

21世纪高等院校优秀教材

# 电工原理的 MATLAB 实现

黄忠霖 黄京 编著

MATLAB



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

21 世纪

# 电工原理的 MATLAB 实现

黄忠霖 黄京 编著

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书从 MATLAB Simulink 开始,相继介绍常用电气系统(SimPowerSystems)、电路基本概念与直流电路的 MATLAB 计算及仿真、正弦交流电路的 MATLAB 计算及仿真、三相交流电路的 MATLAB 计算及仿真、双口网络的 MATLAB 计算及仿真、非正弦周期电流电路的 MATLAB 计算及仿真、线性电路暂态过程时域分析的 MATLAB 实现、线性电路暂态过程频域分析的 MATLAB 实现、状态变量分析的 MATLAB 实现、磁路与铁心线圈电路以及谐振电路与耦合电感电路的 MATLAB 计算及仿真、电路代数方程的矩阵形式与 MATLAB 程序求解、均匀传输线的分布参数电路的 MATLAB 计算等内容。

全书除前3章外每章后都配有习题,书后附录提供有习题参考答案和作者为本书开发的自编函数,供读者查阅、使用。

全书示例丰富而经典,内容翔实。示例程序都经作者反复调试,既能够在 MATLAB 里运行,也能够在 Notebook 中运行(除了一些带鼠标操作的图形函数命令必须在 MATLAB 命令窗口里运行之外)。

本书是工科电类专业学生学习关于电路原理课程实验、解算习题、训练上机动手能力、初步熟悉工程仿真技术的有效工具,对于本专业教师拟定电工原理习题、考试题,验证题目答案的正确性具有特殊的实用价值。本书也可作为电气工程领域技术人员学习 MATLAB 的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工原理的 MATLAB 实现/黄忠霖,黄京编著. —北京:国防工业出版社,2012.7

21 世纪高等院校优秀教材

ISBN 978-7-118-08111-4

I. ①电... II. ①黄...②黄... III. ①Matlab 软件-应用-电工-理论-高等学校-教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 119055 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 21 字数 541 千字

2012 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3500 册 定价 39.80 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

# 前 言

## 一、电工原理与 MATLAB

国家教育部将电类专业统称为电气信息类专业,按教育部最新颁布的新本科专业目录,有电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术等6个专业(不包括工科本科引导性专业与经教育部批准同意设置的目录外专业)。这些工科电类专业学生都要学一门关于电工基础知识的课程,该课程国内编写的教材名目繁多,如《电路原理》或《电路理论基础》或《电路》或《电路基础》或《电路理论》或《电路及磁路》等,但是其课程内容基本相同,其教学大纲也基本类似,差别不大。笔者以“电工原理”作为电工基础知识的课程名。

MATLAB(Matrix Laboratory 即“矩阵实验室”)是美国 MathWorks 公司于20世纪80年代中期推出的当今世界上最优秀的高性能数值计算软件。MATLAB 强大的计算功能,丰富、方便的图形功能;编程效率高,扩充能力强;语句简单,易学易用;功能齐备的电工技术与自动控制软件工具包等优点,正是它广为流传的原因。特别是当今世界上电工技术与控制领域的很多权威专家,开发了众多具有特殊功能的软件工具箱,使得 MATLAB 从一个工程计算软件变成电工技术计算与仿真的强有力工具。MATLAB 的各种工具箱,已覆盖了电工技术的各个领域,每一个工具箱都是当今世界上该领域里最顶尖、最优秀的计算与仿真软件。

读者对本书只要稍加浏览,就会发现并深切感到 MATLAB 系统对《电工原理》或《电路原理》的各章节内容都是非常适用的。

## 二、撰写本书的背景

1. 由于 MATLAB 为自动控制技术开发了诸多工具箱,于是国内近几年有关自动控制领域的 MATLAB 仿真书籍如雨后春笋般出版,诚然这是件可喜之事。

到目前为止,国内还没有一本有关电工原理课程 MATLAB 仿真的书籍出版。这与对 MATLAB 系统了解不够、不深直接相关。

实际上, MATLAB 也开发了电气系统 SimPowerSystems(实体图形化仿真模型)。需要指出,多年来国内各种文献都将 SimPowerSystems 译成电力系统模型,这给很多人以误导。笔者认为:(1)这有与强电领域的电力系统相混淆之弊;(2)就“SimPowerSystems”里的内容而言,强电领域里电力系统部分各种仿真模型只占很小的比例,大部分仿真模型对应着国内通常说的电气工程系统的各种装置,故译成电气系统模型。

本书第3章要介绍的 SimPowerSystems,只要稍作翻阅浏览,就会发现这是 MATLAB 专门为“电工原理”及其相关课程开发的计算及仿真软件。本书每章都有用 MATLAB 程序计算或者用 MATLAB 仿真模型仿真的例子。MATLAB 不适合“电工原理”课程的说法是不成立的。

2. 多年来,国内很多本科高校已经就“高等数学”课程开设了 MATLAB 实验。2009年教育部高教司启动了“利用信息工具技术改造课程”项目,其中“用 MATLAB 和建模实践改造工科线性代数课程”项目列为18个子项目之首。

