



国际电气工程先进技术译丛



Springer

功率理论与 电能质量治理

Power Theories for Improved Power Quality

Grzegorz Benysek

(波兰)

Marian Pasko

著

陶顺 罗超

译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

功率理论与电能质量治理

Power Theories for Improved Power Quality

(波兰) Grzegorz Benysek 著
Marian Pasko
陶顺 罗超 译

浙江工业大学
图书馆藏书



浙江工业大学图书馆



72013521

机械工业出版社

本书介绍了电能质量的基本问题,尤其专注于有源补偿和基于 DSP 的控制算法,分章节讨论了如下内容:①功率理论以及这些理论的发展历史和应用中的实际问题;②有源补偿器 DSP 控制算法的运行原理,引入了很多算例和实验室研究结果;③控制算法的主要应用范围和对实践方案的建议。

Translation from English language edition: Power Theories for Improved Power Quality by Grzegorz Benysek and Marian Pasko.

Copyright © 2012, Springer London.

Springer London is a part of Springer Science + Business Media.

All Rights Reserved.

本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社独家出版。版权所有,侵权必究。

本书版权登记号:图字 01-2013-3376 号

图书在版编目(CIP)数据

功率理论与电能质量治理/(波兰)本尼塞克(Benysek, G.), (波兰)巴斯科(Pasko, M.)著;陶顺,罗超译. —北京:机械工业出版社, 2013. 10

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文: Power Theories For Improved Power Quality

ISBN 978-7-111-44230-1

I. ①功… II. ①本…②巴…③陶…④罗… III. ①功率补偿—理论②电能—质量分析 IV. ①TM714.3②TM60

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 233942 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:牛新国 责任编辑:赵任 版式设计:霍永明

责任校对:刘怡丹 封面设计:赵颖喆 责任印制:杨曦

北京市四季青双青印刷厂印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·12.75 印张·247 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-44230-1

定价:58.00 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

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

译者序

当代电力系统的电源特性、电网结构、负荷构成和调控技术正在发生着深刻变化,这加剧了系统的非线性和不对称性;加之电气设备的敏感性不断增强,使得电能质量问题及其治理方法已经成为当今电工界的研究热点。电气系统功率理论是对电路中客观存在的能量流的本质认识和对功率特性的总结与实践,尤其是对基于电力电子技术的电力调节装置具有理论指导意义,例如,将功率理论与调节装置相结合,可以获得电路的最优运行条件和实现正弦波形畸变最小化等。

由波兰专家 Grzegorz Benysek 和 Marian Pasko 编著的《功率理论与电能质量治理》一书系统地介绍了周期性非正弦系统功率理论及其在电能质量治理中的应用,其中:

第1章概述了交流电力系统中电能质量的主要问题及其治理的必要性;

第2章以电气系统功率理论的认识和发展为线索,回顾了代表性的周期性非正弦系统功率理论的科学研究成果;

第3章将这些功率理论应用于有源电力滤波器(APF)的控制算法,并通过仿真和物理实验的结果比较了不同理论方法的控制性能;

第4章介绍了作者参与开发的APF数字控制器及其算法实现的相关问题;

第5章讨论了一种新颖的并联型有源电力补偿器(APC)的结构及方法,并比较了其电压/电流及混合运行模式下的性能;

第6章介绍了串联型交流电压补偿器的结构、运行和控制方法,重点描述了一种特殊的基于混合变压器的串联电压补偿器的实践应用。

本书既注重理论分析,又紧密结合数字仿真和实验,特别适合于所有从事电力调节和电能质量分析与控制研究的电力工程师和研究者参考学习。

在本书的翻译中,我们对描述相同物理量的变量及其表达式进行了统一修订,以满足我国出版的要求,也便于读者理解。

本书的翻译得到了国家自然科学基金委员会的项目资助(51207051)。

在本书的翻译和校订过程中,肖湘宁导师给予了大力支持和悉心指导,使我们受益匪浅,在此致以衷心地感谢。苏斌、魏天彩和赵晨雪等同学在部分翻译和图文处理等方面做了大量工作,对他们付出的辛劳和智慧表示感谢。

