



学习交流QQ群：379090620

学习咨询网站：www.sjzswsw.com

登陆网盘：wangmin770520@126.com 下载本书实例源文件

计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)系列
JISUANJIFUZHUSHEJIYUZHIZHAO(CAD/CAM)XILIE

全面完整的知识体系 深入浅出的理论阐述
循序渐进的分析讲解 实用典型的实例引导

PSCAD X4

电路设计与仿真

从入门到精通

三维书屋工作室

乐健 胡仁喜 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

PSCAD X4 电路设计与仿真从入门到精通

乐健 胡仁喜 等编著

图书在版编目(CIP)

PSCAD X4 电路设计
乐健等编著. —北京:机械工业出版社, 2012.8
ISBN 978-7-111-21308-6

I. ①乐... II. ②乐... III. ③TM7

中国版本图书馆CIP

机械工业出版社 (北京百万庄大街23号) 邮政编码 100071
策划编辑: 曲春云 责任编辑: 康明琦
北京中兴印刷有限公司印刷

000001

2 印张 · 1024 千字

111-21308-6



机械工业出版社

www.cmpbook.com

010-88361066

010-88361066

010-88361066

010-88361066

本书讲解了 PSCAD X4 的主要设置、基本操作及主元件库,包括中高级操作的自定义元件、数据输出与程序接口以及 EMTDC 应用等内容,并在此基础上结合当前研究热点给出了新能源发电、高压直流输电及电能质量的电力电子技术仿真等仿真实例,方便读者加深对该软件的理解。

本书适用范围广泛,不仅适合广大初学者,也可以作为电力科研人员的参考工具书,还可以作为大中专院校电力相关专业的教材或社会培训机构的指导用书。

图书在版编目(CIP)数据

PSCAD X4 电路设计与仿真从入门到精通/乐健 胡仁喜编著.—北京:机械工业出版社,2015.8

ISBN 978-7-111-51206-6

I. ①P… II. ①乐…②胡… III. ①电力系统—系统仿真—软件包
IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 195523 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:曲彩云 责任印制:康朝琦

北京中兴印刷有限公司印刷

2015 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·41.75 印张·1026 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-51206-6

定价:109.00 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

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

PSCAD/EMTDC 是加拿大马尼托巴高压直流研究中心推出的一款电力系统电磁暂态仿真软件,仿真模型直观,元件模块库丰富,主要进行一般的交流电力系统电磁暂态研究,进行简单和复杂电力系统的故障建模及故障仿真,分析电力系统故障电磁暂态过程。PSCAD/EMTDC 具有很好的可移植性,可与多种常见软件连接,例如 EMTP、C 语言、MATLAB 等,因而在电力系统分析中应用范围越来越广。

PSCAD/EMTDC X4 是目前的最新版本,经历了多次完善,无论是在界面上还是在功能上都有了很大提升。PSCAD X4 是第一款包含了 neXus 引擎的产品,尽管其仍是一款专门的电磁暂态研究环境软件,但主要的新功能已可作为多重仿真环境的基础,页面模块也可基于相同的定义而多实例化。它同时包括许多其他新特性,例如并行仿真、组件黑箱化、输电线路互耦等。随着计算机技术的发展,64 位操作系统正逐渐得到普及,该版本可支持 64 位操作系统,解决了某些用户在试图运行大型的仿真程序时曾经遇到的内存溢出问题。

虽然该软件在电力系统分析中应用范围越来越广,但在国内却仍然没有一本详细、全面、专业的使用指导书。针对这一情况,编者结合对该软件的多年仿真研究及教学指导经验编写了本书。

本书涵盖了入门级的主要设置、基本操作及主元件库的介绍,同时也包括了中高级操作的自定义元件、数据输出与程序接口以及 EMTDC 应用等,并在此基础上结合当前研究热点,给出了新能源发电、高压直流输电及电能质量的电力电子技术仿真等仿真实例,方便读者加深对该软件的理解。

