

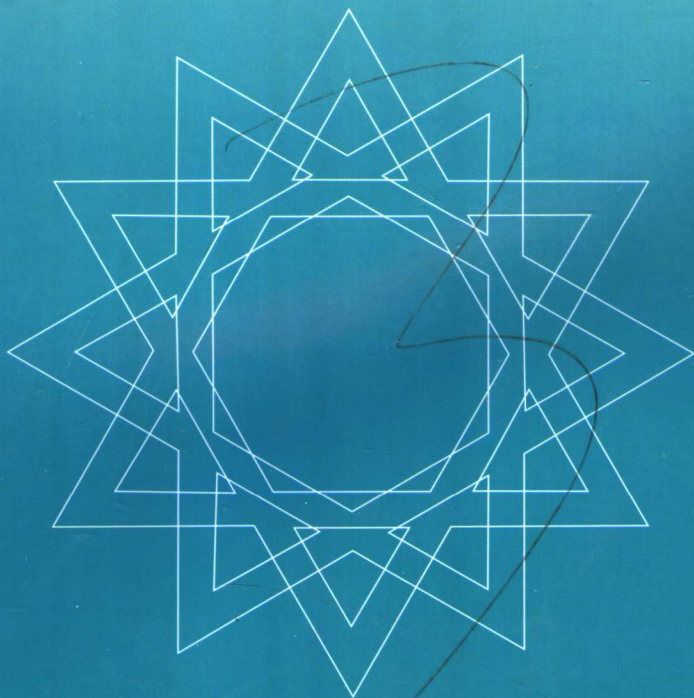
丛书主编 杨黎明

副主编 杨志勤 厉虹

机电一体化设计系列丛书

机电传动 控制技术

◎ 杨黎明 厉虹 郑业明 杨志勤 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TM921.5/51
2007

机电一体化设计系列丛书

丛书主编 杨黎明
副主编 杨志勤 厉虹

杨黎明 厉虹 郑业明 杨志勤 编著

机电传动控制技术



国防工业出版社
<http://www.ndip.cn>

·北京·

内 容 简 介

本书是根据从事机电一体化设计的工程技术人员,进行机电传动控制设计所必需的电知识编写的。

全书共3篇、12章。第1篇共5章,介绍自动控制原理;第2篇共4章,介绍电动控制技术;第3篇共3章,介绍微机控制技术、可编程控制器控制技术和单片机控制技术。

本书是为从事机电一体化设计的工程技术人员学习和使用编写的,也可以供机械类专业学生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机电传动控制技术/杨黎明等编著. —北京:国防工业出版社,2007.8

(机电一体化设计系列丛书)

ISBN 978-7-118-05255-8

I. 机... II. 杨... III. 电力传动控制设备 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 099230 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 23¼ 字数 540 千字

2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

序 言

“机电一体化”是指在机械的主功能、动力功能、信息处理功能和控制功能等方面引入电子技术,并将机械装置、电力电子设备及相关技术设备组成的有机整体——机械电子产品或系统的总称。

机电一体化技术发展的状况标志着一个国家机械电子科学技术的发展水平,因此,发展机电一体化技术是发展我国机械电子科学技术的必由之路,也是振兴我国机械电子工业的主攻方向。目前,发达国家机电一体化技术已经很普及,国内一些工厂、企业、科研院所及大专院校在各领域已经开展机电一体化工作,并取得了一定成绩,但开展力度不大,不普遍。

为了促进我国机电一体化技术的发展,国防工业出版社特组织专家、教授和工程技术人员编写出版这套《机电一体化设计系列丛书》。

这套丛书包括:

- 《机构选型与运动设计》
- 《机械零部件选用与设计》
- 《机械优化设计》
- 《机械可靠性设计》
- 《转子现场动平衡技术》
- 《机电传动控制技术》
- 《伺服技术》
- 《传感器检测技术》
- 《精密机械元器件与电子元器件》
- 《机电一体化应用集锦》

编写这套丛书时,着重突出以下特点:

(1) 系统性。这套丛书涉及的内容基本覆盖机电一体化技术的相关学科,便于读者系统、深入地学习和应用机电一体化技术。

(2) 实用性。这套丛书从实用出发,本着“必需、够用、实际”的原则精选内容,在简要论述原理、方法、结构、标准的基础上,列举了大量的理论联系实际的例题,有较强的设计示范作用。

(3) 针对性。这套丛书主要是为中小工厂、企业从事机电一体化技术的人员学习和应用编写的,读者在机电一体化技术相关学科都有一定的理论基础和实践经验。因此,策划丛书书目时,基本是按一门学科或一个子系统一本书的原则划分的。因此,丛书内容专、篇幅小,便于读者根据需要选购。

