

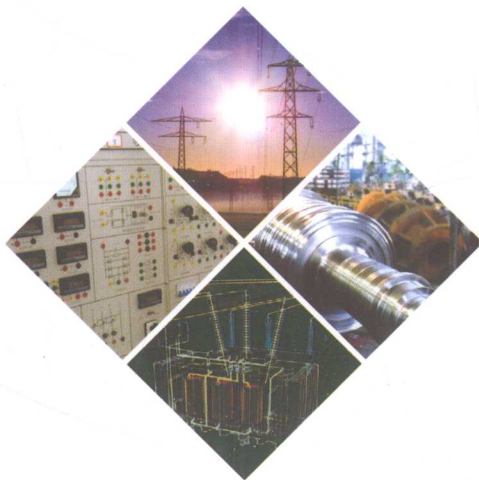


自动化类专业系列实验教材
AUTOMATION

COMPREHENSIVE EXPERIMENT OF MOTION CONTROL SYSTEMS

运动控制系统 综合实验教程

顾春雷 陈冲 陈中 沈翠凤◎编著



清华大学出版社





自动化类专业系列实验教材

AUTOMATION

COMPREHENSIVE EXPERIMENT OF MOTION CONTROL SYSTEMS

运动控制系统 综合实验教程

顾春雷 陈冲 陈中 沈翠凤◎编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍了电力电子技术、电力拖动自动控制和运动控制系统方面的实验,这类实验教学内容繁多,实验系统比较复杂,系统性较强。实验教学是课程理论教学的重要补充和继续,理论教学则是实验教学的基础,学生在实验过程中应学会运用所学的理论知识分析和解决实际系统中出现的各种问题,提高动手能力;同时通过实验验证理论,促使理论与实践相结合,使认识不断提高、深化。

本书的特点是引进计算机仿真技术,将虚拟实验与传统的实际工程实验有机结合,培养学生的实验技能,而且内容详细完整,能与大多数高等学校的实验设备配套。

本书可以作为全日制高等院校各电类专业开设电力电子技术、电力拖动自动控制系统、控制系统设计和仿真等课程的实验指导书,也可供有关工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

运动控制系统综合实验教程/顾春雷,陈冲,陈中,沈翠凤编著. —北京:清华大学出版社,2017

(自动化类专业系列实验教材)

ISBN 978-7-302-46198-2

I. ①运… II. ①顾… ②陈… ③陈… ④沈… III. ①自动控制系统—实验—高等学校—教材
IV. ①TP273-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 007869 号

责任编辑:文 怡

封面设计:李召霞

责任校对:焦丽丽

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:17.5

字 数:362 千字

版 次:2017 年 2 月第 1 版

印 次:2017 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00 元

产品编号:070699-01

为适应教学改革的需要,加强学生理论联系实际的能力,全面提高学生的实际操作技能和创新思维能力,培养学生分析问题和解决问题的能力,同时结合当前高等教育教学改革的形势及培养应用型、创新型人才的需求,作者团队编写了本书。

本书综合了电力电子技术、电力拖动自动控制系统和运动控制系统、控制系统仿真等课程教学大纲中的实验内容,同时也考虑到开设专题实验的需求。全书共 12 章,主要包括实验装置的技术性能以及各单元的组件挂箱介绍,电力电子技术、电力拖动自动控制系统和运动控制系统等课程相关实验的实验目的、实验原理、实验内容和实验方法。

书中既包括传统的验证性实验,又增加了设计性、综合性实验项目以及相应的仿真实验,强化了工程应用能力的培养,注重培养学生的自学能力和创新精神。通过基础实验使学生掌握基本实验技能,通过设计性和综合性实验培养学生的创新能力和计算机应用能力。

实验教学平台是浙江天煌科技实业有限公司开发的 DJDK-1 型电力电子技术及电机控制实验教学装置。该装置是一种大型综合性实验装置,可以用来完成电力电子技术、电力拖动控制系统、运动控制系统等系列课程的全部教学实验,并可以开设运动控制系统的专题实验。