既然这些仅仅使用 MATLAB 基本函数学习数学课程的师生们都发现了 MATLAB 的奇特效用,那么为“电工原理”课程教学而工作的同行们一定会学习并掌握 MATLAB,利用 MATLAB 提供的 SimPowerSystems 电气系统专用软件来为其教学服务。

3. 对于学习“电工原理”或其它别的课程,学生为加深理解所学理论,用手工计算做一定量的解题训练是必要的,经过一段训练后即可。传统的手工计算太慢且极易产生差错,而面对大量复杂、繁琐的计算必须学会使用计算机工具。钱学森曾经说过:“现在已经可以看到电子计算机对工程技术工作的影响。今后对一个问题求解可以全部让电子计算机去干,不需要人去一点一点算”。

4. 在实验室里,用电阻器、电容器、电压表、功率表与连接导线等各种装置进行传统的电工实验是必要的。在 21 世纪的计算机信息时代,电工技术的知识结构和手段也随之不断地进步。在电工原理的教学中,新的教学方法和新的辅助教学手段不断出现。电工原理实验有了仿真实验的新发展,这是由 MATLAB 仿真软件带来的新变化。与传统的实验相比,仿真实验的成本低廉;学生可以很方便地构造出仿真模型来验证书本上的知识,加深理解,有助于激发学生的创造力。不仅如此, MATLAB 系统还使电工技术的各种计算与绘图既简单、方便,又高效、快捷而精准。

基于以上学习与思考,作者撰写了本书。

### 三、本书内容

本书的基础篇是关于 MATLAB 语言基础知识的,可参考国防工业出版社出版的《基本科学计算的 MATLAB 实现》。

本书从 MATLAB Simulink 开始,陆续介绍常用电气系统(SimPowerSystems)、电路基本概念与直流电路的 MATLAB 计算及仿真、正弦交流电路的 MATLAB 计算及仿真、三相交流电路的 MATLAB 计算及仿真、双口网络的 MATLAB 计算及仿真、非正弦周期电流电路的 MATLAB 计算及仿真、线性电路暂态过程时域分析的 MATLAB 实现、线性电路暂态过程频域分析的 MATLAB 实现、状态变量分析的 MATLAB 实现、磁路与铁心线圈电路、谐振电路与耦合电感电路的 MATLAB 计算及仿真、电路代数方程的矩阵形式与 MATLAB 程序求解、均匀传输线的分布参数电路的 MATLAB 计算等内容。

全书除前 3 章外每章后都配有习题,在书后附录提供有习题参考答案。

书后附录还有作者为本书开发的自编函数,供读者查阅、使用。

### 四、本书特色

1. 本书不是电工原理教材,并不完全讲述课程内容。为了计算的需要,每章节需要复习相关概念与公式,以便编写计算程序。这是本书编写特色之一。

2. 国内电工原理课程的教材不计其数,作者精心挑选了该课程经典教材与辅导用书中各类难度的且能够突出 MATLAB 仿真特色的内容予以推介,极具典型性与参考价值,还可作为读者上机进行实践训练或实验使用。本书示例题解题过程,首先要做解题说明,其次列解题程序,一般最后要仿真验证。这是本书例题编写特色。

3. MATLAB 系统中没有电路原理中直流电路的直流电流源模块,根据作者的摸索,可以用 MATLAB 系统中其它模块的组合来替代直流电流源模块,这是本书特有之处。

4. 本书力求文字叙述清楚,概念阐述准确,深入浅出,通俗易懂,方便自学。

5. 对高校电类专业学生学习电工原理课程、进行课程实验与完成作业并验证题目答案正确

性,本书有极强的现实意义与使用价值。对于本专业教师,拟定电工原理习题、考试题,验证题目答案的正确性,本书也具有特殊的实用价值。这是本书的适用特色。

## 五、几点说明

1. 本书介绍的自编函数是针对作者收集到的国内电工原理教材中诸多著作者都关注的部分典型命题或问题而开发的 MATLAB 程序,希望起到抛砖引玉的作用,有兴趣的读者还可进一步开发。本书程序也都可进一步精练、优化。

2. 本书介绍的仿真模型,其参数值设置经作者或是计算或是仿真模型寻优、逐步逼近而得的,也希望起到抛砖引玉的作用,读者也可对模型进一步寻优。

对著作中开发的程序或函数、创建的仿真模型,本人承诺:第一,对读者完全负责,即在相应的 MATLAB 版本系统里,保证正常运行;第二,对实名制读者完全公开。

3. 本人所有著作(包括本书)的撰写、编辑以及其中 MATLAB 的语句、命令与本书的示例程序都经作者反复调试,既能够在 MATLAB 里运行,也能够在 Notebook 中运行(除带鼠标操作的图形函数命令或绘制多条曲线或使用人机交互指令时必须采用程序文件执行)。

