

电 工 学 的 MATLAB 实践

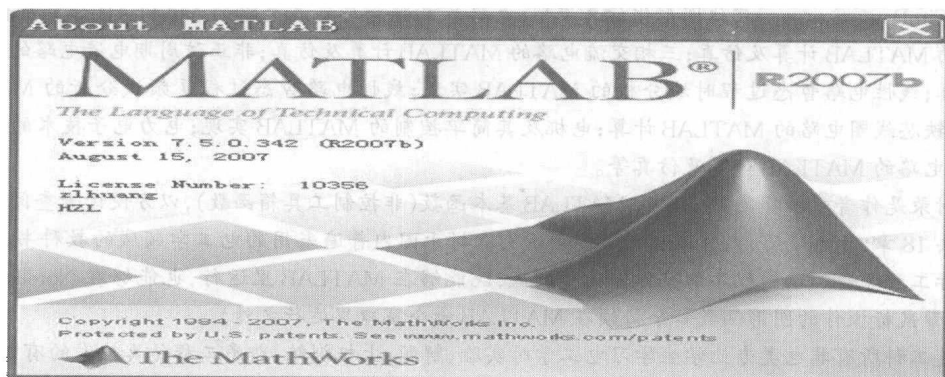
黄忠霖 编著



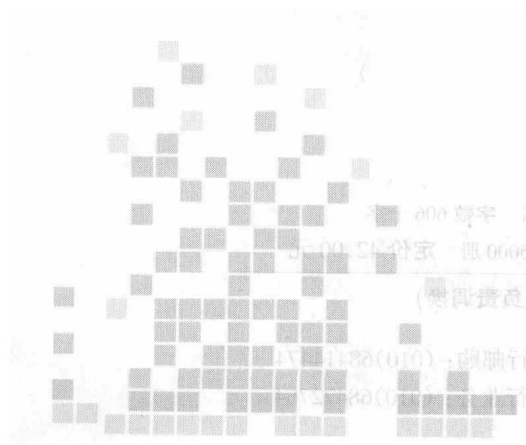
国防工业出版社

National Defense Industry Press

电工学的MATLAB实践



《《《《 黄忠霖 编著



北
國
防
工
業
出
版
社

内 容 简 介

本书包括 MATLAB 语言基础与电工学的 MATLAB 实践两篇。

本书上篇介绍了 MATLAB 7.5 系统的相关知识,包括 MATLAB 7.5 系统概述;MATLAB 数值运算;MATLAB 符号运算基础;MATLAB 程序设计与 MATLAB 7.5 常用图形命令与符号函数图形命令等 5 章。

本书下篇为电工学的 MATLAB 实践部分,内容包括:MATLAB 7.5 的仿真集成环境 Simulink 7.0;常用电气系统(SimPowerSystems)实体图形化仿真模型;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;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;线性电路暂态过程复频域分析的 MATLAB 实现;磁路和铁芯线圈电路的 MATLAB 计算;电机及其简单控制的 MATLAB 实现;电力电子技术的 MATLAB 实践;电子电路的 MATLAB 计算及仿真等。

书后附录是作者重新收集并整理的 MATLAB 基本函数(非控制工具箱函数),以方便读者查阅、使用。

全书共 18 章,示例丰富,内容翔实。大部分示例取材于国内普遍采用的电工学领域的教科书,还有一部分取自实际工程课题。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(除开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)。

本书是工科所有非电类专业学生学习电工学时实验、解题、上机训练、熟悉工程仿真技术的有效工具。也可作为自动控制领域工程技术人员学习 MATLAB 的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工学的 MATLAB 实践/黄忠霖编著. —北京:国防
工业出版社,2010.1
ISBN 978-7-118-06624-1

I. ①电... II. ①黄... III. ①电工学—软件包,
MATLAB IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 234258 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 606 千字

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 42.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

1. 电工学与 MATLAB

电工学是高等学校工科非电类专业的一门技术基础课程。从研究的内容上看,电工学是研究如何把有关“电”与“磁”的自然科学规律应用到工程中去的学问,一般包括电工技术与电子技术两部分,主要讨论电工技术的基本概念、基本理论与基本计算方法,以及电子技术常用的电子器件及其相关电路、机电器件及其基本电路。学生不仅要学习其理论知识,还要进行电工实验技能与用电技术实际动手能力的训练,为学习工科各专业知识以及从事工程技术工作或科学研究工作打好基础。

