



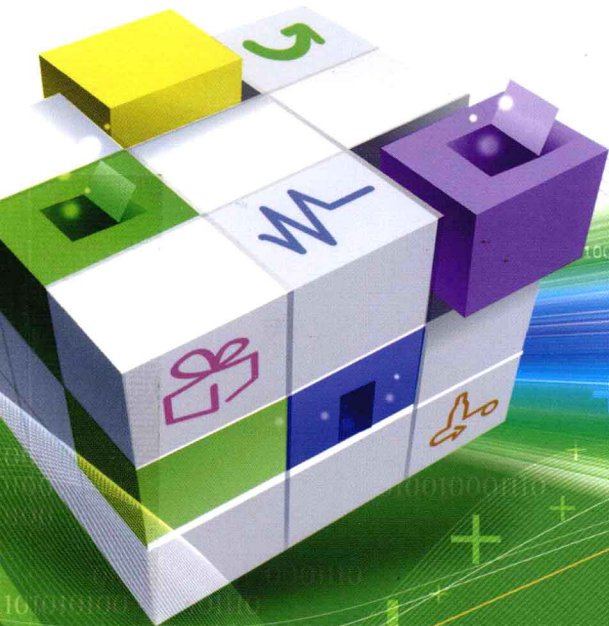
卓越

工程师 教育培养计划系列丛书

Schneider
Electric

现代运动控制 技术及其应用

◎ 孙培德 主编 ◎ 张志杰 刘晓洁 副主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

卓越工程师教育培养计划系列丛书

现代运动控制技术及其应用

孙培德 主 编

张志杰 刘晓洁 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以施耐德电气的几个常用设备为例,从基本原理、基本操作、例程等几个方面分别对工业网络、变频调速、伺服控制、人机界面和组态软件等进行介绍。全书共分为6章,第1章介绍现代运动控制技术的发展概况与趋势;第2章介绍工业网络的通信基础、体系结构、常用形式等;第3章介绍PLC的基本结构、编程软件和各种编程语言,以及以PLC为核心和以工业网络为桥梁的现代工业控制系统的基本构成;第4章和第5章分别介绍变频器和伺服驱动器的基本外部结构及其使用方法,基本参数设置方法,工业网络环境下的基本控制方法,闭环控制系统的控制器参数整定方法;第6章介绍用于现场控制的图形触摸屏终端和用于远程操作的组态软件的基本设置方法、编程软件使用方法等。

本书兼顾基础理论和基本操作,可供自动化、电气工程及其自动化、机电类的大学生作为专业实践教材或参考用书,也可供相关专业的工程技术人员参考。

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

现代运动控制技术及其应用 / 孙培德主编. —北京: 电子工业出版社, 2012.6

(卓越工程师教育培养计划系列丛书)

ISBN 978-7-121-17097-3

I. ①现... II. ①孙... III. ①自动控制系统 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 101877 号

策划编辑: 康 霞

责任编辑: 刘 凡 特约编辑: 刘 忠

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司
装 订:

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: 787×980 1/16 印张: 15.25 字数: 390 千字

印 次: 2012 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 35.00 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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

卓越工程师教育培养计划系列丛书专家委员会

顾 问:

衣雪青 王传臣 杨丽莉 张 焰 王本燕

成 员:

王大志	徐亚敏	陈亚林	朱旭平
高 平	施伟锋	孙培德	薛士龙
徐 静	许少伦	周力尤	李晨炆
李 明			

前 言

当今社会已经处在通过电动机的运动控制作为动力实现自动化的时代，运动控制对社会的发展乃至整个现代化进程都起到了巨大的推动作用。由工业网络、变频调速、伺服控制、检测技术、自动控制理论、电动机控制理论等诸多要素构成的现代运动控制技术也已经在宇航、军事、工业、民用等各领域得到了广泛应用。

现代运动控制设备种类繁多，本书主要以施耐德电气的几个常用设备为例，从基本原理、基本操作、例程等几个方面分别对工业网络、变频调速、伺服控制、人机界面和组态软件等进行介绍，使读者能够了解和掌握现代运动控制技术各个部分的基本应用。

