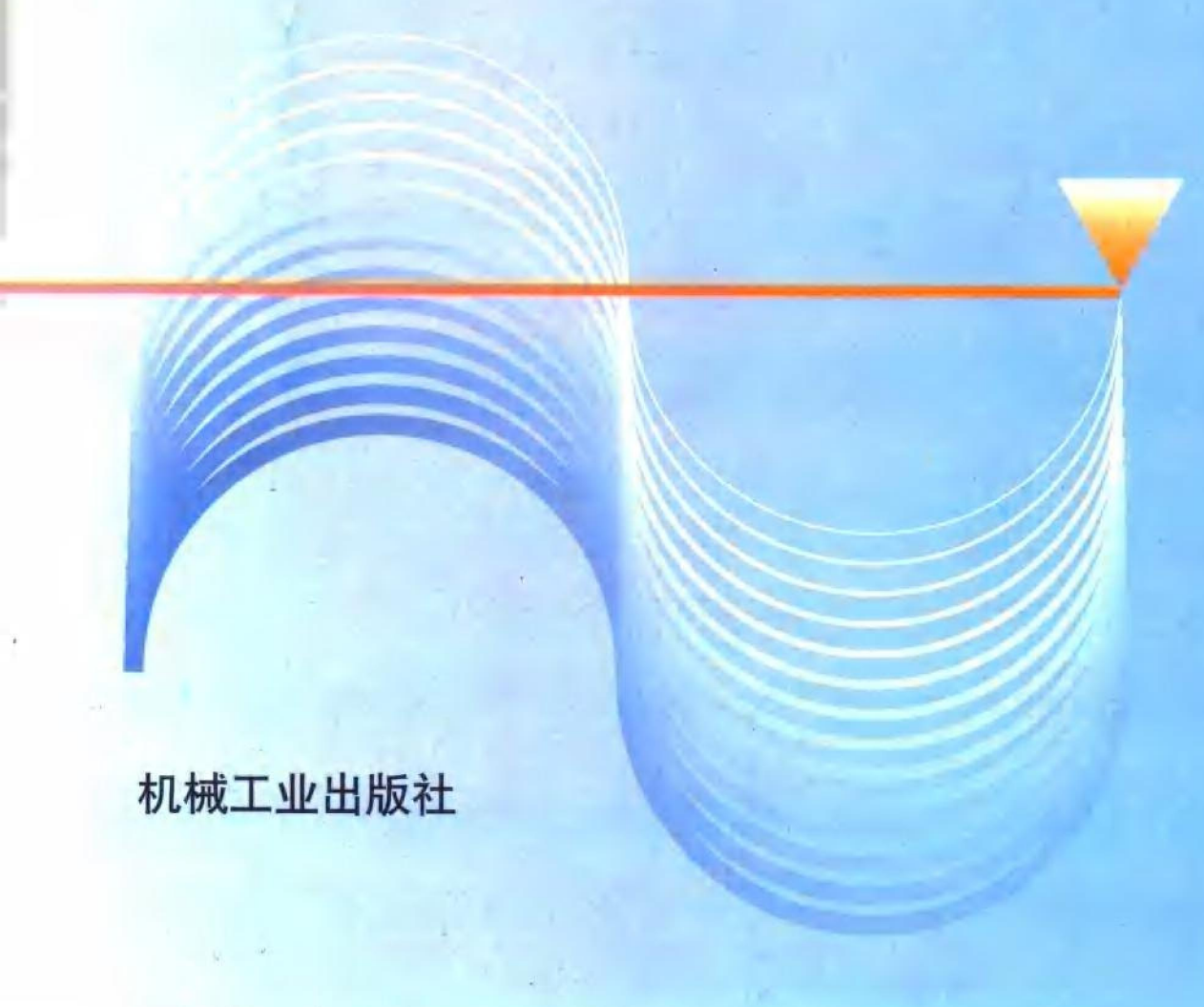


B 普通高等教育机电类规划教材

电机的微机控制

上海交通大学 李仁定 主编

机械工业出版社



普通高等教育机电类规划教材

电机的微机控制

主编 李仁定
参编 向树雄 李铁才
主审 江建中

ND33/03



机械工业出版社

书中介绍电机微机控制系统的工作原理、系统结构及设计方法,包括总体设计原则、硬件和软件的设计方法及典型的电机微机控制系统等。选材力求具有实用性和典型性,叙述尽可能做到深入浅出,概念清楚,通俗易懂,便于自学,使读者能较快入门。书中的例子,大都经过实验。在讲清基本原理后,还介绍了一些新型的电路和器件,以便读者能接触新的科技成果,了解当前的发展方向。书中的微机程序都加上详细的注释,以便于理解。附录中还介绍了典型的单片微型计算机开发工具及几个典型的电机微机控制实验。

本书是高等学校电工及自动化类专业的教材,也可供其他涉及电机控制的有关专业的学生和科学技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机的微机控制/李仁定主编. - 北京:机械工业出版社, 1999.10

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-07087-9

I. 电… II. 李… III. 电动机-计算机控制系统-高等学校-教材 IV. TM320.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 14262 号

*

机械工业出版社出版 (北京市百万庄大街 22 号)

邮政编码: 100037

责任编辑: 刘 辉 版式设计: 张世琴

责任校对: 林去菲 封面设计: 姚 毅

责任印制: 路 琳

成 都 新 华 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆·13.25 印张·318 千字

1999 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

印数 0 001—4 000 定价: 17.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

随着微型计算机（简称微机）和大功率电子元件的迅速发展，很多传统的模拟控制技术已让位于微机控制技术。目前，很多电机通过微机进行控制，提高了运行性能，在机电一体化及工业自动化控制方面已取得令人瞩目的成果。高等学校电工及自动化类专业的学生和有关的科学技术人员，为了拓宽知识面，赶上新技术发展的步伐，非常有必要了解和初步掌握电机的微型计算机控制技术。鉴于目前很少电机微机控制方面的入门书籍，编者参阅了有关的国内外资料，结合教学和科研工作的实际经验，编写了这本教材，供电工及自动化类专业的学生使用，也可供其他涉及电机控制的有关专业的学生和科学技术人员参考。