(4) 适用性。这套丛书还可以作为大专院校和职业学校学习机电一体化技术的参考书或教材。因此,这套丛书对促进机电一体化技术的发展具有普及性和适用性。

希望读者喜爱这套丛书,并提出宝贵意见。

杨黎明

2006年9月

前 言

由于电力传动控制装置与机械设备是一个不可分的整体,所以从事机电一体化设计的工程技术人员,除必需具有足够的机械设计知识外,还应具有足够的、相应的电知识。

编写《机电传动控制技术》一书的目的就是为读者提供进行机电传动控制设计所必需的电知识。包括自动控制原理、电动机控制技术、微机控制技术、可编程控制器控制技术和单片机控制技术。

本书内容体系的构成和内容的选择是根据“必需、够用、实用”的原则确定的,内容全面、配合紧密、学以致用,针对性强。

编写本书时,注意突出了以下特点:

- (1) 理论密切联系实际,突出应用。
- (2) 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。
- (3) 概念与数量有机相联,重在定性,并强调数量概念。

全书共分3篇、12章。第1章、第2章、第3章、第4章、第5章由杨黎明和杨志勤编写,第6章、第7章、第8章、第9章由厉虹编写,第10章、第11章、第12章由郑业明编写。全书由杨黎明统稿。

本书在内容体系和内容选择方面作了一些尝试。由于编者水平有限,书中定有不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2007年5月

目 录

第 1 篇 自动控制原理

第 1 章 自动控制概述	1	2.4.2 传递函数的零点与极点	31
1.1 自动控制技术及应用	1	2.4.3 传递函数的性质	32
1.2 自动控制原理的任务	1	2.5 典型环节及其传递函数	32
1.3 自动控制的基本术语	1	2.6 动态结构图	40
1.4 控制系统的基本组成	2	2.6.1 动态结构图的组成	40
1.5 自动控制系统的基本类型	3	2.6.2 结构图的绘制	41
1.6 自动控制系统的组成	5	2.7 动态结构图的等效变换	44
1.6.1 自动控制系统基本职能元件	5	2.8 自动控制系统的传递函数	51
1.6.2 控制系统方框图的建立	6	2.8.1 开环控制系统的传递函数	52
1.7 自动控制系统的性能要求	7	2.8.2 闭环系统的传递函数	52
1.8 自动控制系统实例分析	8	第 3 章 时域分析法	54
1.9 控制系统设计的任务、内容和 步骤	13	3.1 典型输入信号	54
第 2 章 控制系统数学模型	15	3.2 阶跃响应的性能指标	56
2.1 控制系统的微分方程	15	3.3 一阶系统的时域分析	57
2.1.1 系统微分方程的建立	15	3.3.1 一阶系统的数学模型	57
2.1.2 电路系统数学模型	18	3.3.2 一阶系统的单位阶跃响应	58
2.1.3 建立微分方程的步骤	20	3.3.3 一阶系统的单位斜坡响应	59
2.2 微分方程的线性化	20	3.3.4 一阶系统的单位脉冲响应	59
2.3 Laplace(拉氏)变换	23	3.3.5 一阶系统的抛物线函数(等加速 函数)响应	60
2.3.1 拉氏变换的定义	24	3.4 二阶系统的时域分析	60
2.3.2 常用函数的拉氏变换	24	3.4.1 二阶系统的数学模型	60
2.3.3 典型函数的拉氏变换	24	3.4.2 二阶系统的工作状态	61
2.3.4 拉氏变换的基本定理	26	3.4.3 典型二阶系统的性能指标	63
2.3.5 拉氏逆变换	27	3.4.4 二阶系统欠阻尼响应计算举例	65
2.3.6 应用拉氏变换解线性微分方程	28	3.5 控制系统的稳定性分析	67
2.4 传递函数	30	3.5.1 稳定的基本概念及稳定条件	67
2.4.1 传递函数的定义	30	3.5.2 劳斯(Routh)稳定判据	69

3.5.3 应用劳斯判据确定系统稳定的参数	72	4.5.2 系统的相对稳定性	98
3.5.4 稳态误差	77	4.6 频域指标与时域指标的关系	100
第4章 频率响应法	84	4.6.1 二阶系统的频域指标与时域指标之间数值上的准确对应关系	100
4.1 频率特性的基本概念	84	4.6.2 高阶系统的频域指标与时域指标之间的近似关系	102
4.1.1 频率特性的定义	84	4.7 应用频率特性求稳态误差	104
4.1.2 频率特性的图形表示	85	第5章 线性反馈控制系统的特性设计	105
4.2 典型环节的频率特性	86	5.1 控制特性设计	105
4.3 开环系统频率特性曲线的绘制	91	5.2 校正方式	105
4.3.1 准确开环幅相频率特性曲线的绘制	91	5.3 相位超前校正	106
4.3.2 开环系统的对数坐标图	91	5.4 相位滞后校正	110
4.4 闭环频率特性曲线的绘制	93	5.5 串联滞后—超前校正	114
4.5 奈魁斯特稳定性判据	96	5.6 反馈校正	117
4.5.1 对数频率稳定判据	96		

