

全国普通高校自动化类专业规划教材



ELECTRIC MACHINE EXPERIMENTS AND MATLAB SIMULATION

电机与拖动控制实验 及其MATLAB仿真



曹永娟 © 编著

Cao Yongjuan

清华大学出版社



全国普通高校自动化类专业规划教材

ELECTRIC MACHINE EXPERIMENTS AND MATLAB SIMULATION

电机与拖动控制实验 及其MATLAB仿真



曹永娟 ◎编著

Cao Yongjuan

清华大学出版社

内 容 简 介

本书分上、下两篇。上篇为电机与拖动控制实验教程,针对 MCL 系列电机实验教学系统进行介绍,包括变压器、同步电机、异步电机、直流电机以及直流调速系统、交流调速系统拖动控制实验内容。

下篇为电机与拖动控制系统的 MATLAB 仿真,介绍 MATLAB 仿真技术在电机与拖动领域应用的实例,仿真实例基于 MATLAB R2009b 平台编写。

本书可以作为电气工程与自动化类专业开设电机学、电力电子和电力拖动自动控制系统类课程的教学辅导用书或选修课教材,也可供相关专业研究生和工程技术人员学习与参考。

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

电机与拖动控制实验及其 MATLAB 仿真/曹永娟编著. —北京:清华大学出版社,2014

全国普通高校自动化类专业规划教材

ISBN 978-7-302-36929-5

I. ①电… II. ①曹… III. ①Matlab 软件—应用—电力传动—高等学校—教材 ②Matlab 软件—应用—电机—控制系统—高等学校—教材 IV. ①TM30-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 131290 号

责任编辑:梁 颖 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:白 蕾

责任印制:李红英

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:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:10.75

字 数:257 千字

版 次:2014 年 12 月第 1 版

印 次:2014 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:25.00 元

产品编号:054684-01

电机与拖动控制实验作为电气与自动化专业的基础技术类实验课程,目的在于培养学生的动手实践及创新能力,培养学生掌握理论指导下的实验方法,锻炼学生的实际操作能力以及正确使用常规电机的方法,使学生学会利用理论和计算机对测量的实验数据进行合理分析,得出正确结论,并在此基础上进行研究。

近年来,计算机仿真技术为电机学及拖动控制的分析研究提供了全新的方法,可以使复杂的电机内部磁场、拖动控制系统的分析和设计变得更加容易和有效,也是学习电机学和拖动控制的重要手段。现在用于电机学和拖动控制系统的仿真软件很多,其中 MATLAB 仿真软件凭借其强大的数值计算能力、出色的数据图形可视化技术以及不断丰富的 Simulink 动态仿真模型库,已成为高效数值计算和可视化软件的一个代表,特别是在 Simulink 环境下使用的电力系统模块库(SimPowerSystems),它可用于电路、电力电子技术、电机与拖动控制系统以及电力传输系统等工程技术问题的仿真。MATLAB 仿真软件被广泛应用于工程领域,在高校和科研院所也已成为教学、学术活动、技术研发和工程设计的重要仿真软件,更是当今工科院校毕业生必须掌握的仿真工具。

本书是一本将电机实验、拖动控制实验和 MATLAB 仿真技术有机结合在一起的实践性教材,不仅结合电气、自动化专业的特点,以电机与拖动控制系统中应用最广泛的电机和拖动控制为重点,从实验的角度介绍变压器、同步电机、异步电机、直流电机以及交直流拖动控制的基本实验原理和方法等,同时结合 MATLAB 仿真技术,利用 MATLAB 软件对变压器特性、交直流电机运行特性及交直流调速系统等进行仿真分析。本书将实验与仿真技术结合,实验结果与仿真结果相互验证,为课程学习提供新思路和新方法。当学生有一些想法和创造灵感时,首先可以通过仿真来验证,然后再搭建实验线路,这对培养学生的创新能力无疑是很有意义的,并且有利于调动学生学习的积极性。

本书承蒙东南大学林明耀教授主审,并提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。本书中的实验内容是基于浙江求是科教设备有限公司提供的 MCL-II 型电机教学实验台进行编写的,在编写的过程中参考和使用了部分兄弟院校的教材及国内外文献资料,在此对原作者一并表示诚挚的谢意。本书编写得到南京信息工程大学教材建设基金的资助和支持。此外,南京信息工程大学的王玉芳老师及电气工程系的各位老师对本书提出了许多宝贵的意见和建议,在此对他们表示衷心的感谢。

