

现代机械控制技术及设计丛书

单片机机械控制设计 及典型应用

DANPIANJI JIXIE KONGZHI
SHEJI
JI
DIANXING YINGYONG

陈继文 杨红娟 于复生 等编著



化学工业出版社

现代机械控制技术及设计丛书

单片机机械控制设计 及典型应用

陈继文 杨红娟 于复生 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从机械控制系统设计者的角度来写单片机的设计和应用,重点介绍了单片机的硬件、软件编程及开发、应用(简单应用、扩展应用、机械控制综合应用)以及单片机机械控制设计方法、设计实例等。内容包括单片机机械控制的原理,系统设计的电子电路,单片机的硬件结构和软件编程,单片机控制系统常用开发工具,控制系统输入输出通道、传感技术、驱动电路、控制方法以及对电机的控制,机械控制的典型应用系统,单片机控制系统的设计方法。本书内容深入浅出,实用性强,对应用单片机进行机械控制系统设计、研究和维护的广大读者有较大的参考价值。

本书适合从事单片机机械控制的研究人员和工程技术人员阅读,也可作为高校机械工程及自动化、机械电子工程等相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

单片机机械控制设计及典型应用 / 陈继文等编著.

—北京:化学工业出版社,2013.2

(现代机械控制技术及设计丛书)

ISBN 978-7-122-16232-8

I. ①单… II. ①陈… III. ①单片微型计算机-控制系统-系统设计 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 001756 号

责任编辑:张兴辉

责任校对:李 军

文字编辑:陈 喆

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 20½ 字数 507 千字 2013 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:79.00 元

版权所有 违者必究

前言 FOREWORD

目前计算机控制系统得到了普及应用,单片机是目前控制系统采用最多的器件和芯片。大量的控制系统任务较专业化,并且执行的是直接数字控制任务,基本采用单片机。单片机机械控制也发展为一个重要领域,它提高了机械设备的自动化程度,提升了机械设备工艺实践的效率,同时也大幅度提高了产品和成果的品质。

全书共分 12 章,主要包括:机械控制的基本概念和原理;系统设计的电子电路基础;单片机的硬件结构原理与 C 语言开发;单片机控制系统的常用开发工具,介绍了 Proteus 和 Keil C51 集成开发环境;单片机控制系统的输入系统及传感器技术、输出系统及功率驱动电路;单片机机械控制的方法;单片机对电机的控制,电机是工业控制等领域把电信号转换为动力的主要装置;单片机机械控制的典型应用;单片机的选型、控制系统设计方法和开发流程。本书从单片机控制的实际情况出发,内容全面,由基本概念到系统结构,从局部原理到整体实例,突出科学性和系统性,实用性强,系统和详尽,原理介绍深入浅出,图文并茂,难易适度,便于自学和实践。

本书适合从事单片机机械控制的研究人员和工程技术人员阅读,也可作为高校机械工程和自动化、机械电子工程等相关专业参考书。

本书由陈继文、杨红娟、于复生等编著,参与编写工作的还有沈孝芹、张涵、逢波、刘辉、许向荣、李彦凤、姜洪奎、张蔚波等。陈继文负责统稿,全书由山东建筑大学董明晓教授、宋现春教授主审。李帅帅、梁林杰、王利伟、王海龙、刘鹏翔、刘文浩、王永政、刘涛等协助整理了部分素材,山东建筑大学机电工程学院及机电教研室给予了大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中不足之处在所难免,恳请批评指正。

编著者

目录

第1章 单片机机械控制原理

Page 001

1.1 控制系统概述	1
1.2 控制系统的分类	3
1.2.1 按控制的时间形式分类	3
1.2.2 按给定值特征分类	4
1.2.3 按系统的变量分类	5
1.2.4 按系统的动态特性分类	5
1.2.5 按被控对象稳态输出分类	6
1.2.6 按控制信息的方式分类	6
1.2.7 按控制系统应用分类	7
1.3 控制系统的基本要求	9
1.4 单片机技术控制系统	9
1.4.1 计算机控制技术概念	9
1.4.2 单片机的发展概况	10
1.4.3 单片机的分类	10
1.4.4 单片机的发展趋势	11
1.5 单片机在典型机械控制上的应用	12

第2章 单片机控制的电子电路基础

Page 015

2.1 开关、电阻器、电容和电感	15
2.1.1 开关	15
2.1.2 电阻器	18
2.1.3 电容器	21
2.1.4 电感器	24
2.2 二极管及三极管	25
2.2.1 二极管	25
2.2.2 三极管	31
2.3 集成运算放大器	38
2.3.1 集成运算放大器的电路组成与符号	38
2.3.2 集成运算放大器的应用电路	40
2.4 数制和码制	43
2.4.1 二进制	43