由于时间紧迫,又限于译者水平,书中难免有错误和不妥之处,请读者批评指正。

译者联系方式: taoshun@ncepu.edu.cn。

译者

2013年7月于北京
华北电力大学

原 书 序

电能质量是一个术语，是用以描述电力能否保证负荷正常工作的一组技术参数。劣质电能会引起过负荷、中性线过电流和危险的谐振现象等，甚至可能损坏负荷设备。由此，它会导致巨大的经济损失，尤其在那些新技术发展迅速的国家。据评估，欧洲工业由电能质量相关问题引起的年经济损失约上千亿欧元。而与之相对地，预防这些电能质量问题的投资成本仅为其经济损失的百分之几。因此，世界各国都在广泛地开展电能质量分析和治理的研究工作。本书着重于有源补偿的方式，讨论了提高电能质量的相关问题及方法。

综合考虑以上几个方面，本书将为工程师和技术院校的学生提供非常有价值的信息。

本书第1章介绍了电力系统的基本问题，并简要概括了全书的主要内容。

第2章分析了几种频域和时域方法的代表性功率理论。选择这些功率理论的基准是以该领域的认识发展为历程，并考虑它们在解决实际问题中的有效性，例如补偿无功功率、平衡供电网负荷、消除电压和电流的畸变等。本书将尤为关注在时域中定义电流分量的功率理论，并将之作为当今有源补偿及滤波系统的基础。

第3、4章给出了有源补偿装置控制算法的原理，并提供了采用第2章所述的功率理论的控制算法的算例。通过实验仿真和样机测试结果阐释了一些理论性方面的结论。

第5、6章阐述了适用于解决电能质量问题的并联型、串联型电力电子装置的运行原理和基本特性。

Marian Pasko (波兰西里西亚工业大学)

2011年10月于波兰格利维策市

Grzegorz Benysek (波兰绿山大学)

2011年10月于波兰绿山市

作者清单

Grzegorz Benysek: 波兰, 绿山市 65-246 区, podgorna 街 50 号, 绿山大学。e-mail: G. Benysek@iee. zu. zgora. pl

Marcin Jarnut: 波兰, 绿山市 65-246 区, podgrona 街 50 号, 绿山大学。e-mail: M. Jarnut@iee. zu. zgora. pl

Jacek Kaniewski: 波兰, 绿山市 65-246 区, podgorna 街 50 号, 绿山大学。e-mail: J. Kaniewski@iee. zu. zgora. pl

Marcin Maciazek: 波兰, 格利维策市 44-100 区, Akademicka 街 2 号, 西里西亚工业大学。e-mail: marcin. maciazek@polsl. pl

Marian Pasko: 波兰, 格利维策市 44-100 区, Akademicka 街 2 号, 西里西亚工业大学。e-mail: marian. pasko@polsl. pl

Krzysztof Sozanski: 波兰, 绿山市 65-246 区, podgorna 街 50 号, 绿山大学。e-mail: K. Sozanski@iee. zu. zgora. pl

目 录

译者序

原书序

作者清单

第 1 章 概述	1
1.1 电力系统的构成与基本问题	1
1.2 电能质量治理的必要性	2
1.2.1 电能质量问题	3
1.3 电能质量的治理方法	7
参考文献	7
第 2 章 功率控制原理	10
2.1 功率理论	10
2.1.1 传统功率理论评述	10
2.1.2 Budeanu 理论	14
2.1.3 Fryze 理论	16
2.1.4 Shepherd&Zakikhani 理论	18
2.1.5 Kusters&Moore 理论	20
2.1.6 Czarnecki 理论	20
2.1.7 优化理论	22
2.2 瞬时功率理论	28
2.2.1 pq 理论	28
2.2.2 改进的 pq 理论	31
2.2.3 同步参考坐标变换理论	33
2.3 基于正交分量的功率理论	35
参考文献	37
第 3 章 功率理论在有源补偿控制中的应用	40
3.1 有源补偿的控制策略	40
3.1.1 基于 Fryze 理论的控制策略	42
3.1.2 基于 Budeanu 理论的控制策略	50

