | 84 |
| 2.4.2 定子电压矢量与定子磁链 | 32 | 第5章 变频器的维护 | 88 |
| 2.4.3 直接转矩控制(DTC)系统 | 36 | 5.1 变频器维护应具备的基础知识 | 88 |
| 2.5 变压控制在软起动器和轻载降压节能运行中的应用 | 41 | 5.1.1 通用变频器的技术要求 | 88 |
| 2.5.1 软起动器 | 41 | 5.1.2 通用变频器的技术规范 | 91 |
| 2.5.2 轻载降压节能运行 | 42 | 5.1.3 变频器的额定参数 | 91 |
| 2.6 变频调速拖动系统的设计 | 43 | 5.1.4 变频器常用逆变模块介绍 | 93 |
| 2.6.1 设计变频调速拖动系统的基本要求 | 43 | 5.1.5 变频器的试验 | 96 |
| 2.6.2 变频调速时电动机的有效转矩线 | 44 | 5.1.6 变频器的安装和拆卸常识 | 98 |
| 2.6.3 恒转矩负载变频调速系统的设计 | 46 | 5.2 故障诊断 | 99 |
| 2.6.4 恒功率负载变频调速系统的设计 | 51 | 5.3 故障分析 | 100 |
| 2.6.5 平方律负载变频调速系统的设计 | 54 | 5.3.1 参数不能设定 | 101 |
| 练习题 | 56 | 5.3.2 电动机旋转异常 | 101 |
| 第3章 变频器的运行 | 61 | 5.3.3 电动机只能单方向旋转 | 102 |
| | | 5.3.4 电动机旋转方向相反 | 102 |
| | | 5.3.5 电动机加速时间太长 | 102 |

| | | | |
|---------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 5.3.6 电动机减速时间太长 | 102 | 6.3 变频器在旋转门上的应用 | 131 |
| 5.3.7 变频器过热 | 102 | 6.3.1 概述 | 131 |
| 5.3.8 变频器环境温度过高 | 102 | 6.3.2 旋转门系统组成 | 131 |
| 5.3.9 电磁干扰和射频干扰 | 103 | 6.3.3 旋转门系统的主要技术环节 | 133 |
| 5.3.10 漏电断路器动作 | 103 | 6.3.4 安装调试的注意事项 | 133 |
| 5.3.11 变频器运行时的机械设备振动 | 103 | 6.4 变频器在注塑机的应用 | 134 |
| 5.3.12 PID 控制振荡 | 103 | 6.4.1 概述 | 134 |
| 5.4 保养和维护 | 103 | 6.4.2 注塑机采用变频器的工作原理 | 135 |
| 5.4.1 变频器保养和维护的基本常识 | 103 | 6.4.3 油泵变频调速方案的探讨 | 135 |
| 5.4.2 日常维护 | 104 | 6.4.4 ATV 系列变频器在注塑机现场的应用 | 136 |
| 5.4.3 定期维护 | 104 | 6.4.5 对注塑机的正常运行产生干扰 | 137 |
| 5.4.4 定期保养 | 105 | 6.4.6 经注塑机变频节能控制器改造后设备的优点 | 138 |
| 5.4.5 变频器的保修 | 105 | 6.5 变频器在造纸设备中的应用 | 138 |
| 5.5 变频器的特殊异常状态及其对策 | 105 | 6.5.1 概述 | 138 |
| 5.5.1 变频器的跳闸 | 105 | 6.5.2 造纸机传动系统的构成 | 139 |
| 5.5.2 变频器的干扰及其防止 | 107 | 6.5.3 造纸中的变频控制 | 139 |
| 5.5.3 电源不符时的处理 | 113 | 6.5.4 运行维护 | 141 |
| 5.5.4 变频器外围设备选择及其他 | 116 | 6.6 高压变频器在锅炉风机上的应用 | 141 |
| 练习题 | 123 | 6.6.1 问题的提出 | 141 |
| 第 6 章 通用变频器的应用 | 124 | 6.6.2 ACS1000 的主要特点 | 141 |
| 6.1 变频器在中央空调的应用 | 124 | 6.6.3 变频调速系统的构成 | 142 |
| 6.1.1 中央空调的概述 | 124 | 6.6.4 系统调试 | 142 |
| 6.1.2 中央空调系统的系统构成及工作原理 | 124 | 6.6.5 高压变频器对电动机的影响及改善措施 | 142 |
| 6.1.3 中央空调的节能运行 | 125 | 6.7 太阳能变频器应用简介 | 143 |
| 6.1.4 中央空调变频控制的模式 | 126 | 6.7.1 变频器在太阳能发电并网中的应用 | 143 |
| 6.1.5 综合效益预测 | 127 | 6.7.2 变频器在太阳能空调中的应用 | 143 |
| 6.2 变频器在恒压供水的应用 | 128 | 6.7.3 变频器在太阳能光伏水泵系统中的应用 | 144 |
| 6.2.1 恒压供水的概述 | 128 | 附录 | 145 |
| 6.2.2 恒压供水的变频应用方式 | 128 | 参考文献 | 149 |
| 6.2.3 变频恒压供水特点 | 129 | | |
| 6.2.4 变频恒压供水设备的系统组成 | 129 | | |
| 6.2.5 变频恒压供水的控制原理 | 130 | | |
| 6.2.6 Altivar31 变频供水的参数设置 | 130 | | |
| 6.2.7 变频调速恒压供水主要应用场合 | 131 | | |

