

JIXIE SHEBEI DIANQI

KONGZHI YUANLI JI YINGYONG

机械设备电气 控制原理及应用

李公法 黄永杰 邹燕秋 编著



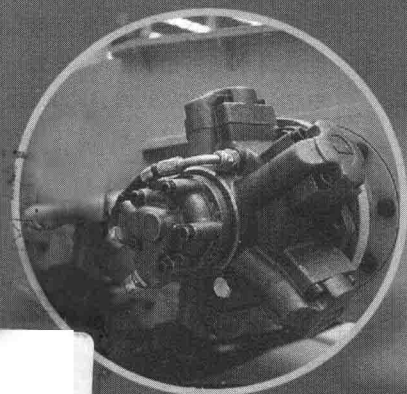
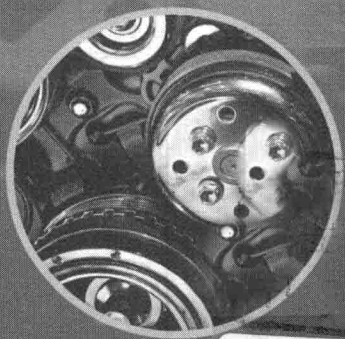
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

JIXIE SHEBEI DIANQI

KONGZHI YUANLI JI YINGYONG

机械设备电气 控制原理及应用

李公法 黄永杰 邹燕秋 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍了机械设备电气控制的基本概念和基础知识、控制系统分析以及设计中的应用。全书共分12章,包括:绪论、自动控制原理、继电器—接触器控制、直流传动与控制技术、交流传动与控制技术、步进电动机控制技术、伺服电动机控制技术、控制系统的稳定性分析、控制系统的性能指标与校正、可编程控制器控制技术、单片机控制技术、集散控制技术等。这些内容既对以往相关教材著作有一定的继承性,又体现了先进制造技术在现代工业中的应用。全书章节内容连贯,系统性强。注重控制理论在机械工程中的应用,并结合机械系统实例,对系统进行分析与设计,为将来运用控制理论解决机械工程中的实际问题打下基础。

本书可作为应用型本科院校机械工程类专业、测控技术及仪器类专业及高职高专院校自动化类专业的教材,也可作为相关领域的工程技术人员学习的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械设备电气控制原理及应用/李公法,黄永杰,
邹燕秋编著. —北京:中国水利水电出版社,2014.3

ISBN 978-7-5170-1825-4

I. ①机… II. ①李… ②黄… ③邹… III. ①机械设
备—电气控制 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 051452 号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:杨元泓 封面设计:崔 蕾

书 名	机械设备电气控制原理及应用
作 者	李公法 黄永杰 邹燕秋 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话:(010)68367658(发行部)、82562819(万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京鑫海胜蓝数码科技有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17.25印张 420千字
版 次	2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	62.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

机械设备电气控制技术是 20 世纪以来人类社会的重大技术进步之一,在工农业生产、国防军事、航空航天、科学研究以及日常生活等各个领域都得到了广泛的应用。随着现代科学技术的进步,传动控制技术过已由过去传统单一的机械传动,发展到了现在对控制系统的速度、位置、转矩等相关参数的精确控制。其中,不仅传统电动机技术(如直流、交流、步进、伺服等)有所革新,可编程控制器技术及单片机技术也得到了蓬勃的发展。

目前,以机械技术、检测技术、通信技术、信息技术和微机控制技术等多学科交叉、有机结合的一种工业制造技术已基本形成,并构成了机电一体化的现代工业体系。机电一体化作为一个多门技术学科相互渗透、相互结合的综合技术领域,是实现各领域自动化的重要手段之一,已经深入国民经济的方方面面,成为社会发展的重要物质基础。尤其是在工业领域,电气控制系统是基本的动力系统,应用十分广泛。近年来,随着电力电子技术和微电子技术迅速发展,传动控制技术和设备日臻完善,控制理论也越发成熟。但是,在实际工作中,具有电气专业知识背景的工程技术人员普遍感到实用电气传动技术的入门很难,因此,迫切需要一本能够帮助他们迅速掌握实用传动技术的书籍。

本书在内容编排上坚持循序渐进、由浅入深、配合紧密、学以致用,富于启发性和针对性。在编撰过程中,注重理论联系实际,在传动理论的讲述上力求简练、实用;在阐述基本原理的基础上,侧重于基本理论的实际应用,尤其突出了其在工程上的实用化;将元件与系统紧密配合,突出元件外部特性和为系统服务的理念;将概念与数量有机结合,重在定性分析,强调定量研究。

全书共分 12 章,主要内容包括:绪论、自动控制原理、继电器—接触器控制、直流传动与控制技术、交流传动与控制技术、步进电动机控制技术、伺服电动机控制技术、控制系统的稳定性分析、控制系统的性能指标与校正、可编程控制器控制技术、单片机控制技术、集散控制技术等。这些内容既对以往相关教材或著作有一定的继承性,又体现了先进制造技术在现代工业中的应用。