2.4.2 十六进制数	44
2.5 组合逻辑	44
2.6 时序逻辑	47
2.6.1 触发器	47
2.6.2 触发器的典型应用	50
2.7 元器件的封装	51

第3章 单片机的硬件结构

Page 052

3.1 单片机的基本组成	52
3.2 单片机的中央处理器	53
3.3 单片机的封装形式与引脚介绍	54
3.4 单片机的并行端口	55
3.4.1 I/O 接口的作用	55
3.4.2 并行 I/O 接口	56
3.5 单片机的存储器	59
3.6 单片机的时钟与时序	63
3.7 单片机的复位	64
3.8 单片机的标识	65
3.9 单片机控制系统的外围部件	66
3.9.1 TIA/EIA-232 (RS-232) 驱动器和接收器	66
3.9.2 TIA/EIA-422 & 423 线路驱动器和接收器	68
3.9.3 TIA/EIA-485 线路驱动器、接收器、中继器和收发器	69
3.9.4 I ² C 总线接口器件	69
3.9.5 SPI 串行总线接口器件	72
3.9.6 CAN 总线接口器件	73

第4章 单片机基础 C 语言

Page 079

4.1 C 语言概述	79
4.1.1 C 语言的特点	79
4.1.2 简单 C 语言程序的构成	79
4.1.3 C 语言用于单片机的优势	81
4.2 标识符和关键字	82
4.2.1 标识符	82
4.2.2 关键字	82
4.3 数据类型	83
4.3.1 常量	83
4.3.2 变量	85
4.4 运算符和表达式	87
4.4.1 赋值运算符和表达式	87
4.4.2 类型转换	87
4.4.3 复合的赋值运算符	88
4.4.4 算术运算符和表达式	88

4.4.5	关系运算符和表达式	90
4.4.6	逻辑运算符和表达式	91
4.4.7	位运算符和表达式	92

第5章 C51 基本语句与函数讲解

Page 096

5.1	基本语句	96
5.1.1	表达式语句和复合语句	96
5.1.2	条件语句	96
5.1.3	循环语句	97
5.2	基础函数	100
5.2.1	函数定义	100
5.2.2	函数的调用	100
5.2.3	中断函数	101
5.2.4	函数的参数和返回值	102
5.3	数组与指针	103
5.3.1	数组	103
5.3.2	指针	105

第6章 单片机控制系统开发的常用工具

Page 108

6.1	Proteus 集成开发环境	108
6.1.1	Proteus 的主要功能特点	108
6.1.2	Proteus 软件的界面与操作介绍	108
6.1.3	Proteus 仿真设计快速入门	110
6.2	Keil C51 集成开发环境	117
6.2.1	单片机最小系统	117
6.2.2	一个发光二极管的程序	118

第7章 单片机控制的输入系统

Page 124

7.1	并行输入通道与信号处理	124
7.1.1	键盘的工作原理	124
7.1.2	独立式按键	125
7.1.3	行列式键盘	126
7.2	串行输入通道与信号处理	129
7.3	A/D 输入通道与信号处理	130
7.3.1	A/D 转换原理	130
7.3.2	A/D 转换器的主要技术指标	132
7.3.3	A/D 转换器与单片机的接口电路	132
7.3.4	A/D 转换程序设计	134
7.4	信号检测和传感器	134
7.4.1	信号检测	135
7.4.2	传感器	137
7.5	信号采样及处理	144

7.5.1 信号的采样	144
7.5.2 量化和量化误差	145
7.5.3 采样保持器	146

第8章 单片机控制的输出系统

Page 148

8.1 并行输出通道及信号处理	148
8.1.1 并行输出通道	148
8.1.2 I/O 接口的扩展方法	148
8.1.3 LED 显示器接口	150
8.1.4 液晶显示器 LCD 接口	154
8.2 串行输出通道及信号处理	155
8.2.1 单片机串行接口通信	155
8.2.2 PC 与单片机通信	156
8.2.3 单片机串行接口的扩展	158
8.3 D/A 输出通道及信号处理	159
8.3.1 D/A 转换器	159
8.3.2 D/A 电路原理	160
8.3.3 D/A 转换芯片——DAC0832	161
8.4 PWM 输出通道及信号处理	164
8.4.1 PWM 工作原理	164
8.4.2 PWM 的应用	165
8.5 输出系统的功率驱动部件和执行部件	166
8.5.1 功率晶体管	166
8.5.2 继电器	168
8.5.3 电磁阀	169

