

Mc
Graw
Hill
Education

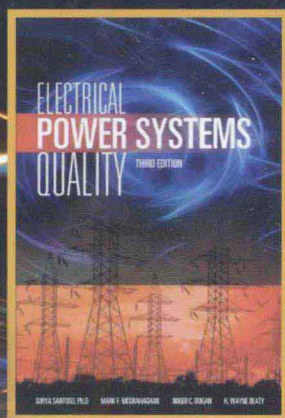
电力系统电能质量

(第三版)

Electrical Power Systems Quality
(Third Edition)

[美] Roger C. Dugan
Mark F. McGranaghan 著
Surya Santoso
H. Wayne Beaty

欧阳森 译



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

电力系统电能质量

(第三版)

ELECTRICAL POWER SYSTEMS QUALITY

(Third Edition)

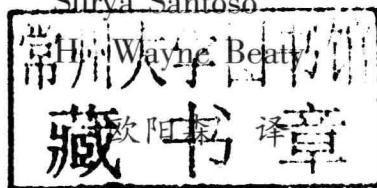
Roger C. Dugan

Mark F. McGranaghan

[美]

Surya Santoso

著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书较全面地讨论了电能质量相关科研领域和工程应用领域的主要问题。作者以对各类问题的高度概况和深入分析为主要写作方式,并较好地结合了典型的应用实例。全书对电能质量的基本概念、相关标准(包括主要指标及其定义)进行了详细介绍,并从电压暂降和中断、暂态过电压、谐波的基本原理、谐波应用技术、长时电压变化、电能质量基准、分布式电源(DG)与电能质量、接线与接地、电能质量监测等方面进行阐述。

本书适于电气工程、自动化及其他相关专业的高年级本科生和研究生阅读,也可供从事电气工程及相关专业的工程技术人员与维修人员参考。

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

Electrical Power Systems Quality (Third Edition)

ISBN: 978-0-07-176155-0

Copyright © 2012, 2003, 1996 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and Publishing House of Electronics Industry. This edition is authorized for sale in China Mainland.

Copyright © 2012 by McGraw-Hill Education (Singapore), PTE. LTD. and Publishing House of Electronics Industry.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和电子工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中国大陆销售。

McGraw-Hill Education 图书版权页封面设计要求

版权©2012 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与电子工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2012-5139

图书在版编目(CIP)数据

电力系统电能质量:第3版/(美)杜根(Dugan, R. C.)等著;欧阳森译. —北京:电子工业出版社,2013.8

书名原文:Electrical power systems quality, third edition

ISBN 978-7-121-21019-8

I. ①电… II. ①杜… ②欧… III. ①电力系统-电能-质量分析 IV. ①TM60

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 162056 号

策划编辑:柴 燕(chaiy@phei.com.cn)

责任编辑:柴 燕

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:24.75 字数:633.6 千字

印 次:2013 年 8 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:79.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zhts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

作者简介

Roger C. Dugan 是美国电力科学研究院 (EPRI) 的资深科研人员。从俄亥俄州大学获得电机工程学士学位，从 Rensselaer 工艺专科学校获得电气工程专业的工程硕士学位 (BSEE)。Dugan 先生在电能质量及配电系统分析方面有超过 40 年的丰富经验。由于他在电力谐波和暂态现象研究方面的杰出贡献获得了 IEEE Fellow 的称号。

Mark F. McGranaghan 是美国电力科学研究院 (EPRI) 电力传输和电能利用部门的副主任。他从托莱多大学分别获得电机工程学士学位 (BSEE) 和电机工程硕士学位 (MSEE)，从匹兹堡大学获得 MBA 学位。McGranaghan 先生是 IEEE SCC 22 电能质量标准协调委员会的副主席，同时是 IEC SC 77A 国际电能质量标准委员会的技术顾问。他在世界范围内多次举办过研究班或研讨会，也与供电企业或用电用户一起解决过大量的电能质量问题。