本书具有内容丰富、分类明确、语言简洁、图文对照等特点,避免了枯燥乏味,方便读者的学习并能尽快掌握软件的使用方法。

本书适用范围广泛,不仅适合广大初学者,也可以作为电力科研人员的参考工具书,还可以作为大中专院校电力相关专业的教材或社会培训机构的指导用书。

本书由三维书屋工作室策划,主要由武汉大学乐健副教授以及胡仁喜编写,高鹏、毛涛、黄银龙、汪妮、刘昌丽、李鹏、周冰、董伟、李瑞、王敏、张俊生、王玮、孟培、王艳池、阳平华、袁涛、闫聪聪、王培合、路纯红、王义发、王玉秋、杨雪静、张日晶、卢园、孙立明、王渊峰、王兵学、康士廷参加了部分编写工作。软件科学网等为本书的出版提供了大量的帮助和支持,一并表示感谢。

由于时间仓促,书中难免有疏漏和不妥之处,请广大读者登录网站 www.sjzswsw.com 或联系 win760520@126.com 批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 PSCAD 简介	1
1.1.1 PSCAD 的发展	1
1.1.2 PSCAD 的应用	3
1.2 PSCAD X4 的新特性	3
1.2.1 值得注意的重点	3
1.2.2 新增及增强的特性	4
1.2.3 新的主元件库	5
1.3 PSCAD X4 的计算需求及范围边界	6
1.3.1 计算需求	6
1.3.2 范围边界	6
1.3.3 支持的 Fortran 编译器	8
第 2 章 主要设置与基本操作	9
2.1 PSCAD 的主工作界面	9
2.1.1 功能区控制条	9
2.1.2 Workspace 窗口	14
2.1.3 输出窗口	16
2.1.4 工作区	17
2.2 PSCAD 的仿真流程及术语和定义	18
2.2.1 仿真流程	18
2.2.2 术语和定义	19
2.3 PSCAD 的主要设置	19
2.3.1 系统设置 (System settings)	19
2.3.2 应用选项 (Application options)	20
2.3.3 工作区选项 (Workspace options)	26
2.3.4 项目设置 (Project settings)	28
2.3.5 画布设置 (Canvas settings)	36

2.4 PSCAD 的基本操作	37
2.4.1 Workspace 操作	37
2.4.2 Project 操作	38
2.4.3 Simulation 操作	40
2.4.4 打开和查看 Project	40
2.4.5 项目的编译和链接	42
2.4.6 元件和组件的操作	44
2.4.7 连接线的相关操作	48
2.4.8 拖放操作	50
2.4.9 电路方案（控制模板）	52
2.4.10 在线绘图和控制	53
2.4.11 其他操作	85
第 3 章 无源元件	88
3.1 概述	88
3.2 无源元件（Passive）	89
3.2.1 RLC 带通滤波器（Band Pass RLC Filter）	89
3.2.2 C 型滤波器（C-Type Filter）	90
3.2.3 RLC 高通滤波器（High Pass RLC Filter）	91
3.2.4 RLC 串联滤波器（Series RLC Filter）	91
3.2.5 线对地/线间固定负载【Fixed Load（1 and 3-Phase, LG）（1-Phase, L-L）】	91
3.2.6 三相容性/感性/阻性负载（Three-Phase Capacitive/Inductive/ Resistive Load）	92
3.2.7 运行可配置无源支路（Runtime Configurable Passive Branch）	93
3.2.8 可变 RLC（Variable RLC）	93
3.2.9 可变串联阻抗支路（Variable Series Impedance Branch）	94
3.2.10 火花间隙（Spark Gap）	95
3.2.11 饱和电抗器（Saturable Reactor）	95
3.2.12 金属氧化物避雷器（Metal Oxide Surge Arrestor）	96
第 4 章 电源及其动力系统元件	99
4.1 电源	99