在实验室里,除了用电阻器、电容器、电压表、电流表与连接导线等装置进行电路的传统实验外,在 21 世纪的计算机信息时代,电工技术的知识结构和技术手段也随之不断地进步。在电工学的教学中,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。与传统的试验相比,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中的知识,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。电工学的 MATLAB 实践是新型的、掌握计算机工具与培养学生仿真能力的初步实践。

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,适用范围广;编程效率特高,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界的很多权威专家,在各自从事的控制领域里开发了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为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。

在国外 MATLAB 已经经受了多年考验。在欧美高校, MATLAB 已经成为电工技术与各类课程的基本教学工具,也成为高校学生、研究生必须掌握的基础知识与技能。

2. 撰写本书的由来

在高等学校中,电工学课程是工科所有非电类专业学生都要学的一门课程,因为“电”的抽象、危险、计算复杂、繁琐与绘图困难,使学生学习枯燥乏味并产生畏难情绪。如果有一个学习这种课程的工具,以解决繁琐的计算,简单、方便又精准地绘图,并用丰富多彩的图形来说明抽象的“电”原理,那是再好不过的。而 MATLAB 工具正好可解决以上困难,它是工科所有非电类各专业学生学习电工学的有效工具。

MATLAB 的两大仿真模型,即数学模型与实体图形化仿真模型在电工学中都能发挥其独特的优势作用。电工学课程中几乎所有的计算都可以基于数学模型,用 MATLAB 程序的方法来解算,并且用电气系统(SimPowerSystems)的实体仿真模型或数学模型来仿真与验证。这些工作都在个人电脑上完成,对于高校工科非电类专业学生熟悉、掌握计算机工具并学会简单电工技术问题的仿真是一项非常有效的学习实践,对于提高学生的竞争力无疑具有重要的意义。

顺便指出,迄今为止国内没有一本关于 MATLAB 在电工学中应用方面的著作,其中有这样一个原因,那就是 MATLAB 系统中没有电工学中直流电路的直流电流源模块,这似乎给电工学的 MATLAB 实践带来问题。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,使直流电路的 MATLAB 计算及仿真不成问题。

基于以上考虑,作者专门针对学习电工学课程的需要,撰写了此书。

3. 本书内容

本书是本着把最优秀的计算仿真软件 MATLAB 与电工学两者结合起来的宗旨编写的。如果没有 MATLAB 的基础,直接介绍 MATLAB 在电工学中的应用,可能有很多读者对如何安装与进入 MATLAB 系统、如何运行与设计程序、如何绘制 Simulink 结构图与如何仿真都不知晓。这样,还是得要另买一本有关 MATLAB 语言基础的书,先学习程序设计的基础及语法规则。这不仅不方便,而且也不经济。基于这个考虑,本书选定了 MATLAB 程序设计语言基础与 MATLAB 在电工学中的应用两大部分内容。

除电工学 MATLAB 实践概述外,本书上篇 MATLAB 计算及仿真语言基础部分包括:MATLAB 7.5 系统概述;MATLAB 数值运算;MATLAB 符号运算基础;MATLAB 程序设计与 MATLAB 7.5 常用图形命令与符号函数图形命令等。

本书下篇 MATLAB 在电工学中的应用部分包括:MATLAB 7.5 的仿真集成环境 Simulink 7.0;常用电气系统(SimPowerSystems)实体图形化仿真模型;电路基本概念与直流电路 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 MATLAB 计算及仿真;非正弦周期电流电路 MATLAB 计算及仿真;线性电路暂态过程时域分析 MATLAB 实现;线性电路暂态过程复频域分析 MATLAB 实现;磁路和铁芯线圈电路的 MATLAB 计算;电机及其简单控制的 MATLAB 实现;电力电子技术的 MATLAB 实践;电子电路的 MATLAB 计算及仿真等。

众所周知,电工学一般由电工技术与电子技术两部分组成。需要说明,当前电工学中电子技术部分最好的设计与仿真软件要数 EWB(Electronics WorkBench)即电子工作平台,这已不是 MATLAB 的内容。故本书中电子技术部分内容只稍作介绍。

4. 本书特色

(1) 本书内容系统而完整,上篇是 MATLAB 仿真工具,下篇是核心内容,它与国内高校使用的电工学教材相对应。这会极大地方便读者使用。

(2) 本书不重述电工学,但每个章节须对有关的基本概念与重要公式进行简要复习,以便读者看懂举例中编写程序的依据与调用的相关 MATLAB 函数。这样既提出并引入了电工学的基本问题,又有解决问题的工具,并辅以算例帮助读者理解、消化与掌握。