Surya Santoso 是得州大学电气工程专业的副教授。他从得州大学分别获得科学工程硕士学位 (MSE) 和博士学位。Santoso 博士的研究兴趣包括电能质量和风力发电系统。他的贡献包括对电能质量干扰现象的根源分析的开创性和先进性的工程科学研究，对电磁瞬态的时域建模和仿真分析，风电系统的综合分析等。在工业行业工作期间，Santoso 博士是超过 20 家致力于电能质量和风电综合分析的工业和供电企业的首席技术专家。他还是 IEEE 资深会员。

H. Wayne Beaty 曾分别是《Electrical World》杂志和《Electric Light & Power》杂志的资深编辑。他目前是 McGraw-Hill 出版社的编辑，负责电气工程师标准手册以及电力计量手册。Beaty 先生还是 Alexander 出版社的编辑，负责配电系统的介绍。他从休斯顿大学获得电机工程学士学位 (BSEE)，在电力行业和出版行业有 55 年的经验。

致 谢

本书的成功离不开我们的雇员和同事们的的大力支持。几乎每个在 Electrotek Concepts 有限公司工作的人都曾为本书做过或多或少的贡献（该公司位于田纳西州的诺克斯维尔市）。有些人的贡献是得到大家的认可的，但更多人的贡献则是默默无闻的。我们对所有提供过帮助的人表示诚挚的感谢。我们同时还对曾为本书提供各种装置图片和素材的电力行业的朋友们表示感谢。

本书作者的前三人同时要对 Wayne Beaty 表示诚挚的感谢，是他使本书的文字通俗易懂，也是他与出版商进行大量的协商工作。众所周知，当一个人需要全身心投入一项艰难的工作时，很难同时写书。Wayne 为我们解决了许多写书上的烦琐事情，我们为此再次表示感谢。

最后，本书已修改到第三版，与第二版一样，Surya Santoso 是新加入的作者。这是因为 Santoso 博士为本书许多章节的扩展和更新提供了很多的新内容，其他几位作者对他孜孜不倦的工作表示诚挚的感谢。

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

序

大约 30 年前——当时电视剧中的迪克神探才配有移动电话和寻呼机来工作——我碰到了第一个电能质量问题。一台小型计算机（也许你太年轻以至对此毫无印象，这种小型计算机有电冰箱那么大，但计算能力却只相当于现在的一个便宜的计算器，且其容量仅相当于几个软盘）在每天下午 3 时都发生死机情况。

每个人都确信那是由于电力问题造成的，但没有人知道该怎么办。

拥有这台小型计算机的公司老板有一个相当古怪的名称，叫 Jerry Lee Lewis——与那个著名的男性摇滚乐歌手同名。一个销售人员使这个公司老板确信安装一台暂态抑制器即可解决任何电力问题。在付出一大笔费用后，该公司安装了一台暂态抑制器。但这台小型计算机仍然保持原来的死机现象，而且仍然没有人知道该怎么办。

如果我们当时有这本书就好了！

在当时，电能质量是很神秘的领域，大部分声称懂得电能质量的人都对销售某设备感兴趣，只有很少的工程师能够懂得在哪些危险的电力线路上会发生什么样的罕见的、随机的事件。

在随后的 20 多年里，这种现象发生了很大的变化。大量的敏感性负荷的使用使得电能质量问题逐渐得到足够的关注。从 Francois Martzloff 的自动图像示波器，到我自己的数字视图系统（PowerScopes），都可以很好地给每位工程师展示已发生的电能质量问题。

电能质量行业在几个独立的领域发展着，包括：电力空调行业、供电企业电能质量部门、设备制造商、标准协会或机构（如 IEEE 和 IEC 等）。大量的相关信息爆炸式的增长，这对工程师是好事。但同时你得仔细甄别大量的信息，并且有许多细节地方需要认真了解。

这本书是我们盼望了好多年的一本好书：专一，权威，而且包含了几十年来电能质量所涉及的领域。Messers. Dugan, McGranaghan, Santoso 和 Beaty——他们都是该领域的专家，也都是很友善的人——通过收集和整理大量相关信息形成本书，为我们读者提供了很有价值的服务。我会将该书放在我附近的书架上，当我每次在电能质量方面碰到新问题时都会从书中寻找思路。