4. 在书中,程序流程的顺序、选择、循环三大控制语句按规范格式书写外,为了精练与简捷,书中程序是连续书写的,提请读者特别关注语句间的标点符号及其作用。

5. 本书的曲线或图形是纸面上印刷的黑白影像,读者若能在计算机上运行其 MATLAB 程序从而绘制出彩色的曲线或图形,那一定会更清晰、更准确,一定能够更真切地表明要说明的问题或计算的数据。

6. MATLAB 的程序计算与模型仿真结果可能出现误差,其原因是计算机字长位数的限制、运算方法不同精度的限制、选择微分方程数值解法不当与仿真时间设置不当等。一般情况下误差很小,都在许可范围内。

在本书编写过程中,作者参阅与借鉴了各种教材与文献,谨对其原作者表示由衷的诚挚谢意。此外还得到了黄京、刘福、白洛、吴江陵、许德阳、关大海、黄少铭、盛海平、陈培敦、马男华、姜迎春、李德阳、彭达成、戴同龄、李德瑞、周年庆、吴有方、王国君、孙重任、魏家常、申立方、杨本山、田园亮、王冠先、夏浩先等同志的关爱、支持与帮助,在此一并表示衷心感谢。

在此还要特别感谢本书的责任编辑,为本书的编辑工作提供了全心的帮助,并为本书早日出版竭尽了全力。

由于时间仓促,加上作者学识水平有限,书中难免有错误与疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

为方便读者,欲获取本书的 MATLAB 仿真模型及解题自编函数,读者可通过以下 E-mail 地址与作者联系:

E-mail: zhuang41@163.com

zhuang41@sina.com

黄忠霖



# 目 录

<b>第 1 章 电工原理的 MATLAB 实现概述</b> .....	1
1.1 电工原理课程在电类专业中的地位 .....	1
1.1.1 电工原理课程的内容与任务 .....	1
1.1.2 电工原理课程的地位与作用 .....	1
1.2 电工原理的 MATLAB 实现 .....	1
1.2.1 先进的 MATLAB 系统 .....	1
1.2.2 电工原理 MATLAB 实现的必要性与特点 .....	3
<b>第 2 章 MATLAB 7.5 的仿真集成环境 Simulink 7.0</b> .....	5
2.1 Simulink 仿真特色与其模型窗口 .....	5
2.1.1 Simulink 仿真特色 .....	5
2.1.2 进入 MATLAB 7.5 的 Simulink 7.0 .....	6
2.1.3 Simulink 7.0 的模型窗口概述 .....	6
2.2 Simulink 7.0 的界面与组成 .....	9
2.2.1 Simulink 7.0 功能模块组的打开与关闭 .....	9
2.2.2 Simulink 7.0 功能模块的分类及其用途 .....	10
2.2.3 有关 Simulink 7.0 的几个问题 .....	14
2.3 用 Simulink 的建立系统仿真模型 .....	14
2.3.1 打开模型窗口的方法 .....	15
2.3.2 模块的查找与选择 .....	15
2.3.3 模块的复制、移动与删除 .....	15
2.3.4 模块的连接 .....	16
2.3.5 用 Simulink 建立系统仿真模型举例 .....	16
<b>第 3 章 常用电气系统 (SimPowerSystems) 实体图形化仿真模型</b> .....	19
3.1 电气系统 (SimPowerSystems) 实体图形化模型库简介 .....	19
3.1.1 电源 (Electrical Sources) 模块组 .....	19
3.1.2 电器元件 (Elements) 模块组 .....	20
3.1.3 电力电子元件 (Power Electronics) 模块组 .....	22
3.1.4 电机 (Machines) 模块组 .....	22
3.1.5 电气测量仪表 (Measurement) 模块组 .....	22
3.2 常用电气系统 (SimPowerSystems) 实体图形化仿真模型 .....	23
3.2.1 基本电路元件的仿真模型 .....	23