第2篇 电动机控制技术

第6章 电力电子器件及其基本电路	121	7.2.1 机电传动控制系统的组成	170
6.1 电力电子器件	121	7.2.2 生产机械对机电传动系统技术指标的要求	172
6.1.1 不可控型器件—功率二极管	121	7.2.3 机电传动控制系统方案的确定	174
6.1.2 半可控型器件—晶闸管 SCR	123	7.3 晶闸管—直流电动机传动控制系统	176
6.1.3 典型全控型器件	126	7.3.1 单闭环直流调速系统	176
6.1.4 其他新型电力电子器件	133	7.3.2 双闭环直流调速系统	181
6.2 基本电力电子电路	135	7.3.3 可逆调速系统	183
6.2.1 整流电路	135	7.4 晶体管—直流电动机脉宽调速系统	187
6.2.2 逆变电路	147	7.4.1 脉宽调制技术	187
6.2.3 直流变换电路	153	7.4.2 直流电动机脉宽调速原理	189
6.2.4 交流变换电路	158	7.4.3 集成 PWM 控制器	192
第7章 直流传动与控制系统	164	第8章 交流传动与控制系统	201
7.1 直流电动机工作原理及特性	164	8.1 三相交流电机工作原理与机械特性	201
7.1.1 直流电动机基本结构及工作原理	164	8.1.1 三相异步电动机基本结构及工作原理	201
7.1.2 直流电动机的机械特性	166		
7.1.3 直流电动机调速特性	168		
7.2 机电传动控制系统组成及调速方案选择	170		

8.1.2 三相异步电动机的机械特性	205	9.1 步进电动机工作原理	244
8.1.3 同步电动机工作原理及特性	208	9.1.1 步进电动机的结构及工作原理	244
8.2 三相交流电动机的调速方法及性能	210	9.1.2 步进电动机的主要用途、特点及分类	246
8.2.1 异步电动机调速方法及类型	210	9.2 步进电动机驱动与控制系统	247
8.2.2 异步电动机调速性能分析	210	9.2.1 步进电动机驱动电路的组成	247
8.2.3 同步电动机调速性能分析	214	9.2.2 步进电动机典型驱动方式	247
8.3 交流异步电动机变频调速系统	214	9.2.3 步进电动机驱动/控制集成电路	252
8.3.1 变频调速原理	215	9.3 步进电动机微机控制系统	261
8.3.2 变频调速装置	218	9.3.1 步进电动机的开环控制	261
8.3.3 交流调速的脉宽调制技术	225	9.3.2 专用大规模集成电路与微机组合控制系统	266
8.4 矢量变换控制异步电动机变频调速系统	231	9.4 步进电动机的选择	272
8.4.1 矢量控制的基本概念	232	9.4.1 步进电动机的机械驱动机构	272
8.4.2 矢量控制的变频调速系统	235	9.4.2 常用机构的负载转矩和惯量计算	272
8.4.3 以 DSP 为控制核心的数字异步电动机矢量控制系统	237	9.4.3 步进电动机选择与确认程序	274
第 9 章 步进电动机驱动与控制系统 ..	244		

第 3 篇 微型计算机控制技术及应用

第 10 章 微机控制技术	275	10.3 微机控制系统的通信及网络	281
10.1 微机控制系统概述	275	10.3.1 串行通信	281
10.1.1 微机控制系统的一般概念	275	10.3.2 差错控制	281
10.1.2 微机控制系统的分类	277	10.3.3 控制网络与现场总线	282
10.1.3 微机控制系统的发展趋势	278	10.4 微机控制系统的设计及应用	282
10.2 微机控制系统的控制策略	279	10.4.1 微机控制系统的设计原则和步骤	282
10.2.1 数字滤波和数据处理	279	10.4.2 微机控制系统的抗干扰与可靠性技术	283
10.2.2 数字 PID 控制技术	280	第 11 章 可编程控制器控制技术	
10.2.3 顺序控制技术与数字控制技术	281		