顺便提一句，前面提到的 30 年前的电能质量问题已经得到了解决。作为当时资历最浅的工程师，我被安排坐在那台小型计算机前的折叠椅上，在每天下午 3 时都要仔细观察到底发生了什么事情。结果我发现：公司的老板每天都会准时拜访他最大的投资者，而他总是抽雪茄。当他返回小型计算机所在工厂时，磁盘驱动器的空气过滤器不得不因此进行启动。就是说雪茄烟雾中的颗粒多到导致计算机死机。就像其他很多的电能质量问题一样，原因简单但总是很难察觉。

Alex McEachern

Alex McEachern 是电能质量监测及其分析领域的先行者之一。他在电能质量问题方面已花了 20 多年的时间进行探索，目前已决定再花 20 年进行深入研究。你可以在这个网址上了解他的科研情况：<http://www.Alex.McEachern.com>

译者序

随着电子技术、电力电子技术、信息技术等的高速发展，各类非线性负荷比例不断提高，现代电网的规模日渐扩大，复杂性不断提高，智能化发展日益明显，电力企业、用电用户和各类设备制造商都日益关注电能质量（Power Quality）问题。近 20 年来，国内外在这方面已有大量的著作、科研论文出版或发表。

本书共 11 章，兼顾供电企业和用电用户所关心的内容，分析了主要的电能质量问题，全书重点对电压暂降、谐波问题进行分析，并兼顾了暂态过电压、长时电压变化、接线与接地等具有广泛影响和普遍关注的内容，还专门用一章（第 9 章）对分布式电源与电能质量展开阐述。译者 2000 年攻读博士学位时，以配网电能质量的信号处理和监测技术为主攻方向，当时就关注了 Dugan 的这本书。随着电能质量问题的日益复杂，原著作者对本书也进行了相应修改。

本书善于以简明的语言对每一类电能质量问题进行高度总结，更以大量的实例进行详细解析，并提供了极具参考价值的文献列表。本书的各位作者都具有多年的理论研究和工程应用经验，整本书结构科学合理，层次分明，内容深入浅出，密切联系实际应用，是一本不可多得的电能质量方面的专著。译者相信本书既适用于初学者（包括各类在校生和相关领域的工程人员），也对学者和业界资深人士大有帮助。

在本书的翻译过程中，华南理工大学的硕士研究生石怡理、黄瑞艺、袁金晶等参与了部分章节的翻译，并在图表整理中做了大量工作，杨家豪、冯天瑞也参与了本书的翻译，在此表示由衷的感谢。

由于时间紧迫，译者水平所限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正，有问题请联系 jackoys@163.com。

欧阳森

2012 年 8 月于广州

华南理工大学

目 录

第 1 章 简介	1
1.1 什么是电能质量	2
1.2 电能质量 = 电压质量	4
1.3 我们最关心电能质量的哪些方面	4
1.4 电能质量评估流程	5
1.5 哪些人会使用本书	6
1.6 内容简介	6
第 2 章 指标和定义	8
2.1 词汇一致的需要	8
2.2 电能质量问题的一般分类	8
2.3 瞬态现象	11
2.3.1 冲击性瞬态现象	11
2.3.2 振荡性瞬态现象	12
2.4 长时电压变动	13
2.4.1 过电压	13
2.4.2 欠电压	14
2.4.3 持续电压中断	14
2.5 短时电压变动	14
2.5.1 电压中断	14
2.5.2 暂降	15
2.5.3 暂升	17
2.6 电压不平衡	17
2.7 波形畸变	18
2.8 电压波动	20
2.9 电力系统频率偏差	22
2.10 电能质量术语	22
2.11 不明确的术语	28
2.12 CBEMA 和 ITI 曲线	29
2.13 参考资料	30
第 3 章 电压暂降和中断	31
3.1 公用配电系统设计	31
3.1.1 中性线多处接地的四线系统	31
3.1.2 三角形三线系统	32
3.1.3 欧洲式的配电系统	33
3.1.4 辐射状配电网配置/结构	34
3.2 电压暂降和中断的根源	34

