



西安交通大学 “十三五”规划教材



普通高等教育能源动力类专业“十三五”规划教材

自动控制原理实验教程

主编 巨林仓

编著 王桂芳 程上方 刘齐寿 武永运



西安交通大学出版社

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



西安交通大学 “十三五”规划教材

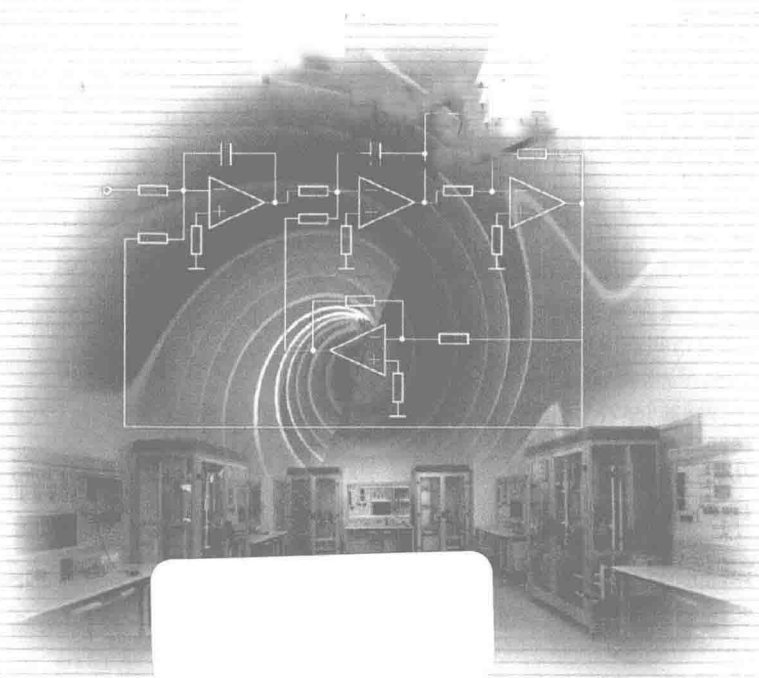


普通高等教育能源动力类专业“十三五”规划教材

自动控制原理实验教程

主编 巨林仓

编著 王桂芳 程上方 刘齐寿 武永运



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理实验教程/巨林仓主编;王桂芳等编著.
—西安:西安交通大学出版社,2018.7
ISBN 978-7-5693-0663-7

I. ①自… II. ①巨… ②王… III. ①自动控制
理论-实验-教材 IV. ①TP13-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 120530 号

书 名 自动控制原理实验教程
主 编 巨林仓
编 著 王桂芳 程上方 刘齐寿 武永运
责任编辑 田 华

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 西安日报社印务中心

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 10.5 字数 250 千字
版次印次 2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5693-0663-7
定 价 26.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。
订购热线:(029)82665248 (029)82665249
投稿热线:(029)82665640 qq:190293088
读者信箱:190293088@qq.com

版权所有 侵权必究

Foreword 前言

“自动控制原理”是一门理论性和工程应用性都很强,同时又比较抽象的专业基础课。加强该课程的实验教学环节,有助于学生对理论课教学内容的理解,深化理论教学,拓宽学生的知识面,培养其动手能力和工程实践能力。由于实验内容所涉及的知识面比较宽,而实验学时有限,迫切需要一本相对完整、系统而又实用的实验教材。本教材旨在通过实验教学巩固、加深学生对自动控制原理基础知识的理解,同时培养学生的工程实践能力及现代测控技术的综合应用能力。

本书是西安交通大学本科“十三五”规划教材,是“自动控制原理”课程的配套实验教材,可供能源与动力工程专业及相关专业的本科生使用。本书作为能源动力类“自动控制原理”课程的配套实验教材,紧密结合教学需要,对实验所涉及的基础理论、实验原理及方法等进行了系统的阐述。此外,还提供了一些思考题,以利于学生进一步思考,掌握知识要点,从而更加深入地认识和理解自动控制原理的基本理论。

全书共分为8章,第1章简要介绍自动控制原理的实验方法、原理及仿真技术应用;第2章主要介绍控制系统的电子模拟方法、主要实验设备和相关实验内容;第3章介绍MATLAB仿真环境、控制系统MATLAB仿真的基本方法和相关实验内容;第4章介绍PID控制器参数的工程整定方法和相关实验内容;第5章主要介绍过程控制教学实验装置及其相关实验的预备知识;第6至8章是过程控制实验部分,分为单回路过程控制实验、复杂过程控制实验和控制系统组态与开发实验,分别属于过程控制基础性实验、提高性实验和综合性实验。附录介绍了控制系统仿真常用的MATLAB函数和模块组。