本书在编撰过程中,查阅了国内外大量与现代机电传动控制技术相关的教材及著作,并对其部分内容进行了吸收和引用,具体在书后的参考文献中列出,在此对这些文献资料的著作者表示诚挚的谢意。由于现代机电传动控制技术是一门仍在不断向前发展的技术,相关应用也在日益深入,加之作者学识水平有限,且编撰时间仓促,书中难免存在疏漏和不当之处,恳请广大同仁批评指正。

作者
2014 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机电传动与控制系统	1
1.2 机电系统中的传感器技术	8
1.3 电力传动控制系统中的常用低压电器	17
第 2 章 自动控制原理	25
2.1 自动控制概述	25
2.2 控制系统的数学模型	33
2.3 控制系统的时域分析	41
第 3 章 继电器—接触器控制	49
3.1 继电器	49
3.2 继电器—接触器控制的常用线路	59
3.3 生产机械中常用的自动控制方法	70
第 4 章 直流传动与控制技术	73
4.1 直流电动机	73
4.2 单闭环调速系统	85
4.3 双闭环调速系统及脉宽调速系统	93
第 5 章 交流传动与控制技术	99
5.1 交流异步电动机	99
5.2 交流调速系统	106
5.3 调压调速系统及变频调速系统	110
第 6 章 步进电动机控制技术	119
6.1 步进电动机	119
6.2 步进电动机控制系统	130

6.3 步进电动机的控制方法	136
第 7 章 伺服电动机控制技术	141
7.1 直流伺服电动机	141
7.2 交流伺服电动机	146
7.3 伺服系统	150
第 8 章 控制系统的稳定性分析	166
8.1 系统稳定性	166
8.2 李雅普诺夫稳定性分析法	167
8.3 劳斯稳定判据	171
8.4 奈奎斯特稳定判据	173
8.5 伯德稳定判据	178
8.6 系统的相对稳定性	180
第 9 章 控制系统的性能指标与校正	184
9.1 控制系统的性能指标	184
9.2 控制系统的校正方式及装置	189
9.3 控制系统的串联校正	198
9.4 控制系统的并联校正	200
9.5 控制系统的 PID 校正	203
第 10 章 可编程控制器控制技术	211
10.1 PLC 概述	211
10.2 S7-200 系列 PLC	222
10.3 可编程控制器应用系统设计	228
第 11 章 单片机控制技术	235
11.1 单片机概述	235
11.2 典型的单片机	239
11.3 单片机控制系统	245
第 12 章 集散控制技术	252
12.1 集散控制系统概述	252

12.2 集散控制系统的体系结构·····	254
12.3 集散控制系统的构成·····	257
12.4 集散控制系统的可靠性分析·····	260
参考文献·····	267

第 1 章 绪 论

1.1 机电传动与控制系统

1.1.1 控制系统的概念与分类

1. 系统和控制系统

系统是由相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体。在机电传动与控制中,系统是指将与控制设备的运动、动作等参数有关的部分组成的具有控制功能的整体。用控制信号(输入量)通过系统诸环节控制被控变量(输出量),使其按规定的方式和要求变化的系统称为控制系统。

2. 控制系统的分类

控制系统的分类方式很多,但机械设备的控制系统常按系统的组成原理,分为开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。

输出量只受输入量控制的系统称为开环控制系统。对应于每个设定输入端,都有一个相应的固定工作状态与之相对应,系统中没有反馈回路(反馈是把一个系统的输出量不断直接或间接变换后,全部或部分地返回到输入端,再输入到系统中去的过程)。用步进电动机作为执行元件的经济简易型数控机床的控制系统就是一个开环控制系统。因为机床的坐标进给控制信号是直接通过控制装置和驱动装置推动工作台运动到指定位置,坐标信号不再反馈。当控制系统出现扰动时,输出量便会产生偏差,因此开环控制系统缺乏精确性和适应性。但由于其简单经济,一般使用在对精度要求不高的机械设备中。开环控制系统组成框图如图 1-1 所示。

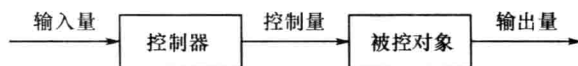


图 1-1 开环控制系统组成框图

输出量同时受输入量和输出量控制,即输出量对系统有控制作用,这种存在反馈回路的系统称为闭环控制系统。现有的全功能型 CNC 机器人和 CNC 机床的坐标驱动系统等都属于闭环控制系统。但是在 CNC 机床的坐标驱动系统中,只有以坐标位置量为直接输出量,即在工作台上安装长光栅等位移测量元件作为反馈元件的系统才称为闭环控制系统。那些以交、直流伺服电动机的角位移作为输出量,用圆光栅作为反馈元件的系统则称为半闭环控制系统。目前使用中的 CNC 机床绝大多数均为半闭环控制系统。采用半闭环控制系统的优点在于没有将伺服电动机与工作台之间的传动机构和工作台本身包括在控制系统内,系统易调整、稳定