本书的编写、出版得到了浙江天煌科技实业有限公司的大力支持,同时本书也得到盐城工学院教材资金资助,谨在此表示衷心的感谢。

限于作者的水平,书中难免存在不足和不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

编 者

2016 年 12 月

第 1 章 实验概述	1
1.1 实验要求	1
1.2 实验准备	2
1.3 实验实施	2
1.4 实验总结	3
第 2 章 实验装置	4
2.1 概述	4
2.2 实验装置及技术参数	5
2.3 实验装置的挂件配置	5
2.4 主要实验挂件的介绍	6
2.4.1 电源控制屏(DJK01)	6
2.4.2 三相变流电路(DJK02)	7
2.4.3 三相晶闸管触发电路(DJK02-1)	9
2.4.4 晶闸管触发电路(DJK03-1)	10
2.4.5 电机调速控制实验 I(DJK04)	10
2.4.6 电机调速控制实验 II (DJK04-1)	16
2.4.7 给定及实验器件(DJK06)	19
2.4.8 单相调压与可调负载(DJK09)	20
2.4.9 变压器实验(DJK10)	21
2.4.10 三相异步电机变频调速控制(DJK13)	21
2.4.11 双闭环 H 桥 DC/DC 变换直流调速(DJK17)	24
2.4.12 半桥型开关稳压电源(DJK19)	24
2.4.13 直流斩波实验(DJK20)	25

2.4.14	单端反激式隔离开关电源(DJK23)	26
第3章	电力电子技术与电机控制认识实验	27
3.1	晶闸管触发电路实验	27
3.1.1	实验目的	27
3.1.2	实验设备	27
3.1.3	实验内容	27
3.1.4	实验原理	28
3.1.5	实验方法	30
3.1.6	实验报告	32
3.1.7	注意事项	33
3.1.8	思考题	33
3.2	晶闸管直流调速系统主要控制单元的调试	33
3.2.1	实验目的	33
3.2.2	实验设备	33
3.2.3	实验内容	34
3.2.4	实验原理	34
3.2.5	实验方法	34
3.2.6	预习报告	38
3.2.7	实验报告	38
3.2.8	思考题	38
第4章	电力电子技术实验	39
4.1	单相桥式半控整流电路实验	39
4.1.1	电路工作原理	39
4.1.2	单相桥式半控整流电路 MATLAB/Simulink 仿真实验 设计与实现	41
4.1.3	单相桥式半控整流电路 DJDK-1 型电力电子技术及电 机控制实验台实验	47
4.1.4	预习报告	51
4.1.5	实验报告	51
4.1.6	注意事项	52
4.1.7	思考题	52
4.2	单相桥式全控整流及有源逆变电路实验	52

4.2.1	电路工作原理	52
4.2.2	单相桥式全控整流及有源逆变电路 MATLAB/Simulink 仿真实验设计与实现	54
4.2.3	单相桥式全控整流及有源逆变电路 DJDK-1 型电力电 子技术及电机控制实验台实验	61
4.2.4	预习报告	66
4.2.5	实验报告	66
4.2.6	注意事项	66
4.2.7	思考题	66
4.3	三相半波可控整流电路实验	67
4.3.1	电路工作原理	67
4.3.2	三相半波可控整流电路 MATLAB/Simulink 仿真实验 设计与实现	70
4.3.3	三相半波可控整流电路 DJDK-1 型电力电子技术及电 机控制实验台实验	75
4.3.4	预习报告	79
4.3.5	实验报告	79
4.3.6	注意事项	79
4.3.7	思考题	79
4.4	三相桥式半控整流电路实验	79
4.4.1	电路工作原理	79
4.4.2	三相桥式半控整流电路 MATLAB/Simulink 仿真实验 设计与实现	82
4.4.3	三相桥式半控整流电路 DJDK-1 型电力电子技术及电 机控制实验台实验	85
4.4.4	预习报告	88
4.4.5	实验报告	89
4.4.6	思考题	90
4.5	三相桥式全控整流及有源逆变电路实验	90
4.5.1	电路工作原理	90
4.5.2	三相桥式全控整流及有源逆变电路 MATLAB/Simulink 仿真实验设计与实现	96
4.5.3	三相桥式全控整流电路 DJDK-1 型电力电子技术及电 机控制实验台实验	101