3.3	电压暂降特性评估	37
3.3.1	脆弱区域	37
3.3.2	设备电压暂降敏感度	38
3.3.3	输电系统的暂降特性评估	39
3.3.4	公用配电系统暂降特性评估	44
3.4	保护的基本原理	46
3.5	终端用户的解决方案	47
3.5.1	铁磁谐振变压器	47
3.5.2	磁合成器	49
3.5.3	有源串联补偿器	49
3.5.4	在线式 UPS	50
3.5.5	后备式 UPS	51
3.5.6	混合式 UPS	51
3.5.7	电动发电机组	52
3.5.8	飞轮储能系统	52
3.5.9	超导磁体储能 (SMES) 装置	53
3.5.10	静止转换开关和快速转换开关	54
3.6	不间断运行方案之间的经济性评估	55
3.6.1	电压暂降事件的成本评估	56
3.6.2	不同解决方案的成本和效果分析	57
3.6.3	经济性比较分析	58
3.7	电动机启动引起的电压暂降	59
3.7.1	电动机的启动方法	59
3.7.2	全电压启动时的暂降严重性评估	60
3.8	电网系统故障清除问题	61
3.8.1	过电流协调保护原理	61
3.8.2	熔断器	62
3.8.3	重合闸	64
3.8.4	节省熔断器	66
3.8.5	带脉冲关闭技术的重合闸装置	66
3.8.6	可靠性	68
3.8.7	取消节省熔断器的影响	69
3.8.8	增加分段	71
3.8.9	中线或分接头重合闸装置	75
3.8.10	瞬时重合闸	75
3.8.11	单相脱扣	76
3.8.12	限流熔断器	76
3.8.13	自适应继电保护	77
3.8.14	忽略三次谐波电流	78
3.8.15	预防电网故障	78
3.8.16	故障定位	79

3.9	利用电压和电流测量的故障定位	81
3.9.1	基于阻抗的故障定位方法	81
3.9.2	早期故障定位	85
3.9.3	故障电流曲线	89
3.10	参考资料	91
第4章	瞬态过电压	93
4.1	瞬态过电压的根源	93
4.1.1	电容投切	93
4.1.2	电容投切瞬态的放大	95
4.1.3	电容释能过程中的再次放电	96
4.1.4	雷击	98
4.1.5	铁磁谐振	100
4.1.6	其他开关切换瞬态	104
4.2	过电压保护原理	105
4.3	过电压保护设备	108
4.3.1	避雷器和瞬态电压浪涌抑制器	108
4.3.2	隔离变压器	109
4.3.3	低通滤波器	110
4.3.4	低阻抗功率调节器	110
4.3.5	电网浪涌避雷器	111
4.4	电网电容器投切的瞬变现象	112
4.4.1	投切时间	112
4.4.2	接入电阻	113
4.4.3	同步合闸	115
4.4.4	电容器位置	117
4.5	供电系统雷击保护	118
4.5.1	屏蔽	118
4.5.2	线路避雷器	119
4.5.3	低压侧浪涌	120
4.5.4	电缆保护	123
4.5.5	Scout 避雷器策略	125
4.6	铁磁谐振管理	126
4.7	与负载相关的切换瞬态问题	128
4.7.1	可调速驱动设备 (ASD) 的频繁跳闸	128
4.7.2	负载切换的瞬态问题	129
4.7.3	变压器励磁	130
4.8	瞬态分析的计算机工具	130
4.9	参考资料	131
第5章	谐波的基本原理	133
5.1	谐波畸变	134
5.2	电压与电流畸变	135