(3) 根据作者十多年来接触、学习与研究 MATLAB 的经历、经验与体会,本书给出了使用

MATLAB 系统经常出现的问题及其处理方法、运算某些程序应该注意的问题。对于较复杂上机操作的运算题,特别给出了详细的计算步骤与操作过程,尽力方便读者。当然这些经验与体会对解决某个问题也只是抛砖引玉,或许还有更好的方法。

(4) 本书大量的例题题型,均选自国内高校广泛使用的电工学的经典教材与辅导用书,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。

(5) 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。

(6) 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(除开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)。

(7) 尽力为读者提供力所能及的服务。MATLAB 的函数命令内容丰富,种类繁多,功能各异。书后的附录是作者重新收集并整理的 MATLAB 通用函数(非控制工具箱函数),以方便读者查阅、使用。

在本书编写过程中,作者参阅与借鉴了大量教材与文献,谨对其原作者、学者与专家表示由衷的谢意。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。

在此还要特别感谢国防工业出版社本书的责任编辑,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,读者可通过以下 E-mail 地址与作者联系:

E-mail: zluang41@sina.com

zluang41@21cn.com

黄忠霖

目 录

第 1 章 电工学的 MATLAB 实践概述 1

- 1.1 电能优越性、电能应用与生产发展的关系 1
 - 1.1.1 电能的广泛应用 1
 - 1.1.2 电能的优越性 1

- 1.1.3 电能应用与生产发展的关系 2
- 1.2 电工学的 MATLAB 实践 2
 - 1.2.1 先进的 MATLAB 系统 2
 - 1.2.2 电工学 MATLAB 实践的特点 5

上篇 MATLAB 实践基础

第 2 章 MATLAB 7.5 系统概述 6

- 2.1 MATLAB 7.5 安装与启动 6
 - 2.1.1 MATLAB 7.5 的安装 6
 - 2.1.2 Notebook 的安装 9
 - 2.1.3 MATLAB 7.5 的启动 9
 - 2.1.4 Notebook 的启动 10
- 2.2 MATLAB 7.5 的系统界面 11
 - 2.2.1 MATLAB 7.5 系统的 4 个小窗口 12
 - 2.2.2 MATLAB 7.5 的命令窗口 (Command Window) 12
 - 2.2.3 MATLAB 7.5 菜单项命令 13
 - 2.2.4 MATLAB 7.5 工具栏按钮 19
 - 2.2.5 Start 按钮 19
- 2.3 MATLAB 7.5 的内容及其查找 20
 - 2.3.1 MATLAB 7.5 的内容 20
 - 2.3.2 MATLAB 7.5 内容的查找 23
 - 2.3.3 MATLAB 7.5 的模糊查询 25
 - 2.3.4 查询文件所在的路径与子目录 25
 - 2.3.5 MATLAB 7.5 的 Work 子目录 26
- 2.4 MATLAB 的文字处理工具 Notebook 26
 - 2.4.1 Notebook 菜单命令简介 26
 - 2.4.2 Notebook 的使用 27

- 2.4.3 Notebook 使用的几个问题 28

第 3 章 MATLAB 数值运算 29

- 3.1 MATLAB 的数值运算基础 29
 - 3.1.1 常量 29
 - 3.1.2 变量 30
 - 3.1.3 MATLAB 运算符 30
- 3.2 MATLAB 的数组、矩阵运算 32
 - 3.2.1 数组、矩阵的概念 33
 - 3.2.2 数组或矩阵元素的标识 33
 - 3.2.3 数组与矩阵的输入 35
 - 3.2.4 数组、矩阵的算术运算 36
 - 3.2.5 矩阵的特有运算 40
 - 3.2.6 数组的关系运算 48
 - 3.2.7 数组的逻辑运算 48
- 3.3 MATLAB 的数组函数与矩阵函数 48
 - 3.3.1 数组函数 48
 - 3.3.2 矩阵函数 49
- 3.4 多项式及其运算 51
 - 3.4.1 多项式运算函数 51
 - 3.4.2 多项式运算举例 52
- 3.5 MATLAB 的数学表达式及其书写 53
 - 3.5.1 MATLAB 的数学表达式 53
 - 3.5.2 MATLAB 数学表达式的书写 54