第 1 章

引 言

1.1 交流调速技术概况

调速控制系统是通过对电动机的控制,将电能转换成机械能,并且控制工作机械按给定的运动规律运行的装置。用交流电动机作为原动机的传动方式称为交流调速。由于全控型功率器件 GTO、GTR、P-MOSFET、IGBT 和 MCT 等具有自关断能力,因此取代了原来普通晶闸管系统必需的换相电路,简化了电路结构,提高了效率,提高了工作频率,降低了噪声,也缩小了电力电子装置的体积和重量。谐波成分大、功率因数差的相控变流器逐步由斩波器或脉冲宽度调制型(PWM)变流器所代替,明显地扩大了电动机的调速范围,提高了调速精度,改善了快速性、效率和功率因数。由于直流电动机存在机械换向问题,其最大供电电压受到限制,机械强度也限制了转速的进一步提高,结构的影响使其不适于腐蚀性、易爆性和含空气体的特殊场合。交流电动机一直受到人们的重视,它体积小、重量轻、没有电刷和换向器、转动惯量小、制造简单、结构牢固、工作可靠、易于维修。只是长期以来一直没有合适的调速方案,只被应用于恒速拖动领域。晶闸管元件的出现使交流电动机调速的发展产生了一次飞跃,使得采用半导体变流技术的交流调速得以实现。由于交流电动机调速系统的控制比较复杂和调速性能差、装置价格高、效率低,使交流调速在过去相当长一段时间里未能推广。自从微处理机出现后,国外在绕线型异步电动机串级调速、无换向器电动机调速、笼型异步电动机的矢量控制以及 PWM 技术方面,都已获得重大突破与发展,进入工业应用阶段。目前,交流电动机调速系统(具有大功率半导体器件、大规模集成电路)已具备了较宽的调速范围、较高的稳态精度、较快的动态响应、较高的工作效率以及可以四象限运行等优异性能,其静、动态特性均可以与直流电动机调速系统相媲美。可以说,交流调速逐步取代直流调速已成为明显的发展趋势。特别是“节能型”交流调速技术,已得到很快发展。在过去大量应用的所谓不变速拖动系统中,有相当一部分是风机、水泵等拖动系统,这类负载约占工业电力拖动总量的一半。其中有些并不是真的不需要变速,只是由于过去的交流电动机不能调速,因而不得不依赖挡板和阀门来调节流量,白白消耗掉大量的电能。如果采用交流电动机调速来改变风量或流量,效率将会大大提高。从各方面来看,改造恒速电动机为交流调速电动机,每台约可节能 20% 以上,综合起来的节能效益是很可观的。