全书共分为 6 章，第 1 章主要介绍现代运动控制技术的发展概况与趋势；第 2 章主要介绍工业网络的通信基础、体系结构、常用形式等；第 3 章主要介绍 PLC 的基本结构，编程软件和各种编程语言，以及以 PLC 为核心、以工业网络为桥梁的现代工业控制系统的基本构成；第 4 章和第 5 章分别介绍变频器和伺服驱动器的基本外部结构及其使用方法，基本参数设置方法，工业网络环境下的基本控制方法、闭环控制系统的控制器参数整定方法；第 6 章主要介绍用于现场控制的图形触摸屏终端和用于远程操作的组态软件的基本设置方法，编程软件使用方法的。

本书在编写过程中，尽可能兼顾基础理论和基本操作，以适应在校学生专业实践的需要和相关专业的教师、研究生、工程技术人员的参考需要。

本书由东华大学孙培德任主编，张志杰、刘晓洁任副主编。孙培德主要负责第 1、3、4、6 章中关于参数整定部分及所有例程的编写，并负责全书的规划和统稿；张志杰负责第 2 章的编写；刘晓洁负责第 3、4、5 章大部分内容的编写。在本书编写过程中，屠黎俊、张武斌、陈达兴、蒋维、伊鹏为笔者提供了许多帮助，在此深表感谢。

由于编者水平有限，本书难免有疏漏和欠妥之处，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 现代化生产和生活对运动控制的需求	1
1.2 现代运动控制系统的发展概况与趋势	3
1.3 本章小结	9
第 2 章 工业控制网络	10
2.1 网络与通信基础	10
2.1.1 数据编码及传输方式	10
2.1.2 数据传输介质	14
2.1.3 数据传输技术——数据的多路复用传输	18
2.1.4 数据交换技术	20
2.1.5 差错控制	21
2.2 网络通信的体系结构	22
2.2.1 OSI 参考模型的基本概念	23
2.2.2 低层协议	24
2.2.3 高层协议	26
2.2.4 网络互联	28
2.2.5 常见的网络拓扑结构	30
2.2.6 现场总线的网络模型	31
2.3 常用的现场总线网络	33
2.3.1 控制器局域网总线	33
2.3.2 LonWorks (LON 总线)	38
2.3.3 基金会现场总线	43
2.3.4 Profibus	50
2.3.5 Modbus	58
2.4 本章小结	62
第 3 章 M340 PLC 应用基础	64
3.1 M340 PLC 基本构成	64
3.1.1 机架	65
3.1.2 电源模块	66
3.1.3 处理器	66

3.1.4	Modicon M340 模拟量的输入/输出模块	69
3.1.5	Modicon M340 离散量的输入/输出模块	71
3.2	编程软件 Unity Pro	71
3.2.1	用户界面	72
3.2.2	主要功能和特点	73
3.2.3	硬件连接	74
3.2.4	系统对象和数据类型	75
3.2.5	编程语言	79
3.2.6	M340 与 Unity Pro 应用实例	83
3.3	外围设备的连接及其设置	94
3.3.1	以太网连接	94
3.3.2	CANopen 现场总线连接	102
3.4	本章小结	113
第 4 章	ATV71 变频器应用基础	114
4.1	ATV71 基本外部连接	114
4.1.1	图形显示终端	115
4.1.2	ATV71 功率端子与控制端子简要说明	118
4.1.3	ATV71 控制连接图	121
4.1.4	ATV71 连接图示例	123
4.2	ATV71 运动控制主令形式及其设置方法	124
4.2.1	ATV71 变频器基本设置	124
4.2.2	ATV71 运动控制主令	126
4.2.3	ATV71 运动控制主令应用实例	128
4.3	ATV71 运行控制模式及其设置方法	133
4.3.1	ATV71 变频器运行控制模式及其设置说明	133
4.3.2	通过 CANopen 总线通信设置变频器运行模式参数的实例 (project05)	136
4.4	ATV71 常用参数	140
4.5	ATV71 速度闭环控制系统及其参数整定方法	143
4.5.1	安装和设置编码器反馈卡	143
4.5.2	基本参数设置与电动机参数自整定	145
4.5.3	速度闭环控制系统及其整定方法	145
4.6	本章小结	148
第 5 章	LXM05A 伺服驱动器应用基础	149
5.1	LXM05A 基本外部连接	149