因编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2014 年 9 月

上篇 电机与拖动控制实验

第 1 章 电机实验装置和基本要求	3
1.1 MCL-Ⅱ 型电机教学实验台	3
1.2 实验装置和挂件箱的使用	4
1.2.1 MCL-Ⅱ 型电机实验装置交流及直流电源操作说明	4
1.2.2 仪表的使用	5
1.2.3 挂件箱的使用	6
1.2.4 交直流电机的使用	10
1.2.5 导轨、测速发电机及转速计的使用	11
第 2 章 电机与拖动控制实验基本要求和安全操作规程	12
2.1 实验基本要求	12
2.2 实验前的准备	12
2.3 实验的进行	12
2.4 实验报告	13
2.5 实验安全操作规程	13
第 3 章 变压器实验	14
3.1 单相变压器	14
3.1.1 实验目的	14
3.1.2 预习要点	14
3.1.3 实验项目	14
3.1.4 实验设备及仪器	14
3.1.5 实验方法	14
3.1.6 实验报告	17
3.2 三相变压器	18
3.2.1 实验目的	18
3.2.2 预习要点	18
3.2.3 实验项目	19
3.2.4 实验设备及仪器	19
3.2.5 实验方法	19
3.2.6 实验报告	22
3.3 三相变压器的连接组和不对称短路	23
3.3.1 实验目的	23

3.3.2	预习要点	23
3.3.3	实验项目	23
3.3.4	实验设备及仪器	24
3.3.5	实验方法	24
3.3.6	实验报告	29
3.3.7	附录	29
3.4	三相变压器的并联运行	30
3.4.1	实验目的	30
3.4.2	预习要点	30
3.4.3	实验项目	30
3.4.4	实验设备及仪器	30
3.4.5	实验方法	31
3.4.6	实验报告	32
第 4 章	同步电机实验	33
4.1	三相同步发电机的运行特性	33
4.1.1	实验目的	33
4.1.2	预习要点	33
4.1.3	实验项目	33
4.1.4	实验设备及仪器	33
4.1.5	实验方法	34
4.1.6	实验报告	37
4.1.7	思考题	38
4.2	三相同步发电机的并联运行	38
4.2.1	实验目的	38
4.2.2	预习要点	38
4.2.3	实验项目	38
4.2.4	实验设备及仪器	38
4.2.5	实验方法	39
4.2.6	实验报告	42
4.3	三相同步电机参数的测定	42
4.3.1	实验目的	42
4.3.2	预习要点	42
4.3.3	实验项目	42
4.3.4	实验设备及仪器	43
4.3.5	实验方法	43
4.3.6	实验报告	46

第 5 章 异步电机实验	47
5.1 三相鼠笼异步电动机的工作特性	47
5.1.1 实验目的	47
5.1.2 预习要点	47
5.1.3 实验项目	47
5.1.4 实验设备及仪器	47
5.1.5 实验方法及步骤	47
5.1.6 实验报告	49
5.2 三相鼠笼式异步电动机的启动	50
5.2.1 实验目的	50
5.2.2 预习要点	50
5.2.3 实验项目	50
5.2.4 实验设备及仪器	50
5.2.5 实验方法	50
5.2.6 实验报告	52
5.2.7 思考题	52
5.3 三相绕线式异步电动机的启动和调速	52
5.3.1 实验目的	52
5.3.2 预习要点	52
5.3.3 实验项目	52
5.3.4 实验设备及仪器	52
5.3.5 实验方法	53
5.3.6 实验报告	53
5.3.7 思考题	53
5.4 单相电阻启动异步电动机	54
5.4.1 实验目的	54
5.4.2 预习要点	54
5.4.3 实验项目	54
5.4.4 实验设备及仪器	54
5.4.5 实验方法	54
5.4.6 实验报告	56
5.4.7 思考题	56
5.5 双速异步电动机	56
5.5.1 实验目的	56
5.5.2 预习要点	56
5.5.3 实验项目	56
5.5.4 实验设备及仪器	56
5.5.5 实验方法	56

