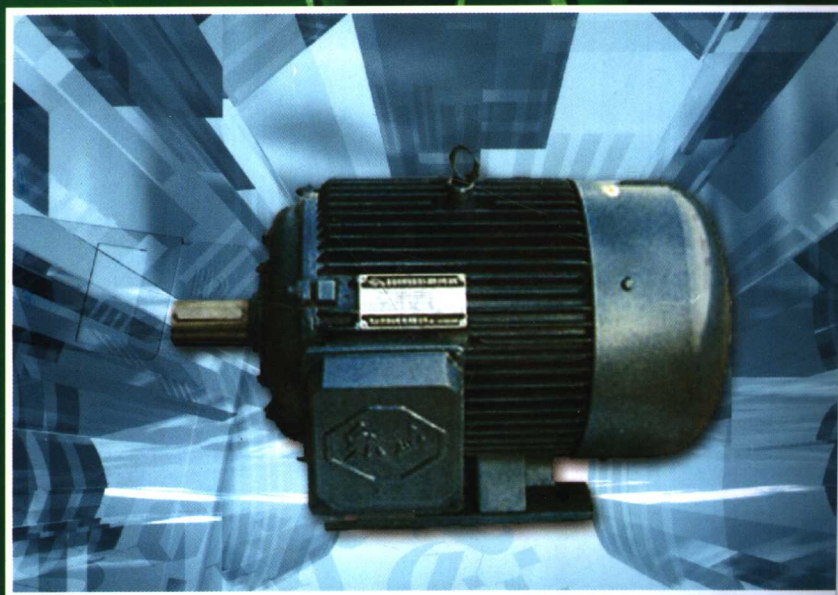


● 现代工业自动化技术应用丛书

现代永磁电动机

交流伺服系统

郭庆鼎 孙宜标 王丽梅 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

现代工业自动化技术应用丛书

现代永磁电动机 交流伺服系统

郭庆鼎 孙宜标 王丽梅 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



内 容 提 要

本书以交流永磁伺服电动机为例,较全面系统地介绍了现代交流伺服系统的基本原理和组成,介绍了位置和速度传感器的基本原理,阐述了控制回路和伺服控制器设计,并总结了交流伺服系统的控制特点和各种控制策略,给出了交流伺服电动机和伺服放大器的选择原则和维护措施,同时列举了交流伺服系统的一些典型应用实例。

本书适宜于从事电气传动自动化、机电一体化、电机及其控制、电力电子技术的工程技术人员阅读,也可作为大专院校有关教师、研究生和高年级本科学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代永磁电动机交流伺服系统 / 郭庆鼎, 孙宜标, 王丽梅编著.
—北京: 中国电力出版社, 2006
(现代工业自动化技术应用丛书)
ISBN 7-5083-4369-7

I. 现… II. ①郭… ②孙… ③王… III. 永磁式电机: 交流电机: 伺服电动机 IV. TM383.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 045953 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 8 月第一版 2006 年 8 月北京第一次印刷

1000 毫米×1400 毫米 B5 开本 15.25 印张 308 千字

印数 0001—4000 册 定价 24.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序 言



现代工业自动化技术是信息社会中的关键技术和核心技术之一。自动化技术促进了人类文明的发展。实现工业生产自动化可以提高系统性能、改善劳动条件、减轻劳动强度、大幅提高生产率、节约能源、提高产品质量和经济效益。自动化设备可以代替人完成各类高危作业。

现代工业自动化系统已呈现开放性、智能化、信息化与网络化的特点，它融合了自动化技术、信息技术、现代控制技术、网络技术、通信技术、先进制造技术及现代管理学等诸多学科的先进技术，需要各学科的专家及工程技术人员通力合作，从而实现多学科专业知识与系统集成、形成实现现代工业自动化发展的手段或模式。

为了推广现代工业自动化技术的应用，总结、发展和提高我国工业自动化技术的应用水平，培养高水平的工程技术人员，帮助工作在生产第一线的工程技术人员能够及时拓展知识结构，较全面地了解 and 掌握现代工业自动化领域中的最新技术和应用，中国电力出版社组织编写了《现代工业自动化技术应用丛书》。