3.2.2	典型测量元件的仿真模型 .....	28
3.2.3	两个常用特殊模块 .....	30
3.3	创建常用电气系统(SimPowerSystems)仿真模型举例 .....	32
<b>第4章</b>	<b>电路基本概念与直流电路的 MATLAB 计算及仿真 .....</b>	<b>34</b>
4.1	电路基本概念概述 .....	34
4.1.1	电路、电路模型与电路的两类约束 .....	34
4.1.2	电路的基本物理量 .....	35
4.1.3	电路的负载工作状态、开路与短路 .....	37
4.1.4	电压源、电流源及其等效变换 .....	37
4.1.5	直流电路的基本定理 .....	38
4.2	受控源电路及其 MATLAB 计算 .....	45
4.3	网络图论的基本知识 .....	47
4.3.1	图论的几个基本概念 .....	48
4.3.2	三个重要子图 .....	48
4.4	直流电路的基本计算方法及其 MATLAB 仿真 .....	49
4.4.1	电阻串并联连接与星形、三角形连接的等效变换 .....	49
4.4.2	支路分析法及其 MATLAB 仿真 .....	50
4.4.3	回路电流法及其 MATLAB 仿真 .....	52
4.4.4	节点电压分析法及其 MATLAB 仿真 .....	55
4.4.5	割集电压法及其 MATLAB 仿真 .....	58
	习题 .....	61
<b>第5章</b>	<b>正弦交流电路的 MATLAB 计算及仿真 .....</b>	<b>64</b>
5.1	有关正弦交流电路的基本概念 .....	64
5.1.1	周期、频率与角频率 .....	64
5.1.2	瞬时值、幅值与有效值 .....	64
5.1.3	相位、初相位、相位差与同相位 .....	65
5.2	正弦量的表示法 .....	65
5.2.1	正弦量的三角函数式与正弦波形曲线表示 .....	66
5.2.2	复数的几种表示 .....	66
5.2.3	正弦量的相量表示 .....	66
5.3	RLC 交流电路计算及其 MATLAB 仿真 .....	67
5.3.1	电阻、电感、电容 3 种电路元件及其功率、电压与电流的复数关系 .....	67
5.3.2	基尔霍夫定律的相量形式 .....	70
5.3.3	正弦交流电路的阻抗、导纳及其等效转换 .....	70
5.3.4	RLC 交流电路计算及其 MATLAB 仿真举例 .....	71
5.4	正弦交流稳态电路的功率计算及其 MATLAB 仿真 .....	75
5.4.1	交流电路的瞬时功率 $p(t)$ .....	75
5.4.2	交流电路的平均功率 $P$ 与无功功率 $Q$ .....	75
5.4.3	交流电路的视在功率 $S$ 与功率因数 $\cos\theta$ .....	76



5.4.4	交流电路的复功率 $\bar{S}$ .....	76
5.4.5	交流电路的功率计算及其 MATLAB 仿真举例 .....	76
5.4.6	正弦交流稳态下的最大功率传输定理 .....	80
5.4.7	提高功率因数的措施及其 MATLAB 计算及仿真 .....	82
5.5	复杂正弦交流电路计算及其 MATLAB 仿真举例 .....	84
	习题 .....	89
<b>第 6 章 三相交流电路的 MATLAB 计算及仿真 .....</b>		<b>91</b>
6.1	三相交流电压的 MATLAB 仿真 .....	91
6.1.1	电源星形连接的相电压与线电压相量图、相应关系式 .....	91
6.1.2	绘制三相正弦交流电波形图与相量图示例 .....	92
6.2	星形与三角形连接负载的 MATLAB 仿真 .....	92
6.2.1	三相对称负载计算举例 .....	93
6.2.2	三相不对称负载 MATLAB 计算及仿真 .....	94
6.2.3	从交流电源经 $L$ 与 $C$ 获得三相对称电压 .....	95
6.2.4	相序指示器的计算及仿真 .....	96
6.3	三相功率的 MATLAB 计算 .....	98
6.3.1	三相功率关系式 .....	98
6.3.2	三相功率 MATLAB 计算及仿真 .....	99
6.4	对称分量法的 MATLAB 实现 .....	101
6.4.1	$120^\circ$ 与 $-120^\circ$ 旋转因子 .....	102
6.4.2	对称分量法 .....	102
6.4.3	三相制对称分量的一些性质 .....	103
6.4.4	对称分量法计算举例 .....	103
	习题 .....	105
<b>第 7 章 双口网络的 MATLAB 计算 .....</b>		<b>107</b>
7.1	双口网络概述 .....	107
7.1.1	二端网络、端口与单口网络 .....	107
7.1.2	双口网络的基本概念 .....	107
7.2	双口网络的参数及其方程 .....	108
7.2.1	双口网络的导纳参数方程、导纳参数 .....	108
7.2.2	双口网络的阻抗参数方程、阻抗参数 .....	111
7.2.3	双口网络的传输参数方程、传输参数 .....	113
7.2.4	双口网络的混合参数方程与 $H$ 参数 .....	115
7.3	双口网络的等效电路 .....	118
7.4	双口网络的连接 .....	119
7.4.1	双口网络的级联 .....	119
7.4.2	双口网络的串联 .....	121
7.4.3	双口网络的并联 .....	123
7.5	运算放大器 .....	125