3.1.3 基于 Czarnecki 理论的控制策略	59
3.1.4 基于瞬时 pq 理论的控制策略	73
3.1.5 基于改进的 pq 理论的控制策略	82
3.1.6 基于同步参考坐标变换理论的控制策略	91
3.2 直流电压的控制	99
3.3 基于 DSP 的控制策略实现及实验结果	100
3.3.1 数字信号控制器	100
3.3.2 控制策略性能分析	102
3.3.3 实验结果与性能对比	104
3.3.4 结语	108
参考文献	108
第 4 章 数字控制算法的实现	110
4.1 电力电子的数字控制电路	110
4.1.1 多速率数字控制电路	112
4.2 信号调理与采样	112
4.2.1 模拟信号采样速率	112
4.2.2 信号量化	114
4.2.3 最高信号频率和信号采集时间	115
4.2.4 多通道系统的采样	116
4.2.5 有效比特数	118
4.2.6 同步采样过程	120
4.3 数据信号处理器	121
4.3.1 TMS320F28335	124
4.3.2 SHARC DSP	125
4.4 数字控制器	127
4.4.1 并联有源滤波装置的数字控制器	127
4.4.2 APF 的预测控制算法	132
4.4.3 基于滑动 DFT 的数字控制算法	140
4.4.4 滤波器组算法	143
4.4.5 多速率 APF 的控制算法	147
参考文献	154
第 5 章 并联型有源补偿器的控制与应用	157
5.1 引言	157
5.2 基于平均功率法的有源电力补偿器	158
5.2.1 电压源型补偿器的功率平衡	159

VIII 功率理论与电能质量治理

5.2.2 电流模式下的功率平衡	160
5.2.3 电压模式下的功率平衡	162
5.2.4 混合模式下的功率平衡	163
5.3 研究结果	165
5.3.1 稳态仿真	165
5.3.2 暂态仿真	167
参考文献	169

第6章 串联有源补偿器的实际应用

172

6.1 引言	172
6.2 电压变动量的识别	176
6.3 串联电压补偿器	179
6.4 结语	195
参考文献	195

第 1 章 概 述

摘要

本章的内容包括交流系统中提高供电质量的一般性问题和最重要的问题，评价了负荷与配电系统之间的相互影响以及减小这种影响的方法，讨论了最重要的补偿滤波类设备的基本运行原理及其并入或串入配电系统的应用方式。

1.1 电力系统的构成与基本问题

电能是一种非常有用并且受欢迎的能源形式，它在我们现代工业社会中发挥了越来越大的作用。自然资源的逐渐稀缺和电能利用的便利性使电能备受青睐，对其需求也与日俱增，进而又使得电力系统不断接近其稳定极限及耐热等级运行。除此之外，分布式电源（DR）的广泛开发，以及对电能质量日益强烈的关注，都成为了全球电力工业突飞猛进的推动力。

当今电网的主要构架仍然是大型电厂通过传输线供电给配电系统，因此可以形象地描述为单向潮流从电厂流出，通过输电及配电系统，再到达最终的用户（即终端用户）。因此，可以将电力系统（EPS）描述为由以下三个主要环节组成：发电、输电和配电。电能主要由发电厂的同步发电机发出，这些发电机大多由汽轮机或水轮机驱动，因而电厂发出的电能一般都必须通过输电系统传输很远的距离到达配电网，配电网再将电能从输电网或当地小型分布式电源配送到各个终端用户。

上述提到的发电、输电和配电三个环节，对电能质量水平既有各自独特的影响，又有共同的作用。其中，需要考虑的因素很多，比如电力设备和系统的维护、系统运行的稳定性、故障、畸变以及负荷的非线性等。我们必须清楚每个环节出现的问题对系统整体性能的潜在影响。例如，发电部分出现故障将会导致输电系统故障，继而造成配电系统丢失部分负荷；而输电部分出现故障可能引起发电部分的故障，也会造成配电系统丢失负荷。但配电系统发生故障很少会引起发电/输电部分的故障，仅会损失当地用户负荷，因而影响较小。这些问题一部分与输电系统有关，一部分与配电系统有关，但都是电能质量的基本问题。

