

高等学校“十一五”规划教材



机械设计制造及其自动化系列

机电液控制系统 数字仿真与CAD

主编 吴振顺 韩俊伟

哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材

 机械设计制造及其自动化系列

机电液控制系统 数字仿真与CAD

主编 吴振顺 韩俊伟
参编 赵 慧 姚建均
主审 张晓华

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书详细地介绍了包括线性系统、非线性系统的状态空间描述方法,介绍了由微分方程、差分方程尤其是由系统方块图直接列写线性系统的状态方程及其输出方程。由于书中引进了状态反馈方程、状态传递方程,从而极大地简化了复杂控制系统、多输入多输出控制系统状态方程的列写过程。简明扼要地介绍了常微分方程、状态方程的数值积分方法,连续系统状态方程的离散化, MATLAB 与 SIMULINK 基础等。在数字仿真的实现上,从基本原理、基本方法开始,详细地介绍了控制系统时域特性、频域特性的数字仿真程序,基于 MATLAB 与 SIMULINK 仿真平台上的仿真过程。

为了学以致用,本书最后以具体实例包括液压控制系统、电气控制系统及自适应控制系统为例,介绍了机电液控制系统计算机辅助设计(CAD)的过程,可供本科毕业设计等教学环节的选题参考。

本书可作为高等院校本科高年级学生教材,也可作为从事这方面科学技术研究的工程人员自学与参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

机电液控制系统数字仿真与 CAD/吴振顺,韩俊伟
主编. — 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2006.6

ISBN 7 - 5603 - 2363 - 4

I.机… II.①吴…②韩… III.机电系统:自动控制系统 - 数字仿真 - 计算机辅助设计 IV.①TH - 39
②TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 051987 号

责任编辑 田秋
封面设计 卞秉利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451 - 86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 367 千字
版 次 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷
印 数 1~4 000 册
定 价 26.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

高等学校“十一五”规划教材 机械设计制造及其自动化系列

编写委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主任 姚英学
副主任 尤波 巩亚东 高殿荣 薛开 戴文跃
编委 王守城 巩云鹏 宋宝玉 张慧 张庆春
郑午 赵丽杰 郭艳玲 谢伟东 韩晓娟

编审委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主任 蔡鹤皋
副主任 邓宗全 宋玉泉 孟庆鑫 闻邦椿
编委 孔祥东 卢泽生 李庆芬 李庆领 李志仁
李洪仁 李剑峰 李振佳 赵继 董申
谢里阳

总 序

自 1999 年教育部对普通高校本科专业设置目录调整以来,各高校都对机械设计制造及其自动化专业进行了较大规模的调整和整合,制定了新的培养方案和课程体系。目前,专业合并后的培养方案、教学计划和教材已经执行和使用了几个循环,收到了一定的效果,但也暴露出一些问题。由于合并的专业多,而合并前的各专业又有各自的优势和特色,在课程体系、教学内容安排上存在比较明显的“拼盘”现象;在教学计划、办学特色和课程体系等方面存在一些不太完善的地方;在具体课程的教学大纲和课程内容设置上,还存在比较多的问题,如课程内容衔接不当、部分核心知识点遗漏、不少教学内容或知识点多次重复、知识点的设计难易程度还存在不当之处、学时分配不尽合理、实验安排还有不适当的地方等。这些问题都集中反映在教材上,专业调整后的教材建设尚缺乏全面系统的规划和设计。

针对上述问题,哈尔滨工业大学机电工程学院从“机械设计制造及其自动化”专业学生应具备的基本知识结构、素质和能力等方面入手,在校内反复研讨该专业的培养方案、教学计划、培养大纲、各系列课程应包含的主要知识点和系列教材建设等问题,并在此基础上,组织召开了由哈尔滨工业大学、吉林大学、东北大学等 9 所学校参加的机械设计制造及其自动化专业系列教材建设工作会议,联合建设专业教材,这是建设高水平专业教材的良好举措。因为通过共同研讨和合作,可以取长补短、发挥各自的优势和特色,促进教学水平的提高。