性好且整体造价低。闭环控制系统组成框图如图 1-2 所示。数控机床的闭环控制系统及半闭环控制系统组成框图如图 1-3 和图 1-4 所示。

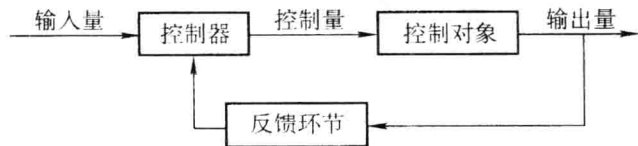


图 1-2 闭环控制系统组成框图

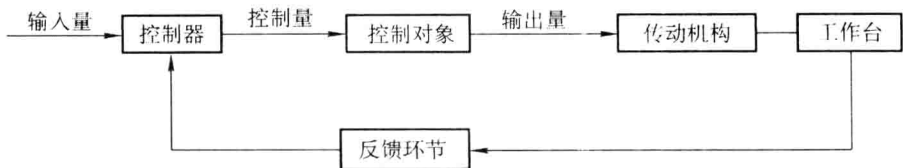


图 1-3 数控机床闭环控制系统组成框图

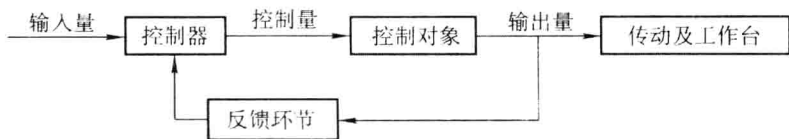


图 1-4 数控机床半闭环控制系统组成框图

1.1.2 机电传动控制系统

1.1.2.1 机电传动的目的和任务

机电传动(又称电力传动或电力拖动)是指以电动机为原动力驱动生产机械的系统的总称。它的目的是将电能转换成机械能,实现生产机械的启动、停止和速度调节,满足各种生产工艺过程的要求,保证生产过程的正常进行。

在现代工业中,为了实现生产过程自动化的要求,机电传动不仅包括拖动生产机械的电动机,而且包括控制电动机的一整套控制系统。也就是说,现代机电传动是和由各种控制元件组成的自动控制系统紧密地联系在一起的。

从现代化生产的要求出发,机电传动控制系统所要完成的任务,从广义上讲,就是要使生产机械设备、生产线、车间甚至整个工厂都实现自动化;从狭义上讲,是指控制电动机驱动生产机械,实现产品数量的增加、产品质量的提高、生产成本的降低、工人劳动条件的改善以及能源的合理利用。

随着生产工艺水平的发展,对机电传动控制系统提出的要求愈来愈高。例如,一些精密机床要求加工精度达百分之几毫米,甚至几微米;重型镗床为保证加工精度和控制表面粗糙度,要求能在很宽的范围内调速;轧钢车间的可逆式轧机及其辅助机械操作频繁,要求在不到一秒

的时间内就能完成从正转到反转的过程,即要求能迅速地启动、制动和反转;对于电梯和提升机,要求启动和制动的平稳性,并能准确地停在给定的位置上;对于冷、热连轧机以及造纸机的各机架或各分部,要求它们的转速保持一定的比例关系,以便进行协调运转;为了提高效率,要求对由数台或数十台设备组成的生产自动线实行统一控制和管理。诸如此类的要求,都是靠电动机及其控制系统和机械传动装置来实现的。

1.1.2.2 机电传动控制系统的发展历程

1. 机电传动的发展阶段

机电传动及其控制系统是随着社会工业生产的发展而发展的。单就机电传动而言,它的发展主要经历了三个阶段。

成组拖动,就是一台电动机拖动一根天轴,然后再经由天轴通过带轮和传动带分别拖动各生产机械。这种拖动方式生产效率低,劳动条件差,一旦电动机发生故障,将造成成组的生产机械停车。

单电动机拖动,就是用一台电动机拖动一台生产机械,它虽较成组拖动前进了一步,但当一台生产机械的运动部件较多时,机械传动机构十分复杂。

多电动机拖动,即一台生产机械的每一个运动部件分别由一台专门的电动机拖动,例如,龙门刨床的刨台、左右垂直刀架与侧刀架、横梁及其夹紧机构,均分别由一台电动机拖动。这种拖动方式大大简化了生产机械的传动机构,而且控制灵活,为生产机械的自动化提供了有利的条件。所以,现代化机电传动基本上均采用这种拖动形式。

2. 控制系统的发展阶段

控制系统是伴随着控制器件的发展而发展的。随着功率器件和放大器件的不断更新,机电传动控制系统的发展日新月异,主要经历了四个阶段:

