



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机电控制系统分析与设计

高春甫 张宏颖 主编

宫文斌 朱黎辉 孙 晓 编



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书介绍了机电控制系统的分析与设计方法。全书分8章,第1章绪论,第2章介绍自动控制系统基本知识,第3章介绍机电系统中的传感器技术,第4章介绍电路及接口设计,第5章介绍微机测控系统设计,第6章介绍电液伺服控制系统,第7章介绍可编程控制器,第8章介绍 Matlab 及其在机电控制中的应用。

本书可作为大专院校机械、电子、机电一体化等专业本科生教材,也可供从事机电控制系统设计与研究的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电控制系统分析与设计/高春甫,张宏颖主编. —北京:科学出版社, 2007

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 978-7-03-019138-0

I. 机… II. ①高…②张… III. ①机电系统:自动控制系统—系统分析—高等学校—教材②机电系统:自动控制系统—系统设计—高等学校—教材 IV. TH-39 TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 105091 号

责任编辑:马长芳 杨 然 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年8月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2007年8月第一次印刷 印张:20 1/4

印数:1—3 500 字数:381 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

机电控制系统是机械系统中的重要组成部分,是随着科技发展而逐渐发展起来的重要分支。一个机械系统的工作好坏与其控制系统的组成及性能有着紧密关系,因此,机电控制系统的设计与分析具有非常重要的意义。

本书从工程应用角度出发,尽力使理论和实际设计相结合,使读者能够对机电控制系统的分析与设计有系统的认识 and 了解,并在实际中加以运用,提高分析解决实际问题的能力,为设计机电控制系统提供一定的技术基础。

本书是根据本教材编写组人员多年的教学经验和讲义的素材,在查阅相关文献的基础上编写而成的。主要介绍机电控制系统的分析方法、机电控制系统中的常用传感器及其应用方法、电路系统设计及微机测试系统构成、液压伺服系统的构成与设计、可编程控制器系统的设计方法以及机电控制系统中的 Matlab 分析与仿真方法。本书的构成本着实用的原则,根据实际设计的需要进行编写。

本书的第1章及第4、5、8章由高春甫编写,第2章由张宏颖编写,第3章由孙晓编写,第6章由宫文斌编写,第7章由朱黎辉编写,全书由高春甫、张宏颖主编并统筹。本书第8章的编写得到了博士生贺新生的大力支持和帮助,也得到了其他人员的帮助,在此表示感谢。

本书参考了部分较好的教材和著作,得到了相关人员的帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,希望广大读者批评指正。

编 者

2007年4月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 机电控制系统的基本组成	1
1.1.1 机电控制系统的定义	1
1.1.2 机电控制系统的基本结构	1
1.1.3 机电控制系统的基本要求	3
1.2 机电控制系统的控制方式	5
1.3 机电控制系统的设计与分析方法	6
第 2 章 自动控制系统基本知识	9
2.1 自动控制系统概述	9
2.1.1 自动控制系统的基本组成	9
2.1.2 自动控制系统的分类	9
2.1.3 建立系统数学模型的方法	10
2.2 自动控制系统数学模型.....	10
2.2.1 解析法建模	10
2.2.2 实验法建模	14
2.3 小偏差线性化.....	20
2.4 自动控制系统运动方程的建立.....	23
2.4.1 自动控制系统运动方程建立的方法	23
2.4.2 由运动方程求系统的特性	25
2.5 传递函数及方块图.....	28
2.5.1 拉普拉斯变换	28
2.5.2 传递函数	28
2.5.3 几个典型环节的传递函数	29
2.5.4 环节的连接和方块图的变换	32
2.5.5 控制器的控制规律及响应特性	33
2.6 自动控制系统的时域分析.....	35
2.6.1 控制系统的控制质量指标	36
2.6.2 自动控制系统的稳定性	37
2.6.3 自动控制系统的过渡过程	42
2.6.4 控制系统的稳态误差	48