一、丛书的编写宗旨

团结组织工业自动化领域的专家、学者、科技工作者、工程技术人员和团体，共谋策划与编写，促进我国工业自动化技术的繁荣和发展。

二、丛书的编写原则

1. 以技术应用为主。理论与实践密切结合，通过剖析工程实例，介绍最新技术和产品的应用，以适应工业现场的需要。可操作性强。

2. 丛书各分册均以现场应用实际或范围划分。各分册之间既相互联系又自成体系。

3. 编委会特邀请该领域有扎实理论基础并富有实践经验的专家、学者和工程技术人员来承担编写工作。

三、丛书读者对象

以工程技术人员为主要读者对象，也适宜科研人员和大专院校师生参考。

我们相信《现代工业自动化技术应用丛书》的出版必将对我国工业自动化技术的应用起到积极作用。编写出版《现代工业自动化技术应用丛书》对于我

们是一种全新的尝试，难免存在一些问题，希望广大读者给予支持和帮助，我们的联系方式是 mo_bingying@cepp.com.cn。同时，热忱希望各行业从事工业自动化及相关技术的专家、学者、工程技术人员借此机会积极参与，将您在工作实践中获得的丰富经验总结出来，共同为提高我国工业自动化技术的应用水平做出贡献。

《现代工业自动化技术应用丛书》
编委会

前 言



工业自动化技术和装备涉及多个学科领域，其中所应用的计算机相当于人的大脑，负责对信息进行数值计算、逻辑推理、决策判断，并发出控制指令。这些控制命令代表着对自动化装备运动规律的希望和要求，然而并不能单靠计算机自身去实现这些命令。虽然计算机可以灵活、快速地发出任何命令，但是，因为其命令自身所携带的能量极为有限，并且没有工具去执行“大脑”的意志实现运动。人执行大脑运动的要求，依靠的是人的肢体。自动化装备执行计算机发出的运动命令，则需要机电机构来完成。接收控制命令，对控制信号运算操作，提高执行能力，驱动执行工具运动，完成特定任务，这就要用到电气、气动、液压、机械等装置。接收控制命令，产生动力，驱动机构完成特定的运动，就是伺服系统的任务。因此可以说，伺服驱动装置是工厂自动化不可或缺的基本技术装备。

由于计算机及其软件技术高度发展，高速而精确地产生任意所需形式的指令并不困难，而伺服系统驱动对象忠实、快速、高精度地完成控制命令则并非易事。为什么呢？因为一般伺服驱动的对象都具有电气和机械惯性，并不能即刻响应指令的要求，而且还需要对受控运动对象快速而精细地调控，提供所需要的能量形式，这就不是一件轻而易举的事情，这里就有许多理论和技术问题需要研究解决。

伺服装置经过半个多世纪的发展，执行驱动的元件经历了电液脉冲马达、功率步进电动机、小惯量直流电动机、大惯量直流电动机、AC 伺服电动机等几代的发展。时至今日，由于永磁材料的应用，高频大功率开关变流器的发展，高性能微电子器件的普及，电机理论的成熟与自动控制理论的最新进展，传感器技术的进步，才使得当代交流伺服电动机和数字驱动技术得到了突飞猛进的发展，达到了很高的水平，几近完美。电动伺服技术因具有一系列优点而倍受重视，永磁伺服电动机驱动技术更是居先，独领风骚。

但时代在前进，技术在进步，要求愈来愈高，精益求精，永无止境。现代交流伺服驱动装置也不例外，对于体积、质量、成本与可靠性、灵活性、跟踪的快速性、精确性和抗扰动鲁棒性等方面，也在不断追求新的高度和目标。对于广大使用者来说，本书在介绍交流伺服系统的基本原理、构成和控制方法的基础上，给出了其在各领域中的一些典型应用，以有利于扩大视野和推广应用。在应用时，应该做到“知己知彼”，恰如其分地选择好交流伺服系统，在完成所要求的运动任务的同时，做到可靠、经济、节能、少维护，并能对故障及时处理。这些都迫切需要掌握这方面的基本知识和技术，这本小册子也许对这些需要能有所帮助。另一方面，从系统性要求出发，本书也介绍了一些控制理论与伺服系统相结合方面的内容，对大