20 世纪初,最早的机电传动控制系统出现,它仅借助于简单的接触器与继电器等控制电器,实现对控制对象的启动、停车以及有级调速等控制,这种控制方法控制速度慢,控制精度差。

20 世纪 30 年代出现了电机放大机控制,它使控制系统从断续控制发展到连续控制,连续控制系统可随时检查控制对象的工作状态,并根据输出量与给定量的偏差对控制对象进行自动调整。它的控制速度和控制精度都大大超过了最初的断续控制,并简化了控制系统,减少了电路中的触点,提高了可靠性,使生产效率大为提高。

20 世纪 40~50 年代出现了磁放大器控制和大功率可控水银整流器控制。时隔不久,又出现了大功率固体可控整流元件——晶闸管。晶闸管控制很快就取代了水银整流器控制,也正是由于晶闸管的应用,才使得交流电动机变频调速成为可能。继晶闸管出现以后,又陆续出现了其他种类的器件,诸如门极可关断晶闸管(GTO)、电力功率晶体管(GTR)、电力场效应晶体管(P-MOSFET)、绝缘栅双极型晶体管(IGBT)等。由于这些器件的额定电压、额定电流以及其他电气特性均得到很大的改善,因此,它们普遍具有效率高、控制特性好、反应快、寿命长、可靠性高、易于维护、体积小、重量轻等优点。

随着数控技术的发展和计算机的应用,特别是微型计算机的应用,控制系统又发展到了一个新阶段——采样控制。它也是一种断续控制,但是和最初的断续控制不同的是它的控制间

隔(采样周期)比控制对象的变化周期短得多,因此,在客观上完全等效于连续控制。这种控制方法把电力电子技术与微电子技术、计算机技术紧密地结合在一起,使电力电子控制技术具有强大的生命力。

当今世界正处在网络时代,信息化的电动机自动控制系统正在悄悄出现。这种控制系统采用嵌入式控制器,在嵌入式操作系统的软件平台上工作,控制系统自身就具有局域网甚至互联网的上网功能,这些都为远程监控和远程故障诊断及维护提供了方便。目前已经研制成功了基于开放式自由软件 Linux 操作系统的数字式交流伺服系统。机电传动控制技术已进入一个崭新的发展阶段,它以电力半导体变流器件的应用为基础,以电动机为控制对象,以自动控制理论为指导,以电子技术和微处理器控制及计算机辅助设计为手段,并结合检测技术和数据通信技术,构成一门具有相对独立性的技术。在生产设备和过程自动化中,它发挥着愈来愈重要的作用。

20 世纪 70 年代初,计算机数字控制(CNC)系统应用于数控机床和加工中心,这不仅提高了机床的自动化程度,而且提高了机床的通用性和加工效率,在工业生产上得到了广泛的应用。之后,工业机器人的诞生,为实现机械加工全盘自动化创造了物质基础。80 年代以来,出现了由数控机床、工业机器人、自动搬运车等组成的统一由中心计算机控制的机械加工自动线——柔性制造系统(FMS),它是实现自动化车间和自动化工厂的重要组成部分。机械制造自动化高级阶段是走向设计、制造一体化,即利用计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)形成产品设计和制造过程的完整系统,对产品构思和设计直至装配、试验和质量管理这一全过程实现自动化。为了实现制造过程的高效率、高柔性、高质量,研制计算机集成制造系统(CIMS)是人们现今的任务。

3. 调速系统的发展历程

原始的机械设备由工作机构、传动机构和原动机组成,控制方式由工作机构和传动机构的机械配合实现。随着以电气元件为主的自动控制系统的大量应用,设备的性能不断提高,使工作机构和传动机构的结构大为简化。主要由继电器、接触器、按钮、开关等元件组成的机械设备的电气控制系统称为继电器—接触器控制系统,其主要控制对象是三相交流异步电动机,对电动机的启动、制动、反转、调速和降压等进行控制。这种控制所用的电器一般不是“接通”就是“断开”,控制是断续的。所以,从控制性质上来说,这种继电器—接触器控制属于断续控制或开关控制。因其实现简单、操作方便、价格便宜、易于维修,许多通用机械设备至今仍采用这种控制系统。但是,它也存在功耗大、体积大、控制方式不灵活等缺点。

之后,开关控制不能满足对调速性能要求较高的生产机械,因此出现了直流发电机—电动机调速系统。直流电动机具有启动转矩大、容易进行无级调速的特点。但它需要配套的直流电源,直流电源是由一台交流电动机拖动一台直流发电机提供的。这种直流发电机—电动机调速系统中的电压和电流可以连续变化,属于连续控制。目前龙门刨床、轧钢机和造纸机等仍在应用这种控制方式。但是,这种方式存在所用电机数量多、占地面积大、噪声大和效率低等缺点。20 世纪 60 年代后出现了晶闸管电动机自动调速系统,这种系统中的直流电源是由晶闸管组成的可控整流电路提供,具有体积小、重量轻、效率高和控制灵活等优点,所以得到了普遍应用。