4.1.1	单相电压源模型 1 (Single Phase Voltage Source Model 1)	99
4.1.2	三相电压源模型 1 (Three-Phase Voltage Source Model 1)	101
4.1.3	单相电压源模型 2 (Single Phase Voltage Source Model 2)	105
4.1.4	三相电压源模型 2 (Three-Phase Voltage Source Model 2)	106
4.1.5	三相电压源模型 3 (Three-Phase Voltage Source Model 3)	108
4.1.6	电流源 (Current Source)	109
4.1.7	谐波电流注入 (Harmonic Current Injection)	110
4.1.8	光伏电源 (Photovoltaic Source)	112
4.1.9	最大功率点追踪 (Maximum Power Point Tracker)	114
4.2	变压器	115
4.2.1	单相双绕组变压器 (1-Phase 2-Winding Transformer)	115
4.2.2	单相三绕组变压器 (1-Phase 3-Winding Transformer)	117
4.2.3	三相双绕组变压器 (3-Phase 2-Winding Transformer)	118
4.2.4	三相三绕组变压器 (3-Phase 3-Winding Transformer)	119
4.2.5	三相四绕组变压器 (3-Phase 4-Winding Transformer)	120
4.2.6	单相自耦变压器 (1-Phase Auto Transformer)	120
4.2.7	单相三绕组自耦变压器 (1-Phase 3-Winding Auto Transformer)	121
4.2.8	三相 Y/Y 自耦变压器 (3-Phase Star-Star Auto Transformer)	122
4.2.9	带第三绕组的三相 Y/Y 自耦变压器 (3-Phase Star-Star Auto Transformer with Tertiary)	123
4.2.10	单相双绕组 UMEC 变压器 (1-Phase 2-Winding UMEC Transformer)	124
4.2.11	单相三绕组 UMEC 变压器 (1-Phase 3-Winding UMEC Transformer)	125
4.2.12	单相四绕组 UMEC 变压器 (1-Phase 4-Winding UMEC Transformer)	126
4.2.13	3/5 铁心柱 UMEC 变压器 (3/5 Limb UMEC Transformer)	126
4.3	电动机	127
4.3.1	双绕组直流电动机 (Two Winding DC Machine)	127
4.3.2	笼型感应电动机 (Squirrel Cage Induction Machine)	131

4.3.3	绕线式感应电动机 (Squirrel Cage Induction Machine)	135
4.3.4	同步电动机 (Synchronous Machine)	139
4.3.5	永磁同步电动机 (Permanent Magnet Synchronous Machine)	149
4.3.6	交流励磁机 (AC Exciters)	150
4.3.7	直流励磁机 (DC Exciters)	158
4.3.8	静止励磁机 (Static Exciters)	161
4.3.9	水轮机调速器 (Hydro Governors)	167
4.3.10	热工 (蒸汽机) 调速器【Thermal (Steam) Governors】	170
4.3.11	电力系统稳定器 (Power System Stabilizers)	173
4.3.12	水轮机 (Hydro Turbines)	180
4.3.13	汽轮机【Thermal (Steam) Turbines】	182
4.3.14	风机调速器 (Wind Governor)	183
4.3.15	风源 (Wind Source)	184
4.3.16	风力机 (Wind Turbine)	186
4.3.17	内燃机 (Internal Combustion Engine)	187
4.3.18	多质量扭转轴接口	189
第 5 章	输配电线路元件	193
5.1	断路器	193
5.1.1	单相断路器 (Single-Phase Breaker)	193
5.1.2	三相断路器 (Three-Phase Breaker)	195
5.1.3	断路器定时控制逻辑 (Timed Breaker Logic)	196
5.2	故障	196
5.2.1	单相故障 (Single Phase Fault)	197
5.2.2	三相故障 (Three-Phase Fault)	198
5.2.3	故障定时控制逻辑 (Timed Fault Logic)	199
5.3	架空输电线路	199
5.3.1	概述	199
5.3.2	架空线系统的创建	201
5.3.3	架空线配置 (Overhead Line Configuration)	205
5.3.4	架空线接口 (Overhead Line Interface)	207
5.3.5	Bergeron 模型 (Bergeron Model)	208