及应用	285	的应用	323
11.1 PLC 控制系统概述	285	第 12 章 单片机控制技术及应用	327
11.1.1 PLC 控制系统的特点	285	12.1 单片机控制系统的概念	327
11.1.2 PLC 控制系统硬件组成	285	12.1.1 单片机控制系统的发展概况	327
11.1.3 PLC 控制系统软件组成	287	12.1.2 单片机控制系统的组成	327
11.1.4 国内外 PLC 产品介绍及 PLC 的发展趋势	289	12.1.3 单片机控制系统的结构和原理	328
11.2 可编程序控制器硬件系统配置	289	12.2 单片机硬件系统配置	329
11.2.1 S7-200 系列 PLC 基本模块介绍及选择	290	12.2.1 MCS-51 系列 8 位单片机	329
11.2.2 S7-200 PLC 系统内部资源	292	12.3 单片机的指令系统及编程	334
11.2.3 可编程控制器的工作原理	295	12.3.1 MCS-51 系列单片机指令系统	334
11.3 可编程序控制器应用软件技术	296	12.4 单片机控制系统设计应用实例	345
11.3.1 S7-200 PLC 的编程语言及程序结构	296	12.4.1 单片机接口技术在机电控制系统中的典型应用	345
11.3.2 S7-200 PLC 的指令系统	297	12.4.2 油井电动机无定时自动控制器的设计	352
11.4 可编程序控制器应用系统设计	313	12.5 MCS-96 单片机的硬件结构与指令系统	355
11.4.1 PLC 应用系统设计的内容和步骤	313	12.5.1 MCS-96 系列单片机的主要性能与特点	356
11.4.2 PLC 应用系统的硬件设计	315	12.5.2 MCS-96 单片机的组成和原理	356
11.4.3 PLC 应用系统的软件设计	316	12.5.3 A/D 转换器和脉宽调制输出器 PWM	360
11.5 可编程序控制器系统应用实例	318	12.5.4 MCS-96 单片机的指令系统概述	361
11.5.1 异步电动机的控制	318	12.5.5 编程举例	362
11.5.2 PLC 在工业机械手控制中的应用	320	参考文献	364
11.5.3 PLC 全自动洗衣机控制系统中			

第 1 篇 自动控制原理

第 1 章 自动控制概述

1.1 自动控制技术及应用

自动控制就是在没有人参与的情况下,使发生过程或被控对象的某些物理量按照预定的规律变化。如液压系统的压力、流量、温度等按照 $f(P, Q, T)$ 规律变化,电网中的电压、电流、功率、电阻、电容、电感等按照 $f(V, I, W, R, C, L)$ 规律变化。

如数控机床按照预定的加工程序,加工出各种零件的形状和尺寸。焊接机器人按工艺要求焊接流水线上机器的零部件。

1.2 自动控制原理的任务

自动控制原理仅仅是工程控制论的一个分支,它只研究控制系统分析和设计的一般理论。

应用自动控技术主要解决两类问题:

(1) 分析某给定的控制系统的工作原理、元器件的组成及稳定性等。

(2) 根据给定的生产过程或被控对象某些物理量预期变化规定,用光、机、电、液、气元器件或设备进行系统设计。

1.3 自动控制的基本术语

在这里对自动控制系统中使用的一些术语作出定义。

(1) 系统:是一个整体或是一些部件的组合。这些部件组合在一起,完成一定的任务。系统的概念不限于物理系统,还可用于抽象的动态现象,如生物学、经济学系统等。

(2) 控制对象:是物体,执行构件、一台机器,也可以是被控过程(称任何被控制的运行状态为过程,如化学过程、经济学过程、生物过程等)。

(3) 控制器:使被控对象具有所要求的性能或状态的控制设备,它接收输入信号或偏差信号按控制规律给出操作量,送到被控制对象或执行元件。

(4) 系统输出:是被控量,它表征对象或过程的状态或性能,称系统的输出为对输入的响应。

(5) 操作量:由控制器改变的量值或状态,它将影响被控制量的值。

(6) 参考输入:人为给定的,使系统具有预定性能或预定输出的激发信号,代表输出的希望值,又称希望给定输入、指定输入。

(7) 扰动:破坏系统具有预定性能和预定输出的干扰信号。如果扰动产生于系统内部,则称内部扰动;如果扰动产生于系统外部,则称外部扰动。外部扰动也称系统的输入。

(8) 特性:系统输入与输出的关系,常用特性曲线来描述或观察系统。系统特性分静态特性和动态特性:

① 静态特性:系统稳定后,表现出来的系统输入与输出间的关系。在控制系统中静态特性指各参数或信号的变化率为零。

② 动态特性:系统输入和输出在变化过程中表现出来的特性。动态特性表现为过渡特性,即从一个平衡状态过渡到另一平衡状态的特性。

(9) 反馈:将被控对象输出端获得的信息通过中间环节(称反馈环节),再送回控制器的输入端的过程,称为反馈。

1.4 控制系统的基本组成

图 1-1 为典型反馈控制系统的方框图。一个典型的控制系统主要包括给定元件、反馈元件、比较元件、放大元件、执行元件及校正元件等。各元件的功能如下:

(1) 给定元件:主要用于产生给定信号或输入信号,例如调速系统的电位计等。

(2) 反馈元件:测量被调量或输出量,产生反馈信号,该信号与输出量之间存在确定的函数关系(通常是比例关系),例如调速系统的测速电动机等。反馈元件也称测量元件。

(3) 比较元件:用来比较输入信号和反馈信号之间的偏差。即对系统输入量与输出量进行加减运算,给出偏差信号,起信号综合作用,这个作用通常是由综合电路或测量元件兼用完成,也可以是一个差接电路,但往往不是一个专门的物理元件,有时也称比较环节或系统误差监测器。