本书由西安交通大学能源与动力工程学院实验教学一线的教师合作编著:巨林仓编写第1章并负责全书统稿;王桂芳编写第2,3,4,5,6章;程上方编写第7章;刘齐寿、武永运编写第8章;附录部分由王桂芳和程上方共同编写。

由于作者水平有限,书中难免存在不足和纰漏之处,恳请读者批评指正。

编者

2018年6月

Contents 目录

第 1 章 概述	(001)
1.1 自动控制系统	(001)
1.1.1 自动控制系统的基本形式	(001)
1.1.2 自动控制系统的性能指标	(003)
1.2 自动控制系统实验与仿真	(005)
1.2.1 自动控制系统分析方法	(005)
1.2.2 相似性原理	(006)
1.2.3 仿真技术的应用	(008)
第 2 章 自动控制系统的模拟仿真	(009)
2.1 电子模拟计算机	(009)
2.1.1 运算放大器的工作原理	(010)
2.1.2 模拟计算机常用运算部件	(011)
2.2 典型环节模拟	(014)
2.2.1 比例环节	(014)
2.2.2 积分环节	(014)
2.2.3 比例积分环节	(015)
2.2.4 比例微分环节	(015)
2.2.5 惯性环节	(016)
2.3 控制系统模拟	(016)
2.3.1 控制系统模拟仿真设备简介	(017)
2.3.2 控制系统模拟方法	(019)
2.4 典型环节的电子模拟实验	(023)
2.5 二阶系统的电子模拟实验	(029)

第 3 章 MATLAB 控制系统仿真	(032)
3.1 数字计算机仿真概述	(032)
3.2 常用数值积分计算方法	(033)
3.3 MATLAB 及其基本仿真方式	(034)
3.3.1 MATLAB 的函数指令仿真	(035)
3.3.2 Simulink 仿真	(040)
3.4 用 MATLAB 进行控制系统分析	(045)
3.4.1 时域分析	(045)
3.4.2 频域分析	(049)
3.5 控制系统 MATLAB 仿真实验	(051)
3.5.1 二阶系统动态特性分析	(051)
3.5.2 控制系统的脉冲响应	(052)
3.5.3 高阶系统的近似简化	(053)
3.5.4 控制系统的稳态误差分析	(054)
3.5.5 控制系统稳定性和稳态误差分析	(055)
3.5.6 串级控制系统阶跃响应	(056)
第 4 章 PID 控制器及其参数的整定	(059)
4.1 PID 控制器概述	(059)
4.2 PID 控制器特性分析	(060)
4.2.1 P 控制器	(060)
4.2.2 PI 控制器	(062)
4.2.3 PD 控制器	(063)
4.2.4 PID 控制器	(064)
4.3 常用 PID 控制器参数的工程整定方法	(067)
4.3.1 响应曲线法	(068)
4.3.2 临界增益法	(069)
4.3.3 衰减曲线法	(069)
4.4 MATLAB 环境下 PID 控制器参数整定实验	(070)
4.4.1 响应曲线法整定 PID 控制器参数	(070)

4.4.2	临界增益法整定 PID 控制器参数	(072)
4.4.3	衰减曲线法整定 PID 控制器参数	(073)
第 5 章	过程控制实验装置	(076)
5.1	过程控制实验装置介绍	(076)
5.1.1	控制对象	(077)
5.1.2	执行机构	(078)
5.1.3	控制器	(079)
5.1.4	测量变送器	(080)
5.1.5	操控台	(081)
5.2	过程控制实验基础知识	(082)
5.2.1	概述	(082)
5.2.2	单回路控制系统	(083)
5.2.3	串级控制系统	(084)
5.2.4	比值控制系统	(086)
5.2.5	前馈-反馈控制系统	(088)
第 6 章	单回路控制系统实验	(091)
6.1	单回路控制系统应用	(091)
6.2	液位自动控制实验	(092)
6.3	流量自动控制实验	(096)
6.4	压力自动控制实验	(099)
6.5	温度自动控制实验	(102)
第 7 章	复杂自动控制系统实验	(107)
7.1	液位-流量串级控制实验	(107)
7.2	流量比值控制实验	(111)
7.3	温度-流量前馈-反馈控制实验	(114)
第 8 章	过程控制综合性实验	(118)
8.1	S7-200PLC 基础知识	(118)
8.1.1	可编程控制器概述	(118)

