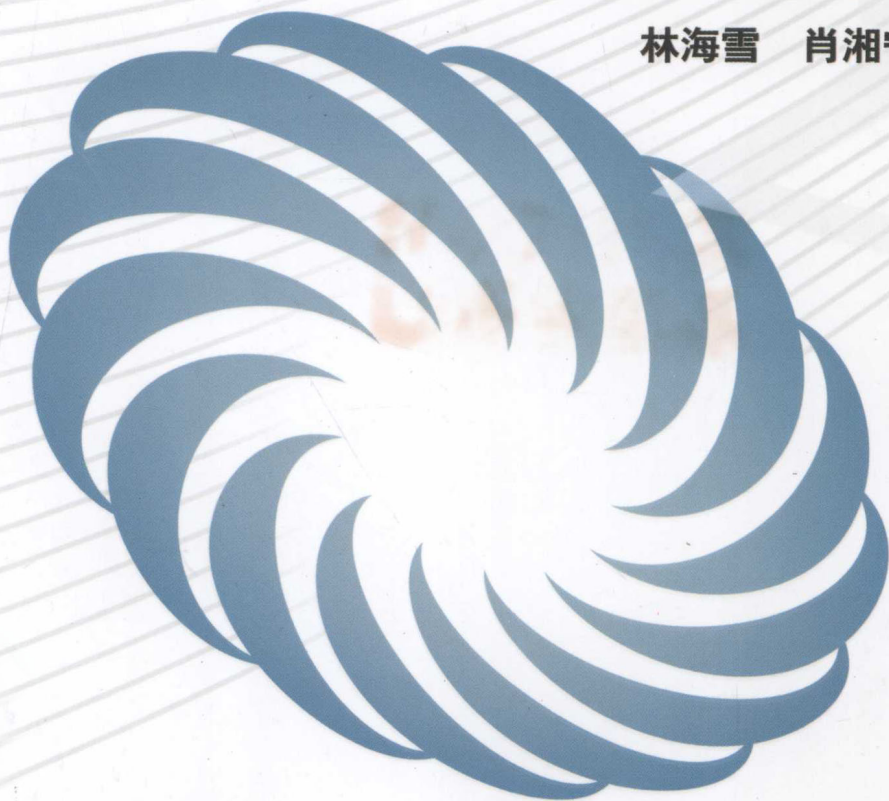


Electrical Power Systems Quality

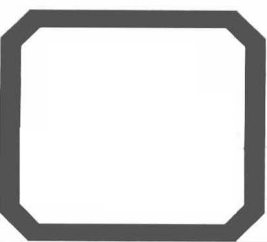
电力系统 电能质量

Roger C Dugan, etc. 著

林海雪 肖湘宁 等译



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



al Power Systems Quality

电力系统 电能质量

Roger C Dugan, etc. 著

林海雪 肖湘宁 等译



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电能质量涉及国民经济各领域以及人民生活用电,关系到电力可持续发展,也关系到国民经济的总体效益,是实现节约型社会的必要条件之一。

本书共分 11 章,较详细地介绍了电压暂降和中断、瞬变、谐波以及长期电压变化四种主要类型的电能质量现象,提出了电能质量基准化评估方法,论述了分布式发电与电能质量的关系,并介绍了电能质量检测技术。

本书可供电力企业、用电单位各类电气技术人员参考,还可作为电能质量培训教材,亦可供高等院校电气专业师生在电能质量专业领域作为教学参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统电能质量/ (美) 杜根 (Dugan, R. C.) 等著; 林海雪等译. —北京: 中国电力出版社, 2012. 4

书名原文: Electrical Power Systems Quality

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2883 - 9

I. ①电… II. ①杜… ②林… III. ①电能 - 质量分析
IV. ①TM60

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 059389 号

北京市版权局著作权合同登记

图字: 01 - 2004 - 2853

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 9 月第一版 2012 年 9 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.75 印张 484 千字
印数 0001—3000 册 定价 60.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