(4) 放大元件:对偏差信号进行信号放大和功率放大的元件,使输出量具有足够大的功率或要求的物理量,例如伺服功率放大器、电液伺服阀等。

(5) 执行元件:直接对控制对象进行操纵的元件,即根据放大后的偏差信号,对被控对象执行动作或任务,使被控量与预期输出量保持一致,例如油缸、液压马达和执行电动机等。

(6) 控制对象:控制系统要操纵的对象,其输出量就是系统的被调量或被控制量,例如机床主轴、工作台、设备、生产线等。

(7) 校正元件:也称校正装置,即参数或结构便于调整的元件。其功能是稳定控制系统,改善系统性能。

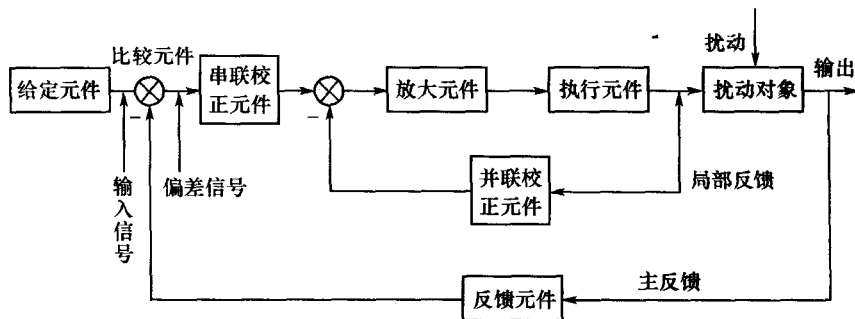


图 1-1 典型反馈控制系统控制过程框图

1.5 自动控制系统的的基本类型

自动控制系统,根据结构和所完成的任务不同,分类如下:

1. 按给定量的运动规律分类

(1) 恒值控制系统:例如稳压器、恒温系统。主要功能是克服扰动对被调量的影响。

(2) 程序控制系统:输入量为已知的时间函数,如计算机数字程序控制系统。

(3) 随动系统:这种系统的给定量是时间的未知函数,即给定量的变换规律事先无法准确确定。但要求输出量能够准确、快速复现瞬时给定量。如火炮瞄准敌机系统,液压仿形刀架的随动系统等。

2. 按系统反应特性分类

(1) 连续控制系统:连续控制系统又可分为线性控制系统和非线性控制系统。线性控制系统是指用线性微分方程来描述的控制系统的;非线性控制系统是指不能用线性微分方程来描述的控制系统的,可以用分段函数(微分方程)来描述控制系统。

(2) 数字控制系统:即离散控制系统,系统的一切量都用数字量表示,数字量之间不连续,用计算机控制。

3. 按执行元件的物理性能分类

(1) 电气控制系统;

(2) 液压控制系统;

(3) 机械控制系统;

(4) 机电一体化控制系统;

(5) 热能控制系统。

4. 按控制方式分类

1) 开环控制系统

开环控制系统的特点是系统的输出与输入信号之间没有反馈回路,输出信号对控制系统无影响。开环控制系统结构简单,适用于系统结构参数稳定,没有扰动或扰动很小的场合。

图 1-2 所示为电动机拖动负载开环控制系统原理示意图。电动机 D 的工作原理是:当电位器给出一定电压 U_V 后,晶闸管功率放大器的触发电路便产生一系列与电压 U_V 相对应的、

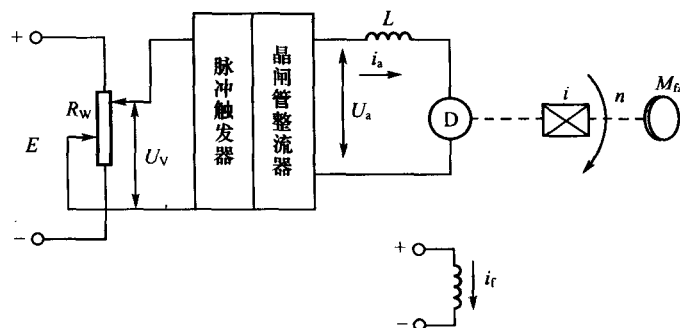


图 1-2 电动机开环控制系统原理图

E —输入电压; M_L —负载力矩; n —负载转速; U_a —电动机电枢电压;
 i_a —电动机电枢电流; U_V —电位器给定电压; L —电抗器; i —减速器。

具有一定相位的触发脉冲去触发晶闸管,从而控制晶闸管功率放大器的输出电压 U_a 。由于电动机 D 的励磁绕组中加的恒定励磁电流 i_f ,因此随着电枢电压 U_a 的变化,电动机便以不同的速度驱动负载运动。如果要求负载以恒定转速运行,则只需给定相应的恒定电压即可。

