

清华大学学术专著

Power System Reliability Analysis

# 电力系统可靠性分析

郭永基 著

Guo Yongji



清华大学出版社



清华大学学术专著

Power System Reliability Analysis

---

# 电力系统可靠性分析

---

郭永基 著

---

Guo Yongji

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是作者的一部学术专著,系统地介绍了作者近年来在电力系统可靠性领域所取得的学术成果,其特点是:新成果多、学术性强、实用性好。全书共9章。第1章介绍电力系统可靠性的基本概念、内容和新进展;第2章介绍发电系统可靠性评估;第3章介绍发输电系统充裕性评估;第4章介绍发输电系统安全性评估;第5章介绍配电系统可靠性评估;第6章介绍电气主接线可靠性评估;第7章介绍我国电厂停电的统计分析方法及结果;第8章介绍可靠性与经济性的协调;第9章介绍电力系统可靠性的区间分析。

本书可作为工程、管理等系科的本科、研究生学习电力系统可靠性的教材及教师参考书,也可供政府、企业的领导、公务员、工程师、经济师等阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力系统可靠性分析 / 郭永基著. —北京:清华大学出版社,2003

(清华大学学术专著)

ISBN 7-302-06707-4

I. 电… II. 郭… III. 电力系统—可靠性—分析 IV. TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 044288 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 王一玲

文稿编辑: 马幸兆

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市印务有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 175×245 印 张: 21.25 插 页: 2 字 数: 412 千字

版 次: 2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06707-4/TM·40

印 数: 1~2000

定 价: 60.00 元

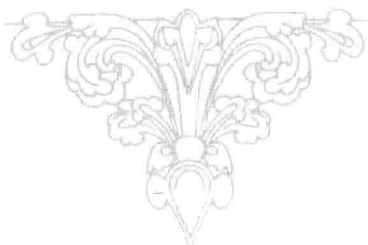


## 作者简介



郭永基，广东潮阳人。毕业于清华大学电机系。在原苏联列宁格勒工业大学(现圣彼得堡国立技术大学)获技术科学副博士和技术科学博士学位。历任清华大学助教、讲师、副教授、教授，第五届校学位委员会委员兼电机系学位委员会主席。现为清华大学教授、博士生导师、中国电工技术学会电工产品可靠性研究会副理事长、IEEE高级会员。长期从事电力系统自动化、电力系统及电工产品可靠性和故障诊断的教学研究工作。曾主持和参加多项科研课题，获多项高水平创新成果。在“电机及电力系统稳定分析和控制”项目中，与他人合作首次提出了考虑电机惯性常数、电网电压及负荷特性的发电机自励磁分析理论，绘制了新的自励区，并经物理模拟试验证实。该项目获1988年国家自然科学二等奖和国家教委科技进步一等奖。在“提高全密封油浸变压器可靠性的研究”项目中，提出了基于聚合度的中小型变压器寿命评估理论和实验方法，获国家教委1996年科技进步三等奖。“电力系统及设备可靠性理论及应用”项目获教育部1998年科技进步三等奖。在“华北和东北电力系统互联后东北500kV及220kV主系统可靠性的研究”项目中，首次提出基于蒙特卡洛模拟法评估大规模电力系统可靠性的算法及软件，从理论上阐明了大模型电力系统考虑多重故障的重要性。该项目获教育部1999年科技进步三等奖。在“干式变压器三个关键技术问题的研究”项目中开发了干式变压器电磁优化设计软件和干式变压器温度场分析软件。该项目获北京市2000年科技进步三等奖。2000年后主持“田湾核电站外部电力系统可靠性分析”、“发电厂变电所电气主接线可靠性软件开发及其在龙滩水电站中的应用”等课题。