学高年级学生、研究生学习也是有一定参考价值的。

在本书的选题和出版过程中，得到了现代工业自动化技术应用丛书编辑委员会和中国电力出版社的大力支持，作者深表感谢。

由于作者学识和能力所限，书中内容难免有不当和错误之处，敬请有关专家和各位读者给予批评指正。

编者

目 录



序言	
前言	
第1章 绪论	1
1.1 机电一体化与伺服技术的 基本概念	1
1.2 工业机器人和伺服驱动 技术	4
1.3 数控机床和伺服驱动技术	6
1.4 交流伺服电动机与直流 伺服电动机的比较	7
1.5 旋转伺服运动和直线 伺服运动	9
1.6 永磁同步伺服电动机交流 伺服系统简介	11
第2章 伺服技术应用基础	14
2.1 旋转体的运动方程	14
2.2 负载的转矩特性	17
2.3 对伺服控制的基本要求	20
2.4 交流伺服系统的控制 形式	24
2.5 模拟控制与数字控制	28
第3章 位置和速度传感器	30
3.1 概述	30
3.2 光电编码器	32
3.2.1 增量式光电编码器	32
3.2.2 绝对式光电编码器	35
3.2.3 混合式光电编码器	37
3.3 旋转变压器	38
3.4 感应同步器	43
3.4.1 感应同步器种类和 特点	43
3.4.2 相位工作方式	45
3.4.3 幅值工作方式	45
3.4.4 感应同步器鉴相 系统	46
3.4.5 感应同步器的鉴幅 测量系统	49
3.5 光栅	50
3.5.1 直线式透射光栅	51
3.5.2 莫尔条纹式光栅	52
3.5.3 光栅检测装置	54
3.6 激光干涉仪	56
3.6.1 激光干涉法测距 原理	57
3.6.2 多普勒效应	58
3.6.3 双频激光干涉仪	58
第4章 交流永磁伺服电动机	60
4.1 交流永磁伺服电动机的 分类与结构	60
4.1.1 分类	60
4.1.2 结构	61
4.1.3 磁路特点	62
4.2 交流永磁伺服电动机的 设计特点	63
4.2.1 永磁材料	63
4.2.2 定子绕组与感应 电动势波形	64
4.2.3 阻尼绕组	64

4.2.4	极数	65
4.3	三相永磁同步电动机的 数学模型	65
4.3.1	电压方程	65
4.3.2	转矩方程	69
4.3.3	状态方程	70
4.3.4	等效电路	70
4.4	无刷直流电动机的 数学模型	73
4.4.1	电压方程	73
4.4.2	转矩方程	74
4.4.3	状态方程和等效 电路	74
4.5	交流永磁同步伺服电动机 的矢量控制	75
4.5.1	矢量控制基本原理	75
4.5.2	PMSM 矢量控制的 稳态分析	76
4.5.3	PMSM 矢量控制的 动态分析	78
4.5.4	BDCM 矢量控制	80
4.5.5	峰值转矩与永磁体 退磁	81
4.6	纹波转矩和齿槽转矩	82
4.6.1	PMSM 的纹波转矩	82
4.6.2	BDCM 的纹波转矩	86
4.6.3	齿槽转矩	89
4.7	直线永磁同步电动机	91
4.7.1	概述	91
4.7.2	直线永磁同步电动机 的基本结构	92
4.7.3	直线永磁同步电动机 的基本工作原理	92
4.7.4	直线永磁同步电动机 中的磁场及正弦电流 模型磁场分布	93

4.7.5	直线永磁同步电动机 的 dq 轴模型和推力 方程	94
4.7.6	永磁直线电动机的 端部效应	96

第5章 PWM 技术及电力 半导体器件 99

5.1	脉冲宽度调制 (PWM) 技术	99
5.1.1	PWM 技术原理	99
5.1.2	正弦波脉宽调制 (SPWM)	100
5.2	功率半导体器件	103
5.2.1	大功率晶体管	103
5.2.2	功率场效应晶体管	105
5.2.3	绝缘门极晶体管	107
5.2.4	GTR、P-MOSFET 和 IGBT 的特性比较	111
5.2.5	智能功率模块	112