书中介绍电机微机控制系统的工作原理、系统结构及设计方法，包括总体设计原则、硬件和软件的设计方法及典型电机微机控制系统示例等。附录中还介绍了典型的单片微机开发工具及几个典型的电机微机控制实验。当然，各个例子并不代表最佳方案，但可以帮助读者具体地了解电机微机控制的内容，并初步掌握电机微机控制系统的设计方法。

本书在内容的选取及编写方法上，有如下特点：

(1) 尽可能做到深入浅出，概念清楚，通俗易懂，便于自学，使读者能较快入门，能通过学习，掌握电机微机控制系统的工作原理、结构特点和设计要领。书中的微机程序都加上详细的注释，以便于理解。

(2) 选材力求具有实用性和典型性，书中的例子，大都经过实验。对电机微机控制中经常遇到的各种程序及常用硬件接口的典型设计方案，都作了比较详细的介绍。对于同一问题的几种不同解决方案，分别说明其优缺点及适用范围，使读者能较快地选定正确的方案，完成自己的设计。

(3) 在讲清基本原理后，介绍一些新型的电路和器件，以便读者能接触新的科技成果，了解当前的发展方向。

全书共分为八章，第一、二章中着重于从总体角度介绍电机微机控制系统中常用的硬件和软件，第三至第七章中分别介绍控制实例，第八章中论述电机微机控制系统的可靠性问题。各章节有相对独立性，教学时可根据实际情况取舍。

书中第二、五、八章由上海交通大学向树雄编写，第三、四章由哈尔滨工业大学李铁才编写，上海交通大学李仁定编写其余部分并担任主编。

在本书的编写、定稿和出版过程中，得到全国高等学校电工及自动化类专业指导委员会和机械工业出版社的大力支持和帮助；主审江建中教授对本书的内容及写法提了宝贵的意见，并组织有关专家作了仔细的审阅；还有很多教授和专家参加了本教材大纲的制订或提出了修改意见，对大纲及本书的编写方法提出了极有价值的见解；编者在此表示衷心感谢。此外，编写过程中参阅了有关单位和个人发表的很多文献资料，编者也得益非浅，极为感谢。

由于编者水平所限，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言		
绪论	1	
一、电机微机控制系统的应用和发展情况	1	
二、电机微机控制的基础知识	1	
三、电机微机控制系统的开发	3	
第一章 电机微机控制系统硬件		
基础	6	
第一节 硬件开发的一般问题	6	
第二节 常用微处理器及微型计算机	6	
一、通用微处理器及协处理器	6	
二、单片微机	8	
三、数字信号处理器	10	
四、并行微处理器	11	
五、可编程控制器	11	
第三节 常用接口电路	12	
一、输入输出接口	12	
二、D/A 及 A/D 转换电路	13	
三、键盘和显示控制	13	
第四节 信号检测和转换	16	
一、电流和电压的检测	16	
二、位置的检测	17	
三、转速的检测	19	
第二章 电机微机控制的软件		
基础	22	
第一节 应用软件设计的一般问题	22	
一、应用软件设计的基本要求和步骤	22	
二、软件的结构设计	23	
三、程序设计方法	24	
四、软件设计要点	27	
第二节 数字 PID 控制算法	31	
一、PID 控制规律的离散化	32	
二、数字 PID 程序设计要点	34	
三、数字 PID 算法的改进	35	
四、PID 调节器参数的选择	37	
五、采样周期的选择	39	
第三节 数字控制器的直接设计法	40	
一、直接法的基本构思	40	
二、参数优化的低阶控制器设计	41	
三、最少拍控制器设计	43	
第四节 数字滤波技术	50	
一、算术平均值法	50	
二、滑动平均值法	51	
三、防脉冲干扰平均值法	51	
四、程序判断滤波法	52	
五、滤波器算法	53	
第三章 步进电动机的微机控制	55	
第一节 步进电动机的结构及工作原理	55	
一、步进电动机的种类	55	
二、步进电动机的工作原理	55	
三、步进电动机驱动方法	56	
第二节 步进电动机的开环控制	60	
一、串行控制	60	
二、并行控制	63	
三、步进电动机转速控制	66	
四、步进电动机微步距控制	67	
第三节 加减速定位控制	69	
一、加减速定位控制原理	69	
二、加减速定位控制的软件设计	71	
第四章 直流小功率位置伺服系统	75	
第一节 位置伺服系统的结构与原理	75	
一、经典位置伺服系统的结构	75	
二、微机控制数字伺服系统	76	
第二节 主要接口电路	76	