为本科及研究生开设课程8门。已培养博士、硕士25名。著有《可靠性工程原理》、《电力系统新进展》、《电力系统可靠性原理和应用》，合著有《串联电容引起的交流电机自激》、《中国电力百科全书·电力系统卷》(第一版、第二版)、《中国电机工程师手册·基础卷》，合译有《电力系统可靠性》、《自动控制系统可靠性的理论基础》。发表论文120余篇，被SCI及EI收录22篇次。事迹收入《世界名人字典》、《中国专家大辞典》、《中华人物辞海》、《世界文化名人辞海》等。



## Abstract

This monograph summarizes recent years achievements of the author in Tsinghua University in the field of power system reliability. Features of the monograph include: new achievements in power system reliability, high quality of academic research and good usability. There are 9 chapters in this monograph which cover advances in power system reliability. Chapter 1 introduces basic concepts, main structures and advances in Power system reliability. Chapter 2 introduces generation system reliability evaluation. Chapter 3 introduces adequacy evaluation of composite power system. Chapter 4 introduces security evaluation of composite generation and transmission system. Chapter 5 introduces reliability evaluation of distribution system. Chapter 6 introduces reliability evaluation of bus arrangement systems of power stations and substations. Chapter 7 introduces statistical analysis of station blackouts in China. Chapter 8 introduces coordination of reliability and economics. Chapter 9 introduces reliability interval analysis.

The book is aimed at students of undergraduate and graduate levels as well as practitioners, including engineers, economists, managers, officers in power facilities and governments. For both, it is an excellent source of knowledge.

# 前 言

电力系统可靠性是对电力系统按可接受的质量标准和所需数量不间断地向电力用户供应电力和电能量之能力的度量。电力系统可靠性包括充裕度与安全性两个方面。

充裕度(adequacy)是指电力系统维持连续供给用户总的电力需求和总的电能量的能力,同时考虑到系统元件的计划停运及合理的期望非计划停运。

安全性(security)是指电力系统承受突然发生的扰动,例如突然短路或未预料到的系统元件丢失的能力。

自从作者 1986 年出版《电力系统可靠性原理及应用》(上、下册)以来,过去整整 17 个年头了。在此期间,世界和我国的电力工业的状况均发生了重大变化。作为目前最清洁的和使用最方便的二次能源,电力在推进社会进步,提高人民生活质量方面发挥着越来越重要的作用。人们对电力的依赖程度也越来越高。电力系统可靠性的重要性也越来越显现出来。

17 年来,电力系统可靠性技术领域取得了重大进展。例如随着竞争机制的引入,许多国家的电力管理体制已经或正在经历空前的变革,向着放松管制的商业化方向发展,如何处理好既要适应电力市场的竞争环境,又要使电力系统处在合理的可靠性水平;在电力设备和电力工程的设计和建设中如何体现可靠性合理,经济上最优;大规模发输电系统可靠性如何实现快速评估;电力可靠性管理的广度和深度如何进一步发展;如何提高核电站及与其相关联的电力系统的可靠性等等是当前的主要问题。与此同时,作者在这一领域辛勤耕耘,完成了教育部博士点专项研究基金项目“电力系统可靠性和电压稳定性理论的研究”及“田湾核电站外部电力系统可靠性分析”、“发电厂变电所电气主接线可靠性软件开发及其在龙滩水电站的应用”、“华北-东北联网后东北电力系统可靠性评估”、“天津城南配电系统改造的可靠性与经济性评估”、“提高油浸变压器可靠性的研究”、“提高干式变压器可靠性的研究”等 10 多项横向课题,取得 10 多项高水平成果,获 4 次省部级科技奖,培养了 26 位博士和硕士生。其研究成果已在大区及省级电力公司、设计院、核电公司、城市供电公司、变压器制造厂等各方面得到应用,产生了可观的经济效益。