电动机及其控制在国民经济中起着重要作用。无论是在工农业生产、交通运输、国防宇航、医疗卫生、商务与办公设备还是日常生活中的家用电器,都大量地使用各种各样的电动机。电动机既可作为电能生产的手段,也是电能应用的主要形式。据资料统计,我国生产的电能约 60% 用于电动机。

常见的电动机有:交流电动机、直流电动机,还有交直流两用的通用电动机。电动机的功能

是将电能转换成机械能,向被驱动的机械提供动力来源。它们除了作为机电能量转换的一个部件外,实际上,相当一部分电动机在应用时还需要对其进行起停、正/反转、制动以及速度控制和某些保护等控制,通常将这些控制纳入“电气传动”范畴。

随着电力电子技术的进步,特别是微型计算机技术应用、新型控制策略的出现,改变着电动机控制、电气传动的面貌,现在已发展到了“运动控制”新阶段。

运动控制(Motion Control)是近10年来在国际上流行的一个新的技术术语,通常是指在复杂条件下将预定的控制方案、规划指令转变成期望的机械运动。运动控制系统使被控机械运动实现精确的位置控制、速度控制、加速度控制、转矩或力的控制以及这些被控机械量的综合控制。按照使用动力源的不同,运动控制可分为气动、液动和电动三大类。电气运动控制更容易实现与微型计算机的接口,以及具有其他明显的优点,因而中、小功率的运动控制系统大多采用电气运动控制,电气运动控制体现了控制电动机技术、传感器技术、电力电子技术、微电子技术、自动控制技术和微型计算机应用技术的最新发展成就。由于微处理器和传感器的作用,赋予系统以智能,故又称为智能运动控制。运动控制作为一门多学科交叉的技术,每种技术出现的新进展都使它向前迈进一步,其技术进步是日新月异的。

电气传动经历了从恒速到调速、从低性能到高性能、从单机独立传动到多机综合协调传动的发展过程。基于反馈控制理论,由模拟电子电路构成,以直流调速为代表的连续控制系统的发展,改变了电气传动的面貌。然而,连续控制系统中由模拟电路组成的PID调节器,由于校正参数不便调整,且一经确定后便不易改变,因而对控制对象的适应能力差,难于实现各种新的控制策略和控制方法。用模拟控制装置对交流电动机进行控制,就更难满足要求。此外,模拟电路对状态量的检测精度不高,使连续控制系统的控制性能不易提高,模拟式元器件集成度不高,也使硬件结构复杂,影响到控制装置的可靠性。由于上述原因,连续控制系统制约了电气传动特别是交流调速的发展。

随着微电子技术的发展,微型计算机功能的不断提高以及电力电子技术、计算机控制技术的发展,电气传动领域出现了以微型计算机为核心的数字控制系统。微型计算机的采用不仅极大地推动了作为研究热点的交流调速的迅猛发展,也给直流调速的发展注入了新的活力,使电气传动进入了更新的发展阶段。

微电子的发展对电动机控制技术的发展影响也是极大的,为了适应电子机械高性能、小型化、低成本和高可靠性的要求,从20世纪80年代初开始,各国半导体厂商不断开发各种功率集成电路,并已在许多领域得到越来越广泛的应用。功率集成电路是电力电子技术和微电子集成技术的结合,用来控制电动机运动的电子控制驱动系统,包括前级的微功率控制电路部分和末级的功率驱动部分。前级控制电路容易实现集成化,它们通常是模拟-数字混合集成电路。对于小功率系统,末级驱动电路也已集成化,称为功率集成电路。它将高电压、大电流、大功率的多个半导体开关器件做在同一个芯片上,有些还将逻辑、控制、检测、自诊断、保护电路也集成在同一个芯片上或一个混合模块里,从而使功率器件注入了智能,故又称为智能功率集成电路。有一些更大规模的功率集成电路把整个控制器和驱动器都集成在一起,用一片集成电路就能控制一台甚至多台电动机。由分立单元电路向专用集成电路发展,不但具有体积缩小、成本降低、性能改善、调整简便等给电动机控制带来极大方便的特点,而且可大大提高系统的可靠性和抗干扰能力,从而深受用户的欢迎。