一、功率接口	76	二、主程序	114
二、电流反馈接口	77	三、参考程序	114
三、位置传感器接口	77	第七章 感应电动机的微机控制	124
第三节 脉宽调制(PWM)方法	79	第一节 感应电动机的转速控制	
一、程序延时方法	80	方法	124
二、单片机片载 PWM 编程方法	81	第二节 开环 PWM 变频调速	
第四节 混合式控制结构举例	82	系统	126
第五节 控制程序设计	83	一、数字式开环变频调速系统的	
一、SCP 速度曲线生成子程序	83	原理	126
二、PID 子程序	85	二、空间矢量调制(SVM)的具体	
第六节 位置伺服系统专用芯片		实现方法	128
简介	89	三、三相 PWM 集成电路的应用	140
一、LM629 性能简介	89	第八章 电机微机控制系统的	
二、硬件特点和构成	90	可靠性	143
三、应用软件特点和框图	91	第一节 电机微机控制系统的	
第五章 直流电动机调速系统	92	故障概述	143
第一节 微机控制直流电动机双环		一、与可靠性有关的几个概念	143
调速系统简介	92	二、电机微机控制系统的故障	
第二节 调速系统的硬件组成	93	分析	144
一、使用的主要芯片	93	第二节 提高电机微机控制系统	
二、高分辨率数字移相触发脉冲输出		可靠性的方法	146
电路	94	一、提高硬件可靠性的方法	146
三、高精度数字测速电路	97	二、提高软件可靠性的方法	150
四、键盘/显示接口	99	第三节 电机微机控制系统的	
第三节 调速系统的软件设计	100	电磁兼容问题	152
第四节 硬件电路的改进	104	一、电磁干扰源及其危害性分析	153
第六章 同步电动机位置伺服		二、电磁兼容性设计	157
系统	107	第四节 微机控制系统的故障	
第一节 伺服系统控制原理	107	诊断和处理	164
一、同步电动机的矢量控制	107	一、故障诊断	164
二、闭环位置伺服系统的工作		二、故障处理	166
原理	110	附录一	167
第二节 位置伺服系统的总体		AEDK5198 仿真器使用说明	167
布置	111	一、AEDK5198 的性能特点	167
一、硬件总体结构	111	二、51 仿真监控命令	168
二、控制电路主要结构	112	三、98 仿真监控命令	171
三、数模变换的特点	113	四、PC 机通信软件 AEDK5198	172
四、绝对位置的获取	113	五、PC 机交叉汇编 ASM51、	
第三节 位置伺服系统的软件		ASM98	173
设计	114	六、PC 机上使用的反汇编软	
一、总体结构	114	件 TRASM	173

七、驻机小汇编、小编辑	173
八、其他软件	174
附录二	175
SICE 仿真器使用说明	175
一、SICE 的结构和性能特点	175
二、51 仿真监控命令	177
三、96/98 仿真监控命令	182
附录三	183
电机微机控制实验	183

一、FD-CAS-1 通用系统实验板	
使用说明	183
二、实验说明书	188
实验一 可编程控制实验	188
实验二 转速测量实验	191
实验三 步进电机实验	196
实验四 直流电机转速控制	
实验	200
参考文献	204

绪 论

一、电机微机控制系统的应用和发展情况

微型计算机简称为微机，它出现于 20 世纪 70 年代，随着大规模及超大规模集成电路制造工艺的迅速发展，微机的性能越来越高，价格越来越便宜。此外，电力电子技术的发展，使得大功率电子器件的性能迅速提高。因此就有可能比较普遍地应用微机来控制各类电机，完成各种新颖的、高性能的控制策略，使电机的各种潜在能力得到充分的发挥，使电机的性能更符合使用要求，还可以制造出各种便于控制的新型电机，使电机出现新的面貌。

比较简单的电机微机控制，例如在适当的时刻让小型电动机启动、制动或反转之类，只要用微机控制继电器或电子开关元件使电路开通或关断就可以了。在各种机床设备及生产流水线中，现在已普遍采用带微机的可编程控制器，按一定的规律控制各类电动机的动作。

至于复杂的控制，则要用微机控制电机的电压、电流、转矩、转速、转角等等，使电机按给定的指令准确工作。通过微机控制，可使电机的性能有很大的提高。例如传统的直流电机和交流电机各有优缺点，直流电动机的调速性能很好，但带有机电换向器，有机械磨损及换向火花等问题；交流电动机，不论是异步电动机还是同步电动机，结构都比直流电动机简单，工作也比直流电机可靠，但在频率恒定的电网上运行时，它们的速度不能方便而又经济地调节。交流电机采用正弦脉宽调制方式进行变频调速是比较理想的，但若要用普通的模拟电路或数字电路完成这一任务，电路相当复杂，用微机控制就简单多了。若要进一步提高调速精度及动态性能，可采用矢量控制方案，它的调速性能将与直流电动机相当。但矢量控制比较复杂，用传统的模拟电路或数字电路很难做到，而应用微机控制，则能方便地实现。目前，广泛应用于数控机床等自动化设备的数控位置伺服系统。其中的电动机都是由微机控制的。为了提高性能，在先进的数控交流伺服系统中，已采用高速数字信号处理芯片（Digital Signal Processor，简称 DSP），其指令执行速度达到每秒数百兆以上，且具有适合于矩阵运算的指令。

复杂的电机微机控制主要用于以下两个方面：

（1）发电机励磁系统的控制 用以保证正常工作时发电机电压稳定，发生故障后尽可能保持运行稳定，达到优化控制的目标。

（2）电动机调速及位置伺服控制 用于鼓风机或水泵的调速节能、数控机床、微型计算机磁盘驱动器、机器人等控制系统。

二、电机微机控制的基础知识

（一）电机微机控制系统的组成

电机微机控制系统包括硬件和软件两大部分。硬件由电机、微型数字计算机、传感器、功率放大元件等组成，如图 0-1 所示。其中微机的核心部分包括中央处理器（CPU）、

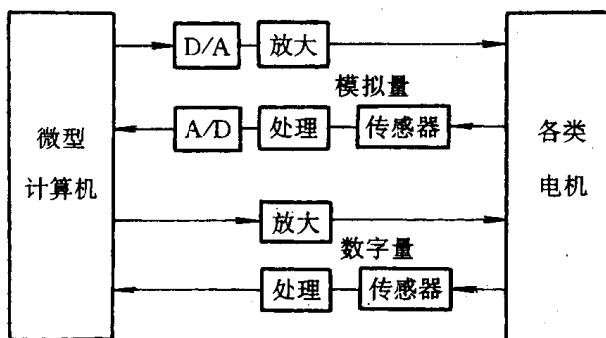


图 0-1 电机微机控制系统的硬件

内部存储器、输入输出通道和接口电路等，微型计算机的外围设备包括键盘、显示器、磁盘驱动器及打印机等。软件指计算机的程序系统，可分为系统软件和应用软件。系统软件包括管理微机的操作系统、各种语言编译程序、调试系统、诊断系统等，应用软件包括针对具体电机控制要求而编写的描述控制规律以及对输入信号进行处理以形成输出信号的那些程序。