第6章 交流伺服系统的控制回路 和伺服控制器 115

6.1	交流伺服系统控制回路的 组成	115
6.1.1	转子磁极位置检测 电路	116
6.1.2	正弦波产生电路	117
6.1.3	直流→正弦 (DC→SIN) 变换回路	119
6.1.4	正弦波 PWM 电路	119
6.1.5	位置和速度检测	120
6.1.6	电流检测	122
6.2	交流伺服控制器	123
6.2.1	电流控制器	124
6.2.2	速度控制器	124

6.2.3	位置控制器	125			
6.3	交流伺服电动机的 弱磁控制	129			
6.4	数字化交流伺服系统	133			
6.4.1	全数字伺服系统的 特点	133			
6.4.2	电动机控制用 DSP 简介	134			
6.4.3	全数字伺服系统 组成	135			
第7章 交流伺服系统的 控制策略			138		
7.1	对交流伺服控制系统的基本 要求	138			
7.2	对永磁交流伺服电机数学 模型的讨论	139			
7.3	影响系统伺服性能的不 确定因素	141			
7.4	伺服电动机的 PID 控制 方法	147			
7.4.1	概述	147			
7.4.2	控制规律的选择	151			
7.4.3	模拟 PID 控制与数字 PID 控制	151			
7.4.4	I-PD 控制	154			
7.4.5	二自由度控制	156			
7.5	Smith 预估控制	158			
7.5.1	Smith 预估控制 原理	158			
7.5.2	Smith 预估控制的一种 改进方案	160			
7.6	内模控制	161			
7.6.1	内模控制原理	161			
7.6.2	内模控制特性	163			
7.6.3	内模控制的实现 问题	164			
7.6.4	稳定内模控制器的 设计	165			
7.6.5	滤波器设计	166			
7.6.6	鲁棒性问题	168			
7.7	内模-鲁棒二自由度 结构	169			
7.7.1	传统二自由度结构与 鲁棒二自由度结构	169			
7.7.2	传统二自由度的线性 代数设计	170			
7.7.3	鲁棒二自由度结构的 代数设计	173			
7.8	H_{∞} 控制简介	176			
7.8.1	不确定性是模型结构 的一部分	176			
7.8.2	H_{∞} 控制名称的 由来	177			
7.8.3	鲁棒稳定性的条件	178			
7.8.4	采用 H_{∞} 范数的控制 问题形式化	181			
7.8.5	H_{∞} 控制问题及其 解法	183			
7.8.6	用 H_{∞} 控制方法设计 交流伺服电动机控制 系统	185			
7.9	重复控制	186			
7.9.1	中凸变椭圆截面活塞 的数控车削原理	187			
7.9.2	高频响直线位移伺服 装置	188			
7.9.3	直线电动机的数学 模型	188			
7.9.4	重复控制的定义	189			
7.9.5	控制系统的型别与内				

模原理	190
7.9.6 重复控制原理	191
7.10 零相位跟踪控制器	195
7.10.1 引言	195
7.10.2 零相位误差跟踪控 制器设计	196
7.10.3 L_2 最优 ZPETC	198
第8章 交流伺服电动机及伺服 放大器的选择、使用及 维护	202
8.1 介绍几家伺服产品厂商	202
8.2 伺服产品样本上的各项 内容	203
8.3 选用伺服电动机方法及 样本使用说明	208
8.4 交流伺服放大器的选择	213
8.5 交流伺服系统的使用和 维护	214
8.5.1 使用交流伺服系统的 注意事项	214
8.5.2 交流伺服系统的维护 和检修	215