5.3	谐波与瞬态	136
5.4	非正弦状态下的电力系统参数	136
5.4.1	有功功率、无功功率和视在功率	137
5.4.2	功率因数：相移功率因数和真实功率因数	139
5.4.3	谐波相序	139
5.4.4	3 倍数次谐波	140
5.5	谐波指标	142
5.5.1	总谐波畸变率	142
5.5.2	总需求畸变率	143
5.6	商业负载中的谐波源	144
5.6.1	单相供电电源	144
5.6.2	荧光灯	145
5.6.3	暖通空调和电梯系统中的变频调速设备	147
5.7	工业负载中的谐波源	147
5.7.1	三相电力变换装置	147
5.7.2	电弧性设备	150
5.7.3	铁磁饱和和设备	151
5.8	谐波源定位	153
5.9	系统响应特性	154
5.9.1	系统阻抗	154
5.9.2	电容阻抗	155
5.9.3	并联谐振	156
5.9.4	串联谐振	159
5.9.5	电阻和电阻性负载的影响	160
5.10	谐波畸变的影响	161
5.10.1	对电容的影响	161
5.10.2	对变压器的影响	162
5.10.3	对电动机的影响	165
5.10.4	对通信的影响	166
5.10.5	对电能和需量计量的影响	167
5.11	间谐波	168
5.12	参考文献	170
5.13	参考书目	170
第6章	谐波应用技术	171
6.1	谐波畸变评估	171
6.1.1	公共连接点的概念	172
6.1.2	供电系统的谐波评估	172
6.1.3	终端用户设备的谐波评估	174
6.2	谐波抑制原理	176
6.2.1	减少负载的谐波电流	176
6.2.2	滤波	176

6.2.3	改变系统频率响应	177
6.3	抑制谐波的位置	177
6.3.1	在电力配网馈线	177
6.3.2	在终端用户的设备	178
6.4	谐波研究	179
6.4.1	谐波研究的步骤	179
6.4.2	搭建系统模型	179
6.4.3	谐波源建模	181
6.4.4	谐波分析的计算机工具	182
6.4.5	基于计算机的谐波分析——历史回顾	183
6.5	抑制谐波畸变的设备	185
6.5.1	串联电抗器或扼流线圈	185
6.5.2	Z形变压器	187
6.5.3	无源滤波器	188
6.5.4	有源滤波器	195
6.6	谐波滤波器设计：一个实例分析	196
6.7	实例分析	202
6.7.1	计算中性线电流和变压器降容	202
6.7.2	感应炉引起的间谐波	203
6.8	谐波标准	207
6.8.1	IEEE 519-1992	207
6.8.2	IEC 的谐波标准概述	208
6.8.3	IEC 61000-2-2	209
6.8.4	IEC 61000-3-2 和 IEC 61000-3-4	210
6.8.5	IEC 61000-3-6	212
6.8.6	NRS 048-02	214
6.8.7	EN 50160	214
6.9	参考文献	215
6.10	参考书目	215
第7章	长时电压变化	217
7.1	电压调节原理	217
7.2	用于电压调节的设备	217
7.2.1	分级式电压调节器	218
7.2.2	铁磁谐振变压器	219
7.2.3	电子抽头挡位调节器	219
7.2.4	磁合成器	220
7.2.5	在线式 UPS 系统	220
7.2.6	电动发电机组	220
7.2.7	静止无功补偿器 (SVC)	221
7.3	电网电压调节的应用	221
7.3.1	线路电压降补偿器	222

7.3.2	串联型调节器	224
7.4	用于电压调节的电容器	224
7.4.1	并联电容器	224
7.4.2	串联电容器	225
7.5	终端用户的电容应用	225
7.5.1	功率因数校正电容器的安装位置	226
7.5.2	电压升高	227
7.5.3	减少电力系统线损损失	227
7.5.4	减少线路电流	227
7.5.5	位移功率因数与真功率因数	228
7.5.6	电容器数量的选择	228
7.6	具有分布式能源的电网电压的调节	230
7.7	电压闪变*	231
7.7.1	电压闪变源	233
7.7.2	抑制技术	234
7.7.3	电压闪变定量分析	236
7.8	参考文献	236
7.9	参考书目	237
第8章	电能质量基准	238
8.1	简介	238
8.2	基准管理程序	239
8.3	电压有效值变动指标	240
8.3.1	有效值变动事件特性分析	241
8.3.2	有效值变化性能指标	243
8.3.3	美国电科院 DPQ 项目的 SARFI	244
8.3.4	指标计算过程的例子	244
8.3.5	供电企业的应用	246
8.4	谐波指标	246
8.4.1	采样技术	246
8.4.2	三相谐波电压测量值的特性	248
8.4.3	谐波指标的定义	248
8.4.4	谐波基准数据	250
8.4.5	季节性影响	251
8.5	电能质量合同	252
8.5.1	有效值波动的协议	252
8.5.2	谐波协议	252
8.5.3	合同示例	253
8.6	电能质量保险	255
8.6.1	电能质量保险概念概述	255
8.6.2	保险政策设计	257
8.6.3	电能质量投资成本的调整	257