在电机微机控制系统中，电机是被控对象，微机则起控制器的作用。计算机对输入信号进行存储和加工，按要求形成控制指令，输出数字控制信号。其中有的经过放大可直接控制步进电动机或逆变器之类用数字脉冲信号驱动的部件，有的则要经过数模（D/A）转换器转换成模拟信号，再经功率放大后，通过调节器对电机的电压、电流等物理参数进行控制。若采用闭环控制，反馈给计算机的物理参数，如电机的转角、转速、转矩等，可由传感器进行测量。若传感器输出的是模拟信号，则先经采样保持器等器件的处理，再经模数（A/D）转换，变成数字信号后输入计算机。若传感器输出的是数字信号，则经整形、光耦隔离等处理后，可直接输入计算机。电机的给定控制量，如电动机的转角、转速，或发电机的电压等给定值，可通过键盘或其他设备输入计算机。显示器则可将操作提示和使用者希望了解的数据及时地显示出来。

总起来说，在电机微机控制系统中，计算机主要完成下列工作：

（1）实时控制 根据给定的要求及控制规律，对发电机的电压、电动机的转速等物理量实现在线实时控制。

（2）监控 完成事故报警、事故处理、系统诊断与管理等。

（3）数据处理 完成必要的数据采集、分析处理、计算、显示、记录等。

（二）电机微机控制系统的特点

目前，很多电机微机控制系统都是由数字部件和模拟部件组成的混合系统，而全数字控制系统则是当前的发展方向。在微机控制系统中，通常是既有模拟信号，也有数字信号；既有连续信号，也有离散信号。例如电机的电流信号为连续模拟信号，经采样保持器后的输出则为离散模拟信号。由于计算机的 CPU 只能识别和处理数字量，而且只能一次次离散地处理，所以计算机处理外界信息时总要有一个采样过程，电机微机控制系统必然是一种采样控制系统。

电机采用微机控制，还有以下特点：

（1）硬件比较简单，用少量芯片就可完成很多功能，且易于通用化。

（2）可以分时操作；一台微机可起多个控制器的作用，为多个控制回路服务；也可控制多个电机，完成较多功能。

（3）计算机有记忆和判断功能，系统的控制方式由软件（即程序）决定，若要改变控制规律，一般不必改变系统的硬件，只要按新的控制规律编出新的程序即可；且可在运行中随时根据不同的电机工作状态，选择最有利的系统参数、系统结构及控制策略等；使系统具有很强的灵活性和适应性。

（4）计算机的运算速度快，精度高，它有丰富的逻辑判断功能和大容量的存储单元，因此有可能实现复杂的控制规律，如采用参数辨识、优化控制等现代控制理论所提供的控制算法，以达到较高的控制质量。

（5）数字量的运算不会出现模拟电路中所遇到的零点漂移问题，被控量可以很大，也可以很小，都较易保证足够的控制精度。

(6) 信息处理能力强, 可以完成各种数据的处理, 及时给操作人员提供有用的信息和指示。可提供友好的人机界面, 容易和上级计算机联系。

正是因为有上述优点, 电机微机控制的理论及应用发展得非常迅速, 新产品不断涌现和普及。学习电机微机控制的基本原理, 关心其发展动向, 对于在电机及其控制领域内工作和学习的人员都是很有必要的。

当然, 比较简单的电机控制系统, 不一定采用微机控制。采用微机控制有时只会使系统的复杂程度和价格提高。所以对于具体的电机控制要求, 应根据实际情况, 实事求是地进行技术经济分析, 以便确定合理的控制方案。

三、电机微机控制系统的开发

(一) 开发过程

电机微机控制系统的开发过程包括任务确定、总体设计、硬件和软件设计、硬件和软件分别调试、硬件和软件模拟性联合调试、现场调试、工业试验、系统性能评价、文件编制等步骤。

确定设计任务之前, 要进行一定的调查研究。然后根据此产品的使用要求, 参考国内外同类产品的性能, 确定此电机微机控制系统的各项功能。所谓功能, 就是指它能以何种方式接受哪些输入信号, 又能以何种方式对电机进行控制。功能中还应包括各项技术指标, 如控制的精度、动态响应速度、稳定性、可靠性、可维护性、性能价格比等等。技术指标应当既先进, 又合理可行。有些指标可能还要在研制过程中作部分的修改和调整。

确定设计任务后, 就可进行总体设计。首先是选择微机机型和决定总体布置方案。如果设计的是一个大型的小批量生产的通用微机控制系统, 例如实验室用的电机控制实验装置, 那么在设计时应充分考虑通用性和可扩充性, 可购买工业控制用微机(工控机), 其中有采用标准总线的机架及各种印制板插件, 用搭积木的方式就能组装成一个电机微机控制系统。如果控制系统的功能比较简单, 那么也可采用单片机用户板之类现成的微机控制线路板。加上必要的接口电路, 即可对电机进行控制了。

反之, 若设计的是小型的专用的大批量生产的控制系统, 例如异步机变频调速系统。那就应当针对具体的要求, 精打细算地选择微机 and 各个功能部件, 制作专用的印制电路板。现在已有 ORCAD 等电路及印制板绘制软件, 可以很方便地使用个人计算机绘出印制电路板。因此, 即使是小批量的专用微机控制系统, 也常常制作专用的印制电路板以缩小体积和提高可靠性。

在总体设计时, 尽可能采用高集成度的、能完成专门功能的器件。例如单片微机在一个芯片上集成了 CPU、RAM、定时器、I/O 口等元件, 价格低, 体积小, 功能强, 抗干扰能力高, 故而在较简单的电机微机控制系统中, 采用单片机的越来越多。此外, 适合于电机微机控制系统使用的专用集成电路, 作为专用集成电路(ASIC)的一个重要方面, 已有相当迅速的发展。目前已有 L297/L298 步进电动机控制器/驱动器、L6217A 两相步进电动机微步距驱动器、L290/L291/L292 直流电动机位置或速度控制三芯片组、ML4411 无转子位置传感器的无刷直流电动机控制器、LM628/LM629 运动控制专用芯片、MA818 可编程三相脉宽调制集成电路等等。采用这类专用集成电路, 可使一些复杂的电机微机控制更容易实现, 性能价格比更高。