· 译者序 ·

作为最广泛使用的二次能源——电能是国民经济的命脉，其质量涉及国民经济各领域以及人民生活用电。电能质量关系到电力可持续发展，也关系到国民经济的总体效益，是实现节约型社会的必要条件之一。优质电力可以提高用电设备效率，延长其使用寿命，减少电能损耗和生产损失。我国国民经济正处在持续高速发展阶段，随着计算机的普及，电力电子、微电子和信息技术等高新产业的发展，对电能质量的要求越来越高。及时发现、全面认识和正确处理电能质量问题是许多电气技术人员经常需要面对的。本书为此提供了相当全面的基础知识、实用化方法和丰富的资料。

本书较详细地论述了四种主要类型的电能质量现象：电压暂降和中断、瞬变、谐波以及长期电压变化。在此基础上，提出电能质量基准化评估方法，并论述了分布式发电与电能质量的关系。本书专有一章扼要说明用电设施的布线和接地对电能质量的影响，这在同类专业书中较少涉及。最后一章介绍电能质量监测技术，特别是在网络化和智能化方面的新进展。

本书作者都是长期从事电力系统和电能质量工作的专家，书中内容是多位作者长期经验的积累。

本书可供电力企业、用电单位各类电气技术人员参考，还可作为电能质量培训教材，亦可供高等院校电气专业师生在电能质量专业领域作为教学参考。

本书第1~3章和第5~7章由中国电力科学研究院林海雪高级工程师（教授级）翻译，第4章由张文涛高级工程师（教授级）翻译，第9章由胡学浩高级工程师（教授级）翻译，第8、10、11章由华北电力大学肖湘宁教授翻译，徐永海教授、朱永强博士参加了其中部分章节的初译工作，全书由林海雪统稿。由于本书内容丰富，涉及面较广，限于译者水平，翻译不妥或错误之处在所难免，恳请读者指正。

译者

2011年10月于北京

· 原 版 序 ·

Alex McEachern^①

大概 30 年前，在那个只有连环漫画《至尊神探》中的迪克崔西（Dick Tracy）才有手机和呼机的年代，我无意中第一次碰到了电能质量问题。一台小型计算机（那时有些年轻读者可能还太小，不会记得一台小型计算机有电冰箱那么大，而计算能力只相当于一个廉价的计算器，存储容量只相当于几张软盘）在每天下午 3 点左右时突然失常，大家都确信这是电源问题，但没人知道该怎么去处理。

一名销售人员试图说服公司老板杰里·李·刘易斯（Jerry Lee Lewis）（他的名字够古怪的，但不太出名），说用一个瞬态抑制器就可以解决任何电源问题。结果花了很多钱装了一个，但无济于事。小型计算机照样失常，无人知晓该怎么办。

那时我们要有这本书就好了！

回顾那些日子里，电能质量还是神秘的，大多数自称了解电能质量的人热衷于出售一些产品，而几乎没有工程师能理解在那些危险的电力线上出现的稀少而随机的事件。

接下来的几十年，情况起了变化。敏感负荷的长足增长使电能质量问题日显突出。一开始用 Francois Martzloff 的自动摄像示波器，接着用我自制的数字电力示波器，这些波形记录仪为每个工程师展示了电网中所发生的一切。

电能质量产业的发展由以下几方面促成：电源调节产业、电力公司的电能质量计划、仪器仪表制造商以及制定标准的组织，如 IEEE 和 IEC。工程师可以利用的信息量激增，面对非常多的有用资料，必须花很大精力在各处查找。

大家拿到的这本书是我们多年的索求：这是一种专一的、权威的资源，书中包括许多地方积累的电能质量各方面知识，全部作者——Dugan, McGranaghan, Santoso 和 Beaty 以及协助的工作人员，为本书资料的收集和整理做了卓有成效的工作。我把这本书放在手边的书架上，每当对某个电能质量问题有疑问时，就抽出来参考。

（前面提到过 30 年前所谓的电能质量问题，最终获得了解决。作为在场最年轻的工程师，当时我被指派每天下午 3 点坐在小型计算机前的折叠椅上，观察发生的事件。事情是这样的：公司老板每天要巡视他重金投资的场所。他抽上一枝雪茄烟，然后返回小型计算机厂，厂里因疏忽没有装软盘驱动器的空气过滤器，而烟尘足以使计算机失常，但这个事件不同于其他许多电能质量问题。）