第9章 单片机的控制方法

Page 170

9.1 伺服控制与过程控制	170
9.2 性能指标	171
9.3 开关控制器	172
9.4 比例控制	172
9.5 积分控制	175
9.6 微分控制	176
9.7 PID 控制	177
9.7.1 模拟 PID 控制器	178
9.7.2 数字 PID 控制器	180
9.7.3 PID 控制器整定	184
9.7.4 采样率	186
9.7.5 自整定	187
9.8 串级控制	187
9.9 PIP 控制器	188
9.10 模糊逻辑控制器	189

9.10.1 模糊逻辑基本概念	189
9.10.2 模糊控制方法	190
9.10.3 模糊控制举例	194

第 10 章 单片机对电机的控制

Page 203

10.1 单片机控制直流电机	203
10.1.1 直流电动机的 PWM 调压调速原理	203
10.1.2 直流电动机的不可逆 PWM 控制	205
10.1.3 直流电动机双极性驱动可逆 PWM 控制	207
10.1.4 直流电动机单极性驱动可逆 PWM 控制	209
10.1.5 直流电机的驱动模块	211
10.1.6 大型电动机的直流电机控制	212
10.1.7 单片机控制无刷电机	214
10.2 单片机控制步进电机	216
10.2.1 步进电机分类	217
10.2.2 步进电机的结构	217
10.2.3 步进电动机的工作原理	218
10.2.4 步进电动机的工作方式	219
10.2.5 步进电动机的特性	222
10.2.6 步进电机驱动控制系统	223
10.2.7 步进电机单片机控制	229
10.3 单片机控制交流电动机	232
10.3.1 变频调速原理	232
10.3.2 变频器的作用	236
10.3.3 单片机控制变频调速原理	237
10.3.4 单片机控制变频调速系统	240
10.3.5 变频器的选用和主要参数	244
10.3.6 变频器的单片机控制	247
10.4 单片机控制伺服电动机	255
10.4.1 伺服电动机的结构特性	255
10.4.2 伺服电动机的控制	258
10.4.3 单片机控制工作原理	261
10.4.4 单片机控制伺服电机实例	262

第 11 章 单片机机械控制的典型应用

Page 265

11.1 电喷汽车喷油嘴清洗机	265
11.1.1 系统功能描述及工作原理	265
11.1.2 系统方案及电路设计	266
11.1.3 程序设计	269
11.2 室内全自动攀岩机	277
11.2.1 系统功能描述	277
11.2.2 攀岩机的工作原理	278

11.2.3 系统方案及电路设计	279
11.2.4 程序设计	281
11.3 餐厅服务机器人	294
11.3.1 系统功能描述	294
11.3.2 餐厅服务机器人的工作原理	294
11.3.3 系统方案及电路设计	295

第 12 章 单片机机械控制系统的设计方法

Page 301

12.1 单片机控制系统构成的基本方法	301
12.2 典型的单片机产品及选用	303
12.2.1 51 系列单片机	303
12.2.2 PIC 单片机	305
12.2.3 AVR 单片机	306
12.2.4 单片机的选择	306
12.2.5 单片机厂商	307
12.3 控制系统硬件的设计方法	310
12.4 单片机控制系统软件的设计方法	312
12.4.1 编程语言的选择	312
12.4.2 软件设计	313
12.4.3 软件抗干扰原理与方法	313
12.5 控制系统的调试方法	314
12.5.1 开发系统选择	314
12.5.2 控制系统硬件的调试方法	315
12.5.3 控制系统软件的调试方法	317

参考文献

Page 318

单片机机械控制原理

1.1 控制系统概述

自动控制技术已经在工业、农业、国防和科学技术现代化中发挥着十分重要的作用，其广泛应用产生了举世瞩目的成就：提高了生产效率，改进了产品质量，减轻人的劳动强度，改善了工作环境，减少了能量的损耗，增加了资源材料的利用率。自动控制技术水平的高低已经成为衡量科学技术先进与否的重要标志之一。特别是 20 世纪 80 年代以来，控制理论的进一步发展和计算机在控制系统中的应用，使自动控制取得了辉煌成果。无论是宇宙飞船、卫星系统、通信、智能机器人还是工业上的最优工业过程控制都反映了自动控制的关键作用。自动控制经历了从机械控制、电工电子技术控制，到计算机控制及计算机联网控制的发展阶段。计算机控制及计算机联网控制是目前最先进的自动控制技术。

控制系统是由电子智能控制一些物理过程的系统。它由一些能够进行智能控制的组件联合工作构成的。一般由电子电路提供智能控制和机电部件，如传感器和电动机，提供与周围环境相连接的接口。例如现代汽车的各种传感器为计算机提供有关发动机的状态，计算机精确计算提供给发动机的燃料值，并调整点燃时间。系统的机械部分包括电动机、传动、车轮等。为了设计、诊断和维修这些复杂的系统，必须了解电子、机械和控制系统原理。