作者还于 1995 年和 2000 年两次担任《中国电力百科全书·电力系统卷》(一、二版)中电力系统可靠性分支的主编和主要撰稿人,并与国内学者开展了学术交流。

本书融入了作者近 17 年在国内及清华大学积累的科研成果、教学成果和推广应用成果,具有系统性强、新成果多、学术性强、实用性好的特点。

本书共有 9 章。

第 1 章为电力系统概论。介绍了电力系统可靠性的基本概念、基本内容以及这一领域的新进展。

第 2 章讨论了发电系统的可靠性问题,包括建模原理、可靠性指标和随机生产模拟等,还介绍了我国 2000 年的发电系统可靠性指标。

第 3 章讨论了发输电系统的充裕性评估,包括基于蒙特卡洛法的建模原理、充裕度指标体系、应用软件及 TH-RTS 2000 试验系统。

第 4 章阐述了发输电系统的安全性评估,包括概率稳定分析原理、概率稳定评估案例研究、核电站失去外部电力的可靠性指标计算案例研究、基于蒙特卡洛法的安全性评估原理、评估软件及案例研究。

第 5 章阐述了配电系统的可靠性评估,包括建模原理、可靠性指标、大规模配电系统评估软件、案例研究和电压骤降的可靠性评估。

第 6 章阐述了发电厂变电所电气主接线的可靠性评估,包括变压器、断路器和继电保护装置的可靠性问题。还包括主接线可靠性建模原理、评估大规模电气主接线的软件、大型水电站及 750 kV 变电站电气主接线评估案例研究。

第 7 章对我国电厂停电问题做了统计分析,包括电厂内部引起的事故典型案例,电网引起的典型事故案例,还给出了水、火电厂停电频率及平均恢复时间的点估计值以及相应的经验概率分布公式。

第 8 章介绍了可靠性与经济性的协调性,包括维修经济学、停电损失估计、货币时值变换、经济比较分析、停电损失案例分析和供电可靠性承诺、赔偿法。

第 9 章对电力系统可靠性问题做了区间分析,包括基本运算规则、可靠性经济学主要公式的区间形式、配电系统可靠性的区间分析和电气主接线可靠性的区间分析。

本书得到清华大学学术专著出版基金及教育部博士点专项科研基金(1999000347)的资助,在此表示衷心的感谢。张鹏博士、宋云亭博士研究生协助我整理和校阅全书手稿,在此也向他们表示谢意。

郭永基 教授

2003 年 1 月

于北京清华大学

# 目 录

第 1 章 概论	1
1.1 电力系统可靠性的基本概念	1
1.2 电力系统可靠性的发展过程	2
1.3 电力系统可靠性评估	3
1.4 电力系统可靠性的新进展	5
第 2 章 发电系统可靠性评估	11
2.1 概述	11
2.2 停运容量概率模型的建立	13
2.2.1 建立模型时对一些工程问题的处理	13
2.2.2 安装容量、可用发电容量和停运容量	14
2.2.3 用递推公式建立停运容量概率模型	19
2.3 负荷模型	25
2.3.1 一般考虑	25
2.3.2 不同计算方法使用的负荷模型	26
2.4 发电系统可靠性指标的计算	28
2.5 计划检修的处理方法	38
2.5.1 发电机的有效容量与迦弗尔公式	39
2.5.2 特征斜率的意义	41
2.5.3 按等风险度法安排检修计划	42
2.6 随机生产模拟	45
2.6.1 基本原理	45
2.6.2 应用特点	47
2.7 我国 2000 年的发电系统可靠性评估	47
2.7.1 原始数据	47
2.7.2 评估结果及分析	48
2.8 小结	49



