



高等院校EDA系列教材
Electronic Design Automation

先进仿真技术

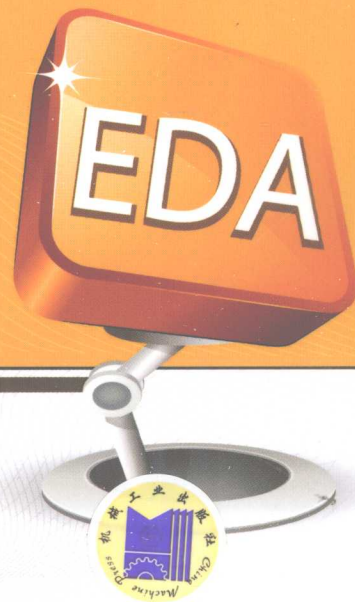
实验教程

龚光红 韩亮 ◎主编



附赠电子教案、参考程序

<http://www.cmpedu.com>



- 建模仿真方法与工具综合实验
- 分布式仿真与飞行仿真技术综合实验
- 虚拟仪器与虚拟现实技术综合实验

1.9-43



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TP391.9-43
G383

高等院校 EDA 系列教材

先进仿真技术实验教程

龚光红 韩亮 主编

TP391.9-43
G383



机械工业出版社

本书围绕建模与仿真领域的基本建模方法和仿真技术,设计了相关实验,力求较为系统地覆盖一系列具有通用性、综合性、前瞻性的先进仿真技术,为读者提供建模、验模、仿真方法分析与实践的工具、平台,培养学生采用先进仿真技术解决科学研究及工程实践问题的能力。全书分为三大部分,主要内容为:建模仿真方法与工具综合实验、分布式仿真与飞行仿真技术综合实验、虚拟仪器与虚拟现实技术综合实验。目标是使学生掌握基本的建模仿真方法和常用建模仿真软件工具的使用方法,掌握建立平台级、网络化、实时仿真系统的概念和实现方法、分布式建模、模型分布式储存/管理技术、虚拟仪器设计与仿真方法。通过典型民居三维建模、飞机三维建模、三维虚拟声音仿真实验,掌握虚拟世界中三维场景、声音的建模与渲染技术,通过基于头盔和数据手套的人机交互实验,掌握人与虚拟世界的交互手段,掌握虚拟现实系统的基本构建方法。

本书适合电气信类各专业的学生使用,也可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

先进仿真技术实验教程/龚光红,韩亮主编. —北京:机械工业出版社,2009.12
(高等院校EDA系列教材)

ISBN 978-7-111-25312-9

I. 先… II. ①龚… ②韩… III. 计算机仿真-高等学校-教材 IV. TP391.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第200433号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:时 静

责任编辑:时 静

责任印制:杨 曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2010年1月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·13印张·315千字

0 001—3 500册

标准书号:ISBN 978-7-111-25312-9

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

仿真科学与技术是利用系统模型、计算机系统、物理效应设备等对实际或设想的系统进行动态实验研究的一门综合性、交叉性学科与技术。从林克飞行模拟器的诞生、工程应用,到近50年来各类工程模拟器的不断推出,以及分布交互仿真技术与虚拟现实技术的发展,使仿真科学与技术得到迅猛发展。当前,新思维、新概念的验证,新产品、新装备的设计开发,驾驶员、操作员、指挥员、危险作业人员的训练,系统性能分析评价等,已越来越依赖于仿真技术,仿真技术的应用已渗透到军事、航空航天、能源、交通、管理、经济、气象、工业、医疗卫生、文化娱乐等各个领域与行业。“建模与仿真技术和高性能计算技术相结合,正成为继理论研究和实验研究之后第三种认识和改造客观世界的重要方法”。

仿真对科学技术的发展,以及国家科技创新能力的提升,发挥着重要的作用。20世纪90年代,美国的一些科学家认为仿真技术将成为科技战略的关键性推动力,在21项关键技术、7项重点计划中,仿真技术都处于显著位置。可见,仿真科学与技术可以有力地推动许多科技领域的发展,从而有利于全面提高国家的科技实力。