早期自动控制机械过程是由模拟电子电路或者开关、继电器和定时器等来控制的。当微处理器出现后，越来越多的装置和系统被重新设计以采用微处理控制器，其典型例子有复印机、饮料机、机器人和工业过程控制器等。许多机械都利用了微处理器的强大的处理能力，使得它们变得更精密且拥有更多新的功能。再如现代汽车使用计算机的最初目的，是取代分电器和化油器中的机械和真空驱动子系统。一旦计算机设计好了，系统就会变得更为精密——比如，当海拔发生变化时，燃料/空气比例就会自动调整。而且增加某些特性，如计算机辅助发动机诊断，也不会增加成本。

控制系统分类：标准系统，可以自动保持参数为（或者接近）某个特定值，这样的例子有家庭加热系统，尽管外界条件变化它都将保持在一定温度；跟随系统，它会使系统的输出跟随预先设定好的路径，这样的例子有工业机器人将零件从一个地方移动到另一个地方；事件控制系统，它控制着一系列顺序发生的事件，这样的例子有洗衣机，它按照一系列已编好的程序步骤实现循环。

电子控制系统是 20 世纪的产物。例如：机电继电器被开发出来并用于电机和设备的远程控制；继电器和开关也用来作为简单的逻辑门来实现智能；真空管技术的应用使得控制系统在第二次世界大战期间有了显著的发展；动态位置控制系统（伺服机构）被开发出来，用于航空器、枪塔、鱼雷中。今天，位置控制系统用于机械工具、工业过程控制、机器人、汽车和办公设备中。同时，在电子方面的其他发展对控制系统也有一定的影响。在电动机控制电路中，固态装置开始取代继电器。模拟控制器中，晶体管和集成电路运算放大器也得到应用。数字集成电路已取代了常见的继电器逻辑。最后，也是最为显著的，由微处理器创造出

了数字控制器，这些数字控制器便宜、可靠，能够控制复杂过程而且是可调整的（如果任务改变，控制器可以重新编程）。

控制系统包括电子（模拟的和数字的）、电力控制装置、传感器、电动机、机械学和控制系统理论等多方面的内容。控制系统理论将这些概念联系在一起。自动控制就是在没有人直接参与的情况下，利用控制装置对机器、设备或工作过程的某些工作状态或参数进行自动调节与控制，使其按照预定的规律运行。自动控制系统性能的优劣，将直接影响到被控设备或系统的工况。

控制系统可以大致分为两大类：开环和闭环系统。复合控制是将开环控制和闭环控制适当结合的控制方式，可用来实现复杂且控制精度较高的控制任务。

（1）开环控制系统

开环控制是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程。即被控量（系统输出）不影响系统控制的控制方式称为开环控制。因此，在开环控制中，不对被控量进行任何检测，在输出端和输入端之间不存在反馈联系。开环控制系统一般由控制器、执行元件和控制对象组成，如图 1.1 所示。下面以汽油发动机喷油自动控制为例说明。

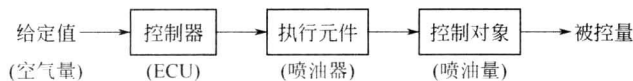


图 1.1 开环控制系统方框图

给定值是要控制被控量的输入信号值。它描绘系统期望的输出信号。要控制喷油量，首先要把测出的进入汽缸的空气量转为相应的数字信号作为给定值输入给控制器。

被控量是控制对象按一定规律输出的物理量，通常它是决定控制对象工作状态的。如发动机喷油器的喷油量、发动机曲轴的转速等。

执行元件起具体执行控制信号或指令的作用，给控制对象施加某种作用，使其改变输出量。如发动机喷油的执行元件是喷油器，给喷油器施加的是脉冲电压，脉冲电压的宽度越宽，喷油量越大。

控制器是一种特殊装置，起综合、分析、比较、判断和运算的作用，并能按一定的规律发出控制信号或指令。不同的控制器构成不同，现代控制器通常以微型计算机为核心。汽车发动机电子控制系统的控制器以单片机为核心，配置输入和输出电路后，简称电控单元，用 ECU（electronic control unit）表示。

控制器的作用是使系统的输出量与给定量之间保持设定的函数关系。如发动机空气流量传感器测出进气质量后，转换为相关数值的给定值（输入电信号）送给控制器（ECU），控制器按设定的函数关系，控制执行元件（喷油器）喷油，使空气量与燃油量之间的比值 14.7:1，这一比值称为理想空燃比（空气与燃油的质量比值），此比值可以使汽油获得最佳燃烧。