图 1-3 为开环控制系统控制过程框图。

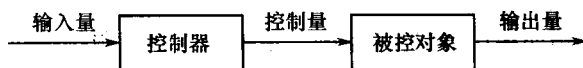


图 1-3 开环控制系统控制过程框图

开环控制系统虽然结构简单,但存在缺点。例如图 1-2 所示电动机开环控制系统,在运行中,由于电动机负载力矩 M_L 的变化、电源电压 E 的波动、系统中各元件参数的变化等扰动量的影响,仅仅通过控制系统输入恒定电压 U_F ,很难保证电动机 D 恒速转动。

因开环控制系统无法消除或削弱由各种扰动量在系统输出端造成被控量与期望值之间的偏差,所以产生了闭环控制系统。

2) 闭环控制系统

图 1-4 所示为电动机拖动负载闭环控制系统原理示意图。电动机保持恒定转速的控制过程见图 1-4。

图 1-4 中 CF 为测速发电机,其输出电压正比于负载的转速,即 $U_{CF} = K_C n$,测速发电机测出负载转速并将转速转换为电压信号,称为测量转换元件。

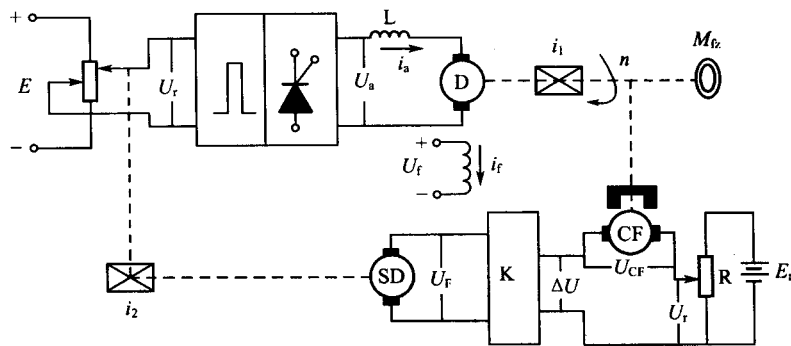


图 1-4 电动机闭环控制系统原理图

电压 U_r 为给定基准电压,其初值与电动机转速的期望值相对应。

将 U_{CF} 反馈到系统的输入端与 U_r 进行比较,观察负载转速并判断其是否与期望值发生偏差。在这一过程中, U_r 是系统的控制量(或控制信号),电压 U_{CF} 则是与被控制量 n 成比例的反馈量(或反馈信号)。

反馈量 U_{CF} 与控制量 U_r 比较后得到的电压差 $\Delta U = U_r - U_{CF}$ 称偏差量(或偏差信号),如 $\Delta U \neq 0$,便表明电动机转速在扰动量影响下偏离其期望值。

图 1-4 中 K 为放大环节,其作用是放大偏差量去控制伺服电机 SD。SD 转动产生的角位移通过减速装置 i_2 移动电位器 R_w 的滑臂,得以改变电压 U_p 的量值,进而控制晶闸管功率放大器的输出电压 U_a 的大小和极性,使电动机转速得到控制。重复上述调节过程直到消除偏差,即 $\Delta U = 0$,使电动机转速 n 达到期望值为止。

由上述分析可知,图 1-4 所示电动机转速的控制引入了被控量,使被控量参与控制过程,形成一个完整的闭环控制,能很好的实现电动机转速恒定的自动控制。

还可以看出,负反馈控制系统必须具备以下基本功能:

- (1) 能测量被控量,并将测量结果进行适当的变换和放大反馈到系统入端与控制量相减,得到偏差量(或偏差信号)。
- (2) 能变换和放大偏差量(或偏差信号),从而产生对被控量(或对象)的控制作用。
- (3) 系统控制作用应消除被控量的偏差(或偏差信号),达到期望输出量。

反馈控制系统的突出特点是不论什么扰动引起被控量偏离其期望值产生偏差,都会有相应的控制作用能够消除偏差,使被控量重新恢复到期望值上。因此从原理上说,反馈控制系统具有抑制系统内部和外部各种扰动对系统输出影响的功能。

图 1-5 为电动机转速闭环反馈控制系统方框图。

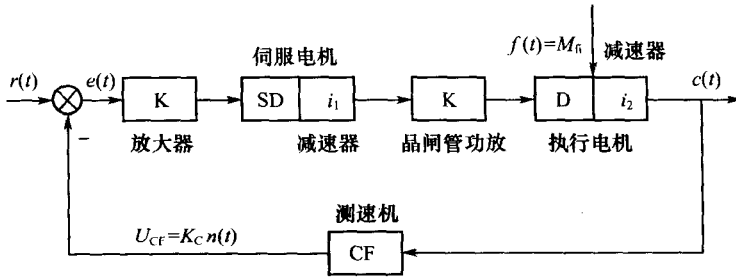


图 1-5 电动机转速闭环反馈控制系统控制过程框图

$r(t)$ —控制量; $e(t)$ —偏差量; $c(t)$ —被控量;
 $f(t)$ —扰动量; \otimes —比较元件;“—”—负反馈;
 “→”—信号流方向。