8.1.2	PLC 编程软件集成开发环境的使用	(124)
8.2	MCGS 工控组态软件基础知识	(127)
8.2.1	MCGS 工控组态软件概述	(127)
8.2.2	MCGS 工控组态软件集成开发环境的使用	(128)
8.3	MCGS 工控组态软件与 PLC 通信基础知识	(130)
8.4	过程控制系统开发与组态实验	(135)
8.4.1	PLC 编程的水箱液位控制	(136)
8.4.2	水箱液位监控界面组态	(141)
8.4.3	过程控制系统上位机与下位机通信	(147)
附录 A	控制系统仿真常用的 MATLAB 函数	(150)
附录 B	控制系统仿真常用的 Simulink 模块组	(152)
参考文献	(160)

第 1 章 概 述

1.1 自动控制系统

在自动控制原理中,控制是指为了实现生产工艺过程需要,达到预期的目标,对生产过程中的某一个或某一些物理量所进行的操作。自动控制系统则是指将控制器和控制对象(受控对象)按一定方式连接起来,完成某种自动控制任务的有机整体。

1.1.1 自动控制系统的基本形式

实际生产过程中采用的自动控制系统类型多种多样,从不同的角度看,可采用不同的分类方法,常用的分类方法主要有:按其基本结构形式,可分为开环控制系统、闭环控制系统和复杂控制系统;按给定值变化规律,可分为恒值控制系统(自动调节系统)、随动控制系统(伺服系统)和程序控制系统;按信号的连续性,分为连续控制系统和离散控制系统;按被控量数目,可分为单输入单输出控制系统和多输入多输出控制系统;按控制系统闭环回路的数目,可分为单回路控制系统和多回路控制系统。

自动控制系统还有其他的分类方法,这里不再一一列举。自动控制系统中,应用最广泛的就是按基本结构形式的分类方法。

1. 开环控制系统

在开环控制系统中,控制器与控制对象之间只有顺向作用而无反向联系,如图 1-1 所示。系统的输出量(即被控量)对控制作用量没有影响,系统的控制精度完全取决于所用元器件的精度和特性调整的准确度。因此,开环系统只有在输出量难于测量且对控制精度要求不高及扰动的影响较小或扰动的作用可以预先加以补偿的场合,才可以应用。对于开环控制系统,只要控制对象稳定,系统就能稳定地工作。

开环控制系统的特点是被控量不返回到系统的输入端,被控量不会对系统的控制作用产生影响。



图 1-1 开环控制系统方框图

2. 闭环控制系统

将系统的被控量反馈到输入端,并与给定值相比较,将所产生的偏差作为控制器的输入

信号,以产生相应的控制作用,从而达到减小或消除误差,实现精确控制的目的,这类控制系统称为闭环控制系统。典型闭环控制系统方框图如图 1-2 所示。

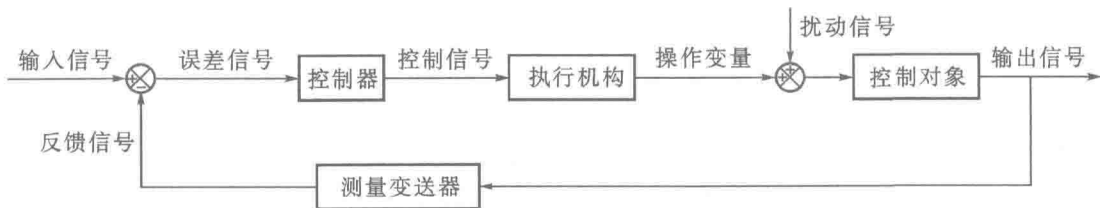


图 1-2 典型闭环控制系统方框图

1) 闭环控制系统的组成

(1) 控制器:对控制对象起控制作用的设备总称,在系统中承担信号放大、传动和执行作用。放大元件对微弱的偏差信号进行放大和变换,使之具有足够的幅值和功率,以适应执行元件动作的要求。执行元件根据放大后的偏差信号产生控制和动作,操纵系统的输出量,使之按照输入量的变化规律而变化。