开环控制方式的特点是：在给定输入端到输出端之间的信号传递是单向进行的。控制器独立地计算并输出执行器工作时所需用的准确电压和电流值。然而在这种方法中，当受控对象或控制装置受到干扰，或者在工作过程中元件特性发生变化而影响被控量时，由于没有反馈，控制器实际上不能确定执行器是否工作在设定值，系统不能进行自动补偿，所以控制精度难以保证。这种系统完全建立在控制器知道执行器的工作特性的基础上。但是由于它的结构比较简单，因此在控制精度要求不高或元器件工作特征比较稳定而干扰又很小的场合中应用比较广泛。继电器和步进电机是有可靠特性的装置，且经常在开环操作系统中应用。执行器例如电动机或电流阀有时在开环系统中应用，但是它们必须在规定的间歇内校准或是调整，以保证正确的系统操作。

(2) 闭环控制系统

若系统输出量通过反馈环节返回来作用于控制部分，形成闭合环路，则这样的控制称为闭环控制系统，又称为反馈控制。闭环控制的方框图如图 1.2 所示。由于控制器知道系统的实际动作，所以它可以做出任意调整，保持一定的输出结果。信号从控制器到执行器为前向通道，信号从传感器到控制器为反馈通道。在比较元件（位于控制器之前）上，给定值减去反馈信号。通过将目标位置（由给定值定义）减去实际位置（由传感器获取），得到系统误差。误差信号代表“实际检测值”和“期望值”之差。控制器将持续工作以缩小误差信号。零误差意味着系统的输出为设定值。

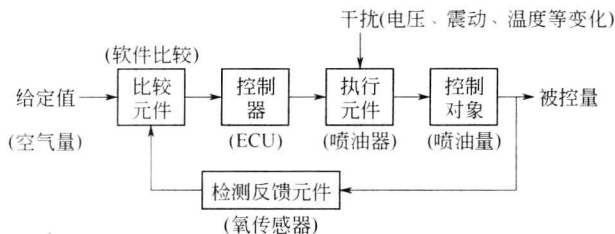


图 1.2 闭环控制系统方框图

闭环控制的特点是在控制器和被控对象之间，不仅存在着正向作用，而且还存在着反馈作用，即系统的输出信号对被控制量有直接影响。在闭环控制中，被控量时刻被检测，并通过反馈通道送回到比较元件，与给定值进行比较。

在发动机喷油闭环控制中，喷油量的多少是否达到理想空燃比，直接影响发动机的燃烧情况。燃烧是否完全或供氧是否过剩，可以用氧传感器检测从发动机排出废气中的含氧量来判断。氧传感器是一种氧化学电池，其产生的电动势与氧浓度差有关。氧传感器产生的电信号反馈到 ECU。ECU 用软件方式与内存的标准值比较，判断喷油量的差值，对喷油指令进行修正，改变喷油脉宽，从而改变喷油量，使其达到理想空燃比。

闭环控制具有自动修正被控制量出现偏离的能力，因此可以修正元件参数变化及外界扰动引起的误差，其控制精度较高。尽管需要附加的硬件，但是闭环系统的这种自更正特点却使得它比开环控制系统在应用上更受欢迎。这是因为闭环系统可以提供更可靠、可重复性的性能，甚至当系统组件自身（在前向通道）不是绝对可重复的或是精确可知的时候。

1.2 控制系统的分类

1.2.1 按控制的时间形式分类

控制系统中，控制量可以是连续的时间函数，也可以是脉冲时间函数。根据控制的时间形式可以分为连续控制系统和离散控制系统两种。

(1) 连续控制系统

连续控制系统是指控制器的输出控制信号是连续的信号，也称为模拟控制系统，因为从控制器输出到对象的信号是模拟信号。连续控制系统中，系统的各个环节的输出都是输入的连续时间函数，即系统的变量都是连续时间变量。连续控制系统一般由模拟电路或模拟元件构成。电子模拟控制器由传统模拟器件和电路（即线性放大器）组成。这种“直接”设计，使设定值或反馈值的任何改变都可以被立即感知，同时控制器相应地调整输出（传给执行器）。因此，连续控制系统一般有较高的控制响应。但模拟控制器是相对过时的技术，正在渐渐退出应用。