第9章 现代交流伺服系统的 典型应用	216
9.1 在数控车床上的应用	216
9.2 在工业机器人中的应用	218
9.3 在半导体集成电路芯线焊 接机上的应用	219
9.4 在变压器铁心硅钢片横剪 线中的应用	221
9.5 在新型电梯驱动中的 应用	223
9.6 在雷达天线驱动系统中的 应用	224
9.7 在纺织机械的送经、卷取 控制中的应用	225
9.8 在电火花线切割机床中的 应用	227
9.9 在重型龙门移动式镗铣 床双立柱同步进给中 的应用	229
参考文献	233

第1章 绪 论

1.1 机电一体化与伺服技术的基本概念

当前,全球正面临着一场新技术革命。这场新技术革命以信息技术为主角,极大地提高了劳动生产率和工作效率。信息技术已成为社会经济发展中最活跃的生产力。信息技术,特别是微电子信息技术和软件技术与机械技术的有机融合,给机械(或机器)赋予了极大的柔性,使传统的机械工业焕发了青春,出现了新的机电一体化产品,带来了巨大的经济效益和社会效益。

这种微电子学和机械学的相互渗透和结合,形成了一门新兴的学科和技术,从学科上,国外称为机械电子学(Mechatronics),从技术上,国内更多地称为机电一体化。

由于机电一体化是由多种相关学科和技术复合而成,而且目前又在不断地发展着,所以,至今还没有一个众所公认的确切定义。就是在提出机电一体化这一概念的日本,也众说不一。较有权威的解释是在1981年日本人提出的如下定义:“机电一体化一词乃是在机构的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能上引进电子技术,将机械装置与电子化设计及软件结合起来所构成的系统的总称”。美国有关专家所下的定义是:“机电一体化是用计算机网络协调、控制各种机械或机电部门的相互联系,以完成包括机械力、运动及能量流的动态作业”。

现代科学技术的重要特征之一,就是新技术以群体的形式出现。多种学科和技术互相渗透,综合发展,产生出一系列的边缘学科和复合技术。机械电子学就是这样的边缘学科,机电一体化就是这样的复合技术。机电一体化产品就是现代最完备的技术工具。

所谓机电一体化产品,按照当前的理解,就是指精密机械技术与微电子技术、信息技术、计算机技术、电力电子技术、传感器技术、自动化技术等多种相关学科和技术有机地融合在一起,用系统工程的观点实现整体优化,从而构成一个完整的高性能产品或系统。机电一体化作为一种技术,是许多高新技术的一种复合。由这些高新技术作为基础,构成了成千上万种机电一体化产品。通常,把那些规模较大而又十分复杂的机电一体化产品,称为机电一体化系统,如柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等。把规模相对较小的独立的机电一体化装置称为

机电一体化产品，如数控机床、工业机器人等。这里，主要是说明这一类机电一体化产品的基本构成问题。典型的机电一体化产品由五大基本要素组成。这五大要素是：传感器、信息处理器、驱动装置、能源及机构-结构，如图 1-1 所示。

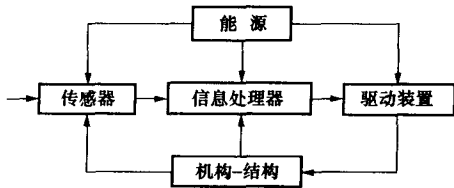


图 1-1 机电一体化产品的组成

各组成要素作用大致如下：

传感器：感知系统内部和外部的状态，向信息处理器提供内部和外部的有关信息。

信息处理器：完成信息的转换、加工处理、传输，进行整个产品的控制和管理。

驱动装置：对功率实行处理，进行放大、变换和调控，以便获得适当的功率推动机构运动。

机构-结构：接受执行器输出的力、力矩或功率产生机构运动，完成最终目标。结构部分把各组成部分连成一体，起支持与定位作用。

能源：主要作用是给机械运动提供足够的动力，同时也向传感器、信息处理器提供所需的能量。

在机械系统时代，仅有机械技术，产品由三种要素组成，即机构-结构、执行器和能源。在这一时期，能源主要是蒸汽、水力和风力等。在机械时代的后期，执行器和能源中引入了电气技术。但实际上，这一时期，仅是机械和电气这两部分的独立组合而已。到了 20 世纪 60 年代，随着半导体技术的发展，特别是 20 世纪 70 年代初以来，由于以微处理器为代表的大规模集成电路的技术进步和成本的降低，为机械产品实现机电一体化提供了强有力的物质基础，把原来由机械-电气装置处理信息的机器改变为由微处理器来处理信息的机器，实现了机械控制软件化，大大提高了机器的精度和柔性，赋予了比传统机器多得多的功能，甚至是智能，使机械产品实现了机电一体化。机电一体化产品成千上万，种类繁多，技术水平差异很大，但典型的机电一体化产品都是由上述五个基本要素所组成。其中驱动装置最为常用的是电气伺服驱动装置。