20 世纪 80 年代以后,由于半导体技术的飞速发展,使得交流电动机调速系统有了突破性

进展。交流调速有许多直流调速不可比拟的优点,单机容量和转速可大大高于直流电动机,交流电动机无电刷与换向器,易于维护,可靠性高,能在带有腐蚀性、易爆性、含尘气体等特殊环境中使用。与直流电动机相比,交流电动机还具有体积小、重量轻、制造简单、坚固耐用等优点。交流调速已在关键技术上有所突破,从实用阶段进入扩大应用、系列化的新阶段。以笼型交流伺服电动机为对象的矢量控制技术是近年来新兴的控制技术,它能使交流调速具有直流调速的优越调速性能。交流变频调速器、矢量控制伺服单元及交流伺服电动机已日益广泛地应用于工业生产中。

为了适应工业自动化和生产过程变动节奏加快的要求,电气控制逐渐采用顺序控制技术。所谓顺序控制,就是对机械设备的动作和生产过程按预先规定的逻辑顺序自动进行的一种控制。20世纪60年代末发展起来的实现顺序控制的一种通用的电气控制装置称为顺序控制器(也称程序控制器),一般具有逻辑运算、顺序操作、定时、计数、程序转移、程序分支和程序循环等基本功能,有些还具有算术运算和数值比较功能。它不仅用于单机控制,而且用于多机群控和生产线的自动控制等。其主要特点是编制程序和改变程序方便,通用性和灵活性强,原理简单易懂,操作稳定可靠,使用和维修方便,装置设备体积小,设计和制造周期短,用它可替代大量的继电器。在机床行业,顺序控制器广泛用于单机、组合机床和自动生产线的控制。

近年来,可编程控制器(PLC)在工业过程自动化系统中的应用日益广泛。PLC从一开始就是以最基层、第一线的工业自动化环境及任务为前提的。它可用梯形图编程,具有硬件结构简单、安装维修方便、抗强电磁干扰能力强、工作可靠性高等优点,工程技术人员能很快地熟悉和使用它。PLC是一种数字运算操作的电子系统,是专门为在工业环境下应用而设计的。它采用一类可编程存储器,用来存储执行逻辑运算、顺序控制、定时和算术运算等面向用户的指令,并通过数字式或者模拟式的方法进行输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。PLC及其有关外部设备,都按照既易于工业控制系统连成一个整体,又易于扩充功能的原则进行设计。近年来,PLC的一个发展方向是微型、简易、价廉,以期占领一向以继电器系统为主流的(诸如一般机床、包装机、传输带等)控制领域;另一个发展方向是向大型高功能方面延伸。PLC很有发展前途。

上述各种控制系统均为电气控制系统。近年来,许多工业部门和技术领域对高精度、高响应、大功率和低成本控制系统提出的要求,促使液压、气动控制系统的迅速发展。液压、气动控制系统和电气控制系统一样,由于各自的特点,在不同的行业得到应用。液压、气动技术与现代控制技术、电子技术、计算机技术的结合,使液压、气动控制技术也在不断推陈出新,并大大地提高了它的综合技术指标。

此外,自20世纪70年代以来,单片机发展很快。由于单片机的数据结构和指令系统都是针对工业控制的要求而设计的,成本低、集成度高,可灵活地组装成各种智能控制装置,解决从简单到复杂的各项任务,实现较高的性价比。而且从单片机芯片的设计制造开始,就考虑了工业控制环境的复杂性,因而它的抗干扰能力较强,特别适合于在机电一体化产品中应用,在机电传动与控制系统中也有许多应用。

1.1.2.3 电动机控制系统的研究

电动机控制系统的发展可以从多个角度进行考虑。

从主传动机电能量转换角度来说,由机械控制系统、机械和电气联合控制系统发展到全电气控制系统。

从控制电路来说,由模拟电路、数字和模拟混合电路发展到全数字电路控制系统。

从控制策略来说,最初是低效有级控制(如直流电动机电枢回路串分级电阻调速、绕线式感应电动机转子回路串电阻与笼式感应电动机变极调速),接着是低效率无级控制(如感应电动机改变转差率调速),之后又改进成高效率无级控制(如直流电动机斩波调压调速、交流电动机变频调速、交流电动机矢量控制与直接转矩控制系统),现在发展到高性能智能型控制系统(如自适应系统参数辨识与自校正控制、神经元或神经网络控制、模糊逻辑控制、模糊神经网络控制等电动机控制系统)。

从电力电子控制器结构来说,由体积庞大的电子管控制系统、小功率晶体管控制系统、大功率无自关断能力的晶闸管控制系统发展到全控型电力电子器件(包括 GTO、MOSFET、IGBT 和 IGCT 等)构成的控制系统,仅用于电动机控制系统的各种电源变换器就有 AC/DC 可控整流器、DC/DC 斩波器、DC/AC 逆变器、AC/DC/AC 交直交变换器、AC/AC 循环变换器和矩阵变换器等。