4.5.4	预习报告	106
4.5.5	实验报告	106
4.5.6	注意事项	106
4.5.7	思考题	107
4.6	反激式电流控制开关稳压电源实验	107
4.6.1	电路工作原理	107
4.6.2	反激式电流控制开关稳压电源 MATLAB/Simulink 仿 真实验设计与实现	107
4.6.3	反激式电流控制开关稳压电源 DJDK-1 型电力电子技 术及电机控制实验台实验	110
4.6.4	实验报告	113
4.6.5	注意事项	113
4.6.6	思考题	113
4.7	半桥型开关稳压电源的性能研究	114
4.7.1	电路工作原理	114
4.7.2	半桥型开关稳压电源 MATLAB/Simulink 仿真实验设 计与实现	114
4.7.3	半桥型开关稳压电源 DJDK-1 型电力电子技术及电机 控制实验台实验	117
4.7.4	实验报告	121
4.7.5	注意事项	121
4.7.6	思考题	121
4.8	直流斩波电路的性能研究	121
4.8.1	电路工作原理	121
4.8.2	直流斩波电路 MATLAB/Simulink 仿真实验设计与实现	123
4.8.3	直流斩波电路 DJDK-1 型电力电子技术及电机控制实 验台实验	128
4.8.4	实验报告	131
4.8.5	注意事项	131
4.8.6	思考题	131
第 5 章	直流调速系统实验	132
5.1	单闭环不可逆直流调速系统	132
5.1.1	系统组成与工作原理	132

5.1.2	单闭环不可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 仿真实验设计与实现	133
5.1.3	单闭环不可逆直流调速系统 DJDK-1 型电力电子技术 及电机控制实验台实验	139
5.1.4	预习报告	146
5.1.5	实验报告	146
5.1.6	注意事项	146
5.1.7	思考题	146
5.2	双闭环不可逆直流调速系统	147
5.2.1	系统组成与工作原理	147
5.2.2	双闭环不可逆直流调速系统 MATLAB/SimPowerSystem 仿真实验设计与实现	148
5.2.3	双闭环不可逆直流调速系统 DJDK-1 型电力电子技术 及电机控制实验台实验	151
5.2.4	预习报告	158
5.2.5	实验报告	159
5.2.6	注意事项	159
5.2.7	思考题	159
5.3	逻辑无环流可逆直流调速系统	159
5.3.1	系统组成与工作原理	159
5.3.2	逻辑无环流可逆直流调速系统 MATLAB/ SimPowerSystem 仿真实验设计与实现	160
5.3.3	逻辑无环流可逆直流调速系统 DJDK-1 型电力电子技 术及电机控制实验台实验	166
5.3.4	预习报告	175
5.3.5	实验报告	175
5.3.6	注意事项	175
5.3.7	思考题	175
5.4	双闭环控制可逆直流脉宽调速系统	175
5.4.1	系统组成与工作原理	175
5.4.2	双闭环控制可逆直流脉宽调速系统 MATLAB/ SimPowerSystem 仿真实验设计与实现	176
5.4.3	双闭环控制可逆直流脉宽调速系统 DJDK-1 型电力电子 技术及电机控制实验台实验	178
5.4.4	预习报告	185