(2) 控制对象:系统中要求实现自动控制的设备或生产过程。

(3) 测量变送器:用于测量系统输出的测量装置,其作用是把物理参数转换成与系统输出信号具有某种函数关系的测量信号。

(4) 执行机构:作用是接收控制器送来的控制信号,改变控制作用,从而将被控量维持在所要求的数值上或一定的范围内。

2) 各种信号及其含义

(1) 输入信号:即给定值,是希望被控量达到的值。

(2) 输出信号:即被控量,是控制系统所要控制的物理量。

(3) 反馈信号:系统的输出经过测量变送器测量、变换后用于和给定值进行比较的信号。

(4) 误差信号:输入信号与反馈信号之差。

(5) 控制信号:控制器的输出信号。

(6) 扰动信号:除控制作用外,引起被控量变化的因素。

闭环控制系统是自动控制中最基本的控制形式,闭环控制系统的特点:利用负反馈的作用来减小系统的偏差,具有纠正或消除偏差的能力;可有效抑制各种扰动对系统输出量的影响;可减小控制对象的参数变化对输出量影响。从稳定性的角度看,由于闭环系统组成中包含储能元件或其他延迟特性等因素的存在,如果参数配合不当,将会引起反馈控制系统振荡,从而使系统不能稳定工作。

3. 复杂控制系统

在工业生产过程中,常将开环控制系统和闭环控制系统配合使用,构成复杂控制系统,如串级控制系统、比值控制系统、前馈-反馈控制系统等等。复杂控制结合了开环、闭环两种控制方式的优点,既能及时克服干扰的影响或跟踪给定值的变化,又能保证系统的控制精

度,可以构成实现较高性能指标的控制系统。

1.1.2 自动控制系统的性能指标

自动控制系统,为了完成一定任务,要求被控量必须迅速而准确地随给定量变化而变化,并且不受扰动的影响。实际上由于控制对象、控制装置和各功能部件的参数匹配不同,系统的性能有可能出现较大的差异,甚至因匹配不当而不能正常工作。因此,工程上对自动控制系统性能提出了一些要求,主要有以下三个方面。

(1)稳定性。系统的稳定性是指一个处于平衡工作状态的系统,在受到扰动时,会偏离原来的平衡状态,当扰动消失后,经过一段暂态过程,系统能否回到原有平衡状态的特性。当扰动消失后,系统能够回到原有的平衡状态,则称系统是稳定的;当扰动消失后,系统不能够回到原有的平衡状态,甚至随着时间的推移偏离原有的平衡状态越来越大,则称系统是不稳定的。

稳定性是反映系统在受到扰动后恢复到平衡状态的能力,是对控制系统最基本的要求,不稳定的控制系统在生产过程中不能应用。在实际生产过程中不但要求控制系统是稳定的,而且还要有一定的“稳定裕量”,以保证在每次动态调整过程中振荡次数不致过多(一般限于两三次)。

(2)准确性。准确性用来反映自动控制系统的被控量与给定值接近的程度,也就是被控量与给定值的偏差(误差)。准确性是对稳定系统稳态性能的要求,一般用稳态误差来表示,所谓稳态误差是指系统达到稳态时被控量的实际值(即稳态值)和期望值之间的误差。稳态误差越小,表示系统的控制精度越高,即准确性越高。

(3)快速性。为了很好的完成控制任务,控制系统仅仅满足稳定性和准确性的要求是不够的,还必须对其过渡过程的快慢提出要求,即系统的快速性。

快速性是对控制系统动态过程持续时间方面的要求。工程上的控制系统总是存在惯性,如电动机的电磁惯性、机械惯性等等,使系统在给定量发生变化时,被控量不可能突变,必然会有一个过渡过程,即动态过程。一般希望从扰动开始到系统达到新的平衡状态的过渡时间尽可能短,以保证下一次扰动来临时,上一次扰动所引起的控制过程已经结束。反映系统快速性的性能指标是调整时间(恢复时间)。

综上所述,对控制系统的基本要求可归结为三个字:稳、准、快。

实际应用中,这些性能要求往往相互制约,如在系统稳定的前提下,准确性和快速性是两个矛盾的方面,所以一个控制系统中要求三个方面都达到很高的质量往往是不可能的。在不同的生产过程中,对这三方面的具体要求也有不同的侧重。因此在控制系统设计时,需要根据系统具体要求进行具体分析,均衡考虑各项性能指标。控制系统的主要性能指标有阻尼振荡频率和振荡周期、超调量和峰值时间、衰减率、上升时间和调整时间等。这些指标可通过控制系统阶跃响应曲线求取。某衰减振荡系统的阶跃响应曲线如图1-3所示。