随着仿真科学技术的快速发展对建模仿真人才的需求也日益增长,建模与仿真的高级人才已成为军队、政府、大型企业、研究机构的战略人才,活跃在各行业重大问题的决策过程之中。国内外很多高等院校开设了有关仿真科学与技术领域的课程,部分院校制定了系统的硕士、博士培养计划,培养该领域的高级专门人才。北京航空航天大学在仿真科学与技术领域理论课程建设、人才培养的过程中,多年来一直致力于实验课程的建设。2002年在国家“教育振兴计划”的支持下,利用先进仿真技术航空科技重点实验室、飞行控制实验室几十年来的科研、教学研究成果,开展了先进仿真技术人才培养实验/实践基地的建设工作,开发了一系列具有通用性、综合性、前瞻性的先进仿真技术系列实验课程。在实验教学方面,面向全校各专业学生培养仿真技能,提供建模、验模、仿真方法分析与实践的工具、平台,培养学生采用先进仿真技术解决科学研究及工程实践问题的能力,为培养创新型、高素质人才提供支持。

本教材是在北京航空航天大学先进仿真技术教学中心、自动控制系的教师根据多年科学研究、实验课程教学的经验基础上编写完成的。书中的先进仿真技术系列实验面向不同的专业,不同专业的学生可以根据本专业的培养目标选择实验项目。先进仿真技术系列实验采用层次化的设计理念,大部分实验设计有拓展实验,学生在完成基本实验的基础上,可以完成拓展实验,也可以在实验室提供的实验设备平台上,自主完成创新性项目的设计与实现。

参加本教材编写的教师还有李秀芝、丁莹、王卫红、刘丽、王江云、李妮、戴树岭等,同时王行仁教授、彭晓源研究员、冯勤研究员、贾荣珍研究员也为本教材的编写付出了大量劳动,提出了许多宝贵意见。在此向所有为本教材的编写与出版给予关心、支持、帮助的同志表示诚挚的感谢。

由于时间仓促,编者经验有限,本教材的错误和不妥之处在所难免。愿通过本教材的出版,与仿真领域的同行交流人才培养之道,同时亦衷心希望得到使用本教材的师生的批评指正。

编 者

目 录

前言

第一部分 建模仿真方法与工具

第1章 建模仿真实验	2	实验一 机械夹紧机构	14
引言	2	实验二 偏心连杆系统	28
实验一 直流电动机建模及仿真实验	2	实验三 柔性体建模	43
实验二 直流电动机 - 负载建模及 仿真实验	5	第3章 电路设计与仿真实验	50
实验三 考虑结构刚度时的直流电动机 - 负载建模及仿真实验	7	引言	50
实验四 位置伺服系统建模及仿真 实验	10	实验一 交通灯控制器设计仿真 实验	50
第2章 采用 ADAMS 和 MATLAB 建立机械 装置或机电装置虚拟样机	14	实验二 数字电子钟设计仿真实验	54
引言	14	实验三 频率计设计实验	58
		实验四 定时器设计及应用	63
		实验五 基于仿真器的适配电路设计和 下载演示	68

第二部分 分布式仿真与飞行仿真技术

第4章 分布式仿真技术基础实验	74	实验一 仿真器飞行方式控制面板(MCP) 设计与仿真	103
引言	74	实验二 飞行仪表面板设计	107
实验一 基于 Oracle/ADO 的建模仿真 实验	74	实验三 面板之间的通信与控制 实验	109
实验二 基于 MATLAB RTW/Engine 的 建模仿真实验	81	实验四 虚拟控制面板与电路板之间 的通信实验	113
实验三 基于 HLA/RTI 的建模仿真 实验	88	实验五 飞行器动力学虚拟样机建模/ 仿真实验	116
第5章 飞行仿真技术实验	103		
引言	103		