值得注意的是，从电力系统分级体系的顶层来看，正常运行的发电厂不会造成任何电能质量问题，因为发电系统的电压基本上为理想的正弦波。因此，本书认为电能质量这一术语只与两个方面相关，即输电系统的极限^[1-4]和配电系统中

的问题。需要指出的是,即使电能质量主要是配电系统的问题,但是输电系统仍然对其存在影响,例如,当阻抗比较小时导致系统阻尼较弱(动态稳定性),容易引起电能质量问题。

从配电角度来看,广义上的电能质量是指保持配电系统母线电压接近正弦波,幅值和频率为额定值,且电能供给不间断。因此,电能质量包含两方面内容,即电压质量和供电可靠性^[5]。电压质量包括各种扰动,比如快速电压变化、谐波、间谐波、闪变、不平衡以及瞬态现象等;而可靠性涉及持续时间较长的现象,例如电压中断、电压暂降、过电压与欠电压和频率偏差等[⊖]。

电能质量不仅受配电系统的影响,同时还受终端用户设备的影响,故电能质量的恶化存在两类不同的原因^[2,4]。第一类是自然因素,比如:

- 1) 配电系统馈线发生故障或遭受雷击;
- 2) 设备故障。

第二类则与负荷或馈线运行有关:

- 1) 以电力电子为基础的负荷,比如不间断供电电源(UPS)或变频调速系统(ASD);
- 2) 大负荷投切。

本书假设,供电中断和电能质量问题一般是由相同的现象引起的,它们之间相互联系紧密。大量负荷的突然变化、瞬态现象、故障以及发电不足等经常导致系统的部分解列(可靠性问题),同时系统的其他部分会发生电压暂降和短时中断(质量问题)。

当深入研究分布式电源渗透率最大且系统具有较高电能质量水平的可行性方案时,可以发现电力电子技术是前进的方向^[6-15]。大家普遍认为,被称为有源电能质量补偿装置(APQC)的新型电力电子装置关注的是给终端用户供电的配电系统,它是针对工厂、办公室及家庭的各种劣质电能质量问题而出现的新技术^[2,13,16-30]。APQC将是传统解决方案潜在的替代品,因为传统方案往往以低响应时间和高维护费用的机电技术为基础。

1.2 电能质量治理的必要性

在过去几年,电力用户主要关注的是供电可靠性。然而,当今用户需要的不仅仅是简单的供电可靠性,他们还希望获得理想的交流电压,也就是基频下峰值额定的正弦电压。但不幸的是,我们实际得到的交流供电电压与这种理想情况是有差别的。劣质电能对用户的影响体现在诸多方面。

⊖ 此处是从用户受影响的角度来分类的,其理解见1.2.1节。——译者注

电压暂降会导致自动化生产过程中的产品损失,也会造成计算机系统或数据处理系统的崩溃。为了防止这些情况的发生,人们经常使用不间断供电电源,但它反过来又会带来谐波问题。电力用户若与大型电动机负荷接在同一母线上,每次电动机启动时,用户都会遭受电压暂降,这对很多用户来说都是很难接受的;像医院、空中交通控制以及金融机构之类的极敏感用户更加需要纯净且不间断的电能。

持续的过电压会对家用电器造成损害,欠电压与电压暂降有着相同的影响;电压不平衡会导致电动机的温度上升;谐波、直流偏置会导致波形畸变;流过配电网的无用谐波电流会造成电能损耗,并且会使变压器过热或产生电磁干扰(EMI)^[31-33];间谐波电压会干扰荧光灯及电视机接收器的正常工作,同时还会产生噪声。