1.2 电气智能实验教学平台用变频器的主要技术特点

由科技、教育、劳动和社会保障部门联合创建的电气智能实验教学公共平台,是为职业技术教育而开发的综合性的电气智能实验教学系统,其中的变频器采用了施耐德电气公司的 Altivar28或 Altivar31。

Altivar31 是用于三相笼型异步电动机的变频器。Altivar31 变频器可靠性高,结构紧凑,便于使用,并且符合 EN50178、IEC/EN 61800-2、IEC/EN 61800-3 标准,拥有 UL/CSA 认证和 CE 认证。

Altivar31 集成了适用于大多数常见应用的功能,包括:

- ① 物料搬运(小型输送机、升降机等)。
- ② 填料和包装机。
- ③ 专用机械(混合机、搅拌机、纺织机械等)。
- ④ 泵、压缩机、风机等。

Altivar31 变频器以 Modbus 和 CANopen 工业总线进行通信。这些协议作为标准集成在变频器中。

Altivar31 变频器配备有用于正常环境和通风机箱的散热器。多个单元可并排安装在一起,以节省空间。

Altivar31 变频器可用于额定值 0.18 ~ 15 kW 的电动机,有 4 种类型的电源:

- ① 200 ~ 240 V 单相,0.18 ~ 2.2 kW。
- ② 200 ~ 240 V 三相,0.18 ~ 15 kW。
- ③ 380 ~ 500 V 三相,0.37 ~ 15 kW。
- ④ 525 ~ 600 V 三相,0.37 ~ 15 kW。

Altivar31 变频器可提供 2 种不同的人机界面:

- ① ATV31H ●●●● 使用显示屏和菜单导航键。
- ② ATV31H ●●●● A 使用显示屏、菜单导航键和本机控制(运行/停机和由电位器设置的速度给定)。

电磁兼容性 EMC:

ATV31H ●● M2 和 ATV31H ●● N4 变频器中内置 A 级 EMC 滤波器(传导和辐射式)简化了设备的安装,并提供了满足 CE 认证标准要求的经济方式。

ATV31H ●● M3X 和 ATV31H ●● S6X 变频器供货时不带 EMC 滤波器。如果必须要求符合 EMC 标准,滤波器可以作为选件提供给用户装配。

功能:

Altivar31 变频器有 6 个逻辑输入端、3 个模拟输入端、1 个逻辑/模拟输出端和 2 个继电器输出端。

变频器中集成的主要功能如下:

- ① 电动机和变频器保护。
- ② 线性、S 斜坡、U 斜坡和用户自定义的加速/减速斜坡。

第 2 章

变频器的组成和基本工作原理

2.1 交流电动机的变频调速

2.1.1 引言

变频调速是通过改变电动机定子供电频率来改变同步转速,从而实现交流电动机调速的一种方法,变频调速调速范围宽,平滑性好,具有优良的动、静态特性,是一种理想的高效率、高性能的调速手段。

对交流电动机进行变频调速,需要一套变频电源,过去大多采用旋转变频发电机组作为电源,但这些设备庞大、可靠性差。随着晶闸管及各种大功率电力电子器件如 GTR、GTO、MOSFET、IGBT 等的问世,各种静止变频电源获得了迅速发展,它们具有重量轻、体积小、维护方便、惯性小和效率高等优点,但由其组成的变频电路较复杂,造价较高。而功率集成电路的出现,产品价格随之降低,它集功率开关器件、驱动电路、保护电路、接口电路于一体,可靠性高,维护方便。因此,目前变频调速已成为交流调速的主要发展方向。