5.1.1	BSH 交流伺服电动机概述	149
5.1.2	LXM05A 伺服驱动器硬件概述	150
5.1.3	LXM05A 伺服驱动器基本接线	151
5.2	LXM05A 运动控制主令形式及其设置方法	159
5.2.1	LXM05A 伺服驱动器的基本设置	159
5.2.2	LXM05A 运动控制主令形式	163
5.2.3	LXM05A 运动控制主令形式的设置方法	164
5.2.4	LXM05A 本地（手动）控制方式应用实例	167
5.3	LXM05A 运行控制模式及其设置方法	168
5.3.1	运行模式及其参数设置	168
5.3.2	采用 CANopen 现场总线方式控制 LXM05A 运行实例	179
5.4	LXM05A 常用参数	189
5.4.1	参数表达	189
5.4.2	常用参数列表	190
5.5	LXM05A 闭环控制系统参数整定方法	196
5.5.1	伺服控制系统基本结构	196
5.5.2	伺服控制系统转速调节器 PI 参数整定	197
5.5.3	伺服控制系统位置调节器整定	199
5.6	本章小结	200
第 6 章	基于现场人机界面和上位机组态软件的运动控制监控系统	201
6.1	现场人机界面（图形触摸屏终端）应用基础	201
6.1.1	图形触摸屏终端操作入门	201
6.1.2	图形触摸屏终端编程软件 Vijeo-Designer	204
6.1.3	通过图形触摸屏终端监控变频器 ATV71	208
6.1.4	通过图形触摸屏终端监控伺服驱动器 LXM05A	211
6.2	上位机组态软件 Vijeo Citect 应用基础	213
6.2.1	组态软件 Vijeo Citect 基本介绍	213
6.2.2	组态软件 Vijeo Citect 操作入门（Up_view01）	220
6.3	通过图形触摸屏终端及上位机监控变频相器和伺服驱动器	227
6.3.1	驱动器和 PLC 的设置和编程（project10）	227
6.3.2	Vijeo Designer 部分（vijeo05）	227
6.3.3	Vijeo Citect 操作（Up_iew02）	228
6.4	本章小结	233
参考文献		234

第 1 章

概 述

运动控制设备是现代化生产和生活必不可少的基础。本章主要介绍运动控制的基本概念、运动控制在军事、航空、工业、日常生活中的作用，以及现代运动控制技术的发展和展望。

1.1 现代化生产和生活对运动控制的需求

19 世纪 70 年代前后，相继诞生了直流电动机和交流电动机，从此人类社会进入了以电动机的运动控制为动力实现自动化的时代，运动控制对社会的发展、生产和生活的现代化进程起到了积极的推进作用。运动控制系统主要包括电动机、电动机控制器、信号检测与传输系统、人机界面等。根据电动机的类型划分，运动控制可分为直流电动机调速、异步电动机变频调速、步进电动机控制、永磁同步电动机伺服控制、无刷直流电动机控制等各种控制类型。根据控制目的划分，运动控制可分为以转速为控制量的调速控制系统、以角位移或直线位移为控制量的位置伺服控制系统，以及张力、多电动机同步控制等各种类型。

运动控制已经广泛应用到军事领域（如火炮、雷达控制）、工业领域（如高精度数控机床、机器人、纺织机械、印刷机械、包装机械、医疗设备、半导体设备、邮政机械、冶金机械、自动化流水线等）及民用领域（如电梯、电动汽车、轨道交通等）。

在机械加工行业，加工设备已经从普通机床步入到数控机床、加工中心的时代。现代机械加工设备中，使用永磁无刷伺服电动机代替步进电动机做进给运动已经成为标准，部分高端产品开始采用永磁交流直线伺服系统，在主轴传动中采用高速永磁交流伺服取代异步电动机变频驱动来提高效率和速度已成为热点。当今数控机床突出高速、高精度、高动

态、高刚性的特点，对控制系统的要求包括定位速度和轮廓切削进给速度、定位精度和轮廓切削精度、精加工的表面粗糙度，以及在外界干扰下的稳定性等。这些要求的满足主要取决于伺服系统的静、动态特性。