8.7	电能质量状态估计	258
8.7.1	通用途径	258
8.7.2	监测点的数量	259
8.7.3	有效值波动估计	260
8.7.4	对仿真器的需求	261
8.8	考虑电能质量的配网规划	262
8.8.1	规划过程	262
8.8.2	风险与期望值	264
8.8.3	系统仿真工具	264
8.8.4	故障发生率	265
8.8.5	过电流装置响应	265
8.8.6	用户损失成本	267
8.9	参考文献	268
8.10	参考书目	269
第9章	分布式电源 (DG) 与电能质量	270
9.1	分布式电源的复兴	270
9.1.1	分布式电源的利益的的观点	271
9.1.2	互联的观点	271
9.2	分布式电源技术	272
9.2.1	往复式发动机的发电机组	272
9.2.2	燃气轮机	273
9.2.3	燃料电池	274
9.2.4	风力发电机	275
9.2.5	小型光伏系统	276
9.3	与供电企业的接口	276
9.3.1	同步发电机	277
9.3.2	非同步发电机 (感应发电机)	278
9.3.3	电力电子逆变器	278
9.4	电能质量问题	280
9.4.1	持续中断	280
9.4.2	电压调节	281
9.4.3	谐波	281
9.4.4	电压暂降	282
9.5	操作上的冲突	282
9.5.1	电网故障排除的需求	283
9.5.2	重合闸	283
9.5.3	继电保护的干扰	284
9.5.4	电压调节问题	286
9.5.5	谐波	291
9.5.6	孤岛运行	292
9.5.7	铁磁谐振	293

9.5.8	并联电容器的相互作用	295
9.5.9	变压器接线方式	296
9.6	低压配网中的分布式电源*	300
9.6.1	配电网运行的基本原理	301
9.6.2	网络中相互影响的问题汇总	302
9.6.3	配网中的分布式电源的集成技术	304
9.7	分布式电源的选址	306
9.8	互联标准	308
9.8.1	主要的工业标准	308
9.8.2	互联的需求	309
9.8.3	一个简单的互联方案	310
9.8.4	一个复杂的互联方案	311
9.9	小结	313
9.10	参考文献	313
9.11	参考书目	314
第10章	接线与接地	315
10.1	相关标准	315
10.2	定义	315
10.3	接地的原因	318
10.4	典型的接线与接地问题	319
10.4.1	导体与连接器的問題	319
10.4.2	安全接地的疏忽	319
10.4.3	多中性线的接地连接	319
10.4.4	不接地设备	320
10.4.5	附加的接地棒	320
10.4.6	接地回路	320
10.4.7	不合适的中性线	320
10.5	接线与接地问题的对策	321
10.5.1	正确的接地习惯	321
10.5.2	接地电极(棒)	321
10.5.3	进线口连接	322
10.5.4	配电盘屏	322
10.5.5	隔离地	323
10.5.6	独立的分支系统	323
10.5.7	信号接地技术	324
10.5.8	更多关于敏感设备的接地	325
10.5.9	接线与接地对策汇总	325
10.6	参考书目	326
第11章	电能质量监测	327
11.1	监测的注意事项	327
11.1.1	监测是对用电设施进行现场调查的一部分	328