5.5.6	实验报告	57
5.5.7	思考题	58
第 6 章	直流电机	59
6.1	直流发电机	59
6.1.1	实验目的	59
6.1.2	预习要点	59
6.1.3	实验项目	59
6.1.4	实验设备及仪器	59
6.1.5	实验方法	60
6.1.6	实验报告	63
6.1.7	思考题	63
6.2	直流他励电动机	63
6.2.1	实验目的	63
6.2.2	预习要点	63
6.2.3	实验项目	63
6.2.4	实验设备及仪器	63
6.2.5	实验方法	64
6.2.6	实验报告	65
6.2.7	思考题	65
6.3	并励直流电动机	65
6.3.1	实验目的	65
6.3.2	预习要点	65
6.3.3	实验项目	65
6.3.4	实验设备及仪器	65
6.3.5	实验方法	66
6.3.6	实验报告	67
6.3.7	思考题	67
第 7 章	电力拖动控制实验	68
7.1	晶闸管直流调速系统参数和环节特性的测定	68
7.1.1	实验目的	68
7.1.2	实验项目	68
7.1.3	实验系统组成和工作原理	68
7.1.4	实验设备及仪器	69
7.1.5	实验方法	69
7.1.6	实验报告	73
7.2	晶闸管直流调速系统主要单元调试	73
7.2.1	实验目的	73

7.2.2	实验项目	73
7.2.3	实验设备及仪器	74
7.2.4	实验方法	74
7.2.5	实验报告	75
7.3	不可逆单闭环直流调速系统静特性的研究	75
7.3.1	实验目的	75
7.3.2	预习要求	75
7.3.3	实验项目	75
7.3.4	实验设备及仪表	75
7.3.5	实验方法	76
7.3.6	实验报告	77
7.3.7	思考题	77
7.4	双闭环晶闸管不可逆直流调速系统	78
7.4.1	实验目的	78
7.4.2	实验项目	78
7.4.3	实验系统组成及工作原理	78
7.4.4	实验设备及仪器	79
7.4.5	实验方法	79
7.4.6	实验报告	81
7.5	双闭环三相异步电动机调压调速系统	81
7.5.1	实验目的	81
7.5.2	实验项目	82
7.5.3	实验系统的组成及工作原理	82
7.5.4	实验设备及仪器	82
7.5.5	实验方法	83
7.5.6	实验报告	84
7.6	异步电动机 SPWM 与电压空间矢量变频调速系统	84
7.6.1	实验目的	84
7.6.2	实验项目	85
7.6.3	实验系统的组成及工作原理	85
7.6.4	实验设备和仪器	86
7.6.5	实验方法	87
7.6.6	实验报告	87
7.6.7	思考题	88

下篇 电机与拖动控制的 MATLAB 仿真

第 8 章	Simulink 简介	91
8.1	Simulink 的工作环境	91

8.1.1	Simulink 启动	91
8.1.2	Simulink 模块库	92
8.2	Simulink 的基本操作	97
8.2.1	模块的基本操作	97
8.2.2	信号线的基本操作	98
8.3	子系统的建立与封装	98
8.3.1	子系统的建立	98
8.3.2	子系统的封装	99
8.4	Simulink 系统的仿真	101
8.4.1	系统运行仿真步骤	101
8.4.2	Simulink 的仿真算法	102
8.4.3	示波器的使用	103
第 9 章	变压器的 MATLAB 仿真	106
9.1	单相变压器空载运行状态仿真	106
9.1.1	建立仿真模型	106
9.1.2	设置模块参数	107
9.1.3	仿真结果及分析	107
9.2	三相变压器负载运行仿真	108
9.2.1	建立仿真模型	108
9.2.2	设置模块参数	109
9.2.3	仿真结果及分析	110
9.3	单相变压器空载合闸仿真	110
9.3.1	建立仿真模型	110
9.3.2	设置模块参数	111
9.3.3	仿真结果及分析	111
9.4	三相变压器突然短路仿真	112
9.4.1	建立仿真模型	112
9.4.2	设置模块参数	112
9.4.3	仿真结果及分析	113
9.5	变压器连接组标号仿真	113
9.5.1	建立仿真电路	113
9.5.2	设置模块参数	114
9.5.3	仿真结果及分析	114
第 10 章	三相同步发电机的 MATLAB 仿真	115
10.1	三相同步发电机的功角特性仿真	115
10.1.1	建立仿真模型(M 语言程序设计)	115
10.1.2	仿真结果及分析	116