5.4.5	实验报告	185
5.4.6	注意事项	185
5.4.7	思考题	185
第6章	交流调速系统实验	186
6.1	双闭环三相异步电机调压调速系统	186
6.1.1	转速负反馈闭环控制的交流调压调速系统组成与工作 原理	186
6.1.2	单闭环三相异步电机调压调速系统 MATLAB/ SimPowerSystem 仿真实验设计与实现	187
6.1.3	双闭环三相异步电机调压调速系统 DJDK-1 型电力电 子技术及电机控制实验台实验	189
6.1.4	预习报告	196
6.1.5	实验报告	196
6.1.6	注意事项	197
6.1.7	思考题	197
6.2	双闭环三相异步电机串级调速系统	197
6.2.1	系统组成与工作原理	197
6.2.2	双闭环三相异步电机串级调速系统 MATLAB/ SimPowerSystem 仿真实验设计与实现	197
6.2.3	双闭环三相异步电机串级调速系统 DJDK-1 型电力电 子技术及电机控制实验台实验	200
6.2.4	预习报告	207
6.2.5	实验报告	207
6.2.6	注意事项	208
6.2.7	思考题	208
6.3	三相异步电机变频调速系统	208
6.3.1	实验目的	208
6.3.2	实验设备	208
6.3.3	实验原理	208
6.3.4	实验内容	211
6.3.5	实验方法	211
6.3.6	实验报告	212
6.3.7	注意事项	212

6.3.8 思考题	212
第7章 双闭环直流调速系统转速超调抑制的仿真	213
7.1 实验目的	213
7.2 实验原理	213
7.2.1 转速微分负反馈	213
7.2.2 转速积分分离的 PI 控制	215
7.2.3 转速内模控制	215
7.3 实验内容	217
7.4 实验器材	217
7.5 实验仿真	217
7.5.1 转速微分负反馈的双闭环直流调速系统仿真	217
7.5.2 转速积分分离的双闭环直流调速系统仿真	219
7.5.3 转速内模控制的双闭环直流调速系统	220
7.6 实验报告	222
7.7 思考题	222
第8章 基于单神经元 PID 控制的双闭环直流调速系统仿真	223
8.1 实验目的	223
8.2 实验原理	223
8.2.1 基于 MATLAB 的 S-函数的编写方法	223
8.2.2 单神经元 PID 控制原理	225
8.3 实验内容	227
8.4 实验器材	227
8.5 实验仿真	227
8.5.1 仿真模型建立及参数设置	227
8.5.2 仿真结果	230
8.6 实验报告	231
8.7 思考题	231
第9章 基于 BP 神经网络 PID 控制的双闭环直流调速系统仿真	232
9.1 实验目的	232
9.2 实验原理	232
9.3 实验内容	235



9.4	实验器材	235
9.5	实验仿真	235
9.5.1	仿真模型建立及参数设置	235
9.5.2	仿真结果	239
9.6	实验报告	240
9.7	思考题	240
第 10 章	基于模糊自适应 PID 控制的双闭环直流调速系统仿真	241
10.1	实验目的	241
10.2	实验原理	241
10.3	实验内容	243
10.4	实验器材	243
10.5	实验仿真	243
10.5.1	仿真模型建立及参数设置	243
10.5.2	仿真结果	249
10.6	实验报告	250
10.7	思考题	250
第 11 章	转速、磁链闭环控制的矢量控制系统仿真	251
11.1	实验目的	251
11.2	实验原理	251
11.3	实验内容	252
11.4	实验器材	252
11.5	实验仿真	252
11.5.1	仿真模型建立及参数设置	252
11.5.2	仿真结果	255
11.6	实验报告	256
11.7	思考题	256
第 12 章	按定子磁链定向直接转矩控制系统仿真	257
12.1	实验目的	257
12.2	实验原理	257
12.3	实验内容	258
12.4	实验器材	258
12.5	实验仿真	258

12.5.1 仿真模型建立及参数设置	258
12.5.2 仿真结果	264
12.6 实验报告	265
12.7 思考题	265
参考文献	266

实 验 概 述

运动控制系统是电气类、自动化类等专业的专业课程,内容涵盖电机与拖动基础、电力电子技术、模拟电子技术、数字电子技术、自动控制原理、微机原理与接口技术等多门课程知识,具有综合性强、实践性强的特点。运动控制系统综合实验环节是这些课程的重要组成部分,通过计算机仿真与实验台实验,进一步加深学生对理论知识的理解,提高学生的实践动手能力,培养学生分析问题、解决问题的能力。