电动机控制系统分发电机和电动机两个方面,就电动机的控制目标来说,主要有速度控制和位置控制两大类。

电动机的速度控制系统也称为电动机调速系统,它广泛地应用于机械、冶金、化工、造纸、纺织、矿山和交通等工业部门。

电动机的位置控制系统或位置伺服系统也称为电动机的运动控制系统。电动机的运动控制系统是通过电动机伺服驱动装置将给定的位置指令变成期望的机构运动,一般系统功率不大,但要求定位精度高,并具有频繁起动和制动的特点,在雷达、导航、数控机床、机器人、打印机、复印机、扫描仪、磁记录仪、磁盘驱动器和自动洗衣机等领域得到广泛应用。

自 1831 年法拉第发现电磁感应原理以来,直流电动机和交流电动机相继问世,以后各种特殊用途的电动机类型不断出现,极大地推动了电力工业和电气传动技术的发展。但是绝大部分电能是由三相交流同步发电机提供,而大部分交流电又由交流电动机使用,特别是感应电动机。直流电动机由于控制简单、调速平滑、性能良好,在电动机控制领域一直占据主导地位。然而直流电动机结构上存在的机械换向器和电刷,使它具有难以克服的固有缺点,如造价高、维护难、寿命短,存在换向火花和电磁干扰,这些都使得电动机最高转速、单机容量和最高电压等受到一定的限制。

随着电力电子技术、微电子技术和稀土永磁材料的飞速发展,高性能电动机控制系统技术不断更新,成本不断降低,新型电动机不断出现,交流电动机驱动系统正不断地取代直流电动机控制系统。提高电动机控制系统性能的研究工作主要有以下几个方面。

1. 新型功率控制器件和 PWM 技术应用

可控型功率控制器件不断进步为电动机控制系统的完善提供了硬件保证,尤其是新的可关断器件,如门极可关断器件(GTO)、大功率晶体管(GTR)、双极结型晶体管(BJT)、金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)、绝缘栅双极型晶体管(IGBT)、绝缘栅可换向晶闸管(IGCT)等的实用化,使得高频、高压、大功率 PWM 控制技术成为可能。电动机控制的基本手段就是如何控制 PWM 波形,使得功率控制器件输出的电压和电流波形能满足电动机高性能

运行的要求。目前电力电子技术

2. 矢量变换控制技术与现代控制理论的应用

感应电动机是一种多变量、强耦合、非线性的机电一体化执行元件,传统电压与频率之比恒定的控制策略是以电动机本身稳态运行为立足点,即从电动机机械特性出发分析研究电动机的运行状态和特性,其动态控制效果不够理想。

20 世纪 70 年代初,德国学者在前人提出的坐标变换理论的基础上提出了感应电动机矢量变换控制方法。该方法的基本思想是将感应电动机的定、转子绕组分别经过坐标变换后等效成两相正交的绕组,并从转子磁场的角度观测,实现了感应电动机电气变量的解耦控制。

矢量变换控制主要研究感应电动机动态控制过程,不但控制电流和磁通等变量的幅值,同时控制这些变量的相位,并利用现代线性系统控制中状态重构和估计的概念,从而实现了感应电动机磁通和转矩在等效两相正交绕组状态下的重构和解耦控制,从而促进了感应电动机矢量控制系统的实用化。矢量变换控制方法已经从最初的感应电动机推广到了同步电动机的控制,并出现了基于矢量变换的各种控制形式。目前,国外变频器驱动感应电动机均采用矢量变换控制技术,并用于钢厂轧机主轴传动、电力机车牵引系统和数控机床中。

此外,为了解决矢量变换控制系统的复杂性和控制精度问题,到 20 世纪 80 年代中期又相继提出了新的控制方法,如直接转矩控制、空间矢量调制技术和定子磁场定向控制等。尤其是利用微处理器实时控制,使得现代控制理论中各种控制方法得到应用,如最优控制、滑模变结构控制、模型参考自适应控制、状态观测器、扩展卡尔曼滤波器和智能控制等,提高了控制过程的动态性能,增强了系统的鲁棒性等。

3. 新型电动机和无传感器控制技术研究

各种电动机控制系统的发展对电动机本身也提出了更高要求,需要研究新型电动机设计、动态建模和控制策略,如直接联网高压电动机设计、永磁电动机设计、超声波电动机设计、交流励磁发电电动机转子交流励磁控制、双馈感应电动机设计和控制、磁悬浮直线电动机设计、电子线路板元器件布置、平面电动机设计、开关磁阻电动机设计与驱动控制、电动机阻尼绕组的合理设计、感应电动机转子鼠笼导条的故障诊断以及三维物理场的计算等问题。