第三部分 虚拟仪器与虚拟现实技术

第6章 虚拟仪器设计实验	126	引言	126
--------------------	-----	----------	-----

实验一 虚拟多功能时钟仿真实验	126	参考程序	180
实验二 虚拟信号发生器设计仿真		A.1 建模仿真实验实例	180
实验	129	A.2 倒立摆实验实例	181
实验三 信号发生器虚拟控制面板与		A.3 交通灯控制参考程序	185
电路板之间的通信实验	131	附录 B “分布式仿真与飞行仿真技术”	
第 7 章 三维实体建模与三维虚拟		参考程序	187
声音仿真	135	B.1 ADO 访问数据库主要参考程序	187
引言	135	B.2 Matlab Engine 调用主要参考	
实验一 典型民居三维模型建模		程序	188
实验	135	B.3 AST-RTI 主要接口函数功能	189
实验二 飞机三维模型建模实验	153	B.4 AST-RTI 功能主要代码示例	190
实验三 三维虚拟声音仿真实验	159	B.5 飞行实时仿真实验部分参考	
第 8 章 基于头盔和数据手套的人机		程序	192
交互实验	164	附录 C “虚拟仪器与虚拟现实技术”	
引言	164	参考程序	193
实验一 头盔/数据手套人机交互系统		C.1 服务器程序	193
平台搭建实验	164	C.2 室内漫游虚拟手控制实验参考	
实验二 室内漫游虚拟手控制实验	167	程序	194
实验三 虚拟手弹钢琴实验	174	C.3 虚拟手弹钢琴实验参考程序	195
实验四 零件抓取与装配实验	177	C.4 客户端程序(零件抓取与装配实验)	
附录	180	参考程序	196
附录 A “建模仿真方法与工具”实例与		参考文献	199

现实仿真模型 第一章

言

第一部分 建模仿真方法与工具

现实仿真模型仿真系统 一、现实

现实仿真

- 1. 现实仿真的定义：现实仿真是指在计算机上对现实世界中的物理过程进行模拟。
- 2. 现实仿真的特点：现实仿真的特点是能够模拟现实世界中的物理过程，并且能够在计算机上进行仿真。
- 3. 现实仿真的应用：现实仿真的应用非常广泛，包括军事、工业、交通、医疗等领域。
- 4. 现实仿真的优势：现实仿真的优势在于能够模拟现实世界中的物理过程，并且能够在计算机上进行仿真。

现实仿真模型仿真系统

现实仿真

现实仿真的定义：现实仿真是指在计算机上对现实世界中的物理过程进行模拟。

现实仿真模型仿真系统

现实仿真

现实仿真的定义：现实仿真是指在计算机上对现实世界中的物理过程进行模拟。

第1章 建模仿真实验

引言

先进仿真技术公共教学系列实验是面向研究生的公共实验课程，建模仿真实验部分的重点是培养学生利用仿真工具解决实际问题的能力。

仿真以控制论、计算技术、相似原理为基础，借助于系统模型对真实的或设想的系统进行实验研究的一门综合性实验技术。系统模型是系统某种特定性能的抽象形式，是进行仿真的基础。在控制系统研究、设计和仿真的过程中，首先要为被控对象建立数学模型。常用的建模方法有分析法、实验法和混合法三种。本章实验中所用的建模方法为分析法，即从已知的定理定律出发进行推导，应用机理建模方法，建立一个能够比较客观反映实际系统特性的数学模型，作为系统研究和设计的对象。

建模仿真实验包括四个项目，涵盖了部件建模仿真、被控对象（即电动机—负载）模型仿真、系统建模仿真等内容，要求根据给出的部件或系统的工作原理、方块图等条件，建立模型并完成规定的实验题目。

实验一 直流电动机建模及仿真实验

一、实验目的

本实验项目属于部件级的建模仿真实验。根据直流电动机的工作原理，建立模型，并求其频率特性及时域响应。实验目的：

- 了解直流电动机的工作原理。
- 了解直流电动机的技术指标。
- 掌握直流电动机的建模及分析方法。
- 学习计算直流电动机频率特性及时域响应的方法。

二、先修课程和预习要求

先修课程：

自动控制原理、自动控制系统、控制系统仿真、MATLAB 软件应用相关课程。

预习要求：

预习实验原理、实验过程及实验要求。

三、实验原理说明

原理框图：

直流电动机电枢回路的电路方程是：

$$u_a - E = iR_a + L_a \frac{di}{dt}$$

$$T_l = \frac{L_a}{R_a}$$

其中, u_a 是加到电动机两端的电压; E 是电动机反电势; i 是电枢电流; R_a 是电枢回路总电阻; L_a 是电枢回路总电感; T_l 是电枢回路电磁时间常数。