^① Alex McEachern 是电能质量监测和分析领域的开拓者之一。已从事 20 余年电能质量问题的研究，目前他决定下一个 20 年继续这方面的研究。可以在网站 <http://www.Alex.McEachern.com> 上了解他在这方面的进展。

• 致 谢 •

如果没有 Electrotek Concepts 股份有限公司和它的员工支持，本书不可能完成。该公司田纳西州诺克斯维尔市办公室几乎每位员工都为本书提供了一些协助，我们对有些协助已表示过感谢，但还有许多其他协助没有专门予以感谢。感谢所有帮助过我们的人。也感谢电力工业部门的朋友，他们很大方地为本书提供了设备的照片和其他资料。

我们在 Electrotek 公司工作的三位同事要感谢 Wayne Beaty 先生对书中语句文字的修饰和联系出版事宜。任何写过书的人都知道，全力投入所承担的工作的同时，写一本书是非常困难的。Wayne 为我们减轻了许多负担，在此深表谢意。

最后，本版书中加进一位新作者 Surya Santoso，这是有充分理由的。Santoso 博士在扩充和更新书中许多章节内容上付出了艰辛的努力，本书其他作者对此表示十分感谢。

Roger C. Dugan
Mark F. McGranaghan
Surya Santoso
H. Wayne Beaty



作者简介

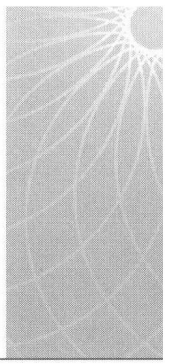
Roger C. Dugan Electrotek Concepts 股份有限公司高级顾问。俄亥俄 (Ohio) 大学电气工程学士学位, 伦斯勒理工学院 (Rensselaer Polytechnic Institute) 电力工程硕士学位。从事电能质量和配电系统分析已有三十几年。因谐波和瞬变方面工作的成就, 当选为电气电子工程师学会 (IEEE) 会员 (Fellow)。

Mark F. McGranaghan Electrotek Concepts 股份有限公司销售和市场副总裁。托莱多 (Toledo) 大学电气工程学士和硕士学位, 匹茨堡 (Pittsburgh) 大学工商管理硕士学位, 现为 IEEE SCC22 (电能质量标准协调委员会) 副主席, IEC SC77A (电能质量国标标准) 技术顾问。从事相关教学工作以及为电力机构和终端用户解决电能质量问题已达 24 年。

Surya Santoso 博士 Electrotek Concepts 股份有限公司电力系统高级工程师。德克萨斯 (Texas) 大学奥斯汀 (Austin) 分校博士学位。研究领域主要为瞬变和谐波现象的模拟、电能质量数据分析的智能系统算法开发。IEEE 高级会员。

H. Wayne Beaty 前《电世界》杂志高级编辑,《电气照明和电源》杂志前执行编辑。McGraw-Hill^❶《电气工程师标准手册》以及《电力工程计算手册》的编辑。休斯敦 (Houston) 大学电气工程学士学位, 在电力工业部门工作 45 年。

❶ McGraw-Hill 是出版公司名字。——译者



目 录

译者序
原版序
致谢
作者简介

第 1 章 概述

1

- 1.1 什么是电能质量? / 2
- 1.2 电能质量——电压质量 / 4
- 1.3 我们为什么要关注电能质量? / 4
- 1.4 电能质量评估程序 / 5
- 1.5 谁使用这本书 / 6
- 1.6 内容综述 / 6

第 2 章 术语和定义

7

- 2.1 词汇一致的必要性 / 7
- 2.2 电能质量问题一般类别 / 7
- 2.3 瞬变现象 / 10
 - 2.3.1 冲击性瞬变现象 / 10
 - 2.3.2 振荡瞬变现象 / 10
- 2.4 长时间电压变动 / 11
 - 2.4.1 过电压 / 12
 - 2.4.2 欠电压 / 12
 - 2.4.3 持续中断 / 12
- 2.5 短时间电压变动 / 12
 - 2.5.1 中断 / 12
 - 2.5.2 暂降 / 13
 - 2.5.3 暂升 (swell) / 14
- 2.6 电压不平衡 / 15