(2) 离散控制系统

控制系统中,若有一个以上的变量是断续时间变量,则这个系统称断续控制系统或离散控制系统。在一般的断续控制系统中,又分为脉冲控制系统和继电控制系统。

脉冲控制系统中至少含有一个脉冲元件,它将连续的输入量变换为具有一定周期的输出脉冲,如由计算机或直接数字控制器组成的采样调节系统等。现在离散控制系统基本上都是采用以计算机为核心的数字控制器,这种控制系统也称为数字控制系统。控制器中的微处理器用来执行“控制程序”,以指示处理器读取设定值和传感器的数据,再使用这些数字计算出控制器的输出(送给执行器),然后程序循环到开始,再次执行。每一次程序循环称为反复或是扫描。数字控制器只在每次扫描的开始读取输入值,在每次扫描的最后更新传送给执行器的输出值。若在控制器读取过输入值之后,输入值就改变了,则这个改变将会在下一次扫描时才被检测到。这是与电子模拟控制器的主要区别,模拟控制器是连续的随着任何改变而立即反应的。在实际应用中,对于大多数数字控制器而言,与控制过程的反应时间相比,扫描时间非常短,控制器的反应是瞬间完成的。

继电控制系统中至少含有一个继电器或具有继电特性的元件,如继电式温度控制系统等。在工业生产应用中,可编程逻辑控制器(PLC)在编程中还会用到继电器的一些性质,还会保留一些继电控制系统的特性。随着计算机的进一步发展,继电控制系统会日渐式微,而数字控制会日益广泛。

物理世界基本上是“模拟的世界”。自然事件是随时间发生的,它们经常以连续的形式从一个位置转移到另一个位置。因此,大多数控制系统都是控制模拟过程。所以数字控制器要将现实世界的模拟输入数据转换为数字形式,同时数字控制器的输出值也必须从数字形式转换回模拟形式。一般的数字闭环控制系统如图 1.3 所示,数模转换器(DAC)和模数转换器(ADC)将数据在模拟量和数字量间转换。还需要注意的是,数字执行器,如步进电机,是不需要 DAC 的;数字传感器,如光电轴编码器,也不需要 ADC。

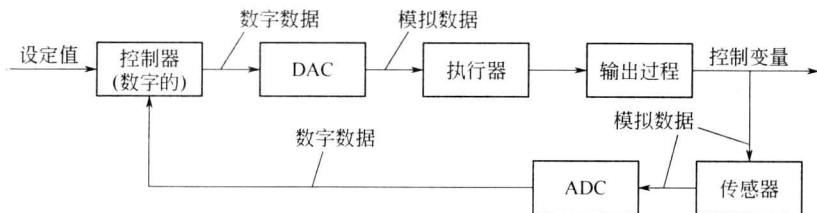


图 1.3 数字闭环控制系统的方框图

1.2.2 按给定值特征分类

按给定值变化特征分类有定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统三类。

(1) 定值控制系统

给定信号(给定值)为一恒值或随时间缓慢变化的控制系统称为定值控制系统。这类控制系统的任务是保证在扰动作用下,使被控变量始终保持在给定的期望值上。在工业生产中,定值系统最为常见,多用于温度、压力、流量、湿度、黏度等的控制。如汽车发动机的缸温控制是定值即定温控制,一般缸温设定在 80°C ,当缸温超过设定温度时,发动机 ECU 或温控器将启动冷却液循环和风扇散热。

(2) 随动控制系统

给定信号为一个未知变化量的闭环控制系统称为随动控制系统。系统的任务是保证在各种条件下系统的输出(被控变量)以一定精度跟随给定信号的变化而变化,所以这类控制系

统又称为伺服系统或跟踪系统。这类控制系统在机械、造船、冶金、军工等部门得到广泛应用。例如发动机点火提前角的控制是典型的高精度、随动控制。它的给定信号是随机信号，就是发动机的转速信号，发动机转速随喷油量和负荷量等因素的变化而变化；发动机转速越高，点火提前角就越大；发动机曲轴转速传感器是检测反馈元件。

（3）程序控制系统

给定信号是一个按一定时间程序变化的时间函数的闭环控制系统称为程序控制系统。系统的任务是保证被调量按一定精度跟随输入规律而变化，多用于化工、石油、冶金、造纸等生产程序的控制。例如金属材料热处理及耐火材料窑炉炉温程序。再如汽车喷漆烤漆房的温度控制是程序控制，其升温、保温、降温过程都是按照预先设定的规律进行控制的。

1.2.3 按系统的变量分类

自动控制系统的输入有一个或多个，而输出也有一个或多个，从而使控制系统的形式可以有单输入单输出、多输入单输出以及多输入多输出三种形式。

（1）单输入单输出控制系统

若只有一个被控变量和一个控制作用来控制被控对象，则称该系统为单变量控制系统，又称为单输入单输出系统，也称为 SISO 系统。很多简单或基本的控制系统都是单输入单输出系统。如一般的温度控制、流量控制以及水位控制等。