由此可见,电能质量的缺失会导致生产过程的损失以及设备的损坏。因此,保持高标准的电能质量至关重要。

电力电子装置可用于配电系统,以提高供电的可靠性及质量,即提高电能质量^[34-36]。这类应用于配电系统中使终端用户受益的装置被称为有源电能质量补偿器。通过这一技术,可减少供电中断、电压电流变化和波形畸变,从而提高传送电能的可靠性与质量。这种技术的合理使用可以使所有工业、商业及家庭用户受益。

APQC装置主要用于有源滤波、负载平衡、功率因数校正及电压控制等方面。有源滤波主要是为了消除谐波电流和电压,装置既可以并联也可以串联。一些APQC装置作为负荷补偿器使用,在这种模式下,它校正负荷电流中的不平衡与畸变,使补偿后的负荷在交流系统中吸收平衡的正弦电流;还有一些装置用来向用户提供正弦平衡的供电电压。

1.2.1 电能质量问题

提出“电能质量”这一术语是用来区分电能提供方与使用方之间责任的,但不幸的是,对电力工程师来说,这个术语的含义仍然存在很大的争议。虽然已经颁布了很多电能质量的相关标准,但也还在不断修正和更新。美国电气电子工程师学会(IEEE)字典^[37]中对电能质量的定义为:“电能质量是指保证受电且接地的敏感设备能正常运行要考虑的所有问题。”

国际电工委员会(IEC)在其标准中使用的术语不是“电能质量”,而是“电磁兼容”。在“电磁兼容”术语下定义电能质量为^[38]:“以一系列参考指标来衡量电力系统某处的电力特性。——注:有时候,这些指标与供电电网和与其相连的负荷之间的兼容性有关。”

欧洲电力工业协会(EURELECTRIC)在《欧洲供电网电能质量》报告^[39]中指出:

“供电质量是指电能作为一种能源对设计接入供电网的电力设备的适应能力,它包括两个基本组成部分:

- 连续性(不间断):用户侧电能持续可用的程度;

· 电压水平：电压维持在特定范围内的程度。”

.....

供电中断和常见电压变动问题因备受关注而得到有力改善，尤其是在发达国家中更是已基本消除，因而“电能质量”这一术语经常用来形容供电电压的一些特性，其主要现象有：

- 谐波和其他偏离交流供电电压额定频率的现象；
- 电压波动，特别是那些会引起闪变的波动现象；
- 电压暂降及短时中断；
- 三相系统电压不平衡；
- 具有某些高频特征的瞬态过电压。

因此，电能质量可以定义为对上述任一特征限值的偏离程度，还可定义为电力在传输和应用过程中对电力设备性能的影响程度。”

欧洲能源监管委员会（CEER）供电质量工作小组在一篇报告中申明：“电压质量的主要参数是频率、电压幅值及其变动、电压暂降、暂时或瞬时过电压和谐波畸变。欧洲标准 EN 50160 列出了在正常运行状态下低压与中压电网中主要的电压特性。”

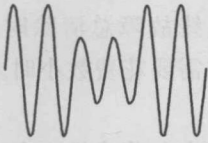
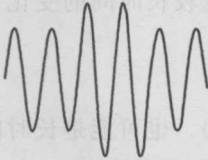
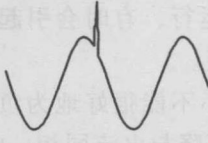
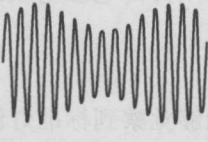
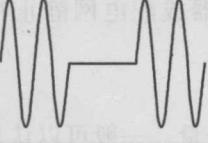
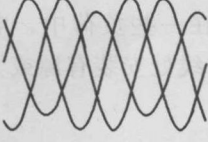
从上述所有定义可以看出，电能质量通常考虑供电的两方面内容，即电压质量和供电可靠性。根据参考文献 [3, 34]，电能质量现象的分类如表 1-1 所示。

当描述实际可能引起电能质量问题的现象时，上述分类方式是非常重要的。另外还有一种方法是依据可能引起扰动的原因和可能造成的后果进行分类，其汇总如表 1-2 所示^[5]。