顺便指出，“伺服”一词系英语 Servo 的音译，它源自拉丁语 Servus，意为奴隶，仆人。在奴隶社会中，奴隶必须无条件地按主人的命令行事。现在，人们把这个社会学中的名词，引申到技术领域的机械运动控制中，表示运动机械必须按照控制指令准确无误地实现运动。一般来说，伺服系统是指以被驱动机械物体的位置、方位、姿态为被控制量，使之能随指令值的任意变化进行追踪的控制系统。由此可见，伺服的基本特征就是“服从”和“追踪”。这样，伺服控制系统可以认为是随动控制系统，既可以是转速的随动控制，也可以是位置的随动控制。在广义的角度上看，电动机的调速系统也可以认为是伺服控制的一种，只不过在调速系统中，强调的被调量是电动机的转速，更加有效地实现功率变换。而伺服系统则忠实跟踪给

定信号,即按控制器发出的控制命令而动作,并产生足够的力或力矩,使被驱动的机械获得期望的运动速度和位姿。

由此可见,电气伺服驱动装置是机电一体化产品不可缺少的重要组成部分之一,它的性能好对整个机电一体化产品有重大影响。由于电气伺服驱动装置的主要任务是按控制命令的要求,对功率进行放大、变换与调控等处理,所以,不但需要微电子技术,而且必须采用电力电子器件和伺服电动机。正是由于控制器和电气伺服装置实现了电子化,才使驱动装置输出的力矩、速度、位置和位姿控制变得非常灵活方便,增加了机械设计的自由度。

概括地说,机电一体化产品有如下特点:

1. 产品小型化

由于采用了微电子技术,原来必须由机械或电气机械所完成的功能,现在可以用电子器件来实现。例如,原机械控制所使用的顺序控制连杆机构及凸轮装置,现在改换成电子控制装置,故产品的机械零部件数量大为减少,体积和质量也随之大幅度减小。传统技术无法实现的功能,改由电子技术实现,就变得简单易行了。

2. 机械控制软件化

由于控制器采用了微处理器,促进了机械控制的软件化,可以方便地接受和处理各种信息,发出多种控制命令并使之容易实施。因此,机械控制正在向更高级、更复杂的方向发展,适应生产中变化的要求,修改软件,改变控制规律,使机械控制具有较高的柔性。

3. 产品设计的自由度增加

由于机械零部件数量减少,体积和质量变小,许多功能由电子技术和软件来实现,这样容易调整设计、产品结构及生产过程。例如采用小型化的伺服电动机装置,不但可以减少维护工作,而且也不会在其安装部位上给机械设计带来限制。

4. 节省能源、原材料和提高产品质量

产品的体积小、质量轻,这本身就是对能源和原材料的一种节省。优化产品设计,电子装置工作的高频化,能源的有效调控与变换,系统的集成化,硬件功能的软件化等,不但起到了节省能源和原材料的效果,而且使产品的质量大为提高。

5. 产品的可靠性和安全性增加

由于采用大规模集成电路这样的电子元器件,使产品寿命延长,故障率降低。有的产品还有自动监测与故障诊断功能,甚至是智能,自动调整工作状态,以适应内部和外部条件的变化,增加了产品的可靠性和安全性。

上述的这些特点,能提高机电一体化产品的生产效率和工作效率,为人们创造出巨大的经济效益和社会效益。

由图1-1可见,伺服驱动是典型机电一体化产品的共性技术之一。它本身也是一种机电一体化产品,其组成要素与图1-1相似。忠实地跟随控制命令而动作是对伺服驱动装置的最基本要求。伺服驱动技术的发展对机电一体化产品性能有重