（2）多输入单输出控制系统

有多个输入变量而只有一个输出变量的自动控制系统称为多输入单输出控制系统，也称为 MISO 系统。在该系统中，控制器需要根据多个输入变量的情况，决定一个输出的状态，再去控制一个对象工作。如冷库的温度控制，它就需要冷库中各个主要位置的温度状态，并把这些点的温度输入系统中，再根据综合结果决定压缩机的工作状态和制冷。

（3）多输入多输出控制系统

有多个输入变量和多个输出变量的自动控制系统称为多输入多输出控制系统，有时也称为 MIMO 系统。在这种自动控制系统中，控制器需要根据多个输入变量的情况，决定多个输出变量的输出去控制多个对象工作。这种控制系统的每个输出都会同时受到多个输入量的影响，因此存在不同程度的耦合现象，往往需要进行解耦，以消除一些输入变量对某个输出变量的不良影响。如汽车发动机电控系统就是一个多变量控制系统，它有多个输入信号，如发动机转速信号、空气流量信号、缸温信号等；它要输出多个变量，如喷油量、点火提前角等去控制发动机。再如风冷式电冰箱控制是一个典型的多输入多输出控制，其输入量有冷凝器温度、蒸发器温度、冷藏室温度、冷冻室温度等多个；而输出控制量有压缩机电机速度控制、送冷风扇控制等多个。

1.2.4 按系统的动态特性分类

系统的动态特性是和其内部结构和性质有关的，在系统的参数不随时间而变化时，这种系统称定常系统，通常它可以用线性微分方程描述。用线性微分方程描述的系统称为线性系统，用非线性微分方程描述的系统称为非线性系统。按系统动态特性可以把控制系统分成线性和非线性控制系统两类。

（1）线性控制系统

线性控制系统是指其动态特性可以用线性微分方程来描述的调节系统。这种系统动态特性的各个参数（例如时间常数、放大系数等）在工作条件下是恒定的或近似恒定。线性控制系统的一个重要性质是在几个扰动同时作用于系统时，其总效果等于每个扰动单独作用时的效果之和，这就是线性调节系统叠加原理。

(2) 非线性控制系统

非线性控制系统是指其动态特性参数中至少有一个不能保持恒定, 随被调量而变化的调节系统。该系统动态特性只能用非线性微分方程来描述, 不能采用叠加原理。在实际的工程控制系统中, 绝大多数的被控对象和调节设备都存在着一定的非线性因素, 只要能满足工程控制精度的要求, 一般都把非线性环节或系统在稳定工作点附近线性化, 简化为线性系统来处理。在控制系统中可通过引入局部负反馈措施来减小非线性因素的不利影响。但在有些场合, 又常常需要引入非线性特性(如限幅)来改善调节系统的工作性能。

1.2.5 按被控对象稳态输出分类

自动控制系统被控对象稳态输出在有外来干扰时是否有影响, 而使输出是否产生偏差, 则可以分成有差控制系统和无差控制系统两种。

(1) 有差控制系统

有差控制系统是指被调量的稳态值与外来扰动有关的控制系统。这种系统在不同的扰动作用下, 被调量的稳态值是不同的。被调量有稳态偏差(又称静差)是有差调节系统的一个显著特点。必须指出, 有差系统只能减小外来扰动所引起的偏差, 但无法完全消除偏差。例如某个系统的扰动作用经过一段时间而趋于某一恒定的稳态值, 而被调量的实际值与期望值之差也逐渐趋于某一恒值, 此值取决于扰动作用的大小, 这个系统就属于有差系统。

(2) 无差控制系统

无差控制系统是指被调量的稳态值在各种扰动作用下都保持在初始给定值上, 而与外来扰动作用无关的控制系统。例如某个系统的扰动作用经过一段时间而趋于某一恒定的稳态值, 而被调量的实际值与期望值之差逐渐趋于零且与扰动作用的大小无关, 这个系统就是一个无差系统。应该指出, 同一系统可能对扰动输入是有差的而对给定输入是无差的, 或者相反。因此, 在研究一个自控系统是有差还是无差, 必须指出是对扰动而言还是对给定输入而言。

1.2.6 按控制信息的方式分类

现在的控制系统可以处理精确信息和模糊信息。以精确信息进行控制的系统和以模糊信息进行控制的系统是截然不同形式的控制系统。以精确信息处理方式进行控制的系统称为精确控制系统, 以模糊信息处理方式进行控制的系统称为模糊控制系统。