2.7 自动控制系统的频域分析	54
2.7.1 频率特性的概念	54
2.7.2 频率特性的图示法	55
2.7.3 奈奎斯特稳定判据	57
2.7.4 对数频率稳定判据	60
2.7.5 稳定余量	61
习题	63
第3章 机电系统中的传感器技术	65
3.1 传感器的组成及分类	65
3.1.1 传感器的组成	65
3.1.2 传感器的分类	65
3.1.3 传感器的基本特性	66
3.2 压力传感器	66
3.2.1 机械式压力计	67
3.2.2 电学式压力传感器	68
3.3 位移传感器	71
3.3.1 电感式位移传感器	71
3.3.2 电容式位移传感器	74
3.3.3 光栅式位移传感器	76
3.3.4 感应同步器	78
3.4 速度、加速度传感器	79
3.4.1 速度的测量	79
3.4.2 加速度传感器	82
3.5 振动传感器	84
3.6 转矩传感器	85
3.6.1 应变片式转矩传感器	85
3.6.2 JC 型转矩转速传感器	85
3.7 温度传感器	86
3.7.1 热电偶	86
3.7.2 热敏电阻	87
3.7.3 热电阻	87
3.7.4 光纤温度传感器	89
3.7.5 半导体温度传感器	89
3.8 流量传感器	90
3.8.1 LWGY 型涡轮流量传感器	90
3.8.2 光纤流量传感器	90

3.8.3 超声波流量计	91
3.9 声音传感器	91
3.10 开关量传感器	91
3.10.1 电感接近开关	91
3.10.2 电容式接近开关	92
3.10.3 霍尔开关	93
3.10.4 红外线光电开关	93
3.10.5 SL 型系列接近开关	95
习题	98
第4章 电路及接口设计	99
4.1 电路的设计方法	99
4.1.1 选择总体方案	99
4.1.2 设计单元电路	99
4.1.3 计算参数	99
4.1.4 选择元器件	100
4.1.5 绘总体电路图	102
4.1.6 电路的组装与调试	103
4.1.7 设计报告的撰写	105
4.1.8 电路的抗干扰措施	105
4.2 运算放大器电路设计	108
4.2.1 运算放大器的基本概念	108
4.2.2 高性能放大电路	110
4.2.3 电阻电桥放大器	113
4.3 集成稳压电源设计	116
4.3.1 集成稳压电源的性能指标和简易测试方法	116
4.3.2 固定式集成稳压电源的设计	118
4.3.3 固定式集成稳压电源的扩展应用	120
4.3.4 可调式集成稳压电源设计	122
4.4 电压比较器	123
4.4.1 过零比较器	123
4.4.2 单限电压比较器	124
4.4.3 迟滞比较器	124
4.5 V/F 电路设计	127
4.5.1 前向通道中的 V/F 转换结构	127
4.5.2 V/F 转换原理	129
4.5.3 V/F 转换集成芯片及接口	131

4.6 接口设计	137
4.6.1 接口的分类	137
4.6.2 电平转换	137
4.6.3 七段LED显示器及其驱动	142
4.6.4 点阵式LED显示器驱动接口	144
4.6.5 继电器、接触器的功率接口	145
4.6.6 电光、电热型功率接口	147
习题	151
第5章 微机测控系统设计	156
5.1 微机测控系统基本组成	156
5.1.1 测控系统硬件组成	156
5.1.2 测控系统软件组成	158
5.2 微机测控系统模拟量测量技术	158
5.2.1 模拟量输入通道的一般组成	158
5.2.2 多路转换器	159
5.2.3 采样-保持器	160
5.2.4 模/数转换器接口	161
5.2.5 8位A/D转换器与微机接口设计	162
5.2.6 12位A/D转换器微机接口技术	168
5.3 微机频率测量技术	173
5.3.1 计数测频法(闸门时间法)	173
5.3.2 周期测量法	175
5.4 模拟量输出技术	179
5.5 步进电机基本控制技术	184
5.5.1 步进电机的功率放大电路	184
5.5.2 基本型改进电路	185
5.5.3 双电压功率放大电路	185
5.6 直流电动机脉宽(PWM)调速系统	189
5.6.1 直流电动机的脉宽调制的工作原理和特点	189
5.6.2 直流电动机的调速方式	190
5.7 单片机控制的角度伺服系统	193
5.7.1 系统结构原理	193
5.7.2 接口电路	194
5.7.3 控制系统的结构框图	196
5.7.4 控制器的离散化	197
5.7.5 控制程序框图	198