<b>第 3 章</b>	<b>发输电系统可靠性中的充裕性评估</b>	50
3.1	概述	50
3.2	充裕性评估的指标体系	52
3.3	考虑多重故障的充裕性评估算法和软件	54
3.3.1	元件状态持续时间抽样法	54
3.3.2	算法流程图	56
3.3.3	算例验证及分析	59
3.4	发输电系统可靠性试验系统	61
3.4.1	国际上的两个测试系统	61
3.4.2	清华发输电系统可靠性测试系统	63
3.4.3	IEEE-RTS 79 可靠性评估结果	67
3.4.4	TH-RTS 2000 可靠性评估结果	68
3.5	小结	70
<b>第 4 章</b>	<b>发输电系统可靠性中的安全性评估</b>	72
4.1	概述	72
4.1.1	充裕性和安全性评估的共同点和不同点	72
4.1.2	电力系统稳定概念	72
4.1.3	NERC 提出的正常和偶发事件分类	73
4.1.4	确定性电力系统稳定评价和概率性电力系统稳定评价	74
4.1.5	基于蒙特卡洛法的安全性评估	75
4.2	实用概率稳定分析法原理	75
4.3	中国电力系统稳定破坏事故统计分析	77
4.4	实用概率稳定分析法计算流程	81
4.5	概率稳定评估案例研究	82
4.5.1	EC 电力系统概况	82
4.5.2	潮流计算条件	82
4.5.3	潮流调整的控制条件	85
4.5.4	稳定计算条件	85
4.5.5	2005 年冬大方式计算结果	87
4.6	T 核电站失去外电力的可靠性指标计算案例研究	91
4.6.1	考虑检修和故障重叠导致四回联络线 全部不可用的计算	92
4.6.2	计算公式	92
4.6.3	核电站联络线全部不可用的可靠性指标计算结果	93
4.6.4	根据全国倒塔事故统计数据评估联络线不可用的指标	94

4.6.5	计算结果	96
4.7	基于蒙特卡洛模拟法的发输电系统安全性评估原理	97
4.7.1	3种抽样方法	97
4.7.2	随机变量的选取	98
4.7.3	安全性评估中的系统状态划分	99
4.8	发输电系统安全性的指标体系	101
4.9	状态评估的流程图及算法实现	105
4.10	发输电系统安全性评估案例研究之一	108
4.10.1	IEEE-RTS 79 基本情况	108
4.10.2	基本评估结果	110
4.10.3	负荷影响分析	112
4.11	发输电系统安全评估案例研究之二	116
4.11.1	TH-RTS 2000 系统的基本数据	116
4.11.2	评估结果及分析	117
4.12	小结	123
<b>第5章</b>	<b>配电系统可靠性评估</b>	<b>124</b>
5.1	概述	124
5.1.1	评估原理	124
5.1.2	配电系统可靠性指标	125
5.1.3	电力市场条件下对配电系统可靠性的新要求	125
5.2	配电系统的可靠性指标	126
5.3	放射状配电系统的可靠性估计	128
5.4	配电系统典型结构的可靠性分析	130
5.4.1	配电系统典型结构	131
5.4.2	配电系统典型结构可靠性分析	132
5.5	考虑容量约束的配电系统可靠性评估	135
5.5.1	原理和模型	135
5.5.2	容量约束模型	135
5.5.3	可靠性指标	136
5.5.4	算例	137
5.6	基于故障模式影响分析法的大规模配电系统可靠性评估	140
5.6.1	基本原理	140
5.6.2	最小割集算法	140
5.6.3	TLOC 事件	142
5.6.4	PLOC 事件	142