第 4 章 MATLAB 符号运算基础	55	MATLAB 程序	76
4.1 MATLAB 符号运算概述	55	5.1.1 M 文件	76
4.1.1 MATLAB 符号运算入门	55	5.1.2 MATLAB 函数	76
4.1.2 MATLAB 符号运算的 几个基本概念	56	5.1.3 MATLAB 命令文件或程序 ..	79
4.2 MATLAB 符号对象的基本 运算与关系运算	58	5.2 MATLAB 程序设计基础	80
4.3 MATLAB 符号运算的基本 函数	59	5.2.1 MATLAB 程序设计基本 规则	80
4.3.1 符号变量的代换及其函数 subs()	59	5.2.2 表达式、表达式语句与 赋值语句	81
4.3.2 符号对象转换为数值对象 的函数 double()、digits()、 vpa()	59	5.2.3 程序流程控制语句	81
4.3.3 MATLAB 符号表达式的 化简	60	5.2.4 程序流程控制指令	87
4.4 MATLAB 符号微积分运算	62	5.3 MATLAB 程序设计再举例	87
4.4.1 MATLAB 符号极限运算	62	第 6 章 MATLAB 7.5 常用图形命令与 符号函数图形命令	90
4.4.2 MATLAB 符号函数微分 运算	63	6.1 MATLAB 的常用图形命令	90
4.4.3 MATLAB 符号函数积分 运算	64	6.1.1 绘图函数 plot()	90
4.4.4 符号求和函数与 Taylor(泰勒) 级数展开函数	65	6.1.2 绘图坐标系的调整	91
4.5 MATLAB 符号方程求解	66	6.1.3 图形标注	91
4.5.1 MATLAB 符号代数方程 求解	67	6.1.4 多次重叠绘制图形	93
4.5.2 MATLAB 符号微分方程 求解	68	6.1.5 图形窗口在程序设计中 的应用	95
4.6 复变函数计算的 MATLAB 实现	70	6.1.6 图形窗口的分割	95
4.6.1 复数的概念	70	6.2 MATLAB 的特殊坐标绘图 函数	95
4.6.2 MATLAB 关于复变量的 函数命令	70	6.2.1 对数坐标曲线	95
4.6.3 复数的生成与创建复矩阵 ..	71	6.2.2 极坐标曲线	96
4.6.4 复数的几何表示	72	6.2.3 双 y 轴坐标曲线	97
4.6.5 复数代数运算的 MATLAB 实现	74	6.2.4 复数的图形曲线	98
第 5 章 MATLAB 程序设计	76	6.3 MATLAB 离散数据与步进 图形的绘图函数	99
5.1 M 文件、MATLAB 函数与		6.3.1 MATLAB 绘制离散数据 图形的函数命令 stem()	99
		6.3.2 MATLAB 绘制步进图形 的函数命令 stairs()	99
		6.4 MATLAB 符号函数的图形 命令	100
		6.4.1 符号函数的简捷绘图函数 命令 ezplot()	100
		6.4.2 符号函数的绘图函数 命令 fplot()	101
		6.4.3 符号函数的极坐标绘图 函数命令 ezpolar()	103

下篇 电工学的 MATLAB 实践

第 7 章 MATLAB 7.5 的仿真集成环境

Simulink 7.0 104

7.1 Simulink 仿真特色与其模型

窗口 104

7.1.1 Simulink 仿真特色 104

7.1.2 进入 MATLAB 7.5 的

Simulink 7.0 105

7.1.3 Simulink 7.0 的模型窗口

概述 106

7.2 Simulink 7.0 的界面与组成 109

7.2.1 Simulink 7.0 功能模块组

的打开与关闭 110

7.2.2 Simulink 7.0 功能模块的

分类及其用途 110

7.2.3 有关 Simulink 7.0 的几个

问题 121

7.3 用 Simulink 建立系统模型 122

7.3.1 打开模型窗口的的方法 122

7.3.2 模块的查找与选择 122

7.3.3 模块的复制、移动与删除 123

7.3.4 模块的连接 124

7.3.5 模块标题名称的修改 125

7.3.6 系统结构图模型标题名称

的标注与修改 125

7.3.7 创建模型的取消与复原 126

7.3.8 模型文件的保存与打开 126

7.3.9 模型框图的打印 126

7.3.10 Simulink 建模注意事项 126

7.4 模块内部参数的设置或修改 127

7.4.1 常用 15 个模块内部参数

的设置或修改 127

7.4.2 用 Simulink 建立系统模型

举例 133

7.5 观察 Simulink 的仿真结果 135

7.5.1 使用示波器模块观察仿真

输出 135

7.5.2 使用 To Workspace 模块

将仿真输出信息返回到

MATLAB 命令窗口中 137

7.5.3 使用 Out 模块将仿真输出

信息返回到 MATLAB 命令

窗口中 139

第 8 章 常用电气系统(SimPowerSystems)