习题	200
第6章 电液伺服控制系统	205
6.1 概述	205
6.1.1 电液比例控制系统的构成	205
6.1.2 电液比例控制系统的特点及应用	207
6.1.3 电液比例控制系统的分类	208
6.2 电液比例控制基本回路	209
6.2.1 电液比例压力控制	209
6.2.2 电液比例流量控制	212
6.3 电液比例电控技术	214
6.3.1 对比例放大器的基本技术要求	215
6.3.2 比例控制放大器与检测反馈系统	215
6.3.3 比例控制放大器主要电路的构成、原理及功能	217
6.3.4 国内外比例控制放大器发展概况	229
习题	230
第7章 可编程控制器	233
7.1 概述	233
7.1.1 可编程控制器的定义	233
7.1.2 可编程控制器的功能	234
7.1.3 可编程控制器的特点	234
7.1.4 可编程控制器的应用	234
7.2 可编程控制器组成及接口	235
7.2.1 可编程控制器的基本组成	235
7.2.2 编程器及外部设备	236
7.2.3 可编程控制器的输入/输出接口模块	236
7.2.4 可编程控制器的智能接口	243
7.3 可编程控制器工作过程的特点	246
7.3.1 可编程控制器是周期循环扫描的工作过程	246
7.3.2 可编程控制器采用集中采样、集中输出的工作方式	247
7.3.3 可编程控制器对输入/输出的处理原则	248
7.4 可编程控制器应用系统硬件设计方法	248
7.4.1 可编程控制器系统硬件设计根据	248
7.4.2 应用系统总体方案的确定	248
7.4.3 可编程控制器机型的选择	251
7.4.4 输入/输出模块的选择	252
7.4.5 系统供电电源设计	254

7.4.6 I/O 模块供电电源设计	255
7.4.7 系统接地设计	258
7.4.8 可编程控制器供电系统设计	259
7.5 可编程控制器的维护与故障诊断	261
7.5.1 可编程控制器的检查与维护	261
7.5.2 可编程控制器的故障诊断与查询	262
7.6 可编程控制器的应用实例	266
7.6.1 控制要求分析	266
7.6.2 PLC 选型及 I/O 接线图	266
7.6.3 I/O 地址定义表	267
7.6.4 应用控制程序设计	268
习题	269
第 8 章 Matlab 及其在机电控制中的应用	271
8.1 Matlab 简介	271
8.2 Matlab 的基本运算函数	274
8.2.1 基本数学运算与函数	274
8.2.2 其它数学运算	280
8.2.3 循环命令	284
8.2.4 条件命令	286
8.2.5 M 文件	286
8.2.6 搜寻路径	288
8.2.7 资料的储存与载入	290
8.2.8 退出 Matlab	291
8.3 基本 xy 平面绘图命令	291
8.4 Matlab 在机电控制中的应用	298
8.4.1 系统数学模型的 Matlab 实现	298
8.4.2 系统稳定性分析的 Matlab 实现	300
8.4.3 系统时域分析的 Matlab 实现	301
8.4.4 根轨迹法的 Matlab 实现	306
8.4.5 应用实例	306
8.5 小结	309
习题	309
参考文献	310

第 1 章 绪 论

1.1 机电控制系统的基本组成

1.1.1 机电控制系统的定义

系统是由相互作用着的若干环节组成的整体。它指我们所研究的对象,以及这个对象与外部环境之间、对象内部各部分之间的各种相互作用,系统是它们的总称。

一切相互作用的事物都可被看作系统。但控制理论并不研究一切系统,而只研究“控制系统”,即一类在控制作用下能够改变系统中的某些运动并使之进入各种状态的系统。

机电系统是机械电子系统的简称,是由机械系统和电气系统组成的,其核心是控制系统,因此,常将机电系统称为机电控制系统。机电系统强调机械技术与电子技术的有机结合,强调系统各个环节之间的协调与匹配,以便达到系统整体最佳的目标。当今的机电控制技术是微电子、电力电子、计算机、信息处理、通信、检测、过程控制、伺服传动、精密机械及自动控制等多种技术相互交叉、相互渗透、有机结合而成的一种综合性技术。

机电控制技术所应用的制造业,已由最初的离散型制造业,拓宽到连续型流程工业和混合型制造业。应用机电控制技术可开发出各式各样的机电系统。机电系统遍及各个领域。

1.1.2 机电控制系统的基本结构

机电控制系统一般由 7 个部分组成,如图 1.1 所示,各个部分的功能和作用如下。

传感器用来检测被控制的物理量,如执行机构的运动参数、加工状况等。这些参数通常有位移、速度、加速度、转角、压力、流量、温度等。如果这个物理量是非电量,一般再转换为电量。