会议通过研讨该专业的办学定位、培养要求、教学内容的体系设置、关键知识点、知识内容的衔接等问题,进一步明确了设计、制造、自动化三大主线课程教学内容的设置,通过合并一些课程,可避免主要知识点的重复和遗漏,有利于加强课程设置上的系统性、明确自动化在本专业中的地位、深化自动化系列课程内涵,有利于完善学生的知识结构、加强学生的能力培养,为该系列教材的编写奠定了良好的基础。

本着“总结已有、通向未来、打造品牌、力争走向世界”的工作思路,在汇聚多所学校优势和特色、认真总结经验、仔细研讨的基础上形成了这套教材。参加编写的主编、副主编都是这几所学校在本领域的知名教授,他们除了承担本科生教学外,还承担研究生教学和大量的科研工作,有着丰富的教学和科研经历,同时有编写教材的经验;参编人员也都是各学校近年来在教学第一线工作的骨干教师。这是一支高水平的教材编写队伍。

这套教材有机整合了该专业教学内容和知识点的安排,并应用近年来该专业领域的科研成果来改造和更新教学内容、提高教材和教学水平,具有系列化、模块化、现代化的特点,反映了机械工程领域国内外的新发展和新成果,内容新颖、信息量大、系统性强。我深信:这套教材的出版,对于推动机械工程领域的教学改革、提高人才培养质量必将起到重要推动作用。

蔡鹤皋

哈尔滨工业大学教授

中国工程院院士

2005年8月10日

前 言

本书是根据“控制系统数字仿真”课程教学的基本要求,在吴振顺于 2000 年编著的《液压系统仿真与 CAD》的基础上,为使学生尽快掌握系统仿真技术,考虑到系统仿真的教学特点,经过较大修改与补充精心编写而成的。

本书共分为 7 章。第 1 章概述,介绍控制系统的分析研究方法、系统仿真的基本概念、系统仿真分类、系统及系统模型、控制系统的 CAD 与数字仿真软件等。第 2 章介绍控制系统的状态空间描述法,详细讨论了各类系统包括线性系统、非线性系统状态方程及其输出方程的列写方法,重点介绍由微分方程、差分方程尤其是由系统方块图直接列写线性系统的状态方程及其输出方程的方法,由于书中引进了状态反馈方程、状态传递方程,从而极大地简化了复杂控制系统、多输入多输出控制系统状态方程及其输出方程的列写过程。第 3 章简明扼要地介绍了常微分方程、状态方程的数值积分方法,其中包括常微分方程数值积分问题的提出与基本方法、常微分方程的数值积分法、系统状态方程的数值积分法、病态系统及病态系统的仿真等。第 4 章介绍控制系统的数字仿真,本章从控制系统仿真的基本原理、基本方法开始逐步介绍线性连续系统、线性离散系统、典型非线性控制系统、本征非线性控制系统时域特性仿真,线性连续系统的频域特性数字仿真的实现问题,并相应给出了数字仿真程序及其仿真实例等。第 5 章介绍基于 MATLAB 的系统分析,详细介绍了 MATLAB 的基本特性、矩阵运算、绘图功能,应用 MATLAB 实现数据分析与处理,基于 MATLAB 的控制系统时域特性和频域特性分析等。第 6 章介绍基于 SIMULINK 的系统分析,详细讨论了 SIMULINK 的模型构造、数值仿真与系统分析问题、基于 SIMULINK 的线性连续系统、离散系统、非线性系统的时域特性仿真及线性系统的频域特性仿真等。为了学以致用,本书在第 7 章介绍了控制系统的计算机辅助设计(CAD),以几个典型的控制系统包括液压控制系统、电气控制系统及自适应控制系统为例,介绍了控制系统计算机辅助设计(CAD)的过程,为本科毕业设计提供了一条可行的路子。

本书取材力求通俗易懂、刻意求新、学以致用,在编写的过程中注意引进国内外最新研究成果与最新技术。着眼于使读者尽快掌握计算机数字仿真技术,从基本原理、基本方法出发,培养读者具有分析问题、解决问题的能力。