实体图形化仿真模型 140

8.1 电气系统(SimPowerSystems)

实体图形化模型库简介 140

8.1.1 电源(Electrical Sources)

模块组 140

8.1.2 电器元件(Elements)

模块组 141

8.1.3 电力电子元件(Power

Electronics)模块组 142

8.1.4 电机(Machines)模块组 144

8.1.5 电气测量仪表(Measurements)

模块组 145

8.1.6 应用程序(Application Libraries)

模块组 147

8.1.7 其它电气(Extras)模块组 147

8.2 常用电气系统(SimPowerSystems)

实体图形化仿真模型 148

8.2.1 基本电路元件的仿真模型 148

8.2.2 典型电机与变压器的仿真

模型 151

8.2.3 基本电力电子器件的仿真

模型 157

8.2.4 电力电子变流器典型驱动

装置的仿真模型 166

8.2.5 典型测量元件与选路器的

仿真模型 171

第 9 章 电路基本概念与直流电路的

MATLAB 计算及仿真 176

9.1 电路基本概念 176

9.1.1 电路与电路模型 176

9.1.2 电路的基本物理量 176

9.1.3 电路的负载工作状态、开路

与短路 178

9.1.4	电压源、电流源及其等效变换	179
9.2	直流电路的基本计算方法及其 MATLAB 仿真	179
9.2.1	电阻串并联连接与星形、三角形连接的等效变换	179
9.2.2	支路电流法及其 MATLAB 仿真	180
9.2.3	叠加原理及其 MATLAB 仿真	181
9.2.4	电压源、电流源与等效变换及其 MATLAB 仿真	182
9.3	受控源电路的 MATLAB 计算	183
9.4	直流电路计算 MATLAB 仿真再举例	186
第 10 章	正弦交流电路的 MATLAB 计算及仿真	191
10.1	有关正弦交流电路的基本概念	191
10.1.1	周期、频率与角频率	191
10.1.2	瞬时值、幅值与有效值	191
10.1.3	相位、初相位、相位差与同相位	192
10.1.4	交流电压源、三相电源仿真模块	192
10.2	正弦量的表示法	192
10.2.1	正弦量的三角函数式与正弦波形曲线表示	192
10.2.2	正弦量的复数表示	193
10.2.3	正弦量的相量表示	193
10.3	RLC 元件交流电路及其 MATLAB 仿真	194
10.3.1	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	194
10.3.2	RLC 元件交流电路及其 MATLAB 仿真举例	197
10.3.3	复杂正弦交流电路及其 MATLAB 仿真举例	201
10.4	交流电路频率特性的 MATLAB	

	计算及仿真	203
10.4.1	滤波电路频率特性的 MATLAB 计算及仿真	203
10.4.2	谐振电路频率特性的 MATLAB 计算及仿真	205
10.5	提高功率因数的措施及其 MATLAB 计算及仿真	208
第 11 章	三相交流电路的 MATLAB 计算及仿真	211
11.1	三相交流电压的 MATLAB 仿真	211
11.1.1	电源星形连接的相电压与线电压相量图、相应关系式	211
11.1.2	绘制三相正弦交流电波形图与相量图示例	212
11.2	星形与三角形连接负载的 MATLAB 仿真	213
11.2.1	三相对称负载计算举例	213
11.2.2	三相不对称负载计算举例	214
11.2.3	从交流电源经 L 与 C 获得三相对称电压	215
11.2.4	相序指示器的计算及仿真	216
11.3	三相功率的 MATLAB 计算	218
11.3.1	三相功率关系式	218
11.3.2	三相功率计算举例	219
11.4	对称分量法及其 MATLAB 计算	222
11.4.1	120° 与 -120° 旋转因子	222
11.4.2	对称分量法	222
11.4.3	对称分量法计算举例	223
第 12 章	非正弦周期电流电路的 MATLAB 计算及仿真	226
12.1	非正弦周期量的分解	226
12.1.1	周期函数分解为傅里叶级数	226
12.1.2	奇函数、偶函数与其它特殊函数的傅里叶级数	227