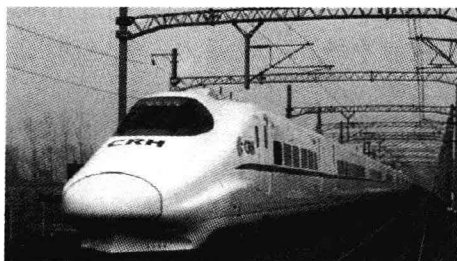
纺织印染行业是国民经济的一个重要部分，以前的行业技术进步主要是依靠变频化、PLC 化，只有少量纺织印染机械采用了高档伺服技术，用于提高精度和效率。目前高档梳棉机、带自调匀整的并条机、新型粗纱机、数控细纱机、分条整经机、浆纱机、圆网印花机、工业缝纫机等设备应用了交流伺服技术。例如，无梭织机上已经开始采用带交流伺服的电子送经和电子卷取，圆网印花系统中；络丝机是织造前工序的精密工艺设备，络丝机控制系统综合应用了步进、无刷、伺服、运动控制、网络通信等方面的技术，将各种天然丝络成各种规格的柱状、宝塔形、双锥形筒子，用于染色、整经、针织等后道工序，其核心是利用高动态的横动伺服电动机及数字卷绕技术，取代传统的机械传动而实现单锭化和数字化，每锭之间依靠 CAN 总线联系。可见，纺织印染是未来交流伺服大批量应用的重要行业之一。

无轴（电子轴）传动技术在印刷机上的应用，也是目前全球印刷企业和机械制造商的焦点。无轴传动就是用多个单独的伺服电动机取代传统的机械传动链，伺服驱动器之间依靠高速现场总线进行联系，通过软件保证各伺服轴对内部的虚拟数字电子轴保持严格同步。无轴传动技术为印刷机的生产制造带来最佳解决方案。

包装设备上，采用数字伺服技术的电子齿轮和电子凸轮将代替传统机械部件，可以提高单位时间的产量、提高资源利用率、增加品种适应性和提高产品质量。

新型的电梯曳引机，采用永磁同步伺服电动机做无齿轮直接驱动，取代异步电动机变频驱动，具有更高的控制精度和动态特性，且具有高效率、低噪声的优点，已经成为国际和国内主要电梯厂的热点产品。

图 1-1 所示为几个典型的运动控制应用案例。其中图（a）所示为采用交流电动机变频调速的电气列车；图（b）所示为采用多台伺服电动机控制协同控制的机器人；图（c）所示为印染机械中的热风拉幅定型机，在织物拉幅之前的对中和探边、热风定型过程中的多单元恒张力控制，以及最后的恒张力卷绕都是采用变频调速控制的。

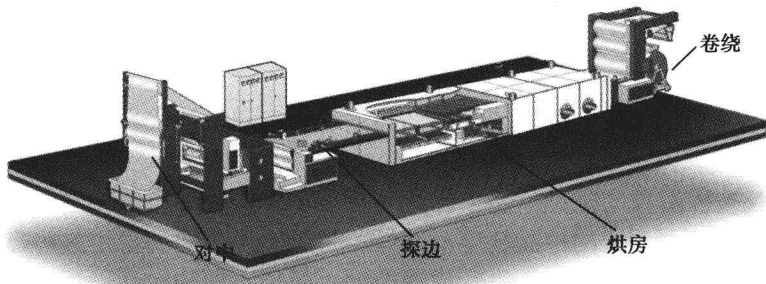


（a）电气列车



（b）机器人

图 1-1 运动控制应用案例



(c) 印染机械中的热风拉幅定型机

图 1-1 运动控制应用案例 (续)

1.2 现代运动控制系统的发展概况与趋势

运动控制技术经历了从直流到交流,从开环到闭环,从模拟到数字,直到基于工业网络的现代运动控制,每个过程的发展都在很大程度上促进了运动控制系统的发展。

1. 直流和交流运动控制系统

尽管直流和交流电气传动在 20 世纪初都已经出现在工业应用领域,但直至 20 世纪后期,由于器件和控制技术的制约,交流调速系统仍然远落后于直流调速系统。20 世纪 90 年代,在先进的电力电子技术和现代控制理论的支持下,交流调速具备了宽调速范围、高稳定精度、快速动态响应和四象限运行等良好性能,并显示出取代直流调速的趋势。因此,现代运动控制的主体就是各种高性能的交流电动机运动控制。

交流伺服控制代表了高性能的交流传动。伺服来自英文单词“Servo”,指系统跟随外部指令进行人们所期望的运动,运动要素包括位置、速度和力矩等。伺服系统的发展经历了从液压、气动到电气的过程,而电气伺服系统包括伺服电动机、反馈装置和控制器。控制器的功能是完成伺服系统的闭环控制。目前,交流伺服技术已成为工业自动化的支柱性技术之一。