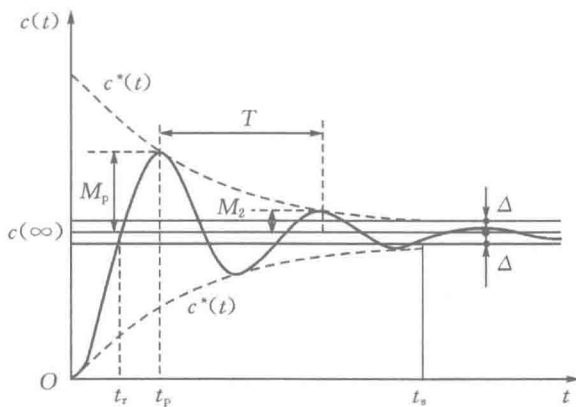


图 1-3 衰减振荡系统的阶跃响应曲线

1. 阻尼振荡频率和振荡周期

振荡周期是从一个峰值(谷值)到下一个峰值(谷值)所经历的时间 T , 从而阻尼振荡频率为

$$\omega_d = \frac{2\pi}{T} \quad (1-1)$$

2. 超调量和峰值时间

超调量反映超调情况, 也是衡量稳定程度的指标。超调量的表达式为

$$\sigma_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中: t_p 为峰值时间; $c(t_p)$ 为峰值时间对应的输出值, 即输出的最大值; $c(\infty)$ 为输出的稳态值。

3. 衰减率

第一个波幅 M_p 和第二个波幅 M_2 的差值与第一个波幅 M_p 之比称为系统的衰减率, 衰减率的表达式为

$$\psi = \frac{M_p - M_2}{M_p} \quad (1-3)$$

在动力自动控制系统中常用衰减率表征相对稳定性, 且经验值范围是 $\psi = 0.75 \sim 0.90$ 。

4. 上升时间

从过渡过程开始到数值第一次等于稳态值的时间为上升时间, 以 t_r 表示。上升时间和前面提到的峰值时间都表征控制系统的快速性, t_r 或 t_p 值越小, 表明系统的响应就越快。

5. 调整时间

通常采用响应曲线的包络线 $c^*(t)$ 表示衰减振荡曲线的衰减程度, 从而调整时间 t_s 可以定义为从响应开始到响应曲线的包络线与稳态值的偏差减小到允许范围 Δ 所需的时间, 参见图 1-3, 即 t_s 满足

$$|c^*(t_s) - c(\infty)| = \Delta \quad (1-4)$$

在工程上一般取 $\Delta=0.02c(\infty)$ 或 $\Delta=0.05c(\infty)$ 。调整时间是反映控制快速性的主要指标。

1.2 自动控制系统实验与仿真

1.2.1 自动控制系统分析方法

研究分析自动控制系统的方法一般有两种:①利用实际系统进行;②利用模型进行。对于比较简单的控制对象,可以在实际系统上进行实验和调试,以获得更好的性能指标。但在实际生产过程中,大部分的控制对象规模及复杂程度巨大,比如载人飞行器、反应堆控制、电力系统。考虑到安全性、经济性以及快捷性等原因,在实际系统上直接进行实验通常是不现实的,需要建立起相应的模型对实际系统的特征与变化规律进行一种定量抽象,来描述现实系统的有关结构信息和行为。通过实验研究,将对模型进行分析和研究的结果应用到实际系统中去,这种方法称为模拟或仿真研究,或简称“仿真”。

系统仿真以相似原理、系统技术、信息技术及其应用领域的有关专业技术为基础,以计算机、仿真器和各种专用物理效应设备为工具,利用系统模型对真实的或设想中的系统进行动态研究的一门多学科的综合性技术。它的基本思想是利用模型类比、模仿现实过程,以寻求对真实过程的认识。

对实际系统所建立的模型可分为物理模型和数学模型。物理模型指不以人的意志为转移的客观存在的实体。例如,飞行器研制中的飞行器模型;船舶制造中的船舶模型等。数学模型是从一定的功能或结构上进行相似,用数学的方法来再现原形的功能或结构特征。根据所用模型的不同,仿真一般可分为两种类型:物理仿真和数学仿真。