表 1-1 电能质量现象的分类

类别	频谱	持续时间	幅值
1.0 瞬态现象			
1.1 脉冲		50ns ~ 1ms	< 6kV
1.2 振荡		5μs ~ 0.3ms	0 ~ 4p. u.
2.0 短时间变动			
2.1 中断		10ms ~ 3min	< 1%
2.2 暂降		10ms ~ 1min	1% ~ 90%
2.3 暂升		10ms ~ 1min	110% ~ 180%
2.4 快速电压变动		未定义	> ±5%
3.0 长时间变动		稳态	< 106% > 90%
3.1 欠电压		> 1min	80% ~ 90%
3.2 过电压		> 1min	106% ~ 120%
4.0 电压不平衡		稳态	0.5% ~ 2%
5.0 波形畸变			
5.1 直流偏置	$n = 0$	稳态	0% ~ 0.1%
5.2 谐波	$n = 2 \sim 40$	稳态	0% ~ 20%
5.3 间谐波	0 ~ 6kHz	稳态	0% ~ 2%
5.4 陷波		稳态	
5.5 噪声	宽带	稳态	0% ~ 1%
5.6 信号传输	< 148kHz	稳态	0% ~ 1%
6.0 电压波动	< 25Hz	间歇	0.2% ~ 7%
7.0 工频变动	50Hz	< 10s	1%

表 1-2 电压扰动

扰动类型	起因	后果
电压暂降, 欠电压 	电网发生短路故障、大功率电动机启动	敏感负荷跳闸或异常运行
电压暂升, 过电压 	其他相发生接地故障、大功率负荷退出、电网遭受雷电流冲击、变电站整定不恰当	当断开设计裕度不恰当的设备时易造成设备损坏
谐波畸变 	非线性负荷、谐振现象、变压器饱和	额外发热、电子装置丧失功能
瞬态现象 	雷电流冲击、开关切换	绝缘遭破坏, 减少变压器、电动机等的使用寿命
电压波动, 闪变 	电弧炉、风机、大功率电动机启动	绝缘老化, 失去原有性能, 灯光闪烁
短时中断 	直接短路、断路、误跳闸、甩负荷	线路断开
不平衡 	单相负荷、电网弱电气联接	过载相电压质量受影响, 三相设备出现过载和噪声

1.2.1.1 电压暂降与暂升

电压暂降是指电压方均根值 (RMS) 短时间下降的现象, 持续时间为半个周波至几分钟。这类事件是由电力系统故障或大负荷起动引起的, 对于输电线路故障引起的典型电压暂降, 其持续时间不到 1s (输电线故障总清除时间)。但是, 这些短暂的事件会引发工厂生产过程的中断, 往往需要花费数小时才能恢复正常运行状态。

系统单相接地故障会导致非故障相电压暂升; 退出大负荷或投入大电容器组同样会引起电压暂升, 但是这些现象往往引发电压幅值较长时间的变化, 通常被归类为长时间变动。

1.2.1.2 电压中断

电压中断是指电压的完全丢失, 既可能是短时间的, 也可能是长时间的。电路的断开 (通常是由于断路器、线路自动重合闸或熔断器的断开) 会引起电压中断。例如, 如果一棵树与横跨的输电线短路了, 断路器会断开短路电路, 那些从故障线路上汲取电能的终端用户则会遭受电压中断。总体来说, 中断发生的原因与电压暂降和暂升很类似。

1.2.1.3 过电压与欠电压

超过正常限值的长时间电压变动 (也就是说, 电压会太高或太低), 通常由电力系统的异常状态引起。例如, 线路或变压器退出运行, 有时会引起欠电压。长时间的电压变动经常通过改变变压器的分接头来校正。

很多电压控制问题的根源是电力系统的阻抗太大, 不能很好地为负荷供电。负荷电流流经系统阻抗会产生电压降落, 其中电阻性压降与电流同相, 电抗性压降与电流正交。因此, 重负荷下电压降得很低。如果采用升高电源电压的方法来克服阻抗压降, 当突然甩负荷时, 又会引起过电压问题。