在交流伺服系统中,电动机的类型有永磁同步交流伺服电动机(PMSM)和感应异步交流伺服电动机(IM),其中,永磁同步交流伺服电动机具备十分优良的低速性能,可以实现弱磁高速控制,调速范围宽广、动态特性和效率都很高,已经成为伺服系统的主流。而感应异步交流伺服电动机虽然结构坚固、制造简单、价格低廉,但在特性和效率上存在差距,只在大功率场合得到重视。

与交流运动系统相比,直流运动系统控制简单、调速性能好,长期以来占统治地位,目前已经发展得相当完善。尽管直流运动控制系统存在着许多固有的缺点,如结构复杂、成本高、维护工作量大、存在换向火花等,但直流运动控制系统以其优异的性能在一段时期内不会被完全淘汰,因此,交流运动控制系统代替直流运动控制系统需要经历一个漫

长的过程。

2. 开环和闭环运动控制系统

由开环到闭环的发展是控制系统发展的必然。以三相鼠笼式异步电动机运动控制系统为例，在要求成本低、控制精度不高的场合，大多采用变压变频开环控制（VVVF）。由于开环控制无视被控对象的反馈信息，因此存在很多弊端，如电流无法控制、无法做到对运动系统的有效保护、系统的控制精度不高等。为了实现系统的稳定、可靠和高精度，则需要采用闭环控制对需要控制的量进行反馈控制。对于不同的运动控制系统，闭环的模式也不一样。为了实现速度的控制，可以采用电流、速度双闭环控制；为了实现位置的跟踪，应采用位置、速度和电流三闭环控制。图 1-2 所示为一个典型的位置、速度和电流三闭环控制系统结构图。适当选择各个调节器的参数，能够使反馈系统稳定、快速、高精度地工作。由于外环的输出为相应内环的给定，且调节器都有限幅设置，这样内环的给定就会得到限幅控制。例如，转速环输出达到限幅时，也就是电流给定达到了限幅，从而保证了功率变换器和电动机的电流能够受到限幅控制而不会出现过电流。闭环控制所需的各个调节器可以用模拟电路构成，但现代运动控制系统中大都用微处理器实现数字控制。数字控制有许多明显的优点，如控制精度高、控制器结构和参数修改方便、能够实现智能控制（如调节器参数自整定、人工智能控制等）、能够实现网络化控制等。

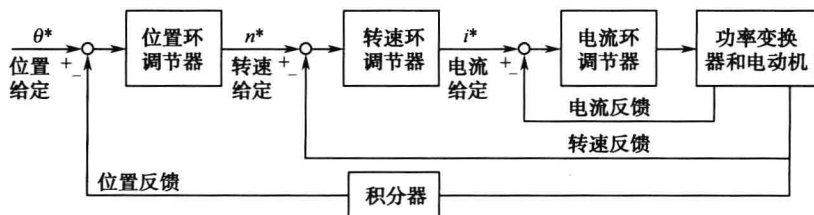


图 1-2 位置、速度和电流三闭环控制系统结构图

3. 现代运动控制的理论基础

现代交流调速的重要理论基础是交流电动机的矢量控制理论，这是由德国学者伯拉斯切克（F.Blaschke）于 20 世纪 70 年代提出的，这是实现高性能交流调速系统的一个重要突破。矢量控制的基本思想是应用参数重构和状态重构的现代控制理论概念实现交流电动机定子电流的励磁分量和转矩分量之间的解耦，将交流电动机的控制过程等效为直流电动机的控制过程，从而使交流调速系统的动态性能得到显著提高，使交流调速最终取代直流调速成为可能。现在许多对调速性能要求较高的系统都采用了矢量控制型的变频调速装置，实践证明，采用矢量控制的交流调速系统具有非常高的控制性能。

继矢量控制技术之后，20 世纪 80 年代，德国学者德彭布罗克（Depenbrock）提出了直接转矩控制理论。直接转矩控制不是通过控制电流、磁链等量间接控制转矩，而是把转矩直接作为被控量控制，其实质是用空间矢量的分析方法，以定子磁场定向方式，对定子磁