- 2.7 波形畸变 / 15
- 2.8 电压波动 / 17
- 2.9 工频变动 / 18
- 2.10 电能质量术语 / 19
- 2.11 有歧义的术语 / 25
- 2.12 CBEMA 和 ITI 曲线 / 26
- 2.13 参考文献 / 27

第 3 章 电压暂降和中断

28

- 3.1 暂降和中断原因 / 28
- 3.2 电压暂降性能的评估 / 31
 - 3.2.1 脆弱性区域 / 31
 - 3.2.2 设备对电压暂降的敏感性 / 32
 - 3.2.3 输电系统暂降性能的评估 / 33
 - 3.2.4 电力公司配电系统暂降性能的评估 / 36
- 3.3 保护措施的基本原理 / 38
- 3.4 终端用户层的解决方案 / 39
 - 3.4.1 铁磁谐振变压器 / 40
 - 3.4.2 磁性合成器 / 41
 - 3.4.3 有源串联补偿器 / 42
 - 3.4.4 在线型 UPS / 43
 - 3.4.5 备用型 UPS / 43
 - 3.4.6 混合型 UPS / 43
 - 3.4.7 电动机—发电机组 / 43
 - 3.4.8 飞轮储能系统 / 44
 - 3.4.9 超导磁场储能 (SMES) 装置 / 44
 - 3.4.10 静态切换开关和快速切换开关 / 46
- 3.5 不同耐受性解决方案的经济评估 / 46
 - 3.5.1 评估电压暂降事件的费用 / 46
 - 3.5.2 表征可选解决方案的费用和效益 / 48
 - 3.5.3 进行经济分析比较 / 49
- 3.6 电动机启动的暂降 / 50
 - 3.6.1 电动机启动的方法 / 50
 - 3.6.2 全电压启动时暂降严重度的估计 / 51
- 3.7 电力公司系统故障清除的若干问题 / 51
 - 3.7.1 过电流配合原则 / 52
 - 3.7.2 熔断器 / 53
 - 3.7.3 重合 / 54

- 3.7.4 节省熔断器 / 56
- 3.7.5 可靠性 / 56
- 3.7.6 取消节省熔断器的影响 / 57
- 3.7.7 增加分段 / 58
- 3.7.8 线路中间或分支线重合器 / 62
- 3.7.9 瞬时重合 / 62
- 3.7.10 单相跳闸 / 63
- 3.7.11 限流式熔断器 / 63
- 3.7.12 自适应继电保护 / 64
- 3.7.13 忽视3次谐波电流 / 64
- 3.7.14 电力公司故障的预防 / 65
- 3.7.15 故障定位 / 66
- 3.8 参考文献 / 67

第4章 瞬态过电压

69

- 4.1 瞬态过电压的来源 / 69
 - 4.1.1 电容器投切 / 69
 - 4.1.2 电容器投切瞬态的放大 / 70
 - 4.1.3 雷电 / 72
 - 4.1.4 铁磁谐振 / 74
 - 4.1.5 其他投切瞬态 / 77
- 4.2 过电压保护的原则 / 79
- 4.3 过电压保护装置 / 81
 - 4.3.1 避雷器及瞬态电压浪涌限制器 / 81
 - 4.3.2 隔离变压器 / 82
 - 4.3.3 低通滤波器 / 83
 - 4.3.4 低阻抗电力调理器 / 83
 - 4.3.5 电力公司避雷器 / 83
- 4.4 电力公司电容器操作瞬态 / 85
 - 4.4.1 操作时间 / 85
 - 4.4.2 合闸电阻器 / 85
 - 4.4.3 同步合闸 / 86
 - 4.4.4 电容器安装地点 / 87
- 4.5 电力系统雷击保护 / 87
 - 4.5.1 屏蔽 / 87
 - 4.5.2 线路避雷器 / 88
 - 4.5.3 低压侧的浪涌 / 89
 - 4.5.4 电缆的保护 / 91

- 4.5.5 探测 (scout) 避雷器方案 / 93
- 4.6 铁磁谐振的处理 / 94
- 4.7 带负荷操作的瞬态问题 / 96
 - 4.7.1 变速驱动装置 (ASD) 障碍性跳闸 / 97
 - 4.7.2 负荷操作瞬态 / 98
 - 4.7.3 变压器充电 / 98
- 4.8 瞬态分析的计算机工具 / 99
- 4.9 参考文献 / 100