反电势 E 与电动机角速度 ω_m 成正比:

$$E = k_e \omega_m = k_e \dot{\theta}_m$$

其中, k_e 称为反电势系数; θ_m 为电动机轴的转角。

对于电动机而言, 其转动轴上的力矩方程为

$$k_m i - M_l = J_m \ddot{\theta}_m = J_m \dot{\dot{\theta}}_m$$

其中, k_m 是电动机的力矩系数; M_l 是负载力矩; J_m 是电动机电枢的转动惯量。

进行拉式变换得到:

$$\begin{cases} Ua(s) - E(s) = R_a(I(s) + T_l I(s)s) \\ E(s) = k_e \dot{\theta}_m(s) \\ k_m I(s) - M_l = J_m \dot{\dot{\theta}}_m(s)s \end{cases}$$

由此方程组可以得到相应的电动机数学模型的结构框图, 如图 1-1 所示。

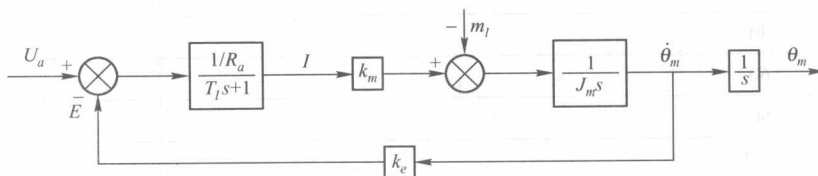


图 1-1 直流电动机数学模型结构框图

四、实验设备

- (1) 系统实验平台: 建模仿真实验平台。
- (2) PC: P4 2.4 GB、内存 512 MB、硬盘 120 GB。
- (3) IBM 服务器。
- (4) 网络交换机、集线器。
- (5) 操作系统: Windows 2000 以上; 软件工具: MATLAB。

五、注意事项

建立模型时应注意单位制的变换。

六、实验内容与步骤

实验要求:

- (1) 根据电动机的工作原理 (电压平衡方程、力矩平衡方程) 建立从电枢电压 u_a 到转速 $\dot{\theta}_m$ 的传递函数模型, 并根据表 1-1 所给电动机参数求其频率特性。表 1-1 共给出了两个

电动机的参数，其中 A 为大功率电动机，B 为小电动机。

表 1-1 电动机参数表

参 数	电动机 A	电动机 B	备 注
电枢电阻 R_a	4.80 Ω	13.5 Ω	
电枢电感 L_a	21 mH	21.5 mH	
力矩系数 k_m	46.32 $\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}$	0.27 $\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}$	
反电势系数 k_e	55.3 $\text{V}/(\text{rad}/\text{s})$	0.42 $\text{V}/(\text{rad}/\text{s})$	
电动机转动惯量 J	0.5 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	0.0005 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$	电枢部分

(2) 编制 MATLAB 或 Simulink 功率程序求电动机的调速特性，即不同负载力矩情况下电压和转速之间的关系，将数据填入表 1-2 和表 1-3。(提示：由于调速特性是电动机的静态特性，故可先推导出考虑负载力矩情况下电枢电压 U_a 与转速 θ_m 之间的静态模型，然后再仿真。)

表 1-2 电动机 A 调速特性表

序 号	电压/V	转速/ (rad/s) (空载)	转速/ (rad/s) (负载力矩 $M_f = 500 \text{ N} \cdot \text{m}$)	转速/ (rad/s) (负载力矩 $M_f = 1000 \text{ N} \cdot \text{m}$)
1	0			
2	10			
3	30			
4	60			
5	90			
6	120			
7	150			
8	180			
9	200			
10	220			