10.2	三相同步发电机突然短路仿真	117
10.2.1	建立仿真模型	117
10.2.2	设置模块参数	118
10.2.3	仿真结果及分析	120
第 11 章	异步电动机的 MATLAB 仿真	121
11.1	三相异步电动机机械特性的仿真	121
11.1.1	建立仿真模型(M 语言程序设计)	121
11.1.2	仿真结果及分析	121
11.2	三相异步电动机直接启动仿真	122
11.2.1	建立仿真模型	122
11.2.2	设置模块参数	122
11.2.3	仿真结果及分析	124
11.3	三相异步电动机自耦变压器降压启动	124
11.3.1	建立仿真模型	124
11.3.2	设置模块参数	125
11.3.3	仿真结果及分析	125
11.4	三相异步电动机定子回路串电阻启动	126
11.4.1	建立仿真模型	126
11.4.2	设置模块参数	126
11.4.3	仿真结果及分析	126
11.5	绕线型异步电动机转子串电阻启动	126
11.5.1	建立仿真模型	127
11.5.2	设置模块参数	127
11.5.3	仿真结果及分析	127
11.6	三相异步电动机能耗制动仿真	128
11.6.1	建立仿真模型	128
11.6.2	设置模块参数	128
11.6.3	仿真结果及分析	128
11.7	三相异步电动机正反转仿真	129
11.7.1	建立仿真模型	129
11.7.2	设置模块参数	129
11.7.3	仿真结果及分析	129
11.8	三相鼠笼式异步电动机改变定子电压调速仿真	130
11.8.1	建立仿真模型	130
11.8.2	设置模块参数	131
11.8.3	仿真结果及分析	131
11.9	三相鼠笼式异步电动机变频调速	131

11.9.1	建立仿真模型	131
11.9.2	设置模块参数	131
11.9.3	仿真结果及分析	131
11.10	三相绕线型异步电动机转子串电阻调速	132
11.10.1	建立仿真模型	132
11.10.2	设置模块参数	133
11.10.3	仿真结果及分析	133
第 12 章	直流电机的 MATLAB 仿真	134
12.1	直流电动机直接启动仿真	134
12.1.1	建立仿真模型	134
12.1.2	设置模块参数	135
12.1.3	仿真结果及分析	135
12.2	直流电动机分级启动仿真	137
12.2.1	建立仿真模型	137
12.2.2	设置模块参数	138
12.2.3	仿真结果及分析	138
12.3	直流电动机能耗制动仿真	138
12.3.1	建立仿真模型	139
12.3.2	设置模块参数	139
12.3.3	仿真结果及分析	139
12.4	直流电动机调压调速仿真	140
12.4.1	建立仿真模型	140
12.4.2	设置模块参数	141
12.4.3	仿真结果及分析	141
12.5	直流电动机弱磁调速仿真	142
12.5.1	建立仿真模型	142
12.5.2	设置模块参数	142
12.5.3	仿真结果及分析	143
第 13 章	拖动控制系统的 MATLAB 仿真	144
13.1	晶闸管-直流电动机开环调速	144
13.1.1	建立仿真模型	144
13.1.2	设置模块参数	145
13.1.3	仿真结果及分析	145
13.2	带转速负反馈的有静差直流调速系统仿真	148
13.2.1	建立仿真模型	148

13.2.2	设置模块参数	148
13.2.3	仿真结果及分析	149
13.3	转速电流双闭环控制的直流调速系统仿真	149
13.3.1	建立仿真模型	150
13.3.2	设置模块参数	150
13.3.3	仿真结果及分析	150
13.4	恒压频比控制的异步电动机变频调速系统的仿真	151
13.4.1	建立仿真模型	151
13.4.2	设置模块参数	152
13.4.3	仿真结果及分析	152
13.5	异步电动机矢量控制变频调速系统的仿真	153
13.5.1	建立仿真模型	154
13.5.2	设置模块参数	156
13.5.3	仿真结果及分析	156
参考文献		157

上篇 电机与拖动控制实验

电机实验装置和基本要求

1.1 MCL-Ⅱ型电机教学实验台

MCL-Ⅱ型电机教学实验台总体外观结构如图 1-1 所示。

序号 1 为仪表屏,根据用户的需要配置指针式和数字式表,包括交流电流、电压表、功率表以及直流电压、电流表等,每个仪表均可根据测试需要调节量程。

序号 2 为电源控制屏,通过调压器输出单相或三相连续可调的交流电源。

序号 3 为实验桌,内可放置各种组件及电机,桌面上放置电机及导轨。

序号 4、6 为实验时所需的仪表,可调电阻器、可调电抗器和开关箱等组件,这些组件在实验台上可任意移动,组件内容可以根据实验要求进行搭配。

序号 5 为电机导轨。

序号 7 为通过整流得到的直流电源,供直流电机以及同步电机励磁电源使用。

序号 8 为安装在电机工作台上的被试电机,被试电机可以根据不同的实验内容进行更换。为了实验时机组安装方便和快速的要求,实验台的各类电机均设计成相同的中心高。同时,各电机的底脚采用了与普通电机不同的特殊结构形式。在机组安装时,将各电机之间通过联轴器同轴连接,被试电机的底脚安放在电机工作台的导轨上,只要旋紧两只底脚螺钉,不需要做任何调整,就能准确保证各电机之间的同心度,达到快速安装的目的。被试电机的转速是通过与电机同轴连接的转速计来测量的。