7.5.1	运算放大器概述	125
7.5.2	运算放大器应用	126
7.6	回转器	130
7.6.1	回转器的概念	130
7.6.2	回转器的重要特性	131
7.7	双口网络 MATLAB 计算及仿真再举例	133
	习题	136
<b>第 8 章</b>	<b>非正弦周期电路的 MATLAB 计算及仿真</b>	<b>139</b>
8.1	非正弦周期量的分解及其 MATLAB 实现	139
8.1.1	周期函数分解为 Fourier 级数	139
8.1.2	奇函数、偶函数与其它特殊函数的 Fourier 级数	140
8.1.3	关于求解周期函数 Fourier 级数的 MATLAB 程序	141
8.2	频谱分析及其 MATLAB 实现	142
8.2.1	离散频谱及其 MATLAB 实现	142
8.2.2	连续频谱及其 MATLAB 实现	149
8.3	非正弦周期信号有效值与电路平均功率	150
8.3.1	非正弦周期量有效值及其 MATLAB 计算	151
8.3.2	非正弦周期信号电路平均功率及其 MATLAB 计算	152
8.4	非正弦周期信号电路的稳态计算	154
8.4.1	非正弦周期信号电路的稳态计算概念与步骤	154
8.4.2	非正弦周期信号电路的稳态 MATLAB 计算举例	154
8.5	对称三相电路中的高次谐波	157
	习题	161
<b>第 9 章</b>	<b>线性电路暂态过程时域分析的 MATLAB 实现</b>	<b>163</b>
9.1	有关线性电路过渡过程时域分析的基本概念	163
9.1.1	输入与响应(或输出)	163
9.1.2	动态电路及其输入—输出方程	163
9.2	换路定律与确定动态电路的初始值	165
9.2.1	换路与换路定律	165
9.2.2	电容电压与电感电流的跳变	169
9.3	一阶电路时域分析及其 MATLAB 实现	169
9.3.1	零输入响应、零状态响应与全响应的概念	169
9.3.2	一阶电路零输入响应及其 MATLAB 仿真	170
9.3.3	直流激励下一阶电路的零状态响应及其 MATLAB 仿真	173
9.3.4	交流激励下一阶电路的零状态响应及其 MATLAB 仿真	176
9.3.5	一阶线性电路暂态分析的三要素法及其 MATLAB 实现	179
9.4	一阶电路阶跃响应与冲激响应及其 MATLAB 实现	183
9.4.1	阶跃函数与冲激函数	183
9.4.2	阶跃响应与冲激响应	184

9.4.3	自动控制技术中阶跃响应与冲激响应的 MATLAB 实现 .....	188
9.5	二阶电路时域分析及其 MATLAB 实现 .....	190
9.5.1	二阶电路零输入响应及其 MATLAB 仿真 .....	190
9.5.2	二阶电路零状态响应与全响应及其 MATLAB 仿真 .....	195
	习题 .....	198
<b>第 10 章</b>	<b>线性电路暂态过程复频域分析的 MATLAB 实现 .....</b>	<b>201</b>
10.1	Laplace 变换与反变换 .....	201
10.1.1	Laplace 变换与反变换的概念 .....	201
10.1.2	MATLAB 的 Laplace 变换函数命令 .....	202
10.1.3	MATLAB 的 Laplace 反变换函数命令 .....	202
10.2	用部分分式法求 Laplace 反变换 .....	203
10.2.1	利用留数将象函数表达式展成部分分式 .....	203
10.2.2	由象函数表达式求原函数 .....	205
10.3	线性动态电路的复频域分析基础 .....	206
10.3.1	基尔霍夫定律的复频域形式 .....	206
10.3.2	线性动态电路的复频域模型 .....	208
10.4	线性动态电路的复频域分析的 MATLAB 实现 .....	210
10.5	线性动态电路的网络函数 .....	216
10.5.1	网络函数的概念 .....	216
10.5.2	网络函数的零极点图 .....	218
10.5.3	网络函数的零极点分析 .....	220
	习题 .....	222
<b>第 11 章</b>	<b>状态变量分析的 MATLAB 实现 .....</b>	<b>224</b>
11.1	有关状态变量分析法的相关概念 .....	224
11.1.1	与状态变量相关的概念 .....	224
11.1.2	与状态方程与输出方程相关的概念 .....	225
11.2	状态方程与输出方程的编写方法 .....	226
11.2.1	状态方程的编写方法及其举例 .....	226
11.2.2	病态网络状态方程的编写方法及其举例 .....	228
11.2.3	输出方程的编写方法及其举例 .....	229
11.3	状态方程与输出方程求解及其 MATLAB 实现 .....	230
11.3.1	状态方程求解及其 MATLAB 实现 .....	230
11.3.2	输出方程求解及其 MATLAB 实现 .....	232
	习题 .....	235
<b>第 12 章</b>	<b>磁路与铁心线圈电路、谐振电路与耦合电感电路的 MATLAB 计算及仿真 .....</b>	<b>237</b>
12.1	磁路的基本物理量与磁场的基本性质 .....	237
12.1.1	磁路的基本物理量 .....	237
12.1.2	磁场的基本性质 .....	238