本书由吴振顺、韩俊伟主编,由张晓华教授主审并提出许多宝贵意见。参加编写本书的有哈尔滨工业大学韩俊伟(第 1、3 章),哈尔滨工业大学吴振顺(第 2、4 章、第 7 章中的

7.1,7.3,7.4,7.5,7.6,7.7 节、附录), 武汉科技大学赵慧(第 5、6 章), 哈尔滨工业大学姚建均(第 7 章中的 7.2 节)。全书由吴振顺修改整理定稿。在编写的过程中得到哈尔滨工业大学流体控制与自动化系全体教师的大力支持与帮助, 在此一并表示感谢。由于编者水平所限, 疏漏或不当之处在所难免, 殷切期望广大读者批评斧正。

编 者
2006 年 3 月

目 录

// 第 1 章 概述

1.1 控制系统的分析研究方法	(1)
1.2 系统仿真的基本概念	(2)
1.3 系统仿真分类	(4)
1.4 系统及系统模型	(6)
1.5 控制系统的 CAD 与数字仿真软件	(10)
1.6 系统仿真技术的应用与发展趋势	(13)
本章小结	(14)
练习与思考	(15)

// 第 2 章 控制系统的状态空间描述法

2.1 状态空间描述的基本概念	(16)
2.2 线性定常连续系统的状态方程及其输出方程	(17)
2.3 非线性连续系统的状态方程及其输出方程	(36)
2.4 线性时变系统的状态方程及其输出方程	(40)
2.5 离散系统的状态方程及其输出方程	(42)
2.6 利用 MATLAB 数学模型转换列写系统状态方程	(46)
2.7 连续系统状态方程的离散化	(49)
本章小结	(52)
练习与思考	(52)

// 第 3 章 常微分方程的数值积分法

3.1 常微分方程数值积分法问题的提出与基本方法	(59)
3.2 常微分方程的数值积分法	(61)
3.3 系统状态方程的数值积分	(70)
3.4 数值积分法的几点讨论	(73)
3.5 病态系统及病态系统的仿真	(74)
本章小结	(77)
练习与思考	(77)

// 第 4 章 控制系统的数字仿真

4.1 线性定常连续系统的时域特性仿真	(79)
---------------------------	------

4.2 线性定常离散系统的时域特性仿真	(86)
4.3 典型非线性控制系统的时域特性仿真	(95)
4.4 本征非线性控制系统的时域特性仿真	(100)
4.5 线性定常连续系统的频域特性仿真	(103)
本章小结	(108)
练习与思考	(108)

// 第5章 基于 MATLAB 的系统分析

5.1 MATLAB 的基本特性	(112)
5.2 MATLAB 的矩阵运算	(118)
5.3 MATLAB 上的绘图功能	(124)
5.4 应用 MATLAB 实现数据分析与处理	(127)
5.5 流程控制与控制工具箱	(136)
5.6 基于 MATLAB 的控制系统时域特性分析	(141)
5.7 基于 MATLAB 的控制系统频域特性分析	(142)
本章小结	(144)
练习与思考	(144)

// 第6章 基于 SIMULINK 的系统分析

6.1 概述	(147)
6.2 SIMULINK 的模型构造	(150)
6.3 数值仿真与系统分析问题	(154)
6.4 基于 SIMULINK 的连续系统时域特性仿真	(157)
6.5 基于 SIMULINK 的离散系统时域特性仿真	(160)
6.6 基于 SIMULINK 的频域特性仿真	(162)
6.7 基于 SIMULINK 的非线性系统仿真	(164)
本章小结	(169)
练习与思考	(169)

// 第7章 控制系统的计算机辅助设计(CAD)

7.1 概述	(172)
7.2 可控轨迹强迫飞行风洞实验装置 α 角位移控制系统	(173)
7.3 带钢卷取机跑偏电液伺服控制系统	(197)
7.4 仿形刀架机电液伺服控制系统	(200)
7.5 液压振动台伺服控制系统	(203)
7.6 电压-转角机电伺服控制系统	(206)
7.7 自适应控制系统	(210)
本章小结	(223)
参考答案	(224)
参考文献	(246)