表 1-3 电动机 B 调速特性表

序 号	电压/V	转速/ (rad/s)	备 注
1	0		空载
2	2		
3	5		
4	7		
5	10		
6	12		
7	15		
8	18		
9	22		
10	24		

(3) 编制 MATLAB 或 Simulink 程序求电动机的机械特性, 即不同电压下负载力矩和转速之间的关系。(提示: 在仿真时可将电枢电压固定, 改变负载力矩的值, 即可求出 M_l 与转速 $\dot{\theta}_m$ 之间的关系。)

(4) 编制 MATLAB 或 Simulink 程序求电动机转速的阶跃响应, 并根据阶跃响应求出机电时间常数。(提示: 由于电动机的电磁时间常数较小, 故可将电压 U_a 与转速 $\dot{\theta}_m$ 之间的动态响应看作非周期环节, 所以能够从其阶跃响应求出机电时间常数。)

七、实验报告格式和要求

实验报告应包括以下内容:

1. 实验目的
2. 实验设备
3. 工作原理及实验要求
4. 实验方法及步骤
5. 软件设计(框图)
6. 实验结果及分析

实验二 直流电动机 - 负载建模及仿真实验

一、实验目的

在运动控制系统中电动机带动负载转动, 电动机 - 负载成为系统的被控对象。本实验项目要求根据电动机工作原理及动力学方程, 建立模型并仿真, 并掌握直流电动机 - 负载的模型的建立方法。

二、先修课程和预习要求

先修课程:

自动控制原理、自动控制系统、控制系统仿真、MATLAB 软件应用相关课程。

预习要求:

预习实验原理、实验过程。

三、实验原理说明

原理框图:

在很多应用场合中, 直流电动机的输出轴直接与负载轴相连, 转动部件固定在负载轴上, 即为常见的电动机直接驱动负载形式。如果不考虑传动轴在转动过程中的弹性形变, 即把传动轴的刚度看作无穷大, 就可以在系统设计过程中, 将执行电动机和负载视为一个整体对象, 这样被控对象的模型就可以用如图 1-2 所示的框图来表示。其中, U_r 表示控制电压; U_a , L_a , R_a 分别表示电动机的电枢电压, 电枢电感和电枢电阻; J_m 为电动机的转动惯量, J_L 为负载的转动惯量, 包括由电动机驱动的转动体、轴承内圈、转动轴、轴套、速度测量元件、角度测量元件以及被测试件折合到电动机轴上的转动惯量等; D_m 、 D_L 分别表示电动

机和负载的粘性阻尼系数； k_m 为电动机的电磁力矩系数； k_e 为电动机的反电势系数； θ_m 为电动机 - 负载的转角， $\dot{\theta}_m$ 为电动机 - 负载的角速度。

在这一实验中，认为电动机与负载的转角是相同的，并考虑了电动机及负载转动中产生的粘滞阻尼力矩，所以其电压方程、力矩方程变为如下形式：

$$\begin{cases} U_a(s) - E(s) = R_a(I(s) + T_l I(s)s) \\ E(s) = k_e \dot{\theta}_m(s) \\ k_m I(s) - M_l - (D_m + D_L) = (J_m + J_L) \dot{\theta}_m(s)s \end{cases}$$

由上述方程组可以得到相应的结构框图如图 1-2 所示。

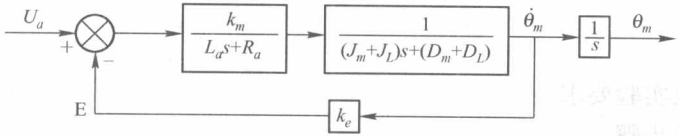


图 1-2 直流电动机 - 负载数学模型结构框图

四、实验设备

- (1) 系统实验平台：建模仿真实验平台。
- (2) PC：P4 2.4 GB、内存 512 MB、硬盘 120 GB。
- (3) IBM 服务器。
- (4) 网络交换机、集线器。
- (5) 操作系统：Windows 2000 以上；软件工具：MATLAB。