12.2	频谱分析的概念	228
12.2.1	离散频谱的概念	228
12.2.2	连续频谱的概念	235
12.3	非正弦周期量的有效值	236
第 13 章	线性电路暂态过程时域分析的 MATLAB 实现	238
13.1	有关线性电路过渡过程 时域分析的基本概念	238
13.1.1	换路定律	238
13.1.2	零输入响应、零状态 响应与全响应	238
13.1.3	一阶线性电路暂态分析 的三要素法	239
13.2	线性电路暂态过程时域分析 的 MATLAB 实现	239
13.2.1	一阶电路时域分析的 MATLAB 实现	239
13.3.2	二阶电路时域分析的 MATLAB 实现	251
第 14 章	线性电路暂态过程复频域 分析的 MATLAB 实现	255
14.1	Laplace 变换与反变换	255
14.1.1	Laplace 变换与反变换的 概念	255
14.1.2	MATLAB 的 Laplace 变换 函数命令	256
14.1.3	MATLAB 的 Laplace 反 变换函数命令	256
14.2	用部分分式法求 Laplace 反 变换	256
14.2.1	利用留数将象函数表达式 展成部分分式	256
14.2.2	由象函数表达式求原 函数	257
14.3	线性电路的复频域解法	259
14.3.1	用 Laplace 反变换求解 微分方程	259
14.3.2	RLC 元件 VCR 的复频域 形式	262
14.3.3	基尔霍夫定律的复频域	

形式	264
14.3.4 欧姆定律的复频域形式	264
磁路和铁芯线圈电路的 MATLAB 计算	266
磁路的基本物理量及其 相互关系	266
15.1.1 磁路的基本物理量	266
15.1.2 磁场的基本性质	267
铁磁物质及其磁性能	268
15.2.1 铁磁物质的导磁性	268
15.2.2 磁滞回线	268
磁路基本定律与交流铁芯 线圈电路	270
15.3.1 磁路基本定律	270
15.3.2 交流铁芯线圈电路	272
磁路的应用实例	273
15.4.1 变压器	273
15.4.2 电磁铁	275
电动机及其简单控制的 MATLAB 实现	277
异步电动机及其简单控制的 MATLAB 实现	277
16.1.1 异步电动机的转动	277
16.1.2 异步电动机机械特性的 MATLAB 仿真	283
16.1.3 异步电动机起动的仿真	285
16.1.4 异步电动机调速的仿真	289
16.1.5 异步电动机制动的仿真	290
直流电机及其简单控制的 MATLAB 实现	293
16.2.1 并励直流电动机的机械 特性	293
16.2.2 直流电动机机械特性的 MATLAB 仿真	294
16.2.3 直流电动机起动的仿真	296
16.2.4 直流电动机反转的仿真	299
电力电子技术的 MATLAB 实践	300
可控整流电路的 MATLAB	

计算及仿真	300	17.3.1 单相交流调压电路的 MATLAB 仿真	321
17.1.1 单相半波可控整流电路 (电阻性负载)的 MATLAB 仿真	300	17.3.2 三相电机交流调压电路 的 MATLAB 仿真	323
17.1.2 单相桥式可控整流电路 (电阻性负载)的 MATLAB 仿真	305	17.4 直流斩波电路的 MATLAB 仿真	325
17.1.3 单相全波可控整流电路 的 MATLAB 仿真	310	第 18 章 电子电路的 MATLAB 计算 及仿真	328
17.1.4 三相桥式可控整流电路 (电阻性负载)的 MATLAB 仿真	312	18.1 集成运算放大电路的 MATLAB 计算及仿真	328
17.2 逆变电路与变频电路的 MATLAB 仿真	314	18.2 门电路与组合逻辑电路的 MATLAB 仿真	331
17.2.1 单相桥式电压型正弦波脉宽 调制(SPWM)逆变与变频 电路的 MATLAB 仿真 ...	314	18.2.1 门电路的 MATLAB 仿真	332
17.2.2 三相桥式电压型正弦波脉宽 调制(SPWM)变频与变频 电路的 MATLAB 仿真 ...	317	18.2.2 组合逻辑电路的 MATLAB 仿真	334
17.3 交流调压电路的 MATLAB 仿真	321	附录 MATLAB 基本函数	336
		参考文献	352

第1章 电工学的 MATLAB 实践概述

电工学是研究如何把有关“电”与“磁”的自然科学规律应用到工程中去科学。就学科性质而言,电工学是高等学校工科非电类专业的技术基础课,一般包括电工技术基础与电子技术基础两部分,主要讨论电工技术的基本概念、基本理论与基本计算方法,以及电子技术常用的电子器件及其相关电路、机电器件及其基本电路,为学习工科各专业知识以及从事工程技术工作或科学研究工作打好基础。