5.6.5	大规模配电系统可靠性评估算法	143
5.7	2001年全国主要城市供电可用率统计	147
5.7.1	供电系统用户供电可靠性评价规程	147
5.7.2	主要指标计算公式	147
5.7.3	10 kV 用户供电可靠性指标	148
5.8	电压骤降的可靠性评估	152
5.8.1	电压骤降评估方法	153
5.8.2	电压骤降评估指标体系	154
5.8.3	电压骤降评估算法	156
5.8.4	算例分析	157
5.9	小结	160
<b>第6章</b>	<b>发电厂及变电所电气主接线的可靠性估计</b>	<b>162</b>
6.1	概述	162
6.1.1	电气主接线系统可靠性估计的步骤	162
6.1.2	估计电气主接线系统可靠性的基本假定	163
6.2	电力变压器的可靠性	163
6.2.1	我国的变压器可靠性指标	163
6.2.2	变压器非计划停运原因分析	164
6.3	断路器的可靠性	166
6.3.1	我国的断路器可靠性指标	166
6.3.2	按形式、部位、原因分类的断路器可靠性指标	166
6.4	继电保护装置的可靠性	169
6.4.1	继电保护装置统计评价方法	169
6.4.2	我国继电保护的可靠性统计数据	171
6.5	电气主接线可靠性评估的数学模型	172
6.5.1	元件的可靠性模型	172
6.5.2	搜索故障与概率、频率的计算	174
6.5.3	故障搜索算法	176
6.5.4	常开隔离开关的处理	177
6.5.5	水能对水电机组出力以及对可靠性评估结果的影响	178
6.5.6	主接线方案经济分析模型	179
6.6	电气主接线可靠性评估软件的功能和特点	180
6.6.1	软件功能	180
6.6.2	软件结构	181
6.7	大型水电站电气主接线方案选择案例研究	181

6.7.1	L 水电站电气主接线评估的原始数据	186
6.7.2	L 水电站的 4 种接线方式的基本计算结果	190
6.7.3	4 种方案综合比较分析	197
6.8	750 kV 超高压变电所电气主接线方案选择案例研究	198
6.8.1	MP 升压站电气主接线评估的原始数据	198
6.8.2	MP 升压站的两种备选接线方式的基本计算结果	200
6.8.3	计算结果分析	205
6.9	小结	206
<b>第 7 章</b>	<b>我国电厂全厂停电的统计分析</b>	<b>207</b>
7.1	概述	207
7.2	名词定义	208
7.2.1	事件定义	208
7.2.2	可靠性指标的定义	209
7.3	1995—2000 年间全国发电厂全厂停电事件概况	211
7.4	厂内事故典型案例	213
7.4.1	SJC 电厂由所有循环水泵跳闸导致的全厂停电	213
7.4.2	HY 电厂由保护误动导致的全厂停电	214
7.4.3	MDJ 二厂由动力直流电缆起火造成的全厂停电	214
7.4.4	人为失误造成的 LC 电厂全厂停电	214
7.4.5	SJS 电厂由 220 kV 母线带地刀闸造成的全厂停电	215
7.5	电网事故典型案例	215
7.5.1	XHY 电厂由系统振荡引发的全厂停电	215
7.5.2	TJZ 水电厂因 220 kV 双回线故障跳闸引起的全厂停电	215
7.6	恶劣天气引起的事故典型案例	216
7.6.1	由洪水造成的 LYX 水电厂全厂停机	216
7.6.2	ST 二厂遭龙卷风袭击后的全厂停电	216
7.6.3	XM 大面积停电(SY 电厂)	216
7.7	可靠性指标的点估计值	217
7.7.1	日历年和电厂日历年	217
7.7.2	停电频率的点估计值	217
7.7.3	停电概率的点估计值	219
7.7.4	平均恢复时间的点估计值	219
7.8	可靠性指标概率分布类型的估计	221
7.8.1	电厂全厂停电频率概率分布的估计	221