1. 物理仿真

物理仿真采用物理模型,有实物介入、效果逼真、精度高等优点,可以直观、形象、全面地表现被研究的物理过程,容易建立对自动控制系统的感性认识,加深对自动控制系统的理解;缺点是构造系统的物理模型投资较大,周期长,且需要进行安装、接线和调试等工作。另外,不同的研究对象(物理过程)需要使用不同的模型,通用性差。因此,物理仿真一般只在某些特殊场合下采用,如导弹、卫星等飞行器的动态仿真,发电站综合调度仿真与培训等。

2. 数学仿真

数学仿真一般是指将实际系统的运动规律用数学方程(微分方程或差分方程)来描述,然后再用计算机求解这些方程的过程。数学仿真是建立在数学模型基础上的仿真,数学模型与原型在运动规律、功能及结构等方面是相似的,是采用数学的方法来再现原形的功能或结构特征。

数学仿真的优点是方便灵活、容易实现、费用低、数据处理简单,因此数学仿真比物理仿真发展更迅速。由于数学仿真一般需要利用计算机来完成,因此又称为“计算机仿真”。计算机仿真分为三种:模拟计算机仿真、数字计算机仿真和混合仿真。利用模拟计算机进行的仿真称为“模拟仿真”;利用数字计算机进行的仿真称为“数字仿真”;利用数字计算机和模拟计算机联合进行的仿真称为“混合仿真”。

综上所述,有关自动控制系统的实验方法如图 1-4 所示。

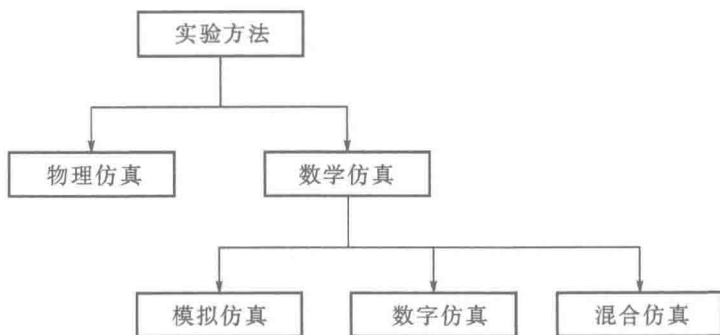


图 1-4 自动控制系统实验方法

仿真既是分析、研究和设计控制系统的有效方法,同时也是自动控制原理学习过程中广泛采用的实验手段。仿真过程所遵循的基本原则是相似性原理。

1.2.2 相似性原理

相似是指自然界中两个或两个以上系统在外在表象(几何)或内在规律性(性能)方面的一致性,常指“模型”和“原型系统”之间的一致性。如果两个系统相似,则称其为相似系统。相似性原理是指相似系统之间,可以用来相互类比、模仿。相似性原理是系统仿真最基本的原理。

相似性的概念最早出现在几何学里,两个三角形的相似是指两个三角形的对应边成比例或者对应角相等,这种相似称为形状的几何相似,物理仿真遵循的是几何相似。性能相似是指一个系统与另一系统在运动规律或行为方面的相似,模拟仿真和数字仿真遵循的是性能相似。对某一系统研究分析,获得有关信息和规律,并应用于同类型系统中其他系统时,这种方法称为同类相似。例如,通过对某一典型换热器研究分析,得到逆流换热的有关规律,可以应用于与之相似的逆流换热器。将某一系统的研究结论应用于不同类型的系统时,这种方法称为异类相似。例如,将机械、电气、电子、液压等不同类型的系统中的研究结论相互应用。在实际应用中,通常采用由某些电子元器件构成电路系统,替代与之相似的其他物理、化学等系统进行实验研究,从而为开展有关系统方面的研究提供了一种极为有效的手段。

不同类型的系统中,可以进行相互类比、模仿,主要是因为它们通常存在着性质相同的基本变量。例如,机械系统中的基本变量为力(力矩)和速度(角速度);电子系统中的基本变量为电流和电压;液压系统中的基本变量为流量和压力。在动力系统中,不同性质变量的作用可抽象为阻性、容性、感性(惯性)三种物理效应。不一定能将元器件或具体组件与三种效应建立明显的一一对应的关系,但总可以利用阻性、容性、感性效应的有限集合来建立动力系统的模型。