第5章 谐波的基础

102

- 5.1 谐波畸变 / 103
- 5.2 电压和电流畸变的关系 / 104
- 5.3 谐波和瞬变的关系 / 105
- 5.4 非正弦条件下电力系统的电气量 / 105
 - 5.4.1 有功、无功和视在功率 / 105
 - 5.4.2 位移功率因数和真功率因数 / 107
 - 5.4.3 谐波的相序 / 108
 - 5.4.4 3倍次谐波 / 108
- 5.5 谐波指标 / 110
 - 5.5.1 总谐波畸变 / 110
 - 5.5.2 总需量畸变 / 111
- 5.6 商业负荷的谐波源 / 111
 - 5.6.1 单相电源 / 111
 - 5.6.2 荧光明 / 112
 - 5.6.3 用于 HVAC 和电梯的变速驱动装置 / 114
- 5.7 工业负荷的谐波源 / 114
 - 5.7.1 三相电力变流器 / 114
 - 5.7.2 电弧类装置 / 116
 - 5.7.3 磁饱和类装置 / 117
- 5.8 查找谐波源 / 118
- 5.9 系统响应特性 / 119
 - 5.9.1 系统阻抗 / 119
 - 5.9.2 电容器阻抗 / 120
 - 5.9.3 并联谐振 / 121
 - 5.9.4 串联谐振 / 123
 - 5.9.5 电阻的影响和电阻性负荷 / 124
- 5.10 谐波畸变的影响 / 124
 - 5.10.1 对电容器的影响 / 124

- 5.10.2 对变压器的影响 / 126
- 5.10.3 对电动机的影响 / 128
- 5.10.4 对通信的干扰 / 129
- 5.10.5 对电能计量的影响 / 130
- 5.11 间谐波 / 131
- 5.12 参考文献 / 133

- 6.1 谐波畸变的评估 / 134
 - 6.1.1 公共连接点的概念 / 135
 - 6.1.2 在公用电网中谐波的评估 / 135
 - 6.1.3 终端用户设施的谐波评估 / 137
- 6.2 控制谐波的基本原则 / 139
 - 6.2.1 减少负荷产生的谐波电流 / 139
 - 6.2.2 滤波器方法 / 139
 - 6.2.3 改变系统的频率响应 / 139
- 6.3 控制谐波的地点 / 140
 - 6.3.1 在公用配电馈线上 / 140
 - 6.3.2 在终端用户设施中 / 141
- 6.4 谐波分析 / 141
 - 6.4.1 谐波分析的步骤 / 141
 - 6.4.2 建立系统模型 / 142
 - 6.4.3 谐波源的模型 / 143
 - 6.4.4 谐波分析的计算机工具 / 144
 - 6.4.5 谐波的计算机分析——历史及展望 / 146
- 6.5 控制谐波畸变的装置 / 147
 - 6.5.1 线路串联电抗器（或扼流器） / 147
 - 6.5.2 曲折联结（Z联结）变压器 / 149
 - 6.5.3 无源滤波器 / 149
 - 6.5.4 有源滤波器 / 155
- 6.6 谐波滤波器的设计：一个案例的研究 / 155
- 6.7 案例研究 / 161
 - 6.7.1 中性线负载和变压器降容的评估 / 161
 - 6.7.2 感应炉引起的间谐波 / 162
- 6.8 谐波标准 / 165
 - 6.8.1 IEEE Std. 519—1992 / 165
 - 6.8.2 IEC 谐波标准的综述 / 166
 - 6.8.3 IEC 61000-2-2 / 167

- 6.8.4 IEC 61000-3-2 和 IEC 61000-3-4 / 167
- 6.8.5 IEC 61000-3-6 / 169
- 6.8.6 NRS 048-02 / 171
- 6.8.7 EN 50160 / 172
- 6.9 参考文献 / 172
- 6.10 参考书目 / 173