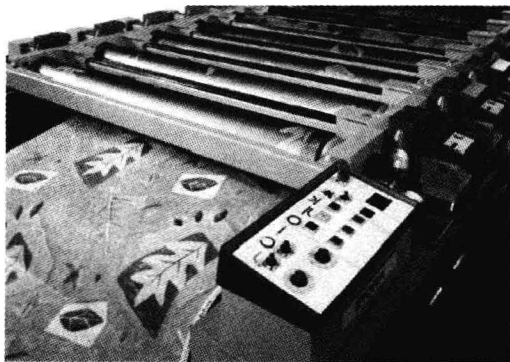
链和电磁转矩进行直接控制。这种方法不需要复杂的坐标变换,而是直接在电动机定子上计算磁链的模和转矩的大小,并通过磁链和转矩的直接跟踪实现系统的高动态性能。采用直接转矩控制的交流调速系统,可以具有更大的瞬时转矩和极快的动态响应。

4. 基于工业网络的运动控制系统

工业网络是指安装在工业生产环境中的一种全数字化、双向、多站的通信系统。基于工业网络的运动控制系统摒弃了传统的模拟量控制方式和脉冲控制方式,使得整个系统速度更快、性能更可靠、稳定性更好、信息交换量大幅度提高,同时,配线变得非常简单,充分满足了提升设备性能的要求。

基于工业网络的运动控制系统,其通信机制符合国际标准的运动控制功能,能满足机械领域的众多应用需求。除了能提供常见的单轴定位、速度控制等功能外,也可以提供多轴控制如电子凸轮、电子齿轮、虚轴等功能,同时还封装了如轮切、飞剪等常用的应用功能块,只要是需要对多个轴进行控制的应用场合,总线型运动控制器都能很好的发挥其优势。

以如图 1-3 (a) 所示的全自动圆网印花控制系统为例,在该系统中织物贴在橡胶导带上,导带由交流变频调速控制的印花辊主传动电动机驱动并匀速地连续移动,每一套色的圆网传动采用交流伺服控制,保证每个圆网传动高精度地与导带同步,以保证印花精度;印花之后还要将织物传送至烘房进行烘干处理等。图 1-3 (b) 所示为基于工业网络的圆网印花运动控制系统结构示意图。由图 1-3 (b) 可见,主传动电动机的测速反馈脉冲作为速度主令发给各个圆网传动控制系统,各个圆网传动控制系统分别跟随这个速度主令以实现同步控制,所有的运动控制器都通过现场总线 CANopen 连接到可编程控制器 (PLC) 上,通过人机界面便可监控所有的运动控制器。实际应用中,各台圆网传动控制系统还有各种特殊功能的点动控制按钮,这些按钮可以连接到 PLC,由 PLC 通过现场总线实施控制。