新型器件的不断涌现,使变频技术获得了迅速发展。以普通晶闸管构成的方波型逆变器被全控型高频开关组成的 PWM 逆变器取代后,SPWM 逆变器及其专用芯片得到普遍应用。磁通跟踪型 PWM 逆变器以其控制简单、数字化方便,而呈现出取代传统 SPWM 逆变器的趋势。另外,还有电流跟踪型 PWM 逆变器及滞环电流跟踪型 PWM 逆变器,均受到了重视。

在变频器技术日新月异发展的同时,交流电动机控制技术取得了突破性的进展。由于交流电动机是多变量、强耦合的非线性系统,与直流电动机相比,转矩控制要困难得多。20 世纪 70 年代初提出的矢量控制理论,使交流调速获得了与直流调速同样优良的静、动态性能,开创了交流调速与直流调速相竞争的时代。在 80 年代中期又提出了直接转矩控制理论,其控制结构简单,便于实现数字化,所以变频调速是最有前途的一种交流调速方式。

2.1.2 变频调速基本原理

根据电机学原理可知,交流电动机的同步转速为

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

异步电动机的转速为

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

式中, f_1 为定子供电频率;

p 为电动机极对数;

s 为转差率。

由此可见,若能连续地改变异步电动机的供电频率 f_1 ,就可以平滑地改变电动机的同步转速和相应的电动机转速,从而实现异步电动机的无级调速,这就是变频调速的基本原理。变频调速的最大特点是:电动机从高速到低速,其转差率始终保持最小的数值,因此变频调速时,异步电动机的功率因数都很高。可见,变频调速是一种理想的调速方式。但它需要由特殊的变频装置供电,以实现电压和频率的协调控制。

在异步电动机调速时,一个重要的因素是希望保持每极磁通 Φ_m 为额定值,因为磁通增加将引起铁心过分饱和,励磁电流急剧增加,导致绕组过分发热,功率因数降低;磁通太弱,没有充分利用电动机的铁心,是一种浪费。而磁通减小也会使电动机的输出转矩下降,如负载转矩仍维持不变,势必导致定、转子过电流,也要产生过热,故而希望保持磁通恒定。

由电机学可知,三相异步电动机定子每相电动势的有效值为

$$E_1 = 4.44f_1 N_1 k_{N_1} \Phi_m \quad (2-3)$$

式中, E_1 为气隙磁通在每相定子中感应电动势的有效值(V);

N_1 为定子绕组每相串联匝数;

k_{N_1} 为基波绕组系数;

Φ_m 为每极气隙磁通量(Wb)。

由式(2-3)可见,只要控制好 E_1 和 f_1 ,便可达到控制磁通 Φ_m 的目的,因此,需要考虑基频(额定频率)以下和基频以上两种情况。

1. 基频以下调速

由式(2-3)可知,要保持 Φ_m 不变,当频率 f_1 从额定值 f_{1N} 向下调节时,必须同时降低 E_1 ,使

$$\frac{E_1}{f_1} = \text{常数}$$

即采用恒电动势频比控制方式。

然而,绕组中的感应电动势是难以直接控制的,当电动势值较高时,可以忽略定子绕组的漏阻抗压降,而认为定子相电压 $U_1 \approx E_1$,则得

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{常数}$$

这是恒压频比的控制方式。

低频时, U_1 和 E_1 都较小,定子阻抗压降所占的分量就比较显著,不能再忽略。这时,可以人为地把 U_1 抬高一些,以便近似地补偿定子压降。带定子压降补偿的恒压频比控制特性见图 2-1 中的 b 线,无补偿的控制特性则为 a 线。