5.3.6	频率相关模态域模型【Frequency Dependent (Mode) Model】	208
5.3.7	频率相关相域模型【Frequency Dependent (Phase) Model】	210
5.3.8	手动数据输入 (Manual Data Entry)	212
5.3.9	架空线塔模型 (Overhead Line Towers)	216
5.3.10	通用塔 (Universal Tower)	219
5.3.11	变电站母线 (Substation Bus Work)	222
5.3.12	地平面 (Ground Plane)	223
5.3.13	附加选项 (Additional Options)	225
5.3.14	线路常量文件	226
5.3.15	LCP 明细输出查看器	231
5.3.16	线路段互耦合	235
5.3.17	输电段的多实例化	241
5.3.18	单一电路的 PI 线路段【PI-Sections (Single Circuit)】	242
5.3.19	两电路的 PI 线路段【PI-Section (Double Circuit)】	245
5.3.20	三线互耦合线路【Mutually Coupled Wires (Three Lines)】	246
5.3.21	两线互耦合线路【Mutually Coupled Wires (Two Lines)】	247
5.4	地下电缆	247
5.4.1	地下电缆系统的创建	247
5.4.2	电缆配置 (Cable Configuration)	249
5.4.3	电缆接口 (Cable Interface)	250
5.4.4	同轴电缆 (Coaxial Cable)	251
5.4.5	管型电缆 (Pipe-Type Cable)	253
5.5	高压直流输电和柔性交流输电系统	255
5.5.1	电力电子开关 (Power Electronic Switch)	255
5.5.2	插补触发脉冲 (Interpolated Firing Pulses)	258
5.5.3	6 脉波换流桥 (6-Pulse Bridge)	262
5.5.4	通用电流控制 (Generic Current Control)	266
5.5.5	通用 γ 角控制 (Generic Gamma Control)	269
5.5.6	低压限流 (Voltage Dependent Current Limits)	270
5.5.7	逆变器 CCCM 控制器 (CCCM Controller for Inverter)	272
5.5.8	CCCM Controller for Rectifier (整流器 CCCM 控制器)	272

805	5.5.9 真实 γ 角测量 (Apparent Gamma Measurement)	273
015	5.5.10 有效 γ 角测量 (Effective Gamma Measurement)	273
515	5.5.11 最小 γ 角测量 (Minimum Gamma Measurement)	274
815	5.5.12 静止无功补偿器 (Static VAR Compensator)	274
815	5.5.13 TCR/TSC 电容投切逻辑控 (TCR/TSC Capacitor Switching Logic)	279
555	5.5.14 晶闸管投切电容器分配器 (Thyristor Switched Capacitor Allo	
855	cator)	279
255	5.5.15 TSC/TCR 非线性电纳特性 (TSC/TCR Non-Linear Susceptance	
355	Characteristic)	280
355	5.5.16 空间矢量调制【Space Vector Modulation (SVM)】	281
第 6 章	保护与监控元件	284
145	6.1 保护	284
345	6.1.1 耦合电容式电压互感器【Coupled Capacitor Voltage Transformer	
245	(CCVT)】	284
345	6.1.2 电压互感器【Potential Transformer (PT/VT)】	286
745	6.1.3 JA 模型电流互感器【Current Transformer (CT) -JA Model】	287
745	6.1.4 Lucas 模型电流互感器 (Current Transformer-Lucas Model)	288
745	6.1.5 JA 模型的双 CT 差分配置 (Two CT Differential Configuration-JA	
845	Model)	289
025	6.1.6 比相继电器 (Block Average Phase Comparator Relay)	290
125	6.1.7 苹果特性的距离保护 (Distance Relay-Apple Characteristics)	291
825	6.1.8 透镜特性的距离保护 (Distance Relay-Lens Characteristics)	292
225	6.1.9 双斜率电流差动保护 (Dual Slope Current Differential Relay)	292
325	6.1.10 反时限过电流保护 (Inverse Time Over Current Relay)	293
825	6.1.11 欧姆圆 (Mho Circle)	294
525	6.1.12 负序方向元件 (Negative Sequence Directional Element)	295
365	6.1.13 透镜特性失步保护 (Out of Step Relay-Lens Characteristics)	296
865	6.1.14 欧姆圆特性的失步保护 (Out of Step Relay-Mho Characteristics)	297
075	6.1.15 多边形特性的失步保护 (Out of Step Relay-Polygon Chara	
575	cteristics)	298
575	6.1.16 跳闸多边形 (Trip Polygon)	299