输入和反馈之间进行比较,是把测量元件检测的被控量实际值与给定元件的输入量进行比较,求出它们之间的偏差。常用的比较元件有差动放大器、机械差动装置、电桥电路等。

放大器是将比较得出的偏差信号进行放大,用来推动执行器去控制被控对象。电压偏差信号可用电子管、晶体管、集成电路、晶闸管组成的电压放大级和功率放

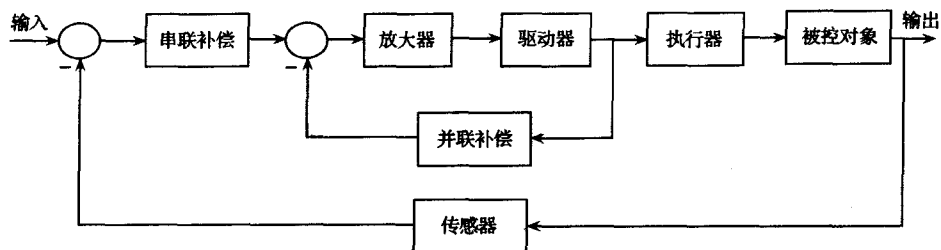


图 1.1 机电控制系统的组成框图

大级加以放大。

执行器直接推动被控对象,使其被控量发生变化,完成规定的加工任务,如零件的加工或物料的输送。执行器直接与加工对象接触。根据不同的用途,执行器具有不同的工作原理、运作规律、性能参数和结构形状,如车床、铣床、送料机械手等,结构千差万别。

驱动器与执行器相连接,给执行器提供动力,并控制执行器启动、停止和换向。驱动器的作用是完成能量的供给和转换。

机电控制系统的执行器也称为执行元件或执行装置,是各类工业机器人、CNC 机床、各种自动机械、信息处理计算机外围设备、办公设备、各种光学装置等机电系统或产品必不可少的驱动部件,该元件是机电控制系统中的能量转换元件,即在控制装置的指令下,将输入的各种形式的能量转换为机械能,并完成所要求的动作。如数控机床的主轴转动、工作台的进给运动,以及工业机器人手臂升降、回转和伸缩运动等都要用到驱动部件。

根据使用能量的不同,可以将执行装置大体分为电气式、液压式和气动式三大类。

1. 电气式执行装置

电气式执行装置是将电能转变成电磁力,并利用该电磁力驱动运行机构运动。常用的电气式执行元件包括控制用电动机(步进电动机、直流和交流伺服电动机)、静电电动机、磁滞伸缩器件、压电元件、超声波电动机及电磁铁等。对控制用电机的性能除了要求稳速运转性能之外,还要求具有良好的加速、减速性能和伺服性能等动态性能,以及频繁使用时的适应性能和便于维修性能。

2. 液压式执行装置

液压式执行装置是先将电能变换为液压能并用电磁阀改变压力油的流向,从而使液压执行元件驱动运行机构运动。液压执行机构的功率-重量比和扭矩-惯量比越大,加速性能越好,结构越紧凑,尺寸越小,在同样的输出功率下,液压驱动装

置具有重量轻、惯量小、快速性好等优点。液压式执行元件主要包括往复运动的油缸、回转油缸、液压马达等,其中油缸占绝大多数。目前,世界上已开发各种数字式液压式执行元件,如电-液伺服马达和电-液步进马达,电-液式马达的最大优点是具有比电动机更大的转矩,可以直接驱动运行机构,过载能力强,适合于重载的高加减速驱动,而且使用方便。

液压系统也有其固有的一些缺点,如液压元件易漏油,会污染环境,也有可能引起火灾,液压系统易受环境温度变化的影响。因此对液压系统管道的安装、调整,以及整个油路防止污染及维护等都要求较高。另外,液压能源的获得、存储和输送不如电能方便。因此,在中、小规模机电系统中更多地使用电动驱动装置。

3. 气动式执行装置

气动式执行装置与液压式的原理相同,只是将工作介质由油改为气体而已。由于气动控制系统的工作介质是空气,来源方便,不需回气管道,不污染环境,因此在近些年得到大量的应用。气动执行装置的主要特点是动作迅速、反应快、维护简单、成本低,同时由于空气黏度很小,压力损失小,节能高效,适用于远距离输送。工作环境适应性好,特别在易燃、易爆、多尘、强振、辐射等恶劣环境中工作更为安全可靠。但气动式执行装置由于空气可压缩性较大,负载变化时系统的动作稳定性较差,也不易获得较大输出力或力矩,同时需要对气源中的杂质和水分进行处理,排气时噪声较大。