随着人们生活水平提高、生命质量改善和环境保护意识的增强,绿色环保电动车辆用高功率密度电动机、人工器官和辅助装置驱动的微电动机、机器人及运动控制系统中得到重视和广泛应用稀土永磁材料研制的高速永磁电动机以及转子无绕组的开关磁阻电动机等都有迅猛发展。其中,开关磁阻电动机与反应式步进电动机类似,但开关磁阻电动机利用转子位置传感器可有效地控制失步问题。永磁电动机由于转子采用永磁材料没有励磁绕组和励磁损耗,电动机功率密度和效率更高。但是为了防止失步也需要转子位置传感器。

高性能的控制系统利用位置传感器或速度传感器检测转子位置或速度,而这类机械传感器的使用往往造成系统体积增大,可靠性降低,成本提高,而且易受环境的影响。为此,研究无传感器控制系统成为研究的新热点。无传感器电动机控制方法是利用检测到的电动机状态信号(如电压和电流信号),通过基于电动机控制数学模型而设计的位置或速度观测器实时计算出电动机转子位置或速度。由于计算方法复杂且计算量大,需要采用具有高速计算能力的微处理芯片。因此,研究微处理芯片硬件和软件,实现电动机控制复杂的计算方法成为无传感器电动机控制系统的关键。

1.2 机电系统中的传感器技术

1.2.1 传感器的作用

客观世界的一切物质都以不同的方式运动着。为了认识客观世界,人们就必须找出表征物质运动的各种信号以及信号与物质运动的关系,这就是检测的任务。随着自动化技术的飞速发展,检测技术在工业生产领域得到了广泛应用。例如,生产过程中产品质量的检测、产品质量的控制,提高生产的经济效益、节能和生产过程的自动化等,都需要利用传感器检测生产过程中的参数并以此为依据进行反馈控制,以保证整个生产过程的顺利进行。

世界是由物质组成的,各种事物都是物质的不同表现形态。为了从外界获得信息,人们必须借助于感觉器官。人的“五官”——眼、耳、鼻、舌、皮肤分别具有视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉等直接感受周围事物变化的功能,人的大脑对“五官”感受到的信息进行加工处理,从而调节人的行为活动。

人们在研究自然现象、事物规律以及生产活动时,有时需要对某一事物的存在与否作定性了解,有时需要进行大量的实验测量以确定对象量值的确切数据,所以单靠人类自身感觉器官的功能是远远不够的,需要借助于某种仪器设备完成。这种仪器设备就是传感器。传感器是人类“五官”的延伸,是信息采集系统的最基本也是最重要的部件。

表征物质特性及运动形式的参数很多。根据物质的电特性,可分为电量和非电量两类。电量一般是指物理学中的电学量,例如电压、电流、电阻、电容及电感等;非电量是指除电量之外的一些参数,例如压力、流量、尺寸、位移量、质量、速度、加速度、转速、温度、浓度及酸碱度等。

人类为了认识物质及事物的本质,需要对物质特性进行测量,其中大多数是对非电量的测量。非电量不能直接使用一般的电工仪表和电子仪器进行测量,这是因为一般的电工仪表和电子仪器只能测量电量,要求输入的信号为电信号。非电量需要转化成与其有一定关系的电量再进行测量。实现这种转换技术的器件就是传感器。传感器是获取自然或生产中信息的关键器件,是现代信息系统和各种装置不可缺少的信息采集工具。采用传感器技术的非电量电测方法就是目前应用最广泛的测量技术。

随着科学技术的发展,传感器技术、通信技术和计算机技术构成了现代信息产业的三大支柱产业,分别充当信息系统的“感官”、“神经”和“大脑”,它们构成了一个完整的自动检测系统。在利用信息的过程中,首先要解决的问题就是获取可靠、准确的信息,所以传感器精度的高低直接影响计算机控制系统的精度,可以说没有性能优良的传感器,就没有现代化技术的发展。

1.2.2 传感器的定义与组成

1.2.2.1 传感器的定义

传感器的作用是将被测量转换成与其有一定关系的易于处理的电量,它获得的信息正确与否,直接关系到整个系统的精度。依照中华人民共和国国家标准(GB/T 7665—1987《传感器通用术语》)的规定,传感器的定义是:“能感受(或响应)规定的被测量并按照一定的规律转

换成可用输出信号的器件或装置。”

这一定义包含了几个方面的含义:①传感器是测量装置,能完成测量任务;②它的输入量是某一被测量,可能是物理量、化学量、生物量等;③它的输出量是某一物理量,这种量要便于传输、转换、处理和显示等,这就是所谓的“可用信号”的含义;④输出与输入有一定的对应关系,这种关系要有一定的规律,根据字义可以理解传感器为一感二传,即感受信息并传递出去。