05E	6.1.17 线对地阻抗 (Line to Ground Impedance)	300
03E	6.1.18 线间阻抗 (Line to Line Impedance)	301
13E	6.1.19 过电流检测 (Over-Current Detector)	302
11E	6.1.20 相序滤波器 (Sequence Filter)	302
5E	6.2 测量仪表	303
5E	6.2.1 谐波阻抗求解接口 (Interface to Harmonic Impedance Solution)	303
8E	6.2.2 电流表【Current Meter (Ammeter)】	305
3E	6.2.3 Doble 状态 (Doble State)	306
4E	6.2.4 频率/相位/有效值测量 (Frequency/Phase/RMS Meter)	307
8E	6.2.5 多表计 (Multimeter)	308
3E	6.2.6 相位差测量 (Phase Difference)	309
2E	6.2.7 有功/无功功率测量 (Real/Reactive Power Meter)	309
3E	6.2.8 单相有效值测量 (Single-Phase RMS Meter)	310
8E	6.2.9 三相有效值测量 (Three Phase RMS Voltmeter)	311
7E	6.2.10 电压表 (Voltmeters)	312
7E	6.3 控制元件	312
8E	6.3.1 带增益的二阶复极点 (2nd Order Complex Pole with Gain)	312
8E	6.3.2 二阶传递函数 (2nd Order Transfer Functions)	315
8E	6.3.3 离散小波变换 (Discrete Wavelet Transform)	315
0E	6.3.4 快速傅里叶变换【Fast Fourier Transform】	319
1E	6.3.5 XY 传递函数 (XY Transfer Function)	321
1E	6.3.6 XYZ 传递函数 (XYZ Transfer Function)	324
1E	6.3.7 12 通道多路复用器 (12 Channel Multiplexor)	325
5E	6.3.8 6 通道译码器 (6Channel Decoder)	325
8E	6.3.9 4 或 8 通道多路复用器 (4 or 8 Channel Multiplexor)	326
8E	6.3.10 AM/FM/PM 函数 (AM/FM/PM Function)	326
4E	6.3.11 角度解析 (Angle Resolver)	327
4E	6.3.12 abc 与 dq0 变换 (abc to dq0 Transformation)	327
4E	6.3.13 计数器 (Counter)	328
2E	6.3.14 延迟函数 (Delay Function)	328
4E	6.3.15 恒定时间常数微分 (Derivative with a Time Constant)	329

00E	6.3.16 微分滞后 (Differential Lag or Forgetting Function)	329
10E	6.3.17 斜降传递函数 (Down Ramp Transfer Function)	330
50E	6.3.18 斜升传递函数 (Up Ramp Transfer Function)	331
50E	6.3.19 边沿检测器 (Edge Detector)	331
E0E	6.3.20 通用传递函数 (Generic Transfer Function)	332
E0E	6.3.21 谐波畸变率计算 (Harmonic Distortion Calculator)	332
20E	6.3.22 插补采样 (Interpolating Sampler)	333
30E	6.3.23 超前滞后环节 (Lead-Lag)	333
70E	6.3.24 限幅函数 (Limiting Function)	334
80E	6.3.25 最大/最小值选取 (Maximum/Minimum Functions)	335
90E	6.3.26 非线性增益 (Non-Linear Gain)	335
E0E	6.3.27 非线性传递特性 (Non-Linear Transfer Characteristic)	335
01E	6.3.28 N 阶巴特沃斯/切比雪夫滤波器 (Nth Order Butterworth/Chebyshev Filter)	336
51E	6.3.29 N 阶传递函数 (Nth Order Transfer Function)	337
51E	6.3.30 极坐标/直角坐标变换 (Polar/Rectangular Coordinate Converter)	337
31E	6.3.31 随机数发生器 (Random Number Generator)	338
21E	6.3.32 范围比较器 (Range Comparator)	339
21E	6.3.33 速率限制器 (Rate Limiting Function)	339
91E	6.3.34 实极点 (Real Pole)	340
15E	6.3.35 采样保持器 (Sample and Hold)	341
35E	6.3.36 顺序输出 (Sequential Output)	341
25E	6.3.37 浪涌发生器 (Surge Generator)	341
25E	6.3.38 PLL 锁相环 (Phase Locked Loop)	342
35E	6.3.39 定时器 (Timer)	343
35E	6.3.40 双输入选择器 (Two Input Selector)	343
55E	6.3.41 变频锯齿波发生器 (Variable Frequency Sawtooth Generator)	344
55E	6.3.42 压控振荡器 (Voltage Controlled Oscillator)	344
85E	6.3.43 异或相位差 (XOR Phase Difference)	344
85E	6.3.44 二进制高电平延时 (Binary ON Delay)	345
95E	6.3.45 滞环缓冲器 (Hysteresis Buffer)	346