2. 基频以上调速

在基频以上调速时,频率可以从 f_{1N} 往上增高,但电压 U_1 却不能增加到比额定电压 U_{1N} 还要大,最多只能保持 $U_1 = U_{1N}$ 。由式(2-3)可知,这将迫使磁通与频率成反比地减少,相当于直流电动机弱磁升速的情况。

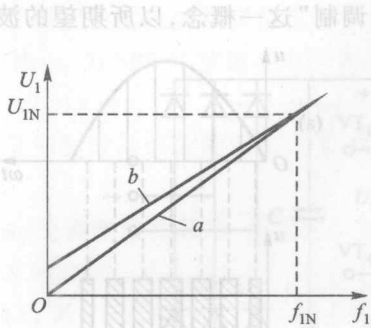


图 2-1 恒压频比控制特性

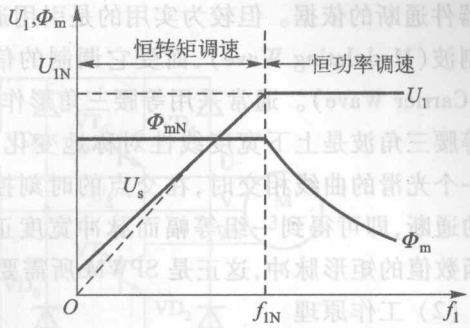


图 2-2 异步电动机变频调速控制特性

把基频以下和基频以上两种情况合起来,可得图 2-2 所示的异步电动机变频调速控制特性。如果电动机在不同转速下都具有额定电流,则电动机都能在温升允许条件下长期运行,这时转矩基本上随磁通变化,按照电力拖动原理,在基频以下,属于“恒转矩调速”的性质,而在基频以上,基本上属于“恒功率调速”的性质。

2.1.3 逆变器

1. SPWM 逆变器的工作原理

(1) 基本概念

为了更好地控制异步电动机速度,不但要求变频器输出频率和电压大小可调,而且要求输出波形尽可能接近正弦波。当用早期变频器对异步电动机供电时,存在谐波损耗和低速运行时出现转矩脉动的问题。为了提高电动机的运行性能,要求采用对称的三相正弦波电源为三相交流电动机供电。因而期望变频器输出波形为纯正弦波。随着电力电子技术的发展,使各种半导体开关器件的可控性和开关频率获得了很大的发展,使得这种期望得以实现。

在采样控制理论中有一个重要结论,冲量(窄脉冲的面积)相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时,其效果基本相同。该结论是 PWM 控制的重要理论基础。

将图 2-3(a)所示的正弦波分成 N 等份,即把正弦半波看成由 N 个彼此相连的脉冲所组成。这些脉冲宽度相等,为 π/N ,但幅值不等,其幅值是按正弦规律变化的曲线。把每一等份的正弦曲线与横轴所包围的面积都用一个与此面积相等的等高矩形脉冲来代替,矩形脉冲的中点与正弦脉冲的中点重合,且使各矩形脉冲面积与相应各正弦部分面积相等,就得到图 2-3(b)所示的脉冲序列。根据上述冲量相等效果相同的原理,该矩形脉冲序列与正弦半波是等效的。同样,正弦波的负半周也可用相同的方法来等效。由图 2-3 可见,各矩形脉冲在幅值不变的条件下,其宽度随之发生变化。这种脉冲的宽度按正弦规律变化并和正弦波等效的矩形脉冲序列称为 SPWM(Sinusoidal PWM)波形。

图 2-3(b)所示的矩形脉冲系列就是所期望的变频器输出波形。通常将输出为 SPWM 波形的变频器称为 SPWM 型变频器。显然,当变频器各开关器件工作在理想状态下时,驱动相应开关器件的信号也应为与图 2-3(b)所示形状相似的一系列脉冲波形。由于各脉冲的幅值相等,所以逆变器可由恒定的直流电源供电,即变频器中的变流器采用不可控的二极管整流器就可以了。