图 1-6 为通用闭环反馈控制系统方框图。

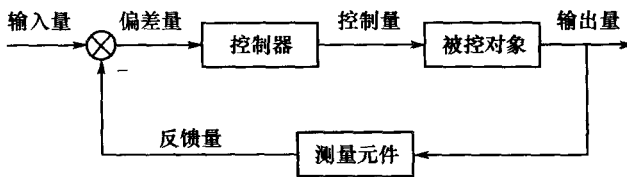


图 1-6 通用闭环反馈控制系统方框图

1.6 自动控制系统的组成

在分析和设计自动控制系统时,必须清楚了解自动控制系统的组成,才能更好地从系统的角度掌握自动控制原理。同时自动控制系统方框图,简化了控制系统原理图,对分析和设计系统十分重要。

1.6.1 自动控制系统基本职能元件

根据自动控制系统复杂程度不同,自动控制系统中可能包含部分基本职能元件,甚至包含

全部基本职能元件。

1. 测量元件

测量元件的基本功能是检测出被测量,并按照某种规律转换成容易处理的另一种量,即它的基本功能是检测和转换。所谓容易处理的量,主要是指电信号,因为电信号容易进行放大、加减、积分、微分、滤波、存储和传送。因此又可狭义地理解:测量元件是将输入信号变换为输出电信号的一类元件。测量元件可以用图 1-7 所示方框图表示。测量元件的输入量就是被测量,例如电机转速、机床工作台位移、烘烤炉温度等,转换后的输出量就是输出量。

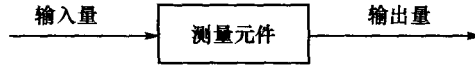


图 1-7 测量元件方框图

测量元件也称传感元件或传感器。一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成,其组成方框图如图 1-8 所示。

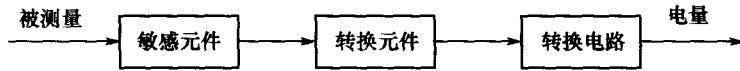


图 1-8 测量元件组成方框图

(1) 敏感元件:敏感元件的功能是直接感受被测量,并输出与被测量成确定关系的某一物理量。例如,热电偶就是温度敏感元件。

(2) 转换元件:转换元件的功能是将输入量转换成电路参数量。例如测速发电机能完成测量转速并将转速转换为电压信号,测速发电机就是一种转换元件。

(3) 转换电路:转换电路的功能是将转换元件输出的电路参数量转换成期望的输出量。

2. 执行元件

前面从狭义上说明了执行元件的功能。从广义上说,执行元件的功能是在放大信号的驱动下,直接带动控制对象完成预定任务。

3. 放大元件

放大元件的功能是将具有固定电压的电源变成由信号控制的能源——电压或电流随控制信号变化的电源,将功率放大到足够大,以满足执行元件工作时所需功率的要求。功率放大元件分直流伺服功率放大器和交流伺服放大器。

4. 比较元件

比较元件的功能是实现被控制量与控制量的负反馈以产生偏差信号。在参数反馈系统中,比较元件常与测量元件或线路组合一起,不是独立存在的。通常比较元件由运放组成的电路构成。

1.6.2 控制系统方框图的建立

在分析与设计自动控制系统时,为便于清晰了解系统的组成,各组成部分间的相互影响和信号传递路线,一般习惯采用方框图来表示控制系统。

图 1-9 为典型控制系统的方框图。在方框图中,每个具有一定功能的组成部分称为“环节”,环节在图中用方框表示。环节间信号的传递用带箭头的线段来表示,箭头方向表示信号传递方向,进入一个环节的信号称为该环节的“输入量”,离开环节的信号称为该环节的“输出量”。

环节的输入量是引起该环节发生作用的原因,环节的输出量是输入量在该环节作用的结果。方框图中每个环节都应具有单向性,即环节的输入引起输出的变化,而输出不会反过来引起输入的变化,即不可逆。因此,控制系统中的信号只沿箭头方向单向传递。

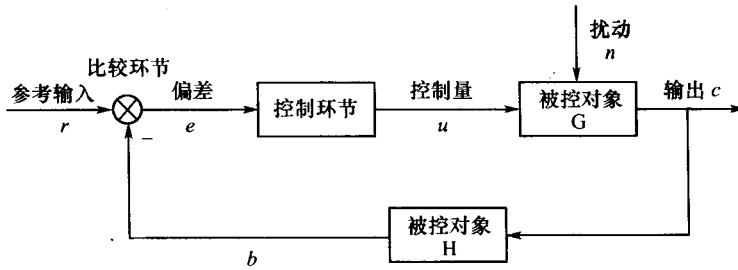


图 1-9 典型控制系统方框图

需要注意,方框图中带箭头的作用线只表示信号的传递方向,不表示实际物料的流动方向。就整个系统而言,系统的输出量即被控量。系统的输入量有两个,一个是对系统起正面作用的量,另一个是对系统起干扰作用的扰动量。不同的扰动的作用点不相同,系统的不同输入引起系统的输出也不相同,这就形成了不同的传递通道。