6.3.46	脉冲发生器 (Impulse Generator)	346
6.3.47	积分器 (Integrator)	347
6.3.48	反相器 (Inverter)	348
6.3.49	触发器 (Flip Flop)	348
6.3.50	单稳多谐振荡器 (Monostable Multivibrator)	349
6.3.51	多输入逻辑门 (Multiple Input Logic Gates)	349
6.3.52	PI 控制器 (PI Controller)	350
6.3.53	移位寄存器 (Shift Register)	351
6.3.54	信号发生器 (Signal Generator)	351
6.3.55	单输入比较器 (Single Input Comparator)	352
6.3.56	定时 ON/OFF 逻辑转换 (Timed ON/OFF Logic Transition)	353
6.3.57	两输入比较器 (Two Input Comparator)	353
6.3.58	过零检测器 (Zero Crossing Detector)	354
第 7 章	其他元件	355
7.1	I/O 设备	355
7.1.1	Current Run Number/Total Number of Multiple Runs (当前运行次数和多重运行总次数)	355
7.1.2	Multiple Run (多重运行)	355
7.1.3	Multiple Run Additional Recording (多重运行附加记录)	359
7.1.4	Optimum Run (最优运行)	360
7.1.5	Push Button (按钮)	362
7.1.6	Rotary Switch (拨码盘)	362
7.1.7	Two State Switch (两状态开关)	363
7.1.8	Variable Real/Integer Input Slider (滑动块)	364
7.1.9	Output Channel (输出通道)	365
7.1.10	Variable Plot Step (可变绘图步长)	366
7.1.11	Vector Interface (矢量接口)	366
7.2	Sequencer (定序器)	367
7.2.1	Apply/Clear Fault (故障投入/切除)	368
7.2.2	Close/Open Breaker (断开/闭合断路器)	369
7.2.3	Set Variable (变量设置)	369

7.2.4	Start of Sequence of Events (事件序列启动)	369
7.2.5	Wait for an Event (事件等待)	370
7.3	辅助元件	371
7.3.1	File Reference (文件引用)	371
7.3.2	File Reader (文件读取)	372
7.3.3	Wireless Radio Links (无线链接)	374
7.3.4	COMTRADE/RTP Recorder (录波仪)	375
7.3.5	Import/Export(输入/输出)	378
7.3.6	XNode (电气节点)	378
7.3.7	Annotation Box (批注框)	379
7.3.8	Sticky note (便签)	379
7.3.9	Constants (常量)	381
7.3.10	Type Conversion (类型转换)	381
7.3.11	Data Label (数据标签)	382
7.3.12	Node Label (节点标签)	382
7.3.13	Node Loop (节点环)	383
7.3.14	Data Merge (数据合并)	383
7.3.15	Data Signal Array Tap (数据信号数组分接)	384
7.3.16	Bus (母线)	385
7.3.17	Twist (绞线)	385
7.3.18	Pin (钉)	385
7.3.19	Force to DSDYN/Force to DSOUT	386
第 8 章	用户自定义模型	387
8.1	定义创建	387
8.2	管理及调用	390
8.2.1	创建用户元件库	390
8.2.2	定义的复制	391
8.2.3	实例化	392
8.2.4	重新链接	394
8.3	信号传递及引用方法	395
8.3.1	定义连接端口	396