三种重要的物理效应可以量化为三个集中参量来表示。

1. 阻性量

阻性量是决定系统稳态性能的基本物理参量,具有耗能性质,如流体系统中节流孔的流动阻力、机械阻尼器、电子(气)系统的电阻。它可以是线性的,如电阻;也可以是非线性的,如流阻。

2. 容量量

容量量是决定系统动态性能的基本物理参量,具有储存和释放能量的性质。如流体系统中的蓄能器、机械系统中的弹簧、电气系统中的电容。

3. 感性量(惯性量)

感性量是决定系统动态性能的另一个基本物理参量,也具有储存和释放能量的性质。如流体和机械系统中质量的惯性、电气系统中电感的感性效应。

动力系统模型研究的任务是弄清各参数之间的内在关系和相互制约联系的客观规律,建立模型,归纳出系统之间的相似性。

以机械位移系统和 RLC 电路系统为例,在图 1-5(a) 所示的机械位移系统中,质量为 M 的物体在外力 F 的作用下产生位移 y ,其中弹簧的弹性系数为 K ,阻尼器的摩擦系数为 f 。在图 1-5(b) 所示的 RLC 串联电路中,以 U_r 为输入电压, U_c 为输出电压。

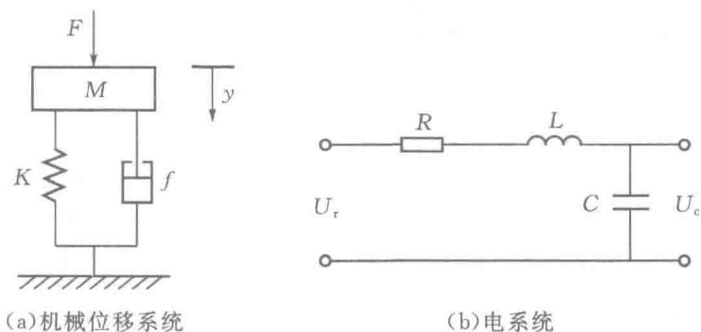


图 1-5 机械位移系统和电系统

根据物理学中的动力学原理及数学方法,可将描述机械位移系统性能的运动方程表示为

$$M \frac{d^2 y}{dt^2} + f \frac{dy}{dt} + Ky = F \quad (1-5)$$

根据回路定律,描述电系统输入、输出性能的运动方程可表示为

$$LC \frac{d^2 U_c}{dt^2} + RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = U_r \quad (1-6)$$

式(1-5)中力 F 为输入,位移 y 为输出;式(1-6)中电压 U_r 为输入,电压 U_c 为输出。两公式中的输入和输出都是时间 t 的函数,若输入用 $r(t)$ 表示,输出用 $c(t)$ 表示,则都可以写成形式(1-7)的形式

$$a_1 \frac{d^2 c(t)}{dt^2} + a_2 \frac{dc(t)}{dt} + a_3 c(t) = r(t) \quad (1-7)$$

两者在参数选择合适时,机械位移系统与 RLC 串联电路均为典型的二阶系统,其运动

规律可以用相同的数学表达式来描述,因而能够用来相互类比、模仿,在描述运动过程时可以认为它们是相似系统。

1.2.3 仿真技术的应用

采用仿真技术对系统进行研究时具有经济性好、安全可靠、快捷性高等一系列优点,因此仿真技术在不同工程领域得到了广泛应用。随着仿真技术的发展,仿真技术的应用趋于多样化。最初仿真技术是作为对实际系统进行试验的辅助工具而应用的,现在它的应用已经发展到与军事、国民经济相关的各个重要领域。

1. 在军事领域的应用

过去主要依靠野战演习完成的任务,现在可以利用计算机、仿真器和人工合成的虚拟环境来进行。利用仿真器产生动态的、直观的环境,配合仿真的地形、烟雾和“敌人”的武器装备,使部队能够进行生动逼真的军事演习。

2. 在电力工业方面的应用

电力工业中,随着单元发电机组容量日益增大,系统越来越复杂,对它的安全、经济运行提出了更高的要求,仿真系统是实现这个目的的最佳途径。例如,电力系统动态模型实验,电力系统负荷分配和瞬态稳定性控制,电站操作人员培训模拟系统。电站仿真系统已成为电站建设与运行中必须配套的装备。