(a) 全自动圆网印花运动控制系统机器侧视图

图 1-3 全自动圆网印花运动控制系统

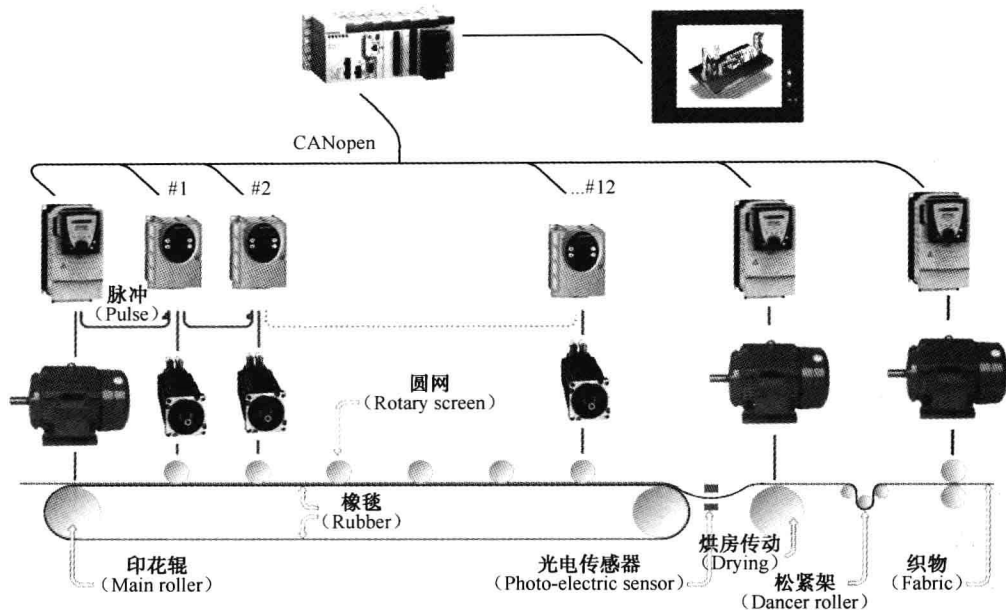


图 1-3 (b) 基于工业网络的全自动圆网印花运动控制系统结构示意图

图 1-3 全自动圆网印花运动控制系统（续）

图 1-4 所示为施耐德公司的多轴伺服控制系统示意图，其中 PLC 通过多轴控制模块和环形总线来协调控制各个伺服电动机，上位机通过 Unity Pro 软件用于配置模块、编程和调整项目，上位机还通过 UniLink 软件设置和调整各个伺服驱动器的参数。

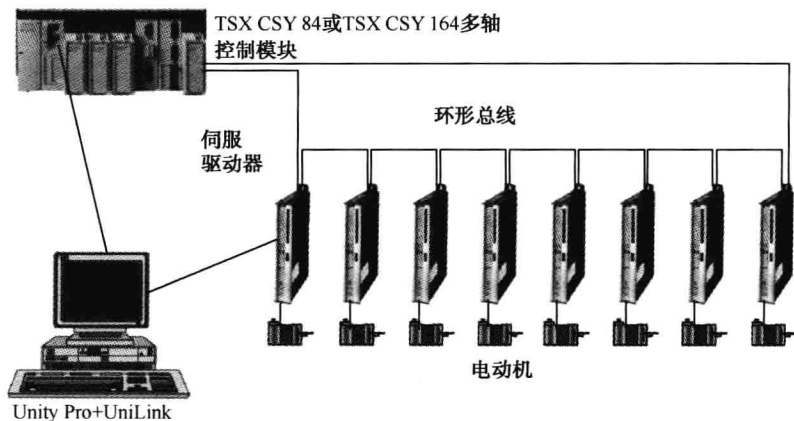


图 1-4 多轴伺服控制系统示意图

5. 发展趋势

1) 永磁化

交流伺服系统主要有永磁同步电动机交流伺服系统和异步电动机交流伺服系统两大类。异步电动机交流伺服系统具有电动机结构坚固、制造容易、价格低廉、弱磁调速易于实现等优点,但与永磁同步电动机交流伺服系统相比存在着效率低、功率因数低、低速力矩小、转子发热严重等问题。而随着永磁材料性价比的不断提高,永磁同步电动机结构的优化设计和新的控制策略的发展,其耐高温、耐振动、可弱磁调速的性能不断提高。最典型的应用就是电动汽车和高性能电梯曳引机已逐步引进永磁同步电动机交流伺服系统,其性能与异步交流伺服系统相比有明显提高。

2) 全数字化和控制智能化

交流伺服系统控制单元经历了模拟式、混合式、全数字化逐步演变进步的过程,各类新型高速微处理器和电动机专用数字信号处理器(DSP)的出现,为伺服控制单元实现包括位置环、速度环、电流环的全数字化控制奠定了坚实的基础。从而将原有的硬件伺服控制变成了软件伺服控制。不仅大大简化了伺服系统的结构,提高了运行可靠性,而且在伺服系统中应用现代控制理论的先进算法(如最优控制、人工智能、模糊控制、神经网络等)成为可能,从而促使交流伺服系统的控制性能得到进一步提高。

伴随交流伺服系统几十年来的发展,控制策略也在不断进步,各阶段代表性的控制策略包括:恒压频比控制、矢量控制、直接转矩控制、非线性控制、自适应控制、滑模变结构控制、智能化控制等。但是,各种控制策略各有其优越性和固有缺陷,例如,非线性控制通过非线性状态反馈和非线性变换,可以实现系统的动态解耦和全局线性化;自适应控制能在系统运行过程中不断提取有关模型的信息,使模型得到逐渐完善;滑模变结构控制不需要任何在线辨识,具有很强的鲁棒性且较容易实现;智能化控制能够不依赖或不完全依赖于控制对象的数学模型,而按实际效果进行控制等。但是,电动机在运行过程中其参数受各种因素的影响会发生变化,从而影响了非线性控制系统的鲁棒性,甚至造成系统性能恶化;自适应控制的数学模型和运算比较烦琐,辨识和校正都需要一个过程,对一些参数变化较快的系统,因来不及校正而难以产生很好的效果;滑模变结构控制中存在抖振而限制了它的应用等。因此,将各种控制策略取长补短、有机结合是目前和将来的研究热点。