第 1 章

概 述

本章主要介绍控制系统的研究方法、系统仿真的基本概念、系统仿真分类、系统及系统模型、系统仿真的应用等,要求学生熟悉上述基本概念。

控制系统仿真是近 20 年发展起来的一门新兴技术学科,它是利用系统模型对真实系统进行分析研究的过程。当在实际系统上进行试验研究难于实现时,仿真技术就突出了它的优势,并成为十分重要和必不可少的研究手段。近年来,由于计算机的引进,控制理论不断发展,应用计算机对实际系统进行仿真研究更是日益受到人们的重视,其应用领域越来越广泛,越来越深入。

最初仿真技术仅应用于航天、航空、原子反应堆等少数领域,后来逐步发展到电力、冶金、机械等一些工业领域,现在,正进一步扩大应用于社会经济、交通运输、生态环境等各个领域,已成为分析、研究和设计各种系统不可缺少的重要手段。

1.1 控制系统的分析研究方法

设计一个控制系统,需要对控制系统进行分析研究,以期获得满足系统性能指标要求的目的。控制系统的分析概括起来主要有实物试验研究法、理论分析研究法和仿真试验研究法三种。

1. 实物试验研究法

早期研究和设计一个控制系统,需要凭借设计者的知识和经验,对于用真实的元部件构成的真实系统,利用各种仪器、仪表设备,施加各种试验信号进行大量的试验研究,通过测取系统输出响应,分析系统结构、结构参数对系统动态性能的影响。通过反复试验,不断修正,确定应用于生产实际的系统。这种分析研究法称为实物试验研究法。实物试验研究法具有简明、直观和真实的特点。在技术比较落后的时期,它曾起到了一定的作用。

要建立一个真实的系统,需要花费大量的人力、物力、财力和时间,而且一次性成功的可能性很小,变更参数、改变控制方案又很困难。甚至有些实物试验危险大、具体实验难于实现等实际问题,极大地限制了实物试验研究法的广泛应用,直接影响了实物试验研究法的可行性。

2. 理论分析研究法

随着科学技术的发展,自动控制理论的不完善,人们开始利用这些理论,在建立真实系统之前,先建立描述系统动态过程的数学模型,在此数学模型的基础上分析、研究所设定的控制方案的可行性、结构参数的合理性,并将分析结果作为系统设计的依据,这种分析方法称为理论分析研究法。显然,理论分析研究法可大大地降低成本、节省研究时

间。

但由于理论的局限性和理论推导的近似性,可能产生理论分析结果和实际系统之间的差别。为了获得较理想的系统,需要进一步根据相似理论,建立相似试验模型,进行中间试验,以便提供更可靠的理论分析、研究数据。

3. 仿真试验研究法

由于科学技术的迅速发展和经济建设的迫切需要,对系统的动态性能要求越来越高,这就需要有新的控制方法,如复合控制、最优控制、鲁棒控制、模糊控制、自适应控制等控制方法。这些新的控制方法将使系统变得更加复杂,面对这些情况,如果仍依靠人工进行分析或建立物理模型,就可能出现更多的困难,需要花费更多的精力和物力,造成更大的浪费,严重地影响了新的控制方法的发展。随着电子计算机的不断进步和完善,可以借助电子计算机作为研究工具,进行实际系统的动态特性分析,研究实际系统的各种工作状态,确定最佳控制方案,选择理想系统结构参数,完成理想的系统设计。这种借助电子计算机的研究分析方法称为计算机辅助分析法,也称为仿真试验研究法。显然,仿真试验研究法可以进一步提高分析结果的可信性,降低系统工程造价,缩短系统研究周期。