五、注意事项

建立模型时应注意单位制的变换。

六、实验内容与步骤

实验要求：

- (1) 建立从 u_a 到 $\dot{\theta}_m$ 的传递函数模型，求其频率特性，并与实验一中的电动机频率特性进行对比。
- (2) 分别取 $(D_m + D_L)_1 = 0.1 (D_m + D_L)$ 和 $(D_m + D_L)_2 = 0.01 (D_m + D_L)$ ，编制 MATLAB 或 Simulink 程序，比较阻尼系数不同时电动机 - 负载模型的频率特性。
- (3) 分别取 $J_{L1} = 0.1 J_L$ 和 $J_{L2} = 10 J_L$ ，编制 MATLAB 或 Simulink 程序，比较电动机 - 负载模型的频率特性。

实验所需具体参数如表 1-4 所示。

表 1-4 电动机参数

参 数		备 注
电枢电阻 R_a	4.80 Ω	
电枢电感 L_a	21 mH	

(续)

参 数		备 注
力矩系数 k_m	46.32 N · m/A	
反电势系数 k_e	55.3 V/ (rad/s)	
电动机转动惯量 J_m	0.5 kg · m ²	电枢部分
电动机阻尼系数 D_m	40 N · m/ (rad/s)	
负载转动惯量 J_L	25 kg · m ²	折合到转动轴上
$D_m + D_L$	270 N · m/ (rad/s)	

七、实验报告格式和要求

实验报告应包括以下内容：

1. 实验目的
2. 实验设备
3. 工作原理及实验要求
4. 实验方法及步骤
5. 软件设计（框图）
6. 实验结果及分析

实验三 考虑结构刚度时的直流电动机－负载建模及仿真实验

一、实验目的

电动机与负载通过转动轴相连，对于实际的系统，转动轴本质上是弹性的，存在形变。本实验项目要求在考虑轴的转动刚度的情况下建立电动机－负载模型，并与实验二进行比较。实验目的为：

- 掌握考虑结构刚度时直流电动机－负载的模型的建立方法。
- 了解不同的结构刚度对模型的影响。

二、先修课程和预习要求

先修课程：

自动控制原理、自动控制系统、控制系统仿真、MATLAB 软件应用相关课程。

预习要求：

预习实验原理、实验过程及实验要求。

三、实验原理说明

原理框图：

实验二中的模型没有考虑转动轴的弹性形变问题，也即把电动机与负载当作一个刚体来考虑，而对于实际的系统，虽然电动机与负载是直接耦合的，但转动轴本质上是弹性的，存

在形变，而且轴承和框架也都不完全是刚性的。对于加速度要求大、快速性和精度要求高的系统或是转动惯量大、性能要求高的系统，弹性形变对系统性能的影响不能忽略，因此在建立类似的电动机-负载模型时，轴的刚度系数，即单位转角产生的力矩是一个重要参数。