3) 高度集成化

一方面永磁材料磁能积不断提高,永磁同步电动机的体积和重量明显下降;另一方面电力电子技术的发展,一大批新型功率器件应用到交流伺服控制单元中,最典型的是绝缘栅双极型晶体管(IGBT)智能模块(IPM)的应用。IPM将主电路、驱动电路、保护电路、故障报警电路等集成在一个模块中,大大降低了交流伺服系统功率变换设计与制造的难度,并提高了系统工作的可靠性。特别是内含电压自举电路的IPM,可以将原来驱动单元所需的四路独立电源减少为一路电源。随着新型电子器件的不断涌现,必将促进伺服单元的高度集成化。

4) 工业网络的发展

目前, 在运动控制应用中比较广泛的现场总线主要有 FF (基金会现场总线)、Profibus-DP、CAN (控制器局域网) 总线等, 这些现场总线在技术上各有特色, 目前它们还不能相互代替。近年来, 工业以太网技术发展迅速, 这个原来用于 IT 领域的标准, 在信息网扩展中得到了迅速发展, 不断提高的性能和迅速降低的成本是现有任何工业自动化网络无法比拟的。因此, 使工业自动化领域的一些公司不约而同地将注意力集中在利用以太网的资源上。新一代的工业自动化网络几乎都是建立在以太网基础之上, 使工业以太网成为当前的技术热点。目前, 工业以太网还主要应用在过程监控层, 而在现场层则是采用现场总线技术。从总线技术的发展方向上来看, 所有的现场总线最终都将向工业以太网过渡, 许多基于现场总线的控制系统最终都将连接到工业以太网, 直至与互联网相连接。工业以太网是工业控制系统的一个发展方向。

5) 位置传感器技术的发展

近年来, 无机械位置编码器的永磁同步电动机伺服系统研究十分活跃。其基本思路是根据电动机的特点, 建立电动机数学模型, 估算永磁同步电动机转子的位置和速度, 即用电气特性来反映其机械运动特性。无编码器永磁同步电动机控制系统中转速和转子位置的估计方法大致有以下几种类型。

(1) 基于电动机电磁关系的转速/位置估算方法。该方法是利用永磁同步电动机的电压方程和磁链方程, 经过推导得到转子位置角和转速表达式, 或者通过计算定子磁链矢量位置, 再估计转速和转子位置。其优点是计算量小、简单、易于实现, 但在低速情况下估计精度下降, 而且此法对电动机的参数依赖较大。为了解决低速时估算不准的问题, 一些学者提出了各种改进方法, 如基于定子铁芯受转子磁极影响的非线性磁化特性估算转子位置的方法, 采用谐波功率的相位信息检测转子位置的方法, 高频注入法等。

(2) 基于各种观测器的估算方法。观测器的实质是状态重构, 其原理是重新构造一个系统, 利用原系统中可直接测量的变量, 如输出量和输入量作为它的输入信号, 并使其输出信号在一定的条件下等价于原系统的状态。这种方法具有稳定性好、鲁棒性强、适用面广的特点, 但是由于它的算法比较复杂, 计算量较大, 受到计算机或微处理器计算速度的限制。近年来, 随着微型计算机技术的发展, 出现了高性能的微处理芯片和 DSP, 大大地推动了这一方法在无传感器控制系统中的应用。

(3) 基于人工智能理论基础上的估算方法。进入 20 世纪 90 年代, 电动机传动上的控制方案逐步走向多元化。智能控制思想开始在传动领域显露端倪, 专家系统、模糊控制、自适应控制、人工神经网络纷纷应用于电动机的位置、速度辨识和控制方案。相信在不久的将来, 随着智能控制理论与应用的日益成熟, 会给交流传动领域带来革命性的变化。

1.3 本章小结

运动控制通过电动机为动力使人类跨入了自动化的时代，运动控制在军事、航空航天、工业、日常生活中得到了广泛的应用。现代运动控制的主体是各种高性能的交流电动机运动控制，它所涉及的新型磁性材料、不断完善电动机结构、新型电力电子器件及其驱动电路、高性能微处理器、各种信号检测与处理器件与技术、先进控制理论、工业网络等，必将随着各项技术的发展而不断完善。