1.2 系统仿真的基本概念

1.2.1 系统仿真过程

利用电子计算机作为研究工具,将实际系统模化成仿真模型,这种仿真模型包括系统模拟计算图或系统仿真源程序,在计算机上进行运算的过程称为系统仿真。用于对实际系统进行仿真的一整套软、硬件称为仿真系统。可以在计算机上运行的模型的建立和仿真试验方法的研究称为仿真技术,这是近年来发展起来的一门新兴学科。仿真技术在科学研究和实际系统工程设计中的应用就是实际系统的仿真过程,此过程可用图 1.1 加以说明。

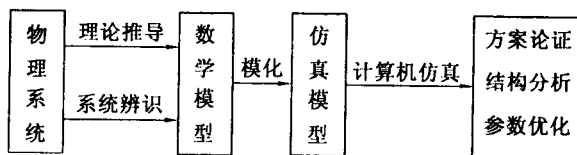


图 1.1 系统仿真过程

根据实际物理系统,经过理论推导或系统辨识,建立描述系统动态特性的数学模型,通过模化形成适合应用于电子计算机上运行的仿真模型,根据仿真模型通过仿真计算,完成系统方案的论证、系统结构的分析以及系统结构参数的优化,这个过程称为系统仿真过程。

对于已经建立的实际物理系统进行仿真时,可以按下述过程完成。

(1) 根据实际物理系统,通过理论推导或系统辨识,建立描述实际物理系统的数学模型。

(2) 在系统模型建立的基础上,通过模化形成系统模拟计算图或系统仿真计算程序,建立系统仿真模型。

(3) 利用仿真模型,在计算机上进行运行计算,分析系统动态性能和系统特征参数对系统性能的影响,确定最佳控制方案,为实际系统设计、调试提供可靠的数据依据。

对于新研制的系统进行仿真时,可按下列步骤完成。

(1) 根据设计技术要求,初步拟定控制方案,通过静态设计计算,确定系统结构拟定参数。

(2) 在控制方案论证的基础上,通过理论推导,建立设计系统的数学模型。

(3) 通过模化编制模拟计算图或系统仿真源程序,构成仿真模型。

(4) 上机计算,进行系统动态性能和系统特征参数分析,实现最佳参数匹配,获得最优控制方案。

由于整个过程均由计算机参与完成,所以也可以称为控制系统计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)。

由上可知,系统仿真技术是研究或设计某个系统必不可少的重要技术,它对提高系统性能、产品质量、缩短研究周期起到极其重要的作用,也是实现最优化设计的必然途径。

1.2.2 系统仿真的基本概念

一个实际的控制系统可以用数学模型描述,这里包括系统微分方程、系统传递函数、系统方块图和系统状态方程。同样,一个由电子器件或运算部件构成的模拟电路,也可以用同样的数学模型描述,尽管控制系统和模拟电路的物理本质和它们所服从的数学模型中的物理参数性质完全不同,但它们却服从同一数学关系,在数学上存在着类比关系。这个类比关系可分为直接类比和间接类比两种。为说明这种类比关系,下面用一个简单的机械系统为例加以说明。

1. 直接类比仿真法

图 1.2 所示的是一个机械谐振系统,它是由质量、阻尼和弹性负载构成,根据牛顿定律,它可用微分方程描述为

$$M \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + B \frac{dx(t)}{dt} + Kx(t) = F(t) \quad (1.1)$$

式中 M ——运动物体的质量;
 B ——阻尼系数;
 K ——弹簧刚度;
 $x(t)$ ——物体移动的位移;
 $F(t)$ ——外作用力。

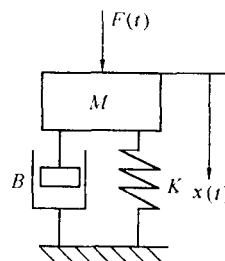


图 1.2 机械谐振系统

图 1.3 所示的是 RCL 振荡电路,其动态特性可用微分方程描述为

$$L \frac{d^2 q(t)}{dt^2} + R \frac{dq(t)}{dt} + \frac{1}{C} q(t) = V(t) \quad (1.2)$$

式中 L ——线圈电感;
 C ——电容;