考虑到以上各种弹性体，可将被控系统视为图 1-3 所示结构，由电动机、纯惯性负载以及连接二者的等效传递轴所组成的三质量系统。

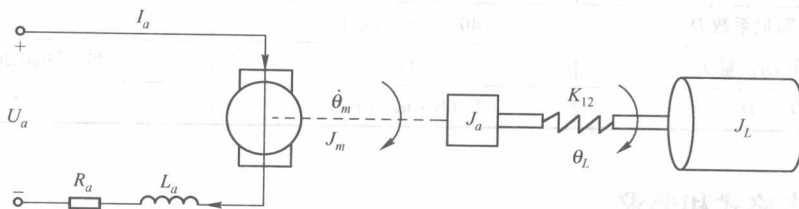


图 1-3 电动机-传动机构-负载模型

根据上面的分析并忽略轴的转动惯量，可以列出整个系统的电学方程以及动力学方程：

电动机：

$$iR_a + L_a \frac{di}{dt} = u_a - K_e \dot{\theta}_m$$

$$T_m = ik_m$$

$$J_m \ddot{\theta}_m = T_m - D_m \dot{\theta}_m - k_{12}(\theta_m - \theta_L)$$

负载：

$$J_L \ddot{\theta}_L = T_{mL} - D_L \dot{\theta}_L$$

$$k_{12}(\theta_m - \theta_L) - T_{mL} = 0$$

其中， θ_m 和 θ_L 分别表示电动机转子和负载的转角； i 、 U_a 、 L_a 和 R_a 分别表示电动机的电枢电流、电枢电压、电枢电感和电枢电阻； J_m 、 J_L 分别为电动机转子和负载的转动惯量， T_{mL} 表示电动机的负载力矩； K_m 和 K_e 分别表示电动机的电磁力矩系数和反电势系数； K_{12} 表示轴的刚度系数； D_L 和 D_m 分别表示电动机和框架的粘性阻尼系数。

此时的方块图如图 1-4 所示。

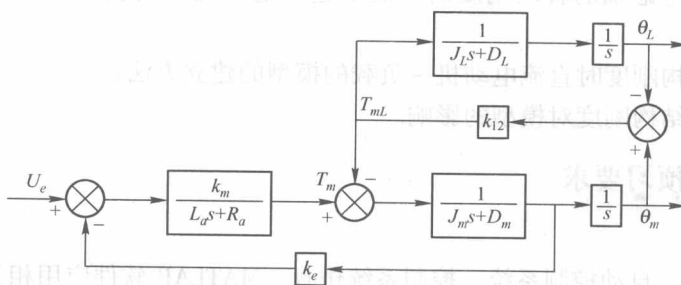


图 1-4 电动机-负载模型方块图

一般地，弹性变形与机械装置的结构、尺寸、材料和受力情况有关。从系统特性分析，弹性变形使执行轴转角和负载转角之间存在一个振荡环节，从复平面上看，该振荡环节对应一对距离虚轴很近的共轭复根，阻尼系数小。这样的振荡环节具有较高的谐振峰值。如果谐振频率处于系统通频带之外，则可认为其对系统动态性能无影响；反之，若谐振频率处于系统通频带之内，则对系统影响较大。

四、实验设备

- (1) 系统实验平台：建模仿真实验平台。
- (2) PC：P4 2.4 GB、内存 512 MB、硬盘 120 GB。
- (3) IBM 服务器。
- (4) 网络交换机、集线器。
- (5) 操作系统：Windows 2000 以上；软件工具：MATLAB。

五、注意事项

建立模型时应注意单位制的变换。

六、实验内容与步骤

实验要求：

- (1) 根据以上的动力学方程及框图求出从 u_a 到 θ_m 的传递函数模型，并求其频率特性。
- (2) 求出从 θ_m 到 θ_L 的传递函数模型，并求其频率特性和根轨迹。
- (3) 分别取 $K_{12} = 0.1K_{12}$ 和 $K_{12} = 0.01K_{12}$ ，编制 MATLAB 或 Simulink 程序，比较刚度系数不同时电动机 - 负载模型的频率特性（从 u_a 到 θ_L ）。

实验所需参数如表 1-5 所示。

表 1-5 实验所需参数

参 数		备 注
电枢电阻 R_a	4.80 Ω	
电枢电感 L_a	21 mH	
力矩系数 k_m	46.32 N · m/A	
反电势系数 k_e	55.3 V/ (rad/s)	
电动机转动惯量 J_m	0.5 kg · m ²	电枢部分
电动机阻尼系数 D_m	40 N · m/ (rad/s)	
负载转动惯量 J_L	25 kg · m ²	折合到转动轴上
$D_L + D_m$	270 N · m/ (rad/s)	
轴刚度 k_{12}	32000 N · m/度	建模时应转换为国际标准单位