12.2	铁磁物质及其磁性能	239
12.2.1	两类不同磁性能物质	239
12.2.2	铁磁物质的磁性能	239
12.3	磁路基本定律与交流铁心线圈电路	241
12.3.1	磁路及其基本定律	241
12.3.2	交流铁心线圈电路	242
12.3.3	电磁铁	244
12.4	谐振电路 MATLAB 计算及仿真	244
12.4.1	串联谐振电路 MATLAB 计算及仿真	245
12.4.2	并联谐振电路 MATLAB 计算及仿真	247
12.5	耦合电感电路 MATLAB 计算及仿真	250
12.5.1	耦合电感的特性方程	250
12.5.2	耦合电感的等效电路	251
12.5.3	空心变压器与理想变压器	252
12.5.4	含耦合电感电路 MATLAB 计算及仿真	254
	习题	262
<b>第 13 章 电路代数方程的矩阵形式与 MATLAB 程序求解</b>		<b>265</b>
13.1	有向图的矩阵表示与基尔霍夫定律的矩阵形式	265
13.1.1	有向图用矩阵表示的概念	265
13.1.2	基尔霍夫定律的矩阵形式	268
13.2	支路方程的矩阵形式	268
13.2.1	复合支路	268
13.2.2	复合支路压控型与流控型支路方程的矩阵形式	269
13.3	矩阵形式的电路代数方程及其 MATLAB 程序求解	271
13.3.1	节点电压方程的矩阵形式	271
13.3.2	回路电流方程的矩阵形式	273
13.3.3	割集电压方程的矩阵形式	275
13.4	稀疏表格法	278
	习题	280
<b>第 14 章 分布参数电路及其 MATLAB 实现</b>		<b>283</b>
14.1	均匀传输线及其方程与方程求解的 MATLAB 实现	283
14.1.1	复习均匀传输线的相关概念	283
14.1.2	均匀传输线方程求解的 MATLAB 实现	286
14.2	均匀传输线行波与波的反射	289
14.2.1	均匀传输线的行波	289
14.2.2	波的反射	292
14.2.3	均匀传输线行波分析的 MATLAB 实现	293
14.3	无畸变线与无损耗线	295
14.3.1	无畸变线	295

14.3.2	无损耗线 .....	296
14.3.3	无畸变线与无损耗线分析的 MATLAB 实现 .....	297
14.4	无损耗线的暂态分析 .....	300
14.4.1	无损耗线方程的通解 .....	300
14.4.2	波的反射与折射 .....	302
	习题 .....	307
附录 A	习题参考答案 .....	309
附录 B	电工原理 MATLAB 解题新编函数 .....	314
参考文献	.....	322

# 第 1 章 电工原理的 MATLAB 实现概述

电工原理是高校工科电类专业最基础的课程之一。先进的 MATLAB 系统中由语句命令、函数组成的 MATLAB 程序与由模块构成的 MATLAB 仿真模型,是学习电工原理课程的两个重要“法宝”。有关设计 MATLAB 程序,请参考文献[1];而本书主要介绍的是如何用模块构成 MATLAB 仿真模型。

## 1.1 电工原理课程在电类专业中的地位

电工原理课程作为工科电类专业的一门重要技术基础课,对该专业来说异常重要。

### 1.1.1 电工原理课程的内容与任务

电工原理课程是研究电路与磁路,研究如何把有关“电”与“磁”的自然科学规律应用到工程中去科学。为此课程一般安排有以下内容:电路基本概念与直流电路、正弦交流电路、三相交流电路、双口网络、非正弦周期电流电路、线性电路暂态过程时域分析、线性电路暂态过程频域分析、状态变量分析、磁路与铁心线圈电路、谐振电路与耦合电感电路、代数方程的矩阵形式、均匀传输线的分布参数电路、非线性电路等。

通过学习,使学生掌握电路与磁路的基本理论,分析计算的基本方法,提高学生分析问题、解决实际问题的能力。

### 1.1.2 电工原理课程的地位与作用

如果说高等数学作为自然科学与工程技术理论研究的重要计算工具,在高等教育中起着奠基作用的话,那么电工原理作为高校工科电类专业所有技术课程与专业课程学习电工理论的入门基础与课题依据,在后续课程学习中起着奠基与桥梁作用。所以电工原理课程在工科电类专业学习中的地位十分重要。

## 1.2 电工原理的 MATLAB 实现

学习电路与磁路的基本理论与分析计算的基本方法,很多情况下都与数学计算分不开。已经说明过,本书不是电工原理课程的教材,重点不是研究电路与磁路的基本规律,而是要用最先进的数学计算工具来帮助解决计算问题。不难知道这个现代化的先进数学工具就是 MATLAB。

### 1.2.1 先进的 MATLAB 系统

MATLAB 程序设计语言是美国 MathWorks 公司于 20 世纪 80 年代中期推出的高性能数值计算软件。经过近三十年的开发、扩充、不断完善与更新换代, MATLAB 已经发展成适合多学科,功能特强、特全的大型软件,目前 MATLAB 的 R2011a 版已经面世。



经过国内外多年使用, MATLAB 已成为线性代数、自动控制理论、数字信号技术、电路理论、动态系统仿真等各种课程的基本工具。MATLAB 有以下特点。

(1) 功能强大适用范围广。MATLAB 可用于线性代数里的向量、数组、矩阵运算, 复数运算, 高次方程求根, 插值与数值微商运算, 数值积分运算, 常微分方程的数值积分运算、数值逼近、最优化方法等, 即差不多所有科学研究与工程技术应用需要的各方面的计算, 均可用 MATLAB 来解决。

现有的资料表明, 这些运算在电气工程、自动控制、通讯工程、信号分析、图像信号处理、计算机技术、汽车制造、建筑业、航空航天以及半导体制造业等各行各业都有极广泛的应用。可以说, 无论从事工程技术方面的哪个学科, 在 MATLAB 里都能有相应合适的功能解决该学科的计算问题。