在总体设计时, 还要根据系统的功能和技术指标, 选择合适的控制方法。一般应充分发

挥微机的记忆、运算、判断、控制等能力，避免采用复杂的、稳定性较差的模拟电路。在划分软硬件功能时，也要考虑到产品的生产批量。这是因为软件的研制费用是一次性的，生产批量越大，每个产品分摊到的软件成本就越低，而硬件的成本则几乎不因批量的大小而有所变化。批量大的产品，应尽量降低硬件的成本；而批量小的产品，应尽量降低研制时的软件工作量。

硬件设计中，要注意系统的可靠性。有些设计在原理上是可行的，在实验室也能正常工作，但在工业环境下作现场试验时，会因抗干扰能力差而过不了关，这种不可靠的系统是没有生命力的。

软件的结构一般是由一个主程序和若干个子程序及中断处理程序构成。为了提高实时性，中断处理程序应当尽量短一些，它只完成基本的必不可少的工作，如输入或输出一个信号以及完成必须立即做好的运算处理等。能由主程序完成的工作，如实时性要求不太高的命令处理、表格计算等，应当让主程序去完成。

硬件和软件制作完成后，先分别进行检查和调试，然后联合调试。调试完毕后，把程序固化在 EPROM 芯片中，再把 EPROM 芯片插入电路板，这个电机微机控制系统就可以工作了。

大型的电机微机控制系统。往往采用工控机，而且全面配备了键盘、显示器、硬盘、软盘驱动器等等。只要在设计时对硬件线路作适当的安排，再配上适当的监控软件，就可直接在这个系统上编制和调试软硬件。至于比较简单的单片机控制系统，本身没有自开发能力，必须借助于开发工具来调试目标程序，排除样机中的硬件和软件故障。当样机调试成功后，可用开发工具把目标程序固化在单片机内部或外部的 EPROM 中。

(二) 开发工具

微机控制系统，特别是单片机控制系统，要采用开发工具来进行开发。仿真器是一种常用的单片机应用系统的开发工具。仿真器中，有一个和被仿真的 CPU 或单片机同类型的元件，以及仿真接口、仿真电缆插头、EPROM、RAM 等。它的仿真接口上，通过仿真电缆接有一个和应用系统上的 CPU 或单片机引脚尺寸一致的多芯仿真插头。仿真时，暂时拔除应用系统中的 CPU 或单片机，把仿真电缆上的多芯仿真插头插入应用系统板上的 CPU 或单片机插座，这时装在仿真器内的 CPU 或单片机即可借给应用系统使用。在使用者的控制下，可查出用户系统的硬件故障，还可通过单步运行、断点运行、查看运行现场数据等手段调试用户程序。它具有编辑、汇编、反汇编等功能，其监控程序和高级语言编译程序（如 C51、C96 之类）可帮助用户设计、调试、修改用户系统的软硬件。

目前国内自己设计、生产的仿真器有很多种，使用比较方便的有 AEDK5198、SICE IV 等仿真器。这类仿真器中，有一个和被仿真的单片机相同类型的单片机，以及监控 EPROM、仿真 RAM、地址切换电路、仿真电缆插头、串行口插头等。它们的结构简单，价格也比较便宜。其中的单片机既充当监控管理 CPU，又充当仿真 CPU。也就是说，仿真器上的 CPU 可工作在两个状态：系统态和用户态。仿真器上电后，工作在系统态，执行的是监控程序，能通过命令查看和修改用户程序及数据，或编写、传送、接收用户程序等等。如果执行了进入用户程序的命令，则 CPU 进入用户态，此时执行的是用户程序。在用户态下，若 CPU 碰到断点，或单步执行一条指令，或使用者按暂停键后，会从用户态返回系统态，并保护现场以便让用户查看。这类仿真器通过串行口插头和 IBM-PC 之类个人微机相连。在个人微机上

运行专用的仿真器通信软件后，可从个人微机的键盘上输入仿真命令，从个人微机的显示器上查看数据，还可以充分利用个人微机丰富的软硬件资源，用 EDIT 等较完善的文件编辑软件在个人微机上编写程序，用磁盘作为存取文件的非易失性介质，用交叉汇编程序 ASM51 之类软件进行汇编工作。还可用反汇编程序 TRASM 之类软件进行反汇编。仿真器一般还带有 EPROM 固化器，以便在调试完毕后，将程序固化在样机的 EPROM 中。

第一章 电机微机控制系统硬件基础

电机微机控制系统中，硬件设计是非常重要的。良好的硬件设计将为整个系统的顺利开发奠定基础，反之则后患无穷。本章中首先说明硬件开发中应注意的问题，介绍电机控制中常用的微处理器及微型计算机，再介绍电机微机控制系统中常用的输出输入接口、键盘和显示接口，最后介绍几种常用的机电信号检测方法，使读者对硬件设计有一个基本的了解。

第一节 硬件开发的一般问题

设计硬件前，要先收集好有关的基础性资料，如集成电路手册等。还应备有较好的应用类参考书和专业参考书。对于有关的科技期刊和专利文献，也要经常阅读，以便了解最新的发展情况，借鉴现成的经验，避免重复劳动。在设计中要充分了解所用芯片的使用条件及输入、输出特性，这样才能避免因使用错误而多走弯路。

硬件设计的第一步是根据总体设计决定硬件的方案。如果决定采用工控机，就可按电机控制系统的要求选择适当规格的工控机，按需要配备中央处理器（CPU）插板、存储器插板、输入输出扩充板、硬盘软盘接口板等等，再加上传感器、放大器、整流器、逆变器等部件，组装成一个电机微机控制系统。