由于现代控制技术,电子、计算机技术与液压、气动技术的结合,使液压、气动控制技术也在不断发展,并大大提高了其综合技术指标。液压、气动执行装置和电气执行装置一样,根据其各自的特点,在不同的行业和技术领域得到相应的应用。

补偿装置也叫校正器,是结构或参数便于调整的器件,用前置或反馈的方式连接在系统中,协调机械系统各部分的运动,具有分析、运算、实时处理功能,可改善系统的性能。最简单的校正元件是由电阻、电容组成的无源或有源网络,复杂的则由 STD 总线工业控制机、工业微机(PC)、单片微机等组成。

被控对象是控制系统要操纵的对象,它的输出量即为系统的被调量(或被控量),如机床、工作台、设备或生产线等。

机电控制系统的基本工作原理是,操作人员将加工信息(如尺寸、形状、精度等)输入到控制计算机,计算机发出启动命令,启动驱动器运转,带动执行器进行加工。传感器实时检测加工状态,将信息反馈到计算机,经计算机分析、处理后,发出相应的控制指令,实时地控制执行器运动,如此反复进行,自动地将工件按输入的加工信息完成加工。

1.1.3 机电控制系统的基本要求

尽管机电控制系统有不同的类型,而且每个系统也都有不同的特殊要求,但对

于各类系统来说,在已知系统的结构和参数时,系统在某种典型输入信号下,其被控量变化的输出响应是关注的焦点。例如,恒值控制系统是研究扰动作用引起被控量变化的全过程;随动系统是研究被控量如何克服扰动影响并跟随参据量的变化过程。但对每一类系统中被控量变化全过程提出的基本要求都是一样的,且可以归结为稳定性、快速性和准确性。

稳定性是保证控制系统正常工作的先决条件。一个稳定的控制系统,其被控量偏离期望值的初始偏差应随时间的增长逐渐减小或趋于零。具体来说,对于稳定的恒值控制系统,被控量因扰动而偏离期望值后,经过一个过渡过程的时间,被控量应恢复到原来的期望值状态;对于稳定的随动系统,被控量应能始终跟踪参据量的变化。反之,不稳定的控制系统,其被控量偏离期望值的初始偏差将随时间的增长而发散,因此,不稳定的控制系统无法实现预定的控制任务。

线性系统的稳定性是由系统结构所决定的,与外界因素无关。这是因为控制系统中一般含有储能元件或惯性元件,如绕组的电感、电容、电枢转动惯量、电炉热容量、物体质量等,储能元件的能量不可能突变,因此,当系统受到扰动或有输入量时,控制过程不会立即发生,而是有一定的延缓,这就使得被控量恢复期望值或跟踪参据量有一个时间过程,称为过渡过程。例如,在反馈控制系统中,由于被控对象的惯性,会使控制动作不能及时纠正被控量的偏差,控制装置的惯性则会使偏差信号不能及时转化为控制动作。具体来说,在控制过程中,当被控量已经回到期望值而使偏差为零时,执行机构本应立即停止工作,但由于控制装置的惯性,控制动作仍继续向原来方向进行,致使被控量超过期望值又产生符号相反的偏差,导致执行机构向相反方向动作,以减小这个新的偏差;另一方面,当控制动作已经到位时,又由于被控对象的惯性,偏差并未减小为零,因而执行机构继续向原来方向进行,使被控量又产生符号相反的偏差,如此反复进行,致使被控量在期望值附近来回摆动,过渡过程呈现振荡形式。如果这个振荡过程是逐渐减弱的,系统最后可以达到平衡状态,控制目的得以实现,称为稳定系统;反之,如果振荡过程逐步增强,系统被控量将失控,则称为不稳定系统。

控制系统还必须对其过渡过程的形式和快慢提出要求。例如,对用于高射炮射角的随动系统,虽然炮身最终能跟踪目标,但如果目标变动迅速,而炮身跟踪目标所需过渡过程时间较长,就不可能击中目标;对自动驾驶仪系统,当飞机受阵风扰动而偏离预定航线时,具有自动使飞机恢复预定航线的能力,但在恢复过程中,如果机身摇晃幅度过大,或恢复速度过快,就会使乘客感到不适;又如函数记录仪记录输入电压时,如果记录笔移动很慢或摆动幅度过大,不仅使记录曲线失真,而且还会损坏记录笔,或使电器元件承受过大电压。因此,对控制系统过渡过程的时间(即快速性)和最大振荡幅度(即超调量)一般都有具体要求。