七、实验报告格式和要求

实验报告应包括以下内容：

1. 实验目的
2. 实验设备
3. 工作原理及实验要求
4. 实验方法及步骤

5. 软件设计（框图）

6. 实验结果及分析

实验四 位置伺服系统建模及仿真实验

一、实验目的

本项目在建立电动机-负载这一被控对象模型后，加入系统的控制器，组成一个闭环控制系统，通过仿真检验系统性能。主要实验目的如下：

- 了解位置伺服系统的组成及工作原理。
- 了解不同控制策略对系统性能的影响。

二、先修课程和预习要求

先修课程：

自动控制原理、自动控制系统、控制系统仿真、MATLAB 软件应用相关课程。

预习要求：

预习实验原理、实验过程。

三、实验原理说明

原理框图：

图 1-5 是一个以直流电动机为驱动元件的位置伺服系统的框图， $G_c(s)$ 为控制器， u_f 为与作用于转动轴上的摩擦力矩相对应的电压值。

对于位置伺服控制系统，控制器的输出并不直接驱动电动机，而是经过 D/A 转换及功率放大后驱动电动机带动负载运动。控制的目标是使由位置传感器及测量装置给出位置反馈信号跟踪指令信号。实际的控制对象中包含 D/A、功率放大器、电动机、负载、位置传感器及测量装置等环节，在本实验项目中，将各环节的模型适当简化，得到广义被控对象为如下形式：

$$G_p = \frac{1}{Js^2 + Bs}$$

其中， J 为等效转动惯量； B 为等效阻尼系数。

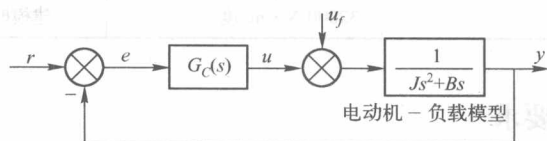


图 1-5 位置伺服系统方块图

四、实验设备

- (1) 系统实验平台：建模仿真实验平台。

- (2) PC: P4 2.4 GB、内存 512 MB、硬盘 120 GB。
- (3) IBM 服务器。
- (4) 网络交换机、集线器。
- (5) 操作系统: Windows 2000 以上; 软件工具: MATLAB。

五、注意事项

建立模型时应注意单位制的变换。

六、实验内容与步骤

实验要求:

(1) 采用 PID 控制器对系统进行仿真, 求出负载转角的响应曲线。要求考虑摩擦力矩、控制器输出饱和等非线性因素的影响。

系统仿真框图如图 1-6 所示, 图中的 θ 为负载转角, u 为控制器输出, K_p 、 K_v 分别为比例和微分系数。该仿真软件包含四个程序, 具体见表 1-6 所示。

表 1-6 仿真软件包功能列表

	名 称	功 能	备 注
1	Pd_with_friction. mdl	主运行程序	在 Simulink 环境下运行
2	Fmdl1. m	仿真摩擦力矩模型	用 MATLAB 编写
3	Para_pdwithfriction. m	加载仿真所需参数	用 MATLAB 编写, 双击图 1-6 中的 “Double click here for load parameters” 按钮则可运行该程序
4	Postpdwithfriction. m	绘制重要参数的曲线	用 MATLAB 编写, 双击图 1-6 中的 “Double click here for plot” 按钮则可运行该程序

仿真实验的操作顺序为:

1) 设置输入指令。系统的位置指令为正弦信号, 在仿真之前应设置其幅值和频率。应当注意, MATLAB 中正弦信号的幅值是以 rad 为单位的, 而频率是以 rad/s 为单位的。

2) 双击图 6.1 中的 “Double click here for load parameters” 按钮加载对象模型及控制器参数。

3) 利用 Simulink 的 simulation \ parameter 菜单设置仿真参数, 令仿真步长为变步长, 选则 ode45 算法。

4) 单击 Simulink 的 ► 按钮进行仿真。

5) 双击图 1-6 中的 “Double click here for plot” 按钮绘制曲线。也可以将变量输出至工作空间 (MATLAB workspace) 自编程画图。

(2) 采用 PID + 干扰观测器 (DOB) 控制器对系统进行仿真, 求出负载转角的响应曲线, 并与 PID 控制的响应曲线进行比较。仿真时要求考虑摩擦力矩、控制器输出饱和等非线性因素的影响。

干扰观测器的主要作用是抑制摩擦力矩的影响, 消除低速时的死区。有关干扰观测器的原理请查阅有关文献。