第 7 章 电压长时间变动

175

- 7.1 调节电压的原理 / 175
- 7.2 电压调整装置 / 176
 - 7.2.1 电力公司分级电压调节器 / 176
 - 7.2.2 铁磁谐振变压器 / 177
 - 7.2.3 电子分接头切换调节器 / 177
 - 7.2.4 磁性合成器 / 178
 - 7.2.5 在线 UPS 系统 / 178
 - 7.2.6 电动机—发电机组 / 178
 - 7.2.7 静止无功补偿器 / 178
- 7.3 电力公司电压调节器的应用 / 178
 - 7.3.1 线路压降补偿器 / 179
 - 7.3.2 串联调节器 / 181
- 7.4 用电容器调整电压 / 181
 - 7.4.1 并联电容器 / 181
 - 7.4.2 串联电容器 / 182
- 7.5 终端用户的电容器应用 / 182
 - 7.5.1 功率因数校正电容器的位置 / 183
 - 7.5.2 电压升高 / 183
 - 7.5.3 电力系统中损耗的减小 / 184
 - 7.5.4 线路电流减小 / 184
 - 7.5.5 位移功率因数和真功率因数的比较 / 184
 - 7.5.6 电容值的选择 / 185
- 7.6 用分布式电源调节电力公司的电压 / 186
- 7.7 闪变 / 188
 - 7.7.1 闪变源 / 189
 - 7.7.2 治理措施 / 190
 - 7.7.3 闪变的量化 / 192
- 7.8 参考文献 / 192
- 7.9 标准目录 / 193

- 序言 / 194
- 8.1 概述 / 194
- 8.2 基准化评估过程 / 195
- 8.3 有效值电压变化指标 / 196
 - 8.3.1 有效值变化事件特性化 / 197
 - 8.3.2 有效值变化特性指标 / 199
 - 8.3.3 EPRI DPQ 项目中的 SARFI / 199
 - 8.3.4 示例指标计算过程 / 200
 - 8.3.5 在电力公司的应用 / 201
- 8.4 谐波指标 / 201
 - 8.4.1 采样技术 / 201
 - 8.4.2 三相谐波电压测量特性 / 203
 - 8.4.3 谐波指标的定义 / 203
 - 8.4.4 谐波基准化评估数据 / 205
 - 8.4.5 季节性影响 / 205
- 8.5 电能质量合同 / 206
 - 8.5.1 方均根值变化协议 / 207
 - 8.5.2 谐波协议 / 207
 - 8.5.3 合同示例 / 208
- 8.6 电能质量保险 / 210
 - 8.6.1 电能质量保险概念综述 / 210
 - 8.6.2 保险单设计 / 211
 - 8.6.3 电能质量投资费用调整 / 212
- 8.7 电能质量状态估计 / 212
 - 8.7.1 总体思路 / 212
 - 8.7.2 监测设备数目 / 213
 - 8.7.3 方均根值变化的估计 / 215
 - 8.7.4 对仿真工具的要求 / 216
- 8.8 配网规划中考虑电能质量 / 216
 - 8.8.1 规划过程 / 216
 - 8.8.2 风险与期望值 / 218
 - 8.8.3 系统仿真工具 / 218
 - 8.8.4 故障发生率 / 219
 - 8.8.5 过电流装置响应 / 219
 - 8.8.6 用户损失费用 / 221
- 8.9 参考文献 / 222

- 9.1 DG 的复苏 / 224
 - 9.1.1 关于 DG 效益的不同视角 / 225
 - 9.1.2 并网的观点 / 225
- 9.2 DG 技术 / 226
 - 9.2.1 往复式内燃发电机组 / 226
 - 9.2.2 燃气轮机 / 227
 - 9.2.3 燃料电池 / 228
 - 9.2.4 风力发电机组 / 228
 - 9.2.5 光伏系统 / 229
- 9.3 与电力公司系统的接口 / 229
 - 9.3.1 同步电机 / 229
 - 9.3.2 异步 (感应) 电机 / 230
 - 9.3.3 电力电子逆变器 / 231
- 9.4 电能质量问题 / 233
 - 9.4.1 持续断电 / 233
 - 9.4.2 电压调节 / 233
 - 9.4.3 谐波 / 234
 - 9.4.4 电压暂降 / 234
- 9.5 运行的矛盾 / 235
 - 9.5.1 电力公司清除故障的要求 / 235
 - 9.5.2 重合 / 235
 - 9.5.3 对继电保护的干扰 / 236
 - 9.5.4 电压调节问题 / 238
 - 9.5.5 谐波 / 241
 - 9.5.6 孤岛运行 / 242
 - 9.5.7 铁磁谐振 / 242
 - 9.5.8 并联电容器的相互作用 / 244
 - 9.5.9 变压器的联结 / 245
- 9.6 低压配电网中 DG / 249
 - 9.6.1 电网运行的基础 / 250
 - 9.6.2 电网互联问题的总结 / 251
 - 9.6.3 电网中用于 DG 的集成技术 / 252
- 9.7 DG 的选址 / 253
- 9.8 并网标准 / 256
 - 9.8.1 工业标准方面的工作 / 256