(1) 精确控制系统

精确控制系统是指依靠以精确数字为基础建立的一套控制理论进行控制的系统。传统的模拟控制系统、数字控制系统都是精确控制系统。

(2) 模糊控制系统

依靠以模糊理论为基础所建立的模糊控制理论进行控制的系统称为模糊控制系统。模糊控制系统最大的特点是用“数”进行控制, 而精确控制系统则是用“数”进行控制, 两者有本质的区别。模糊控制系统与传统精确控制最明显的区别有:

① 信息用模糊量表示, 也即是用“词”表示。如输入信号和输出信号都是用“正大”、“正小”、“零”、“负小”、“负大”等词来表示。

② 控制采用模糊推理语句, 而不是像传统精确控制那样采用数字公式或算法。模糊推理语句格式为[if x is “大” and y is “中” then z is “中”]。

③ 模糊控制只需模糊工作经验形成的知识, 而无需知道对象的数学模型。

1.2.7 按控制系统应用分类

(1) 过程控制

过程控制是指控制系统监视工业过程,以达到统一的、正确的输出值。控制系统通过监测和调整控制参数(如温度和流动速率)保证输出达到设定值。如电子炉闭环控制系统保持温度为特定值,如图1.4所示。执行器是加热元件,控制变量是温度,传感器是热电偶(此装置将温度转换为电压),控制器调整电力使加热元件保持温度在设定值。早期大多数顺序控制系统使用开关、继电器和电机定时器来实现控制逻辑,现在这些任务越来越多地由可编程逻辑控制器(PLC)控制,它比较可靠,容易重新编程来满足需求。

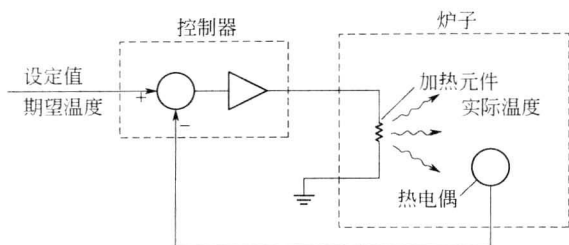


图 1.4 炉温加热控制系统

过程控制可被分为批处理过程或是连续过程。在连续过程中,材料或产品是连续流,而批处理过程有开始和结尾(这个过程反复进行)。

在大型工厂中,许多过程都是同时发生的,要求必须做到协调,因为一个过程的输出是另一个过程的输入。在早期的过程控制中,通过分离的独立控制器来控制每一个过程,其缺点是当改变产品的总流量时,每一个控制都需要手动重新调整。

在20世纪60年代,新系统发展很快,所有的独立控制器被一个大型的计算机所取代,这个系统称为直接数字控制(DDC)。由于计算机能够“监视”整个系统,因此它可以做出调整以提高整个系统的性能。它的优点是所有过程都通过同一个地方被执行,并且被监控和调整,而缺点是整个系统都是依靠一台计算机。若计算机为了解决一个过程中的问题而停下,则整个系统都将停止工作。

小型基于微处理器的控制器的出现产生了分散式控制系统(DCS)。在该系统中,每个过程都有其自身的独立控制器。这些局部的控制器通过局域网互相连接,网络中的所有控制器都能够由一个单独的监控计算机进行监控或重新编程。一旦被编程,每个过程本质上都是独立运行的。它具有更强的鲁棒性和安全性,即使监控计算机或者网络停止工作了,所有的现场过程仍将继续。例如:即使监控计算机暂时不工作了,局部控制器仍能使一些材料保持在特定的温度下。

现在控制系统的各部分已经可以被连接到工厂的“事务办公”网络中,这就使工厂中任何过程的状况都可以被任何计算机检测。可以在任何一台计算机前,监控流水线上的某个具体环节的工作参数。

在过程控制系统中,还有一类顺序控制系统。它可以控制顺序执行任务的过程——顺序操作的序列。顺序中的每个操作如果是在定量时间内执行,称为时间驱动操作;若是直到任务完成,称为事件驱动操作。由于在系统中没有反馈,时间驱动操作是开环的;由于需要反馈信号指示任务完成情况,事件驱动任务是闭环的。顺序控制系统通常使用“开/关”离散信号,而不是过程控制中的标量阀。例如自动洗衣机的顺序控制系统,其向洗衣机中注水是一个事件驱动任务,因为直到水达到浮球和限位开关所指示的位置时,就停止注水(闭环);而洗涤和甩干要在特定的时间内完成的,因此这两个任务都是时间驱动事件(开环)。

(2) 运动控制

运动控制是指用来描述含有运动系统部件的开环或闭环机电系统。一般该系统包括:电动机、可移动的机械部件和反馈传感器,如自动集成机械、工业机器人和数字控制机器。