如果控制系统的功能比较简单，那么也可采用现成的单片机用户板之类微机控制线路板。加上必要的接口电路，就可对电机进行控制了。

若设计的是小型、专用、大批量生产的控制系统，例如异步机变频调速系统，那就应当针对具体的要求，精打细算地选择微机 and 各个功能部件，并用 ORCAD 等软件，制作专用的印制电路板。

在硬件设计时，一般应充分发挥微机的记忆、运算、判断、控制等能力，避免采用复杂的、稳定性较差的模拟电路。批量大的产品，应尽量降低硬件的成本。

设计微机线路时，特别要安排好各个器件的片选及读写信号。程序存储器的地址首先要安排好，各个器件的地址不能冲突。

硬件设计中，要注意系统的可靠性，特别要注意系统的电磁兼容性问题。既要有抗电磁干扰的能力，又不可成为一个电磁干扰源而影响邻近的设备。

第二节 常用微处理器及微型计算机

一、通用微处理器及协处理器

通用微处理器的发展很快。以 Intel 公司为例，1971 年研制成功世界上第一台单芯片的微处理器 4004，但它的功能和用途有限；1973 年制成了 8 位微处理器 8080；1978 年又制成了 16 位微处理器 8086，其性能相当于当时中档的小型计算机；为了进一步提高数学运算能力，还研制了协处理器 8087。以后，推出了 80286、80386、80486、奔腾（Pentium）、多能

奔腾、奔腾Ⅱ、奔腾Ⅲ等微处理器。目前，8080、8086、80286、80386、80486 等微处理器均已淘汰或接近淘汰。Pentium 是 Intel 公司 1993 年推出的微处理器，内部集成了 310 万个晶体管。它的内部数据总线为 32 位，外部数据总线为 64 位，有两条并行的流水线，每条都有自己的算术逻辑单元、地址生成电路和数据超高速缓冲存储器接口，因而可在一个时钟周期内同时执行两条简单指令。这种并行执行指令的体系结构称为超标量体系结构。

提高微处理器性能主要有下列途径：加快运行频率，增加数据总线的宽度（位数），采用流水线技术及采用超标量体系结构。为了更有效地使用流水线，CPU 设计成可以预测下一步将要处理的指令操作。如果预测失败，则返回去执行正确的指令。设计得较好的 CPU，发生预测失败的机会相当少。

当代微处理器的设计技术主要分两类，即 CISC（Complex Instruction System Computer，复杂指令集）技术和 RISC（Reduced Instruction System Computer，精简指令集）技术。80X86 系列微处理器主要是采用 CISC 技术。其优点是指令丰富，完成较复杂的工作时，所需的机器代码简短。但顾名思义，CISC 既然叫复杂指令集，其指令必然繁多，执行不同指令的差异性就很大，设计 CPU 时要考虑的因素就很多。若增加数据宽度及采用多级流水线结构，都将导致 CISC 结构的微处理器设计的复杂程度成倍地增长。在相同的集成电路工艺下，复杂程度高的微处理器要使用更多的电路门，将限制内部高速缓存的扩大。而且要想提高复杂程度过高的集成电路芯片的运行频率非常困难，容易导致芯片工作不稳定。

研究表明，较复杂的指令在复杂指令集的指令总数中占 80%，但在程序中出现的概率只有 20%；而且这些较复杂指令的功能都能由一些简单指令的序列来完成。因此，微处理器其实只需要有限的简单指令就能完成所有的工作，而当指令集变得简单以后，微处理器设计的复杂程度会大大降低，性能也较易提高。于是 RISC 技术应运而生。

采用 RISC 技术的 CPU，指令简单且数量少。同一个高级语言程序，若编译成 CISC 指令则机器代码短，而编译成 RISC 指令则机器代码长。然而由于 RISC 指令集简单，处理器执行的速度快，效率反而比 CISC 的 CPU 高。而且，RISC 的 CPU 在设计上比 CISC 的容易，复杂程度比较低，可靠性也容易保证。总之，RISC 技术是当前微处理器设计技术的发展方向之一。但由于 RISC 的 CPU 和 CISC 的 CPU 不兼容，大量的成熟的软件不能很快移植过来，这是它的一个缺点。

采用 RISC 技术的 CPU 的典型代表是 IBM、Apple 和 Motorola 三家联合开发的 Power PC 微处理器，有 601、603、604 和 620 等芯片。601 是 Power PC 的基准芯片，它的地址总线和内部数据总线是 32 位的，外部数据总线是 64 位的。601 内部有三条并行的流水线，每个时钟周期可执行三条指令。在相同的时钟频率下，601 的整数运算性能与 Pentium 相应档次的芯片相当，但浮点运算性能却要高 2~3 倍。而且，性能相当的 Pentium 芯片内部需要 300 多万门晶体管，Power PC601 内部集成的晶体管数则比较少。

实际上，新一代微处理器都不再采用纯粹的 CISC 技术，而往往采用 CISC 和 RISC 混合结构。例如 Intel 公司设计的奔腾Ⅱ微处理器是把传统 CISC 前端和类似 RISC 的内核拼接在一起，用巧妙的译码器作为中介。这种译码器把长的 CISC 指令分解成若干较简单的操作（称为微操作），并把它们放入内核中。微操作能更容易实现并行处理的分发和执行。这样，既吸收了 RISC 技术的优点，又能运行大量适用于 CISC 技术 CPU 的软件，不失为一种解决问题的新思路。

为了提高 CPU 的性能,除了 RISC 技术以外,还有一种在概念上相反的 VLIW (Very Long Instruction Word, 极长指令字) 技术。VLIW 技术依赖于一种新型的编译软件,将若干个简单操作打包成一个很长的指令,每个指令包中含有彼此无关的操作,所以 CPU 可以快速并行处理。这就是说 VLIW 处理器将指令调度的职责从硬件转到软件上去,使硬件变得比较简单了。