- 9.8.2 并网要求 / 256
- 9.8.3 简单并网 / 257
- 9.8.4 复杂并网 / 258
- 9.9 小结 / 260
- 9.10 参考文献 / 260
- 9.11 参考书目 / 261

第 10 章 布线与接地

262

- 10.1 资料来源 / 262
- 10.2 定义 / 263
- 10.3 接地原因 / 264
- 10.4 典型的布线和接地问题 / 266
 - 10.4.1 导体与连接问题 / 266
 - 10.4.2 失去安全接地 / 266
 - 10.4.3 多中性线接地连接 / 266
 - 10.4.4 不接地设备 / 266
 - 10.4.5 附加接地棒 / 267
 - 10.4.6 接地环 / 267
 - 10.4.7 中性线导体容量不足 / 267
- 10.5 布线和接地问题的解决办法 / 268
 - 10.5.1 正确接地的做法 / 268
 - 10.5.2 接地电极 (棒) / 268
 - 10.5.3 供电入口连接 / 268
 - 10.5.4 配电盘屏 / 269
 - 10.5.5 隔离接地 / 269
 - 10.5.6 隔离分支系统 / 270
 - 10.5.7 信号参考接地技术 / 271
 - 10.5.8 对敏感设备接地的更多考虑 / 272
 - 10.5.9 布线和接地解决方案的总结 / 272
- 10.6 参考书目 / 272

第 11 章 电能质量监测

274

- 11.1 监测的考虑 / 274
 - 11.1.1 现场调查的组成部分 / 275
 - 11.1.2 确定监测内容 / 275
 - 11.1.3 选择监测位置 / 278
 - 11.1.4 电能质量固定监测设备的选择 / 279
 - 11.1.5 扰动监测仪的连接 / 280

- 11.1.6 设定监测仪阈值 / 280
- 11.1.7 监测量和监测时间 / 281
- 11.1.8 查找扰动源 / 281
- 11.2 电能质量测量仪器的发展历程 / 282
- 11.3 电能质量测量设备 / 283
 - 11.3.1 仪器的类别 / 283
 - 11.3.2 布线和接地测试仪 / 284
 - 11.3.3 万用表 / 285
 - 11.3.4 数字相机 / 286
 - 11.3.5 示波器 / 286
 - 11.3.6 扰动分析仪 / 287
 - 11.3.7 频谱分析仪和谐波分析仪 / 288
 - 11.3.8 扰动与谐波综合分析仪 / 288
 - 11.3.9 闪变仪 / 289
 - 11.3.10 智能型电能质量监测仪 / 292
 - 11.3.11 传感器要求 / 293
- 11.4 电能质量测量数据评估 / 297
 - 11.4.1 离线电能质量数据评估 / 298
 - 11.4.2 在线电能质量数据评估 / 299
- 11.5 智能系统的应用 / 300
 - 11.5.1 监测应用的专家系统基本设计 / 300
 - 11.5.2 专家系统的应用实例 / 301
 - 11.5.3 未来应用 / 308
 - 11.5.4 电能质量监测和互联网 / 309
 - 11.5.5 总结与展望 / 310
- 11.6 电能质量监测标准 / 312
 - 11.6.1 IEEE 1159: 电能质量监测指南 / 312
 - 11.6.2 IEC 61000-4-30: 试验和测量技术——电能质量测量方法 / 312
- 11.7 参考文献 / 313
- 11.8 参考书目 / 314