1.1 实验要求

电力电子技术、电力拖动控制系统及运动控制系统实验教学内容繁多,实验系统比较复杂,系统性较强。运动控制系统专题计算机仿真与实验教学是上述课程理论教学的重要补充和继续。理论教学则是实验教学的基础,学生在实验过程中应学会运用所学理论知识分析和解决实际系统中出现的各种问题,提高动手能力;同时,通过实验验证理论,促使理论和实践相结合,使认识不断提高、深化。具体地说,学生在完成本课程实验教学后,应具备以下能力:

(1) 掌握电力电子变流装置主电路、触发或驱动电路的构成及调试方法,能初步设计和应用这些电路。

(2) 掌握交流、直流电机控制系统的组成和调试方法,系统参数的测量和整定方法。

(3) 能设计交流、直流电机控制系统的具体实验线路。

(4) 熟悉并掌握实验装置、测试仪器的性能及使用方法。

(5) 能够运用理论知识对实验现象、结果进行分析和处理,解决实验中遇到的问题。

(6) 能够综合分析实验数据,解释实验现象,撰写实验报告,完成思考题。

(7) 掌握 MATLAB 仿真工具,熟练运用 Simulink 和 SimPowersystem 工具箱建立电力电子变流电路与电机控制系统仿真模型,设计仿真实验。

本实验教程主要介绍电力电子技术和运动控制系统方面的实验。电力电子技术方面的实验可选做单相整流电路及各类触发电路、三相整流电路及有源逆变电路、开关稳压电源、直流斩波电路性能研究等实验；直流调速系统实验可选做单闭环不可逆直流调速系统、双闭环不可逆直流调速系统、逻辑无环流可逆直流调速系统、双闭环控制可逆直流脉宽调速系统等实验；交流调速系统实验则可选做双闭环三相异步电机调压调速系统、双闭环三相异步电机串级调速系统、三相异步电机变频调速等实验。第7~12章仿真实验项目可根据实际情况选做。

1.2 实验准备

实验准备是保证实验教学顺利进行的必要环节。每次实验前都应先进行预习,从而提高实验质量和效率,否则就有可能在实验过程中不能正确运用实验的基本原理,浪费时间,完不成实验要求,甚至损坏实验装置。因此,实验前应做到以下4点:

(1) 复习理论课程中与实验有关的内容,熟悉与本次实验相关的理论知识。

(2) 阅读本实验教程中的实验指导,了解本次实验的目的和内容,掌握本次实验的原理和方法。

(3) 写预习报告,其中应包括计算机仿真建模与实验系统的详细接线图、实验步骤、数据记录表格等。

(4) 进行实验分组。电力电子技术,交流、直流调速系统的实验小组为每组2~3人。

1.3 实验实施

在完成理论学习、实验预习等环节后,就可进入实验实施阶段。实验时应做到以下7点:

(1) 实验开始前,指导教师要对学生的预习报告进行检查,要求学生了解本次实验的目的、内容和方法,只有满足此要求后,方可进行实验。

(2) 指导教师对实验装置作介绍,要求学生熟悉本次实验使用的实验设备、仪器,明确这些设备的基本功能与使用方法。

(3) 按实验小组进行实验。实验小组成员应进行明确的分工,以保证实验操作协调,记录数据准确可靠,每个人的任务在实验进行中应实行轮换,以便所有实验参与者都能全面掌握实验技术,提高动手能力。

(4) 按预习报告上的实验系统详细线路图接线。一般情况下,接线次序为先主电路,

后控制电路；先串联，后并联。在进行调速系统实验时，也可由2人同时进行主电路和控制电路的接线。

(5) 完成实验系统接线后，必须进行自查。串联回路从电源的某一端出发，按回路逐项检查各仪表、设备、负载的位置、极性是否正确；并联支路则检查其两端的连接点是否在指定的位置。距离较远的两连接端必须选用长导线直接跨接，不得用2根导线在实验装置上的某接线端进行过渡连接。自查完成后，须经实验指导教师进一步复查后，征得指导教师同意后，方可通电实验。