1999 年初,Intel 公司又推出了速度达 500MHz 的新型处理器,即奔腾 III。奔腾 III 处理器结合了 P6 微处理器技术——动态执行技术,双重独立总线技术和英特尔 MMX 多媒体增强技术。此外,奔腾 III 处理器增加了 70 条称为 Internet Streaming SIMD Extension 的新指令,显著提高了数字图片处理,三维图形处理,实时视频/音频处理,以及语音识别处理等应用的处理速度和质量。

将微处理器和程序存储器 (ROM 或 EPROM)、随机数据存储器 (RAM)、定时器/计数器、并行及串行 I/O 口等电路组合在一起,就可做成通用微型计算机或工控微型计算机 (工控机)。为了提高通用性,便于组装和维修,通常将各个部件做成插件板,如 CPU 板、存储器板、模数转换板、数模转换板、输入/输出扩充板、显示器接口板、键盘接口板、硬盘软盘接口板等等,而且插件板插口各引脚的用途符合一定的总线标准,例如有 MULTI 总线、STD 总线、VME 总线、PC 总线等。PC 总线是借用办公用个人计算机 IBM PC 的总线结构,它可使用现成的个人计算机常用的丰富的软硬件资源,量大价廉,所以已经成为当前工控机总线的主流。为了出现故障时能快速修复,工控机常采用无源底板,CPU 及 RAM 等不是放在底板上,而是做成 CPU 板、存储器板等插件板;如果发生故障,换一块插件板就可以了。为了保证接触可靠,提高耐机械冲击和耐振动性能,插件板和底板之间的连接,往往不像办公用个人计算机那样采用印制板插头/插座,而是采用插针/插座型连接器。

二、单片机

单片机简称单片机,是将中央处理器 (CPU)、程序存储器 (ROM 或 EPROM)、随机数据存储器 (RAM)、定时/计数器、并行及串行输入/输出接口 (I/O 口) 等电路集成在一块芯片上做成的计算机。它具有较强的通用性又有相当的专用性,体积小、功能强、价格便宜,特别适合于简单的控制系统,所以又称为微控制器。

设计一个使用单片机控制的电机系统时,应主要考虑单片机的性能是否满足要求,有无配套的开发系统,以及元器件的配套性、通用性,系统的易维修性、性能价格比等等。在单片机的性能方面,主要考虑指令系统的功能是否足够,运算速度如何,程序存储器及随机存储器的安排是否合理,输入/输出接口的使用是否方便等等。

目前 8 位单片机有美国 Intel 公司的 MCS-51 系列,Philip 公司的 80C51 系列, Motorola 公司的 6801、MC68HC11, Zilog 公司的 Z8 和日本 NEC 公司的 μ PD7800 系列等。国内使用较多、购置较方便的为 MCS-51 系列,它包括采用 HMOS 工艺的 8051、8751 和 8031 三个基本产品,还包括 8052、8032 等改进型产品及 80C51 等采用 CHMOS 工艺的产品。

8051 是 MCS-51 系列中的元老,它内部包含一个 8 位的 CPU,128 个字节的片内数据 RAM,4K 字节的片内程序 ROM,21 个特殊功能寄存器,4 个 8 位并行口,一个全双工的串行口,两个 16 位的定时器。由于 8051 用 ROM 作为程序存储器,ROM 中的程序是制造厂为用户烧制的,出厂的 8051 都是专一用途的专用单片机,只适用于已定型的大批量产品。

MCS-51 系列中的其他器件具有和 8051 相同的核心特征,又各有各的特点。8751 和

8051 的差别是以 4K 字节的 EPROM 代替 ROM 作为程序存储器，用户可自行将程序固化在内部 EPROM 中，便于试制时或小批量生产时使用，但价格比较贵。8031 则是内部无 ROM 的 8051，外接一片 EPROM 作为程序存储器就相当于 8051。它的价格低，开发方便，在我国应用很广。此外，现在还有内置电可擦除程序存储器（E²PROM）的 89C51，价格便宜，值得用它取代 8031。

80C51 系列单片机以 8051 为核，故在指令系统上与 MCS-51 完全兼容。其中 8×C552 是高档 8 位单片机，有 8K×8ROM，64K×8 外部 ROM 地址空间；256×8RAM，64K×8 外部 RAM 空间；5 个 8 位 I/O 端口，一个与模拟输入共享的 8 位输入口；8 路 10 位 A/D 输入；2 路 8 位 PWM 输出；2 个 16 位标准定时/计数器；一个附加的 16 位定时/计数器；一个监视定时器（Watchdog Timer）；2 个优先级的 15 个中断源结构。它有 4 个捕获寄存器和 3 个比较寄存器，可实现快速输入捕获和高速同步定时输出。它还有全双工 UART（通用异步收发器）串行口和 I²C 串行数据总线接口；在应用系统中，具有 I²C 串行数据总线的单片机及其相应的外围芯片只要通过一根数据线 SDA 和一根时钟线 SCL 就可互相联系。

Dallas 公司生产的 DS80C320 8 位单片机，和 80C32 完全兼容，每个机器周期只要 4 个时钟周期，采用相同的晶振及代码时，速度为 80C32 的 1.5 至 3 倍。且其晶振频率可达 33MHz，所以很适合要求高速运算的电机控制任务。

16 位单片机有 Intel 公司的 MCS-96 系列（包括内部数据总线为 16 位，外部数据总线为 8 位的 8098 单片机）、美国 Mostek 公司的 MK68200 系列、美国国家半导体公司（NS）的 HPC1604 系列和日本电气公司（NEC）的 μ PD78300 系列等。