要影响,有时甚至起关键作用。因此,研究伺服驱动技术是发展机电一体化技术和产品不可忽视的重要课题。

下面,通过介绍工厂自动化技术中典型机电一体化产品——数控机床和工业机器人,进一步了解伺服驱动装置在其中的地位和作用,以及典型伺服驱动的技术构成。

1.2 工业机器人和伺服驱动技术

工业机器人是一个涉及多种技术的典型机电一体化产品,它广泛用于汽车制造、机械加工、电子、能源、建筑及军工、海洋等工业部门,主要从事喷漆、焊接、装配、搬运及一些特殊环境下的工作,成为生产线的主要组成部分,而倍受重视。

工业机器人控制系统的构成如图 1-2 所示。

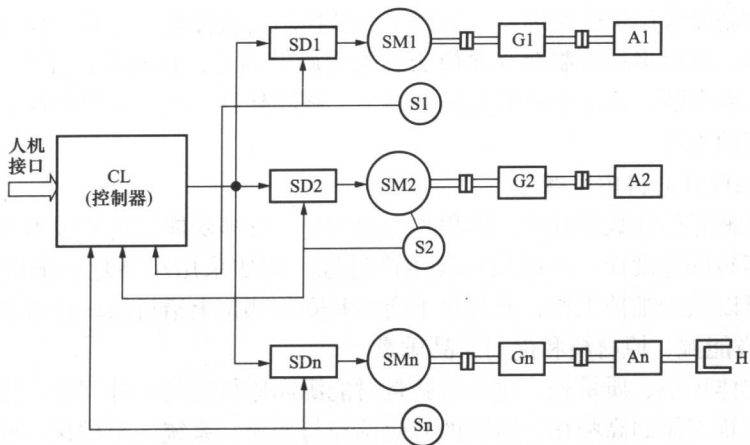


图 1-2 工业机器人控制系统的构成

CL—机器人控制器 SD1 ~ SDn—伺服驱动器 SM1 ~ SMn—伺服电动机
S1 ~ Sn—传感器 G1 ~ Gn—减速器 A1 ~ An—机器人手臂 H—机器人手爪

机器人控制器 CL 相当于人的大脑,是工业机器人的重要组成部分,它支配着工业机器人按规定的程序运动,并记忆人们给予工业机器人的指令信息(如动作顺序、运动轨迹、运动速度及时间等),同时按其控制系统的信息对伺服驱动系统发出动作命令。为了能快速精确地控制机器各个伺服驱动轴的动作和位置,要求控制器能高速地进行复杂的坐标变换运算。控制器的核心部件是微处理器,其控制程序采用容易使用的工业机器人专用语言。

伺服驱动器 SD 用来驱动伺服电动机。工业机器人控制器发出臂（或手爪）的速度指令信号与测量出的实际速度信号相比较，比较后的差值加到伺服放大器的输入端，经过变频器的功率放大、变换与调控后，控制伺服电动机转矩和旋转速度，使各臂平滑而快速地移动到预定位置。

伺服电动机 SM 作为工业机器人手臂和腰、腿的驱动执行元件，要求其体积小，质量轻，且能产生大转矩。目前在工业上使用的大多数机器人，是模拟人体手臂动作的一种装置，要求伺服电动机安装在各臂的轴上，驱动各臂快速平滑移动。为了减轻手臂的总体质量，希望采用高性能稀土永磁伺服电动机。目前，在工业机器人伺服驱动技术中，最常用的是 DC 伺服电动机（直流伺服电动机）和 AC 伺服电动机（交流伺服电动机）两种，而 AC 伺服电动机的应用越来越广，并最终将取代 DC 伺服电动机。

这里所说的传感器 S，是指安装在伺服电动机轴非负载侧的速度与位置检测元件，用它来检测伺服电动机的转速及转角，从而进行各轴的速度与位置控制。常用的传感器有光电编码器、旋转变压器等。这些传感器和电子技术相结合，才使得伺服电动机的控制技术得到了迅速的发展，实现高精度的速度与位置控制成为可能。