(6) 实验时，应按实验教程所提出的要求及步骤，逐项进行实验和操作。除做阶跃启动试验外，系统启动前，应使负载电阻值最大，给定电位器处于零位；测试数据记录点的分布应均匀；改接线路时，必须断开主电源方可进行。实验中应观察实验现象是否正常，所得数据是否合理，实验结果是否与理论相一致。

(7) 完成本次实验全部内容后，应请指导教师检查实验数据、记录的波形。经指导教师认可后方可拆除接线，整理好连接线、仪器、工具，使之物归原位。

1.4 实验总结

实验的最后阶段是实验总结，即对实验数据进行整理，绘制波形和图表，分析实验现象，撰写实验报告。每位实验参与者均须独立完成一份实验报告，实验报告的撰写应持严肃认真、实事求是的科学态度。当实验结果与理论有较大出入时，不得随意修改实验数据和结果，不得用凑数据的方法向理论靠拢，而应该用理论知识分析实验数据和结果，解释实验现象，找出引起较大误差的原因。

实验报告的基本内容如下：

- (1) 实验名称、专业班级、学生姓名、同组者姓名和实验时间。
- (2) 实验目的、实验线路和实验内容。
- (3) 实验设备、仪器、仪表型号、规格、铭牌数据及实验装置编号。
- (4) 实验数据的整理、列表、计算，并列出具体的计算公式。
- (5) 画出与实验数据相对应的特性曲线及记录的波形。
- (6) 用理论知识对实验结果进行分析总结，得出明确的结论。
- (7) 对实验中出现的某些现象、遇到的问题进行分析、讨论，写出心得体会，并对实验提出自己的建议和改进措施。

实 验 装 置

2.1 概述

DJDK-1 型电力电子技术及电机控制实验教学装置(见图 2-1),是浙江天煌科技实业有限公司开发的一种大型综合性实验装置,可以用来完成电力电子技术、电力拖动控制系统、运动控制系统等系列课程的全部教学实验,并可以开设运动控制系统的专题实验。

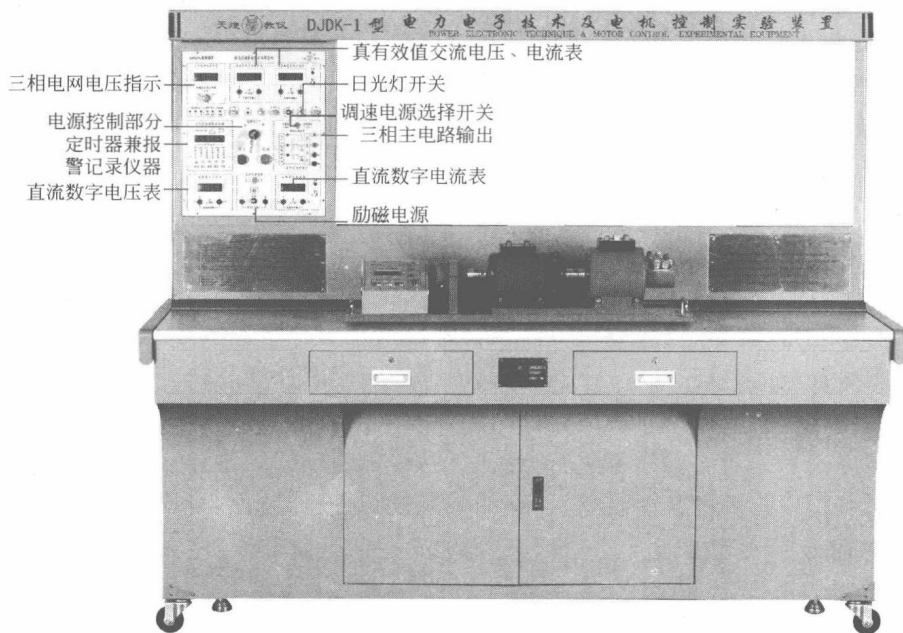


图 2-1 DJDK-1 电力电子技术及电机控制实验教学装置外观