284	8.3.2 采用无线连接	397
384	8.3.3 输入参数连接	399
488	8.3.4 电气连接	400
884	8.4 图形外观设计	401
984	8.5 输入参数界面设计	404
490	8.5.1 类别页面设计	405
492	8.5.2 参数域设计	407
492	8.5.3 全局替换参数	413
496	8.5.4 条件判断设置	415
500	8.5.5 单位系统	418
500	8.5.6 元件属性查看	422
501	8.6 代码编制	426
502	8.6.1 代码段的操作	427
507	8.6.2 代码段说明及其应用	428
510	8.6.3 PSCAD 定义脚本	436
512	8.7 组件设计的其他问题	451
510	8.7.1 多实例组件技术 (Multiple Instance Modules, MIM)	451
510	8.7.2 组件黑箱化 (Blackbox Module)	461
511	8.8 自定义实例	462
512	8.8.1 正弦/余弦发送器	462
512	8.8.2 利用存储数组的元件设计	465
514	8.8.3 多实例组件的设计	466
	第 9 章 中高级操作	469
512	9.1 数据的输入输出接口方法	469
520	9.1.1 数据输出接口方法	469
520	9.1.2 数据输入接口方法	471
522	9.2 外部程序接口	473
522	9.2.1 调用外部 Fortran 子程序	473
524	9.2.2 GFortran 编译器下调用 C 源代码程序	475
524	9.2.3 CVFortran 编译器下调用 C 源代码程序	477
522	9.2.4 与 MATLAB 的接口	478

9.3	快照拍摄及启动	485
9.3.1	快照拍摄	486
9.3.2	快照启动方式	488
9.3.3	注意事项	488
9.4	多重运行	489
9.4.1	使用 Current Run Number 和 Total Number of Multiple Runs	490
9.4.2	使用 Multiple Run 元件	492
9.4.3	使用 Optimum Run 元件	495
9.5	外部编译器调试	496
9.6	仿真模型自动生成方法	500
9.6.1	仿真模型自动生成方法的原理	500
9.6.2	PSCAD 项目文件结构	501
9.6.3	PSCAD 项目文件编写语法	503
9.6.4	仿真模型自动生成方法的应用示例	507
第10章	EMTDC 及其高级特性	510
10.1	概述	510
10.1.1	时域与相量域仿真	510
10.1.2	典型的 EMTDC 研究	510
10.1.3	EMTDC 与其他 EMTP 类型的程序	511
10.2	程序结构	512
10.2.1	EMTDC 求解过程	512
10.2.2	系统动态部分	514
10.3	电气网络求解	519
10.3.1	集总参数的 R、L 和 C 元件的表示	519
10.3.2	等效支路缩减	520
10.3.3	简单网络的形成	520
10.3.4	导纳矩阵求逆	522
10.3.5	开关和非线性元件	522
10.3.6	互耦合铁心	524
10.3.7	电气网络中的子系统	524
10.4	高级特性	525

10.4.1	插补和开关	525
10.4.2	颤振检测与移除	527
10.4.3	外插电源	528
10.4.4	理想支路	529
10.4.5	最优运行和多重运行	529
10.4.6	动态定维	529
10.5	用户元件设计	530
10.5.1	EMTDC 的 Fortran 指南	530
10.5.2	C 语言方法和函数	530
10.5.3	EMTDC 固有变量	531
10.5.4	向 PSCAD 发送模型消息	536
10.5.5	头文件	537
10.5.6	电气网络接口	543
第 11 章	PSCAD 在新能源发电技术仿真中的应用	551
11.1	太阳能光伏发电	551
11.1.1	概述	551
11.1.2	阴影遮挡的影响仿真	554
11.1.3	最大功率追踪	559
11.1.4	光伏并网仿真	563
11.2	风力发电	569
11.2.1	概述	569
11.2.2	定桨距和变桨距风力机	570
11.2.3	恒速和变速恒频风力机	572
11.2.4	恒频恒速风力发电仿真	576
11.2.5	恒频恒速风力机并网仿真	580
11.2.6	恒频恒速风力发电的 PSS 控制	584
11.2.7	双馈风力发电仿真	586
第 12 章	PSCAD 在高压直流输电系统仿真中的应用	595
12.1	常规高压直流输电系统仿真	595
12.1.1	概述	595
12.1.2	控制系统基本原理	596