在我国，以前较流行的 16 位单片机是 MCS-96 系列，它除了有常规的 I/O 口、定时/计数器、全双工串行口外，还有高速输入/输出部件、八路 10 位 A/D 转换、脉冲宽度可调制输出（常用作 D/A 转换）以及监视定时器等。该系列有好几种型号：有的是 48 个引脚，有的是 68 个引脚；有内部带 ROM 的，也有不带 ROM 的；有带 A/D 的，也有不带 A/D 的。该系列中的 809X-90 类型，外部数据总线固定为 16 位；而 809XBH 类型芯片可由用户设定，使外部数据总线或为 16 位或为 8 位。

MCS-96 内部有 256 个字节的片内存储器，其中 232 个字节构成一个寄存器阵列，可以按字节、字或双字长进行读写。寄存器中的每一个单元都可充当累加器使用，如同有 232 个累加器一样，这样就加速了 CPU 的数据处理能力。

MCS-96 的高速输入单元（HSI）可在事件发生时自动记下事件发生的时间，最多可记录 8 个事件。高速输出部件（HSO）可按预先定下的时间自动触发所需的事件，任何时刻都可以申请触发 8 个事件。“高速”是指这些功能不需要 CPU 的干预，会自动依靠片内的定时器等硬件完成。有了 HSI 和 HSO，相当于给办公室主任配备了一位秘书，只要随时查问一下，秘书就可以告诉他什么时候来过什么内容的电话；只要吩咐一下，秘书就会在指定的时刻打电话给指定的人员；办公室主任就可以有更多的时间更从容地处理繁忙的事务了。

监视定时器是防止软件陷入死循环的有效部件。在编写程序时，可先启动监视定时器，同时在每一小段程序后插入一个对监视定时器清零的指令，适时地轮番对它清零，使它在正常工作状态下总不会发生溢出。一旦程序运行失常，就不能按正常的时间间隔对监视定时器清零，于是监视定时器将溢出，溢出时会强迫系统复位，使程序从头开始运行，于是又可恢复正常运行。

Intel 8098 单片机的内部结构和功能与 MCS-96 系列中的 8095BH 完全相同，但外部数据总线固定为 8 位。目前，8098 升级为 80C198，市场上 8098 比较少，故价格反而比 80C198 贵，凡是采用 8098 的设计都可考虑改用 80C198。

1995 年 Intel 和 Philip 公司均在 80C51 系列的基础上派生开发了 16 位机，即 80C251 和 80C51XA，很多原来使用 8096 和 80C196 的用户转而采用 16 位的这种 8051 系列产品。80C251、80C51XA 和 8 位机的硬件核心一致，只不过在硬件和指令集上加以扩充而已，它们有许多指令和内部硬件结构适应 C 语言编程，以便于应用。

为了满足高性能电动机控制的需求，一些半导体集成电路制造厂研制了适用于电动机控制的单片微处理器。例如美国 Intel 公司的 8XC196MC 系列和日本日立公司的 SH7000 系列单片机。它们可以接受光电编码器输入，内部还有脉宽调制 (PWM) 波形发生器，可用于控制变频驱动的交流电动机以及采用斩波器驱动的直流伺服电动机等等。

单片微机的软件开发，要依靠开发工具。一般是采用仿真器。详细情况可参阅附录。

三、数字信号处理器

数字信号处理器 (Digital Signal Processor, 简称 DSP) 是一种专用微处理器，原来是用来处理数字信号的，例如用作数字滤波或快速傅立叶变换 (FFT)，此时要频繁使用矩阵运算。DSP 内部设置乘法器，可高速执行乘法运算，而且乘法器和运算逻辑部件 ALU 是并行操作；再加上采用流水线控制技术，因此作加、减、乘、除等运算的速度极快，正好适合数字信号处理的要求。高级的电机微机控制系统，例如全数字交流位置伺服系统，也要求极快的矩阵运算，用一般的微处理器已无法满足要求，用 DSP 则正好能解决问题。目前已有采用 DSP 的全数字交流位置伺服系统供应市场。其性能比非全数字的好得多。

现以美国德州仪器公司 (TI) 生产的 TMS320 系列数字信号处理器为例，简单介绍 DSP 的发展情况。

早在 1982 年，第一代 DSP 产品 TMS320-10 问世，称为 C1X 系列。它是 16 位定点 DSP 芯片，采用 2 级流水线控制。为了提高速度，接着开发了 C2X 系列，采用 3 级流水线控制，并有积和运算指令 (MAC)，能把乘法和加法同时并行执行，特别适合两个矩阵相乘的运算，例如计算 $c_{11} = a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} + a_{13}b_{31} + a_{14}b_{41}$ 等等。它还有重复执行指令，借助硬件完成重复次数的计数和条件转移。这种 DSP 可应用于硬磁盘驱动器的磁头定位控制和其他电机控制领域。TMS320 C3X 系列是具有高计算精度的浮点 32 位 DSP 产品，采用 4 级流水线控制的以寄存器为基础的体系，并能有效地运行用 C 语言开发的应用程序。为了提高吞吐量，C3X 系列中设置了 4 条总线和双访问端口 RAM (双口 RAM)，并备有定时器、串行端口、DMA 控制器。TMS320 C4X 系列是在 C3X 的基础上加上了多处理器功能，可简单地将多个 DSP 联接起来，相互传送数据。TMS320 C5X 系列是高档的定点 DSP 芯片，和 C1X、C2X 系列产品在源代码一级保持向上兼容性，由于采用 4 级流水线，并且提高了时钟频率，还具备循环寻址模式、延迟转移指令，速度比 C2X 系列有显著的提高。

DSP 的应用软件开发也和单片微机一样，要依靠开发工具。如果是实验使用，或是小批量的产品，则可购买现成的装有 DSP 芯片及有关接口元件的插件板，插在常用的个人计算机或工控计算机底板上的扩展槽内。利用该计算机的键盘、显示器、软盘驱动器、硬盘驱动器等硬件，通过专用的软件对 DSP 进行开发。

由于 DSP 中的数学运算指令很有特色，在 Pentium MMX 及 Pentium II 等通用微处理器