7.8.2	内因引起的全厂停电频率概率分布的估计	222
7.8.3	外因引起的电厂全厂停电频率的概率分布的估计	223
7.8.4	电厂全厂停电的恢复时间的概率分布的估计	225
7.8.5	内因引起的电厂停电恢复时间的概率分布的估计	226
7.8.6	外因引起的电厂停电恢复时间的概率分布的估计	229
7.9	小结	232
<b>第8章</b>	<b>可靠性与经济性的协调</b>	233
8.1	概述	233
8.2	修理和维修的经济学	234
8.3	可用率分析	238
8.4	停电损失	240
8.4.1	停电影响	240
8.4.2	停电损失的分类	241
8.4.3	各国停电损失的估算方法	241
8.5	各国停电损失值的估计	244
8.6	货币时值的计算及经济分析方法	246
8.6.1	货币时值的分类及折算	246
8.6.2	经济分析中常用的比较方法	247
8.7	最小岁收需量 MARR 案例研究	248
8.8	适用于中国的停电损失评估方法	253
8.8.1	平均电价折算倍数法	253
8.8.2	产电比法	253
8.8.3	总拥有费用法	260
8.9	停电损失经济计算案例分析	260
8.9.1	原始数据	260
8.9.2	停电损失费用估计	261
8.9.3	4种因素对总拥有费用的影响	262
8.10	供电可靠性承诺与赔偿方案	264
8.11	小结	269
<b>第9章</b>	<b>电力系统可靠性的区间分析</b>	270
9.1	概述	270
9.2	区间分析的基本运算规则	271
9.3	可靠性经济学中的区间分析	274
9.3.1	常用资金等值公式的区间形式	274

9.3.2	总拥有费用法的区间形式	275
9.3.3	TOC 计算案例	276
9.3.4	岁收需量法的区间形式	278
9.4	配电系统可靠性评估中的区间分析	280
9.4.1	配电系统可靠性指标的区间公式	280
9.4.2	考虑负荷时变区间特性的负荷模型	281
9.4.3	串联公式的区间形式	283
9.5	发电厂变电所电气主接线可靠性评估中的区间分析	284
9.5.1	元件修正公式的区间形式	284
9.5.2	电气主接线可靠性指标的区间形式	285
9.5.3	主接线方案经济分析的区间模型	285
9.5.4	案例研究	286
9.6	小结	289
附录		290
附录 1	2001 年中国火电 100 MW 及以上容量 机组运行可靠性综合指标(台年平均值)	290
附录 2	2001 年中国火电 40 MW 及以上容量机组 运行可靠性综合指标(台年平均值)	293
附录 3	2001 年中国 200 kV 及以上电压等级架空线路、变压器和 断路器等 12 类输变电设施可靠性综合指标	294
附录 4	2001 年中国 220 kV 及以上电压等级全封闭 组合电器运行可靠性指标	297
附录 5	2001 年中国高压直流输电系统运行可靠性指标	297
附录 6	1994—1998 年北美发电机组统计数据	302
附录 7	2000 年北美发电机组可靠性指标	305
附录 8	北美设备可靠性数据	305
参考文献		309

# Contents

<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
1.1 Basic Concept of Power System Reliability .....	1
1.2 Development Scenario of Power System Reliability .....	2
1.3 Reliability Evaluation Techniques .....	3
1.4 State-of-the-art of Power System Reliability .....	5
<b>Chapter 2 Generating System Reliability Evaluation</b> .....	11
2.1 Introduction .....	11
2.2 Capacity Outage Probability Model .....	13
2.2.1 Engineering Considerations .....	13
2.2.2 Installed Capacity, Generating Capacity Available and Outage Capacity .....	14
2.2.3 A Recursive Algorithm for Capacity Model Building .....	19
2.3 Load Model .....	25
2.3.1 General Considerations .....	25
2.3.2 Load Models for Different Applications .....	26
2.4 Calculation of Generating System Reliability Indices .....	28
2.5 Consideration of Scheduled Outages .....	38
2.5.1 Effective Capacity of Generator and Gaver's Formula .....	39
2.5.2 Significance of Characterized Slope .....	41
2.5.3 Maintenance Schedule Based on Equal Risk .....	42
2.6 Probabilistic Production Simulation .....	45
2.6.1 Basic Principle .....	45
2.6.2 Application Features .....	47
2.7 Reliability Evaluation for Generating Systems in China in 2000 .....	47
2.7.1 Basic Reliability Data .....	47
2.7.2 Evaluation Results and Analysis .....	48
2.8 Summary .....	49