1.2.1.4 电压闪变

当电压波形的幅值按调制频率变化时, 人的眼睛能够觉察到标准灯泡的光照强度变化, 此类电压波动称为电压闪变。电压闪变是由电力系统中的电弧放电引起的。闪变问题可以通过安装滤波器、静止无功补偿器或配电网静止补偿器来解决。

1.2.1.5 谐波畸变

谐波畸变是指出现频率为系统基波频率整数倍的分量。一般可以认为集中发电厂发出的是纯正弦电压, 大多数输电系统上的电压畸变率也通常小于 1%。然而, 当靠近用户负荷时, 畸变率可达 5% ~ 8%, 甚至在一些负荷中, 电流波形几乎不是正弦波。抑制谐波畸变的方法包括在负荷或母线处安装有源或无源滤波器, 或者利用变压器连接方式来消除零序分量。

1.2.1.6 电压陷波

电压陷波是由电力电子器件换相引起的,任何使用固态整流器(例如变速驱动器)的工厂都会产生电压陷波,进而引起电能质量问题。当驱动器输入侧整流器换相时,直流母线电流从一个整流晶闸管向另一个晶闸管的切换瞬间,输入侧形成一个相间短路电流,从而产生电压陷波。

1.3 电能质量的治理方法

电能质量的治理装置有许多不同类型,通常可以分为两类:分级调节类装置和补偿类装置。分级调节类装置可以通过电子设备控制电压抽头转换器或分级耦合电容器来调节电压,同样也可以补偿无功功率。但是此类装置不是本书的主要内容,本书着重讨论补偿类装置。

补偿类装置通常包括由各种控制策略控制的电压源换流器(VSC),根据其拓扑结构可分为三种主要类型,即电流补偿型、电压补偿型和混合补偿型。

并联型有源电力滤波器(PAPF)是典型的电流补偿型装置,它可以在两种模式下工作:①电流模式——作为有源滤波器、功率因数校正器、负荷平衡器等;②电压模式——可以在任何畸变、暂降/暂升、不平衡甚至短时中断时调节母线电压。

电压补偿型可分为谐波电压滤波器、电压调节和平衡器以及电压暂降缓解装置三类,一般使用诸如串联型有源电力滤波器(SAPF)之类的装置。

电流补偿与电压补偿也可以混合使用,作为统一电能质量调节器(UPQC)。UPQC包含了SAPF和PAPF的调节功能。SAPF的功能包括隔离电源与负荷间的谐波、调节电压、补偿电压闪变或不平衡;PAPF的功能包括过滤谐波电流、平衡负序分量和调节直流电压。

参 考 文 献

1. Hingorani N, Gyugyi L (2000) Understanding FACTS: concepts and technology of flexible ac transmission systems. IEEE, New York
2. Ghosh A, Ledwich G (2002) Power quality enhancement using custom power devices. Kluwer Academic Publishers, Boston
3. Dugan R, McGranaghan M, Beaty W (1996) Electrical power systems quality. McGraw-Hill, New York
4. Arrillaga J, Watson N, Chan S (2000) Power system quality assessment. Wiley, Chichester
5. CIGRE Working Group 14.31 (1999) Custom power—state of the art. CIGRE
6. Gyugyi L (2000) Converter-based FACTS technology: electric power transmission in the 21st century. Int Power Electron Conf 1:15–26
7. Mohan N, Undeland T, Robbins W (1995) Power electronics, converters, applications, and design, 2nd edn. Wiley, New York