11.1.2	确定监测内容	330
11.1.3	选择安装点	331
11.1.4	永久性电能质量监测装置的选项	332
11.1.5	监测装置接线的干扰	333
11.1.6	监测装置限值设置	334
11.1.7	监测量与持续时间	334
11.1.8	干扰源查找	335
11.2	电能质量测量装置的发展史	335
11.3	电能质量测量装置	337
11.3.1	设备类型	337
11.3.2	接线与接地检测仪	338
11.3.3	万用表	338
11.3.4	数字照相机	340
11.3.5	示波器	340
11.3.6	干扰分析仪	341
11.3.7	频谱与谐波分析仪	342
11.3.8	干扰与谐波综合分析仪	342
11.3.9	闪变测量仪	344
11.3.10	智能电能质量监测仪	348
11.3.11	传感器的要求	349
11.4	电能质量测量数据的评估	354
11.4.1	电能质量数据离线评估	354
11.4.2	电能质量数据在线评估	355
11.5	智能系统的应用	357
11.5.1	专家系统在监测应用中的基本设计	357
11.5.2	专家系统应用案例	358
11.5.3	将来的应用	365
11.5.4	电能质量监测和因特网	366
11.5.5	小结与将来的方向	367
11.6	电能质量监测标准	368
11.6.1	IEEE 1159: 电能质量监测指南	368
11.6.2	IEC 61000-4-30: 测试与测量技术——电能质量测量方法	369
11.7	参考文献	370
11.8	参考书目	371
索引		372

第1章 简介

供电企业和用电用户目前对电能质量越来越重视。自 20 世纪 80 年代晚期以来，“电能质量”这个术语已成为电力行业最引人注目的词汇之一。电能质量已发展成为一种笼统的概念，包含了多个独立的电力系统干扰的类型。各种归入该笼统概念之下的相关问题都不是新出现的。新的变化是工程师们试图利用系统的途径去分析这些问题，而不是独立对待各种问题。

对于不断提高的对电能质量的关注度，目前有四个主要的原因。

1. 相比传统负荷的用电条件，基于微处理器进行控制或基于电力电子技术的新一代的负荷设备对电能质量的变化更敏感。

2. 几乎所有的提高电力系统效率的技术导致多种相关设备的持续增长，如高效率的可调速电动机驱动设备，用于提高功率因数减少线损的并联电容器。这种状况导致电力系统谐波污染水平的恶化，而且许多人已开始关注这种状况对将来电力系统容量的影响。

3. 终端用电用户对电能质量问题的认知也逐步提高。用电用户对中断、电压暂降、开关切换暂态等问题都比较了解，这也使得供电企业不断提高电能输送的质量。

4. 在电力网络中，许多现象变得越来越有关联性。综合处理的方式使得任何电力元件故障将需要有更多因果关系去分析。

对电力系统电能质量持续关注并将这些原因贯穿起来的思路是一种持续动力，这将能提高所有用电用户的生产效率。设备制造商希望更快、生产率更高、机器效率更高。供电企业管理这种现象，因为这有助于使用电用户收益更多，也通过使用更有效率的负荷设备延缓大量变电站和发电厂的投资行为。有趣的是，所安装的用于提高生产效率的设备不仅通常受到电网电力故障的影响，而且这些设备有时还是电能质量问题的根源。当生产过程变得自动化之后，设备高效率的运行及其控制都越来越依赖于电能质量水平了。

自从本书第一版印刷发行以来，已有一些对原有电能质量概念造成冲击性影响的进展。

1. 在世界范围内，许多政府已修改相关法律，使得供电企业热心于提高电力成本竞争力。违反规定的供电企业则受电能质量问题的影响。在许多地理区域，从发电机到终端用户负荷之间不再有紧密关联的协调控制。电力监管机构能改变与现金流相关的规则，但电力潮流的物理定律却不能改变。为避免为用户供应的电能的品质恶化，监管人员正准备在传统可靠性指标的基础上扩展思路，并忙于提出针对输电和配网公司的电能质量报告及其激励机制的需求。

2. 目前，从业者对分布式电源（Distributed Generation, DG）的兴趣正大幅度增长，也就是说，电能的生产遍布于整个电力系统。所以大量的重要的电能质量问题几乎都与 DG 相关。所以，我们增加了关于 DG 的章节。

3. 全球的工业行业已经加强了对电能质量的认知，并意识到目前的电能质量水平是不够的。在新的区域兴建的工厂都突然间面临无法预料的电力供应问题，或者是因为电力系统较弱，或者是因为气候原因。目前全世界已有几种针对某一地区的电能质量基准，而且与其他地区不同，人们已做了多种尝试使之统一起来。

4. 各种指标也在不断发展中，这有助于对电能质量的不同现象进行基准管理。管理机