工业机器人的手爪 H 是用来抓取物件的。

工业机器人是一种典型的机电一体化产品，其驱动部分最常用的是电气伺服系统。这种电气伺服系统能忠实地跟踪控制命令，得到优良的控制品质。

概括地说，工业机器人对伺服驱动系统的要求如下：

- 1) 伺服驱动系统应具有足够的输出力矩和功率，以满足各种条件下的工作要求。
- 2) 能够进行频繁的起、制动，正、反转切换等重复运行。
- 3) 能够灵活方便地接受控制器的控制指令，实现转矩、速度及位置控制。
- 4) 伺服系统应具有良好的稳定性，并能对控制命令进行快速响应。
- 5) 运动部件的惯量要尽可能小些。
- 6) 从整体上要求装置的体积小，质量轻。
- 7) 便于维护。

从工业机器人驱动技术的发展历史和不同的应用场合来看，驱动源有电气式、气压式和油压式等三类。由于电气式伺服驱动容易获得能量来源，干净无污染，容易调控和变换，具有特别好的控制灵活性。随着微电子技术、电力电子技术和特种电动机材料技术的进步，使电气式伺服驱动方式得到了越来越广泛的应用。在电气伺服驱动方式中，常用的有步进电动机驱动、直流伺服电动机驱动、交流伺服电动机驱动和直线电动机驱动等。目前，交流伺服电动机驱动技术已经成熟，并有产品出售。

1.3 数控机床和伺服驱动技术

自从 1952 年世界上第一台三坐标数控铣床问世以来,数控机床发展至今已经 50 多年了。在这 50 多年中,数控机床技术得到了巨大的发展。从数控系统来看,由以电子管为基础的硬件数控技术发展到目前以微处理器为基础的软件数控系统。伴随着数控系统的发展,数控机床的伺服驱动技术也得到了相应的发展,从电液脉冲马达、功率步进电动机发展到高性能交、直流伺服电动机驱动系统。特别是高性能交流电动机伺服系统代表了当前伺服驱动系统的发展方向。

数控机床控制系统的构成如图 1-3 所示。

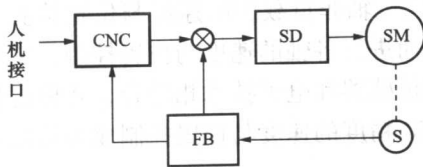


图 1-3 数控机床控制系统的组成
CNC—计算机数字控制(系统) FB—反馈环节
S—位置与速度传感器

数控机床控制系统的组成与工业机器人控制系统相似,由计算机数字控制(CNC)系统、伺服驱动器(SD)、伺服电动机(SM)、速度和位置传感器(S)等组成。

计算机数字控制(CNC)系统用来存储零件加工程序,进行各种插补运算和软件实时控制,向各坐标轴的伺服驱动系统发出各种控制命令。伺服驱动器 SD 和伺服电动机 SM 接收到计算机数字控制(CNC)系统的控制命令后,能够快速平滑调节运动速度,并能够精确地进行位置控制。机床进给装置的实际速度和位置通常用装在电动机轴端的速度和位置传感器来检测。

作为数控机床进给用的伺服驱动系统应满足以下要求:

- 1) 应具有足够宽的调速范围,通常要达到 10000:1 以上,才能满足低速加工和高速返回的要求。
- 2) 应具有足够的加(减)速力矩。为了快速移动机床导板或重切削的需要,要求伺服电动机能产生出足够大的力矩。
- 3) 伺服驱动系统的动态响应要快,以使系统具有良好的动态跟随性能,尽快消除负载扰动对电动机速度的影响。
- 4) 伺服电动机的转子惯量要小,以提高伺服系统的加(减)速性能。整个电动机的质量和体积应尽可能小些,为机械设计与安装创造方便条件。
- 5) 在从低速到高速的整个速度范围内,应该保持运行平滑,电动机的转矩脉动尽可能要小,在运动中不产生脉动和过大的噪声;在停止时不产生爬行现象和高频振动。
- 6) 伺服电动机应安全可靠,希望电动机本身无需维护或容易维护。这一点在