R ——电阻;
 $q(t)$ ——电荷;
 $V(t)$ ——外加电压。

比较式(1.1)和式(1.2)可知,具有质量、阻尼和弹性负载的机械谐振系统与具有电感、电阻和电容的 RCL 串联电路在数学关系上具有相同的形式,它们的参数之间存在着——对应的关系。由此可知,可以用 RCL 串联电路来模拟

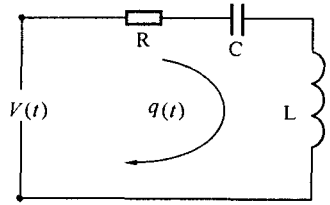


图 1.3 振荡电路

机械谐振系统,通过计算和电路实验,分析机械谐振系统的动态特性,研究机械谐振系统参数对系统特性的影响。这种建立在数学相似基础上的仿真方法称为直接类比仿真法。

2. 间接类比仿真法

利用运算部件构成电子模型,使所构成的电子模型的运算规律与被模拟的控制系统的运算规律一致。例如上述机械谐振系统可以用电子模拟电路加以模拟(图 1.4)。

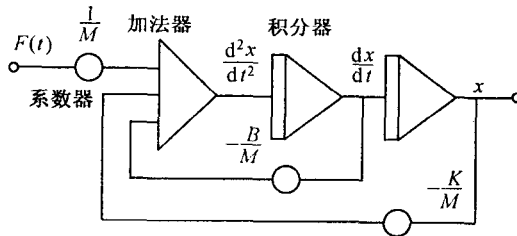


图 1.4 机械谐振系统的电子模拟电路

这个模拟电路是由加法器、系数器和积分器组成。机械位移 $x(t)$ 是由 $\frac{d^2x(t)}{dt^2}$ 经过两次积分获得。根据图 1.4 可得

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} = \frac{1}{M}F(t) - \frac{B}{M} \frac{dx(t)}{dt} - \frac{K}{M}x(t) \quad (1.3)$$

由此可知,式(1.3)与式(1.1)具有完全相同的形式,图 1.4 所示的电子模拟电路完全描述了图 1.2 所示的机械谐振系统,用各种运算部件构成的电子模型只是在运算关系上描述了机械谐振系统,这种建立在以解算为基础的模拟方法称为间接类比仿真法。

1.3 系统仿真分类

根据系统仿真所用的计算工具不同,系统仿真可分为模拟仿真、数字仿真和混合仿真 3 种。

1. 模拟仿真

模拟仿真是利用模拟计算机作为仿真工具。模拟计算机是一种连续的计算装置,它是把系统物理量用电压量表示,通过各种运算部件求解描述系统动态特性的微分方程,它的输入输出均为连续的电压量,因此连续是模拟仿真的突出特点。利用模拟计算机进行系统仿真的优点如下。

(1) 模拟仿真更接近于实际情况,因为模拟计算机是用正负极性电压幅值来表示实

际系统物理量的正负与数值大小,实际系统的物理量随时间变化过程是连续的,因此利用模拟计算机进行物理系统仿真特别形象逼真。

(2) 在系统仿真的过程中,调整系统控制方案、改变系统结构参数比较简单。

(3) 运算速度快,这是由于模拟计算各运算部件是并联运行的,简单小型的物理系统仿真与大型复杂的物理系统仿真在时间上并无多大区别,可以说均在瞬间完成,因此,它很适用于物理系统在线实时仿真。

但模拟计算机目前的一个致命的缺点是运算精度低。造成模拟计算机运算精度低的主要原因是模拟计算机的运算部件是由高增益直流放大器和电器元件构成,这些电器元件本身的精度就不高,有时还受系统温度的影响较大,给模拟计算机的运算带来较大的误差,通常精度只有 0.1% ~ 1.0% 左右。另外,模拟计算机各运算部件的最大输出电压幅值受到限制,而实际物理系统的物理量的变化范围很大,需要在模拟计算之前,根据实际物理系统的物理量与模拟机电电压量之间的关系,设置比例尺,这个比例尺称为幅值比例尺。