8. Hingorani N (1998) Power electronics in electric utilities: role of power electronics in future power systems. *Proc IEEE* 76(4):481–482
9. Edris A (2000) FACTS technology development: an update. *IEEE Power Eng Rev* 20(3):4–9
10. Song Y, Johns A (1999) Flexible ac transmission systems (FACTS). IEE Power and Energy series 30. TJ International Ltd, Padstow
11. Hingorani N (1993) Flexible ac transmission systems. *IEEE Spectrum* 30(4):41–48
12. IEEE/CIGRE (1995) FACTS overview. Special issue 95-TP-108, IEEE service center, Piscataway
13. Hingorani N (1995) Introducing custom power. *IEEE Spectrum* 32(6):41–48
14. Akagi H (1996) New trends in active filters for power conditioning. *IEEE Trans Ind App* 32(6):1312–1322
15. Akagi H (1994) Trends in active power line conditioners. *IEEE Trans Power Electron* 9(3):263–268
16. Strzelecki R (2002) Active arrangements for energy conditioning—a new fashion or quality? (in Polish). In: Modern supplying arrangements in power systems conference, pp 1.14–9.14
17. Strzelecki R (2002) Active arrangements for energy conditioning—APC (in Polish). *Przegląd Elektrotechniczny—J*, 2:196–202
18. Akagi H, Fujita H (1995) A new power line conditioner for harmonic compensation in power systems. *IEEE Trans Power Delivery* 10(3):1570–1575
19. Akagi H (1995) New trends in active filters. In: EPE conference, pp 17–26
20. Jeon S, Cho G (1997) A series-parallel compensated uninterruptible power supply with sinusoidal input current and sinusoidal output voltage. In: IEEE-PESC conference, pp 297–303
21. Fujita H, Akagi H (1998) Unified power quality conditioner: the integration of series and shunt active filter. *IEEE Trans Power Electron* 13(2):315–322
22. Aredes M, Heumann K, Watanabe E (1998) An universal active power line conditioner. *IEEE Trans Power Delivery* 13(2):1453–1460
23. Strzelecki R, Kukluk J, Rusiński J (1999) Active power line conditioners based on symmetrical topologies. *IEEE-ISIE Conf* 2:825–830
24. Ghosh A, Ledwich G (2001) A unified power quality conditioner (UPQC) for simultaneous voltage and current compensation. *Electr Power Syst Res* 59:55–63
25. Malabika BM, Das S, Dubey G (2002) Performance study of UPQC-Q for load compensation and voltage sag mitigation. In: IEEE-IECON conference, pp 698–702
26. Meckien G, Strzelecki R (2002) Single phase active power line conditioners-without transformers. In: EPE-PEMC conference, pp 546–552
27. da Silva S (2002) A three-phase line-interactive UPS system implementation with series-parallel active power-line conditioning capabilities. *IEEE Trans Ind App* 38(6):1581–1590
28. Watanabe E, Aredes M (2002) Power quality considerations on shunt/series current and voltage conditioners. *Conf Harmonics Qual Power* 2:595–600
29. Strzelecki R (2003) New concepts of the conditioning and power flow control in the AC distribution systems. In: Modern feed equipments in electrical power systems conference, pp 65–72
30. McHattie R (1998) Dynamic voltage restorer: the customer's perspective. IEE colloquium on dynamic voltage restorer, Digest No. 98/189, Glasgow, Scotland, UK
31. Kurowski T, Benysek G, Kempski A, Smoleński R (2000) About proper cooperation of the electric drives and static converters (in Polish), vol 48. Institute of drives and electrical measurements, Wrocław University of Technology Press, Wrocław, pp 326–334
32. Strzelecki R, Kempski A, Smoleński R, Benysek G (2003) Common mode voltage cancellation in systems containing 3-phase adding transformer with PWM excitation. In: EPE Conference, pp 426–434
33. Kempski A, Strzelecki R, Smoleński R, Benysek G (2003) Suppression of conducted EMI in four-quadrant AC drive system. In: IEEE-PESC conference, pp 1121–1126
34. Thomsen P (1999) Application and control of CUPS in the distribution grid, vol 3. Institute of Energy Technology, Aalborg University, Aalborg, pp 2–11
35. Strzelecki R, Benysek G (2004) Conceptions and properties of the arrangements in distributed electrical power systems. In: MITEL conference, pp 241–248