方框图可简可繁,但必须清楚表达所需研究的信号传递关系和突出所研究环节的性能。

1.7 自动控制系统的性能要求

按照前述偏差调节的方法设计自动控制系统,是否都能很好地工作?是否都能精确地保持被控量等于期望量?回答是不一定,系统可能工作很差,甚至出现被控量产生强烈振荡,使被控对象遭到破坏。这取决于被控对象与控制装置之间,各功能元件的特性参数之间匹配是否恰当。在理想情况下,自动控制系统的被控量与给定值在任何时候都相等,完全没有误差,且不受干扰影响,即

$$c(t) = r(t)$$

但在实际系统中,由于机械部分质量、惯性的存在,电路中电感、电容的存在;由于电源功率的限制,使得运动部件的加速度不会很大,速度和位移不能随时间作相应变化,要经历一段时间,要有一个过程。通常把系统受到外加信号(给定信号或干扰信号)作用后,被控量随时间 t 变化的全过程称为系统的动态过程或过渡过程,以 $c(t)$ 表示。系统控制性能的优劣,可以通过动态过程 $c(t)$ 表现出来。

控制精度是衡量系统技术水平的重要尺度,一个高质量系统在整个运行过程中,被控量与给定值的偏差应该很小,并加限制。考虑到动态过程 $c(t)$ 在不同阶段的特点,工程上通常从稳定性、快速性、准确性三个方面来评价自动控制系统的总体精度。

1. 稳定性

稳定性是指系统在动态过程中的振荡倾向和系统重新恢复平衡工作状态的能力。如果系统受扰动后偏离原来工作状态,控制装置再也不能使系统恢复到原状态,并且越偏离越远,如图 1-10(a)、(b)中的过程③所示,这样的系统称为不稳定系统。显然,不稳定系统是不能完成控制任务的。

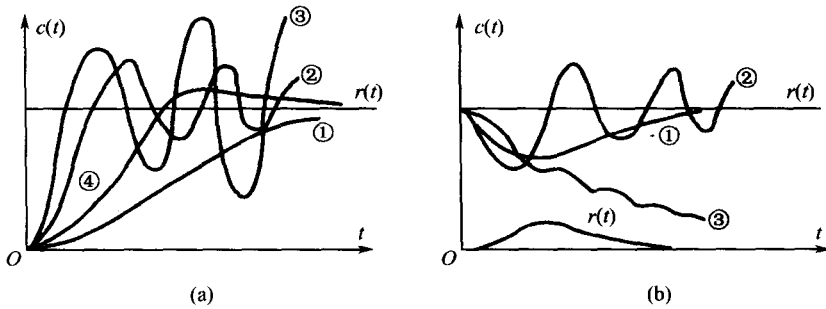


图 1-10 控制系统的随动过程和抗扰过程

在有可能达到平衡的条件下,要求系统动态过程的振荡要小。因此,对被控量的振幅和频率应有所限制,过大的波动将使运动部件超载,导致松动和破坏。

2. 快速性

快速性,是就动态过程持续时间的长短而言。如过程持续时很长,将使系统长时间出现大偏差,同时说明系统响应迟钝,难以复现快速变化的指令信号,如图 1-10(a)、(b)中的过程①所示。

稳定和快速反映系统在控制过程中的性能。系统运行过程既快又稳,则过程中被控量偏离给定值小,偏离的时间短,系统的动态精度高,如图 1-10(a)中的过程④所示。

3. 准确性

准确性,是就系统过渡到新的平衡工作状态以后,或系统受干扰重新恢复平衡之后,最终保持的精度而言,它反映动态过程后期的性能。这时,系统中被控量与给定值的偏差是很小的,如数控机床的加工误差小于 0.02mm。一般恒速、恒温控制系统的静态误差都在给定值的 1% 以内。

由于被控对象具体情况不同,各种控制系统对稳、快、准的要求有所侧重。例如,随动系统对“快”与“准”要求较高,调节系统则对稳定性要求严格。

对于一个系统,稳定、快速、准确性性能是相互制约的。提高过程的快速性,可能引起系统的强烈振荡;系统的平稳性得到改善后,控制过程又可能变得迟缓,甚至使最终精度很差。

1.8 自动控制系统实例分析

分析自动控制系统前应明确以下几点:

- (1) 弄清系统被控对象、被控量及主要干扰是什么?
- (2) 采用哪些测量元件? 测量被控量还是扰动量?
- (3) 操纵哪个机构或装置改变被控量?
- (4) 采用哪个装置给定参考输入量或指令?
- (5) 如何判断和计算偏差?
- (6) 通过什么装置或元件实现控制作用?

例 1-1 烘烤炉温度控制系统分析。

图 1-11 为烘烤炉温度控制系统原理图。