从理论上讲,这一系列脉冲波形的宽度可以严格地用计算方法求得,作为控制逆变器中各开

关器件通断的依据。但较为实用的是引用通信技术中的“调制”这一概念,以所期望的波形作为调制波(Modulating Wave),而受它调制的信号称为载波(Carrier Wave)。通常采用等腰三角形作为载波,因为等腰三角波是上下宽度线性对称地变化,当它与任何一个光滑的曲线相交时,在交点的时刻控制开关器件的通断,即可得到一组等幅而脉冲宽度正比于该曲线函数值的矩形脉冲,这正是 SPWM 所需要的结果。

(2) 工作原理

图 2-4(a) 所示是 SPWM 变频器的主回路。图中 $VT_1 \sim VT_6$ 是逆变器的 6 个功率开关器件(可为 GTO、GTR、MOSFET、IGBT 中的任何一种,此处以 GTR 为例), $VD_1 \sim VD_6$ 为用于处理无功功率反馈的二极管。整个逆变器由三相整流器提供的恒值直流电压 U_s 供电。图 2-4(b) 所示为它的控制电路,一组三相对称的正弦调制信号 $u_{r,u}、u_{r,v}、u_{r,w}$ 由调制波信号发生器提供,其频率决定逆变器输出的基波频率,应在所要求的输出频率范围内可调;其幅值也可在一定范围内变化,以决定输出电压的大小。三角形载波信号 u_c 是共用的,分别与每相调制信号电压比较后,给出“正”或“零”的饱和输出,产生 SPWM 脉冲序列波 $u_{du}、u_{dv}、u_{dw}$,作为逆变器功率开关器件的输出控制信号。

控制方式可以是单极式,也可以是双极式。采用单极式控制时,在正弦波的半个周期内,每相只有一个功率开关开通或关断。其调制情况见图 2-5,首先由同极性的三角形载波电压 u_c 与调制电压 u_r 比较[见图 2-5(a)],产生单极性的 SPWM 脉冲波[见图 2-5(b)],负半周用同样方法调制后再倒相而成[见图 2-5(c)、(d)]。

采用双极式控制时,在同一桥臂上下两个功率开关交替通断,处于互补的工作方式,其调制情况见图 2-6。

由图 2-5 和图 2-6 可见,输出电压波形是等幅不等宽而且两侧窄中间宽的脉冲,输出基波电压的大小和频率,是通过改变正弦调制信号的幅值和频率而改变的。

2. SPWM 逆变器的调制方式

在 SPWM 逆变器中,三角波电压频率 f_c 与调制波电压频率(即逆变器的输出频率) f_r 之比 $N = f_c/f_r$ 称为载波比,也称为调制比。根据载波比的变化与否, PWM 调制方式可分为同步式、异步式和分段同步式。

(1) 同步调制方式

载波比 N 等于常数时称同步调制方式。同步调制方式在逆变器输出电压每个周期内所采用的三角波电压数目是固定的,因而所产生的 SPWM 脉冲数是一定的。其优点是在逆变器输出频率变化的整个范围内,皆可保持输出波形的正、负半波完全对称,只有奇次谐波存在。而且能严格保证逆变器输出三相波形之间具有 120° 相位移的对称关系。缺点是当逆变器输出频率很低时,每个周期内的 SPWM 脉冲数过少,低频谐波分量较大,使负载电动机产生转矩脉动和噪声。

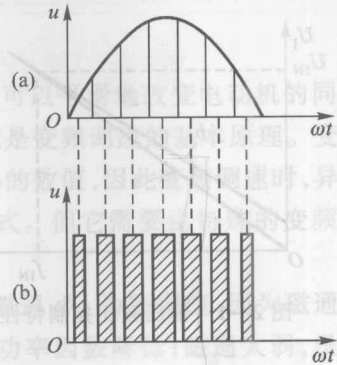


图 2-3 与正弦波等效的等幅脉冲波

(a) 正弦波形; (b) 等效的正弦波形