本章简要介绍电能优越性、电能应用与生产发展的关系;电工学的 MATLAB 实践的基本概况。本章为全书的基础知识介绍。

1.1 电能优越性、电能应用与生产发展的关系

电能的生产集中在火力、水力、风力与原子能发电厂进行。电能与人们的生产和生活息息相关,电力生产与电能的使用水平成为一个国家现代化水平的重要标志。

1.1.1 电能的广泛应用

电能在现代社会的生产和生活中有着广泛的应用,我们的社会一刻也离不开电能。电能应用的方式多种多样,既可直接应用也可间接应用,又可转化应用还可储存后携带移动应用。从能量转换的角度而言,电能可方便地转化成许多其它形式的能而为人们所利用:比如机械能、热能、声能、光能、化学能等。

从人们可视的角度而言,电能用于动力,使工业、农业的各种机器设备运转;用于交通,使各种电力机车行驶,控制飞机、船舶正常运行;用于加热,使各种电炉、电焊机工作;用于照明,使各种交流、直流灯具、霓虹灯发光,以装饰美化生活;用于通讯,使各种电话、电报、广播、电传、雷达工作;用于医疗卫生,使各类医疗设备、仪器能为人类健康服务;用于测量,使各类测量仪器、仪表为生产生活服务;用于文化娱乐,使各种影视、音响、电子刊物、电乐器、相机等丰富人们文化生活;用于人们日常生活,使各种家用电器,如电视机、洗衣机、电饭煲、电冰箱、空调、电风扇等为人们所享用;还有消费电子产品诸如音频视频类的影碟机(VCD、SVCD、DVD)、录像机、摄录机、收音机、收录机、组合音响、电唱机、激光唱机(CD)等,与诸如消费类的电话、个人电脑、家用电子保健设备、汽车电子产品等也都逐渐走入家庭生活。另有用于储存并转化应用于各类电源的补充电能等,不再一一赘述。

对于当今社会,任何时候与任何地方都离不开电。一旦离开了电,人们将无法正常工作甚至无法正常生活。

1.1.2 电能的优越性

电能所以得到普遍应用,其优越性表现为下述几个方面。

(1) 电能便于转换且对环境污染较轻。

电能可以从热能(火力发电)、水能(水力发电)、风能(风力发电)、核能(核能发电)、太阳能

(太阳能发电)、化学能等各种形式的能源经过转换而取得,而且还可以把电能转换成为其它各种形式的能源。例如,利用电灯将电能转换为光能;利用电动机将电能转换为机械能;利用电炉将电能转换为热能;利用扬声器把电能转换为声能;利用电解槽将电能转换为化学能;利用绕在铁芯上的线圈可以将电能转换为磁能等等。电能各种形式之间也可以互相转换,如利用整流器将交流电能转换为直流电能;利用逆变器将直流电能转换为交流电能。总之电能的使用是十分方便的。不仅如此,电能的使用与使用其它能源相比较,对环境的污染较轻,也可以说没有污染,例如,烧煤、烧油、烧液化气都会产生烟气,对环境污染严重,而使用电能则无此弊端。

(2) 电能的变压与输送比较方便。

电能可以近距离输送也可以远距离输送,只需改变电压即可(实现电能的变压极其简便)。为了达到超远距离送电,可以把交流电压转换为直流高压,这样输送距离又远而且损耗小,因此输送电能损耗较小,效率高。电能的分配也比较方便,为了保证人身安全,还可以把电能变换为安全电压,人们用起来就更觉得方便了。

(3) 电能的使用便于控制。

为了达到远动化、自动化,可以应用电能进行遥控、遥测,例如目前使用的定量器和控制器。而且电能配合计算机的应用,可以达到高度自动化和智能化。例如,应用电能可以控制生产过程,控制生产设备,实现程序控制、数字控制或最佳状态控制;使用电能来检测生产过程的各种参数,将生产中的各种参数转换成电信号,进行自动调节和实现管理自动化。综上所述,不难看出电能的使用水平,体现了生产力的发展水平、社会的进步程度,电能的应用对工、农业生产劳动生产率的提高和社会生产力的发展也起着巨大的作用。因此说,电气化是实现工业化和生产过程自动化的必要条件,要发展现代化的强国,首先应发展电力工业,全面实现生产的电气化。