鉴于模拟计算机的上述特点,作为系统仿真工具仍有它的一定应用价值,特别是运算速度快,调整系统控制方案、改变系统结构参数方便,更适合应用于科学研究或工程设计初始阶段的仿真研究。一旦模拟计算机的运算精度得到提高,可望应用于系统的在线实时控制。在国外,已经有人利用模拟计算机完成在线实时自适应控制,并得到良好的控制效果。相信模拟计算机在工程实际应用中,特别是与系统控制有关的领域仍会得到广泛的应用。

模拟仿真的基本过程见图 1.5。它是根据描述物理系统的数学模型绘制的模拟仿真计算图,选择相应的运算部件构成电模型,在模拟计算机上输入试验信号(例如阶跃信号),记录并研究其输出结果,根据系统设计上的技术要求,恰当改变电模型参数,反复进行仿真运算直至获得满意的结果。它给物理系统设计和系统调试提供可靠的数据依据。

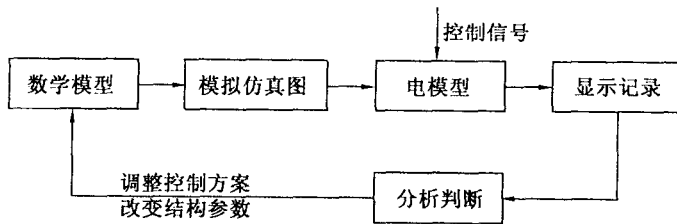


图 1.5 模拟仿真过程

2. 数字仿真

数字仿真是利用数字计算机作为仿真工具。数字计算机是一种不连续的计算装置,它是通过编码器把实际物理系统的数学模型中的物理量变成数字量,经过机器的运算得到问题的解答,其输出也是一组不连续的数字量,即离散数据。

利用数字计算机进行系统仿真的优点如下。

(1) 计算精度高。从理论上讲,数字计算机的计算精度是无限的,这是由于它的字长可根据精度要求设计,字长的增加意味着计算精度的提高,它的精度可达到百万分之一到千万分之一。

(2) 运算速度快。这是所有计算机的共同特点,由于数字计算机的运算是按程序运行的,尽管目前数字计算机的运算速度可达每秒钟几百万次,甚至可达每秒钟上亿次,但与模拟计算机相比,其运算速度相对来说还是较低的。

(3) 数字计算机不但可以完成数学计算,还可以完成逻辑运算等模拟计算机所不能完成的科学运算。

随着计算技术的不断提高,数字计算机功能的不断完善,应用数字计算机进行系统仿真成为科学技术研究不可缺少的重要手段,特别是计算精度高,计算方法严谨等特点,为科学研究和工程设计提供了更为可靠的数学依据。

数字仿真的过程是根据物理系统数学模型及动态性能要求,选择适当的计算方法,编写数值计算程序,将编写好的源程序输入到数字计算机中去进行求解,根据物理系统性能要求,不断修改系统结构参数,寻找最佳结构参数匹配和最优控制方案。

3. 混合仿真

混合仿真是利用混合计算机系统作为仿真工具。它集中了模拟计算机和数字计算机的所有优点,既有运算精度高又有运算速度快的特点,既保持了模拟计算机仿真的逼真感和密切的人/机联系的优点,又大大地提高了计算机的逻辑运算功能和迭代能力,扩大了模拟计算机的解题范围。混合计算机可分为两种。

(1) 混合模拟计算机。它是在模拟计算机的基础上引进了存储、判断和数字逻辑运算而成,使逻辑运算功能大为增强。数字系数电位器、比较器、跟踪保持器、模拟开关、D/A、A/D 转换器等混合部件大为增加,从而进一步提高了迭代运算功能。