(2) 编程效率高。MATLAB 语言提供了丰富的库函数(称为 M 文件), 既有常用的基本库函数, 又有种类齐全、功能丰富多样的专用工具箱 Toolbox 函数。函数即是预先编制好的子程序。在编制程序时, 这些库函数都可以被直接调用。无疑, 这会大大提高编程效率。

MATLAB 的基本数据编程单元是不需要指定维数的复数矩阵, 所以在 MATLAB 环境下, 数组(向量或矩阵)的操作如同数的操作一样简单方便, 不必像其它 Basic、Fortran 和 C 等高级语言, 要事先定义数组, 然后才能进行有关操作。

在科学与工程应用的数值计算领域里, 有文献指明, 使用 MATLAB 语言的程序设计比使用 Basic、Fortran 和 C 等语言进行程序设计的编程效率要高几倍。

(3) 界面友好用户使用方便。首先, MATLAB 具有友好的用户界面与易学易用的帮助系统。用户在命令窗里通过 help 命令可以查询某个函数的功能及用法, 命令的格式极为简单(格式为: help + 命令或函数)。这样, 对初学者也不会望而生畏。

其次, MATLAB 程序设计语言把编辑、编译、连接、执行、调试等多个步骤融为一体。无论直接输入语句(命令), 包括调用 M 文件的语句, 还是将 MATLAB 源程序编辑为 M 文件, 都立即完成编译、连接和运行的全过程。如果运行 M 文件有错, 计算机屏幕会给出详细红色的出错信息提示, 让用户修改, 直到正确为止。

再者, MATLAB 语言可设置中断点, 存储多个中间结果。除此以外, 它还可进行跟踪调试。MATLAB 语言灵活方便, 其调试手段丰富, 调试速度快。

还有, 在 MATLAB 里, 既可执行程序(即 M 文件), 又可通过人机对话, 调用不同的库函数即子程序, 方便快速地达到用户自己的目的, 以实现 MATLAB 的交互功能。

最后, MATLAB 是演算纸式的科学工程计算语言。使用 MATLAB 编程运算跟人进行科学计算的思路和表达方式完全一样, 用 MATLAB 编写程序, 犹如在一张演算纸上排列书写公式, 运算求解问题, 十分方便。

(4) 扩充能力强。MATLAB 系统不仅为用户提供了可直接调用的丰富的库函数, 而且在 MATLAB 语言环境下, 用户还可以根据需求, 自行建立或扩充完成指定功能的 M 文件(即新的库函数), 与 MATLAB 提供的系统里的库函数一起保存, 同样使用, 以提高 MATLAB 使用效率与丰富、扩充它的功能。

另外, 为了充分利用 Basic、Fortran 和 C 等语言的资源, 包括用户已经编写好的 Basic、Fortran 和 C 语言程序, 通过建立 Mex 文件的形式, 进行混合编程, 能够方便地调用 Basic、Fortran 和 C 语言的子程序, 以进一步丰富及扩充 MATLAB 程序语言的功能。

(5) 语句简单内涵丰富。MATLAB 最基本的语句结构是赋值语句, 语句一般形式为  
变量名列表 = 表达式

其中等号左边的变量名列表为 MATLAB 的语句返回值,等号右边是表达式的定义,它可以是 MATLAB 允许的矩阵运算,也可以是 MATLAB 的函数调用。

MATLAB 程序设计语言最重要的成分是函数。函数调用的一般形式为

$$[a,b,c,\dots] = \text{fun}(d,e,f,\dots)$$

即一个函数由函数名,输入变量  $d,e,f,\dots$  与输出变量  $a,b,c,\dots$  组成,同一函数名,不同数目的输入变量及不同数目的输出变量,代表着不同的含义。这不仅使 MATLAB 的库函数功能更加丰富,而且大大减少了需要的磁盘空间,使得 MATLAB 编写的 M 文件简单、精练而高效。

(6) 强大方便的图形功能。MATLAB 提供了许多“高级”图形函数,可绘制出多姿多彩的图形。例如,绘制二维、三维曲线并对平面或空间多边形填充;绘制三维曲面并对其进行复杂操作。MATLAB 还开发了一些面向图形对象的“低级”图形函数,可以访问硬件系统建立各种“低级”图形对象,它们以图形句柄为界面。用户使用图形句柄可以操作图形的局部元素。

MATLAB 有一系列绘图函数命令,适用于不同的坐标体系,例如:线性坐标、对数坐标、半对数坐标、极坐标及三维坐标,只需调用不同的绘图函数命令,即可在图上标出图形的标题及 X、Y 轴的标注。格(栅)绘制也只需调用相应的命令,简单易行。

另外,在调用绘图函数时,调整自变量可绘出不同的线型:点线、实线、复线或多重线;调整绘图函数的另一些自变量可绘出不同颜色的各种线条。这就使得在 MATLAB 环境下绘制的图形尤其准确、清晰、精美、绚丽多彩。利用 MATLAB 提供的这些图形技术可以创造出无与伦比的彩色世界。