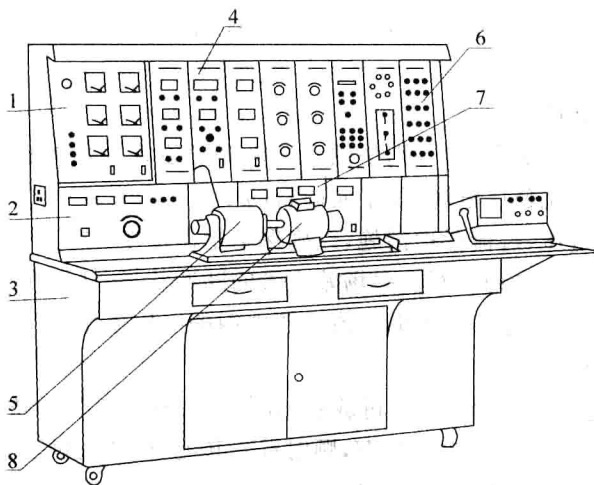


图 1-1 电机系统教学实验台总体外观

1.2 实验装置和挂件箱的使用

1.2.1 MCL-II 型电机实验装置交流及直流电源操作说明

1. 交流电源

实验中开启及关闭电源都在控制屏上操作。三相交流电源 U、V、W 输出, U、V、W 三相电源输出旁有 3 只 3A 的保险丝, 进行电源的短路保护, 一旦电网电压对称输入, 而电源输出不对称, 则有可能烧毁保险丝。交流输出电源的大小用三相调压器(黑色旋钮)来调节, 可获得 0~450V 连续可调的线电压。当逆时针旋转到底时输出电压最小, 改变旋钮位置, 即可调节输出交流电源电压的大小。为了保证实验者的安全, 电网与三相调压器之间接有隔离变压器或漏电保护器。

开启三相交流电源的步骤为:

(1) 开启电源前, 要确保控制屏下面的“可调直流稳压电源”开关及“直流励磁电源”开关、“同步电机励磁电源”开关都必须在“OFF”的位置。控制屏左侧端面上安装的调压器旋钮必须在零位, 即必须将它向逆时针方向旋转到底。

(2) 检查无误后开启“电源总控制闸”, “断开”按钮指示灯亮, 表示实验装置的进线接到电源, 但还不能输出电压。此时在电源输出端进行实验电路接线操作是安全的。

(3) 按下“闭合”按钮, “闭合”按钮指示灯亮, 表示三相交流调压电源输出插孔 U、V、W 及 N 上已接电。实验电路所需的不同大小的交流电压, 都可适当旋转调压器旋钮用导线从这三相四线制插孔中取得。输出线电压为 0~450V(可调)并可由控制屏上方的三只交流电压表指示。

(4) 实验中如果需要改接线路, 必须按下“断开”按钮以切断交流电源, 保证实验操作的安全。实验完毕, 还需关断“电源总控制闸”, 并将控制屏左侧端面上安装的调压器旋钮调到零位。将“可调直流稳压电源”开关及“直流励磁电源”开关、“同步电机励磁电源”开关拨回到 OFF 的位置。

2. NMEL-18 直流电源

本实验台提供两组直流电源, 分别是供直流电机励磁绕组用的直流电机励磁电源以及供电枢绕组用的可调直流稳压电源, 位于实验台的中下方位置。

电源带有完善的过压、过流保护措施, 以确保学生误操作时不至于损坏电源。一旦输出发生短路、过流保护动作, 自动切断功率场效应管的脉冲信号, 从而保护功率器件, 只需按下“复位”按钮, 就可重新建立电压。可调直流稳压电源的电压输出端子只能用作电压输出, 不能作为测试端输入电压。

正常工作时, 绿色发光二极管亮; 过载后, 红色告警发光二极管亮。电压调节电位器逆时针旋转到底, 输出电压最低不大于 90V, 顺时针旋转时, 电压逐渐提高。

可调直流稳压电源带有电压表和电流表。其中电压表内部已接好, 直接指示输出电压, 而电流表的输入信号根据实验内容而定, 既可用作本装置的电流测量显示, 也可用作外接电路电流的测量显示。

220V 直流电机励磁电源提供 220~230V/0.5A 的直流电源, 供直流电机励磁绕组使用, 其电压输出端子只能输出电压, 不能作为测试端输入电压, 工作时工作指示灯亮。配置