理想情况下,当过渡过程结束后,被控量达到的稳态值(即平衡状态)应与期望值一致。但实际上,由于系统结构、外作用形式等因素的影响,被控量的稳态值与期

望值之间会有误差存在,称之为稳态误差。稳态误差是衡量控制系统控制精度的重要标志,在技术指标中一般都有具体要求。

在同一机电控制系统中,准确性、稳定性、快速性是相互制约的,快速性好,可能会有强烈的振荡;改善稳定性,控制过程可能会减慢,精度也可能降低。这些是机电控制必须解决的。基本指标以能满足用户的使用要求为度,以能加工制造出合格的工件为标准,不是越高越好,因为有时基本指标的提高,将导致成本的增加和实现的困难。

1.2 机电控制系统的控制方式

机电控制系统控制方式的分类方法有很多种,一般来说可以分为开环控制、闭环控制和复合控制。

工业生产中的自动控制系统随控制对象、控制规律和所采用的控制器结构不同而有很大的差别。一般的自动控制系统中,为了获取控制信号,要将被控制量 y 与给定值 r 相比较,以构成误差信号 $e=r-y$ 。直接利用误差 e 进行控制,使系统趋向减小误差,以至使误差为零,从而达到使被控制量 y 趋于给定值 r 的控制目的。这种控制称为闭环负反馈系统,由于要检测被控量的变化情况,因此这种控制系统中包含有测试部分,使测试与控制成为一体,构成测控系统,如图 1.2(a)所示。

从图 1.2(a)可知,该系统通过传感器对被控对象的被控参数(如温度、压力、流量、转速、位移等)进行测量,由变换发送单元将被测参数变换成一定形式的电信号,反馈给控制器。控制器将反馈回来的信号与给定信号进行比较,如有误差,控制器就产生控制信号驱动执行机构工作,直至消除误差,使被控参数的值与给定值保持一致。这种负反馈控制,是自动控制的基本形式。

图 1.2(b)是开环控制系统,它与闭环控制系统不同的是,不需要被控对象的反馈信号,它的控制器直接根据给定信号去控制被控对象工作。这种系统不能自动消除被控参数偏离给定值所带来的误差。控制系统中产生的误差全部反映在被控参数上。它与闭环控制系统相比,控制性能较差。

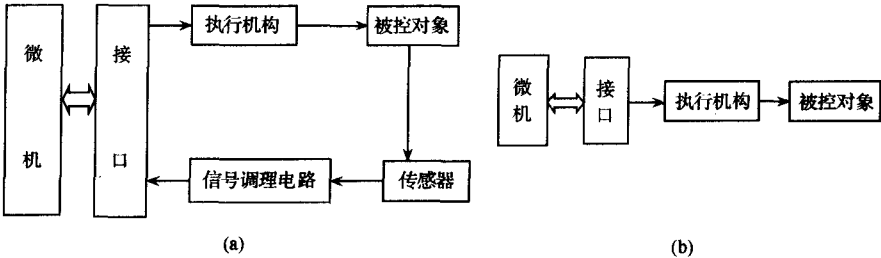


图 1.2 机电控制的闭环与开环系统框图

(a) 闭环系统框图; (b) 开环系统框图

复合控制方式是按偏差控制与按扰动控制结合起来的控制方式。反馈控制在外扰影响出现之后才能进行修正工作,在外扰影响出现之前则不能进行修正工作。按扰动控制方式在技术上较按偏差控制方式简单,但它只适用于扰动是可测量的场合,而且一个补偿装置只能补偿一个扰动因素,对其余扰动均不起补偿作用。因此,比较合理的一种控制方式即复合控制,对于主要扰动采用适当的补偿装置实现按扰动控制,同时,再组成闭环反馈控制系统实现按偏差控制,以消除其余扰动产生的偏差。这样,系统的主要扰动已被补偿,闭环反馈控制系统就比较容易设计,控制效果也会更好。

1.3 机电控制系统的设计与分析方法

研究机电控制系统动态问题的分析与设计方法大体可以从以下四个方面考虑:建立系统,建立模型,分析求解,实际验证。这四个方面与它所含的内容和所需知识将整合成一个整体结构,整个工作过程将构成一个不止一次反馈的闭环行为系统。