(2) 混合计算系统。它是将模拟计算机和数字计算机通过 D/A、A/D 转换器联结在一起,形成混合计算系统,其构成原理如图 1.6 所示。

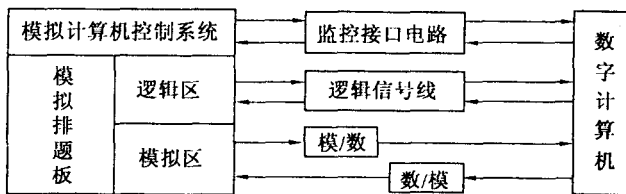


图 1.6 混合计算系统

根据仿真系统中有无实物介入划分,如果仿真系统中有实物存在,则称该仿真系统为半实物仿真,半实物仿真为实时仿真,实时仿真要求仿真系统的时间与实际系统的时间完全一致,否则为非实时仿真。

1.4 系统及系统模型

1.4.1 系统

在这里所说的系统是广义的系统,系统是相互联系又相互作用着的对象之间的有机组合,这种比较概括的含义包括所有的工程和非工程系统,例如航空系统、航天系统、航海

系统、电气系统、机械系统、水利系统、声学系统、热系统等都属于工程系统,而经济系统、社会系统、环境系统、交通系统、管理系统、生物系统等都属于非工程系统。图 1.7 所示的是飞机自动驾驶仪系统,它是一个工程系统。

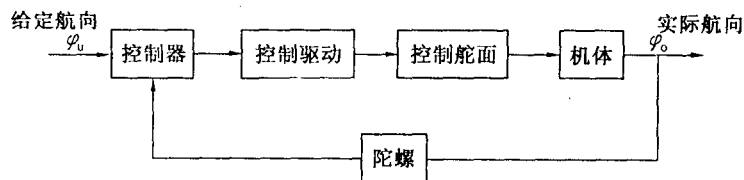


图 1.7 飞机自动驾驶仪系统

图 1.8 所示的是工厂系统,它是一个非工程系统。

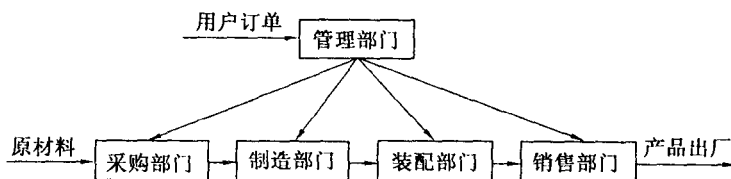


图 1.8 工厂系统

任何一个系统,都需要研究实体、属性和活动这三个方面,其中实体,是组成一个系统的具体对象。属性是实体的特性,其中包括系统参数和系统状态。活动是对象随时间推移而发生的变化。

如图 1.7 所示的飞机自动驾驶仪系统,其实体包括机体、控制舵面陀螺仪和控制器。它的属性包括航向、速度、控制面角度、陀螺仪及控制器的特性等。它的活动包括控制面的驱动和机体对控制面的响应。图 1.8 所示的工厂系统,其实体是部门、部件、订单和产品。它的属性是部件类型、订单数量、各部门的设备数量等。它的活动包括各部门的运作过程。

研究一个系统,不但要研究它的实体、属性和活动,还要研究它的周围环境。宇宙间的所有物体都是相互联系又相互影响着,飞行器在空间飞行时,要受到空气阻力的影响,其中空气阻力与大气密度相关,大气密度又是飞行器飞行高度的函数。由此可知,研究飞行器在空间飞行时,高度等飞行环境是必须考虑的。

研究一个系统,其首要的问题是系统实体、属性、活动和环境的描述,系统的概念不仅与系统的实体有关,还与研究者的研究目的、研究观点有关。在研究飞行器自动驾驶仪时,可以把自动驾驶仪看成一个系统,但在研究整个飞行器时,它只不过是一个子系统,同一架飞行器,可以用来研究它的自动驾驶仪,也可以用来研究空气对它的阻力,也可以用来研究它的结构强度。从这个观点来看,一个系统,只有对它的实体、属性、活动及环境做了明确的描述后,这个系统才是确定的,才可以着手去考虑系统模型的建立等。系统研究包括系统描述、系统分析、系统综合和系统预测等。

1.4.2 系统模型及系统模型的建立

系统模型是系统本质的表达,它以各种可描述的形式(数学或物理)提供被研究的所