(7) MATLAB 直观、简单的电气系统 SimPowerSystems(实体图形化仿真模型)。在 MATLAB 的 Simulink 里,提供了一个实体图形化仿真模型库,与数学模型库相对应。实体图形化模型库中的模块就是实际工程里实物的图形符号,例如:代表电阻、电容、电源、电机、触发器与晶闸管整流装置、电压表、电流表等实物的是特有图形符号,将这些实际物体的图形符号连接就能成为一个电路、一个装置或是一个系统,它不是真实的物体,而是实际物体的图形化模型。这种实体图形化模型的仿真(有文献称为按系统原理图进行的仿真)更具有实用价值,且成本比较低。

(8) MATLAB 的活笔记本功能。MATLAB 的 Notebook 成功地把 Microsoft Word 与 MATLAB 集成为一个整体,为文字处理、科学计算、工程设计构造了一个完美统一的工作环境。Notebook 是一个能够解决各种计算问题的文字处理软件。只要在命令窗口中执行 Notebook 或者在 Word 环境中建立 M-book 模板,就可以进入一个新环境;在编辑科技文稿的同时可进行科学演算(数值的或者符号的),还可以作图。这些演算的结果可以即时显示于操作命令之后。在这个环境中输入的一切命令能够随时被激活、修改、重新运算并更新原有结果。故 Notebook 称为 MATLAB 的“活”笔记本。这对于撰写科技论文的工程技术人员,对于编写理工学科教材的教师,对于演算理工学科习题的广大学生, MATLAB 的 Notebook 确实是一个极为理想的工具。如果能够学会并掌握这一功能,将会终身受益。

## 1.2.2 电工原理 MATLAB 实现的必要性与特点

在高等学校中,电工原理课程是高等学校工科电类专业的一门重要技术基础课,既重要又不容易学。首先,因为“电”概念的抽象,使学生学习枯燥乏味并容易产生畏难情绪。

其次是电工原理课程内容丰富,各种电量与磁量、不同直流与交流电路、计算正弦量的复数与各种矩阵、不同电压与电流、各种时域与频域分析、不同暂态与稳态、各种代数方程与矩阵方程等,繁杂而麻烦的各类计算工作量可谓是海量,传统原始的手工计算极易产生差错。

所谓传统的计算也叫手工计算或笔算,就是借助于计算器,对一数学关系式的一个和式、一

个积式、一个因子、一个函数等逐一计算并用笔记录下来,最后汇总算出该数学式的结果。这是一个思路清晰、速度缓慢的方法。对于较复杂的问题,例如正弦交流的复数与复数矩阵的计算等,其繁琐而麻烦的程度会让人无法忍受或者望而却步。

应用 MATLAB 程序进行计算,只要沿用原理正确,对任何问题的计算,无论计算工作量多少,都简便、高效,且结果精准。

本书就是将 MATLAB 的函数及其程序、数学模型与电气系统仿真模型应用到电工原理课程的计算与仿真中。只要翻阅本书,即可看到每章都有用 MATLAB 程序计算或者用 MATLAB 仿型仿真的例子。

显而易见,本书是在个人电脑上完成的,对于高校工科电类专业的学生熟悉与掌握计算机工具并学会对电路与磁路问题的仿真是一个非常有效的学习实践。

电工原理的 MATLAB 实现有以下特点。

首先, MATLAB 运算功能强大,它提供的复数及其复数矩阵运算、符号运算、常微分方程的数值积分运算等,对于电工原理课程是方便而高效的计算工具,其计算结果既精准,又不易出错。笔者在本书中还开发了一些专用函数,用来解算电工原理课程的一些专有问题,会更加方便、简单而高效。

其次, MATLAB 的 SimPowerSystems 电气系统仿真模型,把代表电源、电阻、电容、电压表、电流表等实物的特有图形符号,连接成一个电路、一个装置或是一个系统,它不是真实的物体,而是实际物体的图形化模型。这种模型的仿真,更简单、方便、高效与低成本,其仿真结果能验证 MATLAB 程序计算数据的正确性。

再有,各种直流与交流、单相与三相电路的稳态与暂态、非正弦周期电量的频谱分析、绘制谐振电路的谐振曲线等都需要对各种电压与电流波形进行测量、绘制与分析, MATLAB 提供的功能强大且方便的图形函数,特别适合完成此项任务。坐标体系完整,线型类别丰富,颜色绚丽多彩, MATLAB 绘制的图形尤其准确、清晰、精美,可以用来对电路的工作原理进行分析与讨论。

最后, MATLAB 界面友好,使得从事电气与其自动控制的科技工作者乐于接触它,愿意使用它。 MATLAB 的强大方便的图形功能,可以使得计算与绘制图形的大量重复、繁琐的劳动被简单、轻而易举的计算机操作所代替。而且数据计算准确,图形绘制准确而精美,这是过去从事本专业的人所追求与期盼的。

综上所述,本书中各种电路原理与概念,不同电路的分析研究,各种数据计算及其仿真验证等工作特别适合 MATLAB 的使用。