除此之外,电能生产简单经济,易于检测且价格低廉。

1.1.3 电能应用与生产发展的关系

电能的应用使人类社会生产力的发展进入了一个崭新阶段,在国民经济的各行各业中,电力已成为主要的动力能源,对电能消费的多少已经是衡量一个社会物质文明高低的主要标准之一。电工技术及其自动控制的应用使得国民经济朝着现代化的目标提升到了新的高度。电能的应用对劳动生产率的提高与社会生产力的发展进步起着巨大的作用。

目前,我国的发电装机容量和用电量稳居世界第二位,但我国人均装机容量与人均用电量水平还很低。十七大报告提出,到2020年实现人均国内生产总值比2000年翻两番。这对我国经济社会发展和全面建设小康社会提出了新的更高要求,也给为我国走中国特色新型工业化道路、实现国民经济又好又快发展提供支撑的电力工业提出了全新的任务。

1.2 电工学的 MATLAB 实践

让学生去接触实际的器件或电路,强化动手能力,这是传统电工学的实验方法。与传统实验并行不悖的另一条电工学教学实践思路,就是新型的、培养学生仿真能力的初步实践即电工学的 MATLAB 实践。

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。该公司经过二十几年的开发、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, 2005 年 8 月已推出 MATLAB 7.1 版, 2007 年 8 月推出 MATLAB 7.5 版。

在国内外 MATLAB 已经经受了多年考验。MATLAB 已经成为线性代数、自动控制理论、数理统计、数字信号分析与处理、动态系统仿真等各种课程的基本数学工具。

MATLAB 有以下主要特点。

(1) 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。有文献把“SimPowerSystems”译成电力系统, 笔者认为这有与强电领域的电力系统相混淆之弊, 故在此译成电气系统。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)更具有实用价值与低成本。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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的红色出错信息提示, 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 是演算纸式的科学与工程计算语言。使用 MATLAB 编程运算与人进行科学计算的思路跟表达方式完全一样，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。

(5) 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，用户还可以根据需要，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样保存，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。

(6) 语句简单，内涵丰富。

MATLAB 最基本的语句结构是赋值语句，语句的一般形式为

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,...] = fun (d,e,f,...)

即一个函数由函数名，输入变量 d 、 e 、 f ...与输出变量 a 、 b 、 c ...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、精炼而高效。

(7) 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，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形：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。

(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。

1.2.2 电工学 MATLAB 实践的特点

在高等学校中, 电工学课程是工科所有非电类专业学生都要学的一门课程, 因为“电”的抽象、计算复杂繁琐与绘图困难, 使学生学习枯燥乏味并产生畏难情绪。如果有一个学习这种课程的工具, 以解决深奥而繁琐的计算、简单方便又精准的绘图, 并用丰富多彩的图形来说明抽象的“电”原理, 那是再好不过的。而 MATLAB 工具正好可解决以上困难, 是工科所有非电类各专业学生学习电工学的有效工具。

本书就是将 MATLAB 的数学模型与实体图形化仿真模型应用到电工学课程的分析与计算中。电工学所有的计算都可以基于数学模型, 用 MATLAB 程序的方法来解算, 并且用数学模型或电气系统(SimPowerSystems)的实体仿真模型来进行仿真与验证。这些工作都是在个人电脑上完成的, 对于高校工科非电类专业学生熟悉、掌握计算机工具并学会简单电工技术问题的仿真是一项非常有效的学习实践。

电工学 MATLAB 实践有以下特点。

首先, MATLAB 运算功能强大, 它提供的向量、复数运算、符号运算、常微分方程的数值积分运算等, 这些都是电与磁、直流与交流、单相与三相、稳态与暂态、时域与频域等电路方便而高效的计算工具, 其计算结果既精准, 又不易出错。

其次, MATLAB 的 SimPowerSystems 实体图形化仿真模型系统, 把代表晶闸管、触发器、电阻、电容、电源、电压表、电流表等实物的特有图形符号, 连接成一个直流或交流、单相与三相电路等的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更具有简单、方便、节省设计制作时间与低成本, 其仿真结果数据能验证 MATLAB 程序计算的正确性。

再有, 各种直流与交流、单相与三相电路的稳态与暂态、时域与频域分析; 各种电机与整流装置的电能转换与控制, 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, 线形类别丰富, 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, 使得自动控制专业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, 可以使得重复、繁琐计算与绘制图形的笨重劳动被简单、轻而易举的计算操作所代替。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, 电工学中各种电路原理与概念, 各种电路的分析研究, 各种计算及其数据验证、波形测量、绘制与分析等工作特别适合 MATLAB 的使用。