**Chapter 3 Composite Generation and Transmission Systems**

<b>Adequacy Evaluation</b> .....	50
3.1 Introduction .....	50
3.2 Adequacy Evaluation Indices .....	52
3.3 Adequacy Evaluation Algorithm and Software	
Considering Multiple-faults .....	54
3.3.1 Component State Duration Sampling Approach .....	54
3.3.2 Flowchart of Adequacy Evaluation Algorithm .....	56
3.3.3 Numerical Simulation and Analysis .....	59
3.4 Reliability Test Systems for Composite System	
Reliability Evaluation .....	61
3.4.1 Two Reliability Test Systems Proposed by IEEE .....	61
3.4.2 Reliability Test System for Generation and Transmission	
System Proposed by Tsinghua University .....	63
3.4.3 IEEE-RTS 79 Studies .....	67
3.4.4 TH-RTS 2000 Studies .....	68
3.5 Summary .....	70

**Chapter 4 Security Evaluation for Composite Generation and**

<b>Transmission System</b> .....	72
4.1 Introduction .....	72
4.1.1 Similarities and Differences between Adequacy	
Evaluation and Security Evaluation .....	72
4.1.2 Concepts of Power System Stability .....	72
4.1.3 Classification of Operating States Proposed by NERC .....	73
4.1.4 Deterministic Power System Stability Assessment and	
Probabilistic Stability Assessment .....	74
4.1.5 Security Evaluation Based on Monte-Carlo Method .....	75
4.2 Theory of Applied Probabilistic Stability Analysis .....	75
4.3 Statistics and Analysis of Loss of Stability Events	
in Power Systems of China .....	77
4.4 Calculation Flowchart of Probabilistic Stability Analysis .....	81
4.5 Case Studies of Probabilistic Stability Evaluation .....	82
4.5.1 Brief Description of the EC Power System .....	82
4.5.2 Conditions of Power Flow Computation .....	82
4.5.3 Control Conditions of Power Flow Regulation .....	85



4.5.4	Conditions of Stability Computation .....	85
4.5.5	Results of Maximum Operational Pattern in Winter of 2005 .....	87
4.6	Case Studies of Reliability Indices of Loss of External Power System for T Nuclear Power Plant .....	91
4.6.1	Reliability Indices for Loss of External Power System Caused by Unavailability of 4Tie Lines Due to Scheduled Maintenances Overlapping Failures .....	92
4.6.2	Calculation Formulae .....	92
4.6.3	Evaluation Results of Loss of External Power System Caused by Unavailability of 4Tie Lines .....	93
4.6.4	Evaluation of Tower Collapse Events Based on the Statistics during 1988—2000 in China .....	94
4.6.5	Numerical Results .....	96
4.7	Security Evaluation of Composite Generation and Transmission System Based on Monte Carlo Simulation .....	97
4.7.1	Three Sampling Approaches .....	97
4.7.2	Selection of Random Variables .....	98
4.7.3	Definitions of System Operating States for Security Evaluation .....	99
4.8	Reliability Indices of Security Evaluation of Composite Systems .....	101
4.9	Flowchart of States Evaluation algorithm .....	105
4.10	Case Study I of Composite System Security Evaluation .....	108
4.10.1	Brief Description of IEEE-RTS 79 .....	108
4.10.2	Basic Evaluation Results .....	110
4.10.3	Load Model Effect Analysis .....	112
4.11	Case Study II of Composite System Security Evaluation .....	116
4.11.1	Basic Data of TH-RTS 2000 .....	116
4.11.2	Numerical Results and Analysis .....	117
4.12	Summary .....	123
<b>Chapter 5</b>	<b>Distribution System Reliability Evaluation .....</b>	<b>124</b>
5.1	Introduction .....	124
5.1.1	Evaluation Techniques .....	124
5.1.2	Distribution System Reliability Indices .....	125