3. 在制造工业方面的应用

在制造业中,如何在最短的时间内以最经济的手段开发出用户能够接受的产品,已成为市场竞争的焦点,虚拟制造是解决这个焦点问题的有效技术途径。虚拟制造是采用建模技术在计算机及高速网络的支持下,在计算机群组协同工作下,通过三维模型及动画实现产品设计、工艺规划、加工制造、性能分析、质量检验以及企业各级过程的管理与控制等方面的仿真产品。

4. 在核能工业方面的应用

例如,核反应堆的模拟,利用核电站仿真器训练操作员以及研究异常故障的排除处理等。

5. 在航空航天工业方面的应用

例如,飞行器设计中的仿真体系:数学模拟、半实物模拟、实物模拟等;利用飞行仿真模拟器训练飞行员及宇航员。

6. 在非工程领域的应用

例如,在医学、交通、教育、通信、社会、经济和商业等方面的研究。

自动控制原理系列实验是将仿真技术与相关理论教学相结合,利用物理装置、计算机及其配套专业软件来构造自动控制系统模型,通过对该系统模型输入典型输入信号(阶跃、斜坡、脉冲等),在系统的某一环节或输出端利用相应的记录显示仪器(如示波器、显示器或打印机等),观察和记录系统的输出响应曲线,了解、分析系统的动态特性,增强对理论教学核心内容的理解。

第2章 自动控制系统的模拟仿真

根据仿真过程中所采用计算机类型的不同,计算机仿真大致经历了电子模拟计算机(简称模拟机)仿真、模拟-数字混合机仿真和数字计算机仿真三个大的阶段。20世纪50年代,计算机仿真主要采用模拟机;60年代后,串行处理数字机逐渐应用到仿真中,但难以满足航天、化工等大规模复杂系统对仿真时限的要求;到了70年代,模拟-数字混合机曾一度应用于飞行仿真、卫星仿真和核反应堆仿真等众多高科技研究领域;80年代后,由于并行处理技术的发展,数字计算机最终成为计算机仿真的主流。现在,计算机仿真技术已经在机械制造、航空航天、交通运输、船舶工程、经济管理、工程建设、军事模拟以及医疗卫生等领域得到了广泛的应用。本章主要介绍自动控制系统模拟仿真的原理及相关实验。

2.1 电子模拟计算机

模拟机主要以积分器和加法器为基础,配置了电位器、分压器、电阻、电容等部件,利用电流、电压等连续变化的物理量直接进行运算。利用模拟机进行控制系统仿真称为模拟仿真。模拟仿真是数学仿真的一个分支,曾经是分析和设计控制系统的重要方法之一。使用模拟机的主要目的,并不在于获得数学问题的精确解,而在于给出一个可供进行实验研究的电子模型。

模拟仿真过程中,模拟机按照所构建的系统仿真模型进行运算,各运算部件的输出电压分别代表系统中相应的变量,因此模拟计算机能直观地表示出系统内部关系。模拟机的变量是连续变化的电压变量,对于变量的运算是基于电路中电压、电流、元件参数等特性的相似关系,因此主要用于连续系统的仿真。例如,电路节点上任一支路电流等于其余各支路电流之和(基尔霍夫定律),这是加法运算的基础。又如,电容是积累电荷的元件,当电荷流入电容器,电容两端电压增大,它的数学关系表现为电流对时间的积分,这是实现积分运算的基础。利用复阻抗、传递函数的概念可以使电路的分析大为简化,电阻器、电容器、电感器是模拟机电路的三种基本阻抗元件,如果把每个元件看作是以电流为输入量、电压为输出量的环节,则三个元件对应的传递函数可写为

$$\left. \begin{aligned} \text{电阻元件: } G(s) &= \frac{U(s)}{I(s)} = R \\ \text{电容元件: } G(s) &= \frac{U(s)}{I(s)} = \frac{1}{Cs} \\ \text{电感元件: } G(s) &= \frac{U(s)}{I(s)} = Ls \end{aligned} \right\} \quad (2-1)$$

式中: R 、 $1/Cs$ 、 Ls 称为电阻、电容、电感元件的复数阻抗,简称复阻抗。

利用模拟机进行实验研究时,求解结果以直观的时间曲线表示,时间变量与实际的时间相同,具有实时仿真的特点;还能方便地改变微分方程的系数和输入量的大小,因此模拟计