1.2.2.2 传感器的组成

传感器通常由敏感元器件、转换元器件、转换电路及辅助电源组成,如图 1-5 所示。其中,敏感元器件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分;转换元器件是指传感器中能将敏感元器件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号的部分;转换电路是把转换元器件输出的电信号变换为便于处理、显示、记录、控制和传输的可用电信号的部分,其电路的类型视转换元器件的不同而定,经常采用的有电桥电路和其他特殊电路,如高阻抗输入电路、脉冲电路、振荡电路等;辅助电源提供转换能量,有的传感器需要外加电源才能工作,如应变片组成的电桥、差动变压器等,有的传感器则不需要外加电源便能工作,如压电晶体等。

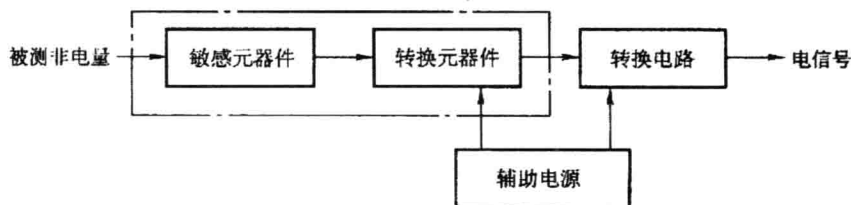


图 1-5 传感器组成框图

需要注意的是,并不是所有的传感器都必须包括敏感元器件和转换元器件。敏感元器件与转换元器件合二为一的传感器是很多的。

如果敏感元器件直接输出的是电量,它就同时兼为转换元器件;如果转换元器件能直接感受被测量而输出与之成一定关系的电量,它就同时兼为敏感元器件,如压电晶体、热电偶、热敏电阻及光器件等就是这类器件。

1.2.3 传感器的分类

根据某种原理设计的传感器可以同时测量多种非电量,而有时一种非电量又可以用几种不同的传感器来测量。因而传感器有许多分类方法,但常用的分类方法有两种:一种是按被测输入量来分;另一种是按传感器的工作原理来分。

1.2.3.1 按被测输入量分类

按被测输入量分类方法是根据被测量的性质进行分类,如温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器、加速度传感器及转矩传感器等。

这种分类方法把种类繁多的被测量分为基本被测量和派生被测量。例如,力可视为基本被测量,可派生出压力、质量、应力和力矩等派生被测量。当需要测量这些派生被测量时,只要采用力传感器就可以了。了解基本被测量和派生被测量的关系,对于系统使用何种传感器非常重要。

常见的非电基本被测量和派生被测量见表 1-1。这种分类方法的优点是比较明确地表达了传感器的用途,便于使用者根据用途选用。其缺点是没有区分每种传感器在转换机理上有何共性和差异,不便于使用者掌握基本原理及分析方法。

表 1-1 基本被测量和派生被测量

基本被测量		派生被测量
位移	线位移	长度、厚度、应变、磨损、平面度
	角位移	旋转角、偏转角、角振动
速度	线速度	速度、振动、流量、动量
	角速度	转速、角振动、角动量
加速度	线加速度	振动、冲击、质量
	角加速度	角振动、转矩、转动惯量
力	压力	质量、应力、力矩
时间	频率	周期、记数、统计分布
温度		热容、气体速度、涡流
湿度		水分、水汽、露点
光		光通量与密度、光谱分布

1.2.3.2 按传感器工作原理分类

传感器还可按物理、化学、生物等学科的原理、规律和效应分类,这种分类的优点是对传感器的工作原理表达得比较清楚,而且类别少,有利于传感器专业工作者对传感器进行深入的研究分析。其缺点是不便于使用者根据应用进行选择。具体划分如下。

1. 电学式传感器

电学式传感器是应用范围较广的一种传感器,常用的有电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、电磁式传感器和电涡流式传感器等。

电阻式传感器是利用变阻器将被测非电量转换成电阻信号的原理制成的。电阻式传感器一般有电位器式、触点变阻式、电阻应变片式及压阻式等。电阻式传感器主要用于位移、压力、力、应变、力矩、气体流速、液体和液体流量等参数的测量。

电容式传感器是利用改变极板间几何尺寸或改变介质的性质和含量,从而使电容量发生变化的原理制成的。电容式传感器主要用于压力、位移、液体、厚度及水分含量等参数的测量。

电感式传感器是利用改变磁路几何尺寸、磁体位置来改变线圈的电感或互感,或利用压磁效应原理制成的。电磁式传感器主要用于位移、压力、力、振动及加速度等参数的测量。

电磁式传感器是利用电磁感应原理,把被测非电量转换成电量而制成。电磁式传感器主要用于流量、转速和位移等参数的测量。

电涡流式传感器是利用金属导体在磁场中运动时在金属内形成涡流的原理制成的。电涡流式传感器主要用于位移及厚度等参数的测量。

2. 磁学式传感器

磁学式传感器是利用铁磁物质的一些物理效应制成的。磁学式传感器主要用于位移、转矩等参数的测量。