1. 建立系统

将要解决的问题作为一个系统,确定出问题所涉及的对象、范围和目标,输入、输出、干扰等有关信号变量和有关动态环节,以构建问题的基本机构,为系统建模和分析求解打基础,并对建模和分析求解起总体意义上的指导作用。其中包括:

(1) 信号变量的确定

在一般情况下把所需要研究的变量作为系统的输出变量,把控制目标或它的某种变换作为输入变量,把实现目标的可控作用作为控制变量,把零控制时造成系统输出的那些不可控作用作为干扰变量。在各种干扰中,次要干扰一般可以忽略。

(2) 功能环节的确定

各种功能环节都作为动态环节,它与系统实际元器件并不一定对应,一个功能环节可以由一个或多个元器件组成,一个元器件也可以起一个或多个功能环节的作用。然后通过方块图分析系统的工作过程,并结合系统数学模型方块图来确定各环节的功能。

2. 建立模型

系统的数学模型是输入或干扰、系统内部结构、输出三者间关系的一种表达。本书涉及两类数学模型:

参数模型——微分方程、传递函数、频率特性、状态方程与输出方程等;

非参数模型——各种响应(如脉冲响应、阶跃响应、频率响应)曲线或数据等。

控制理论在解决工程问题时,实际系统将被抽象的数学模型所代替,实际输入

(或干扰)被典型信号所代替,实际输出则由典型信号作用下数学模型的解来代替,数学模型在控制工程中非常重要,它是进行系统分析、设计、最优控制、状态估计、系统仿真等工作的基础和工具。

建立系统模型的方法分为两类:

(1) 实验检定法

它是根据系统输入和输出含有测量噪声的观测数据,按一定的算法来估计系统的阶次、结构和参数,从而建立系统的数学模型,如图 1.3 所示。它一般用于系统输入和输出可检测、但系统工作机理不清楚或参数不确定时的建模。

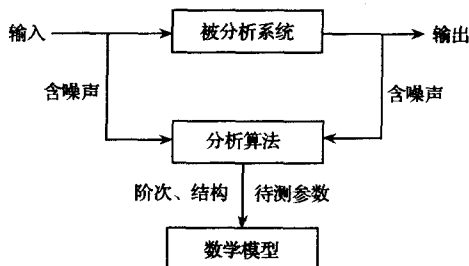


图 1.3 数学模型的建立

(2) 系统解析法

根据系统工作机理,按相应的物理定律,用解析法来获得系统的数学模型。这种方法一般用于已知系统工作机理、结构及参数时的建模。在系统解析法建模中,系统阶次和部分参数有时仍要由实验来确定。

3. 分析求解

(1) 系统分析

系统分析是进行系统设计的根据,它通过研究系统数学模型的性质及其对典型信号输入下的解,来认识系统的动态运动规律,判断系统的稳定性、获得系统动态性能指标,并找出系统结构参数与这些性能指标间的关系。

控制理论的系统分析法有时域法和频域法两大类。时域法(包括时间响应法、根轨迹法)以传递函数为数学模型。频域法(频率响应法)以频率特性为数学模型。现代控制理论的系统分析采用状态空间法,以状态方程和输出方程为数学模型。

(2) 系统设计

系统设计是在系统分析的基础上确定满足性能要求的系统。对给定系统的设计称为系统综合,即加入某种校正装置改变给定系统的结构和参数,使系统性能满足给定要求。

(3) 最优化设计

最优化设计是要求系统性能指标(目标函数)满足最优准则时的系统设计。如

果系统在环境条件发生重大范围急剧变化时仍能保持其最优性能指标,则称为自适应控制。

(4) 状态估计

状态估计是用含有噪声的输入和输出观测数据,按一定算法来估计系统现在、过去或将来的状态。观测时刻等于估计时刻(估计现在状况)称为滤波,观测时刻大于估计时刻(估计过去状况)称为平滑,观测时刻小于估计时刻(估计未来状况)称为预报。

(5) 系统仿真

系统仿真是根据系统数学模型,采用计算机对系统运动进行数字模拟,完成事前分析与设计,以提供可选择控制方案和有关的计算结果。

4. 实际验证

在系统建模中,常常要根据具体要求和条件对问题进行工程简化,各种物理定律也都是在若干假设条件下得到的,如果不简化,任何问题都无法解决。在简化的情况下,实际进行系统构建,给定输入观测输出,考察系统的动态过程和稳定性。