

栗时平 刘桂英 编著

现代

电能质量检测

技术



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

TM6/4

2008

现代电能质量 检测技术

栗时平 刘桂英 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共 11 章,系统地介绍了电能质量检测技术,特别是电能质量检测技术的理论、方法、原理、设计、应用及发展。本书主要内容包括电能质量基本问题、频率偏差检测、电压偏差检测、供电中断与可靠性计算、三相不平衡检测、波形畸变检测、电压波动与闪变检测、暂态电能质量扰动检测、电能质量数据压缩与共享、电能质量检测设备和电能质量监测系统等。

本书在系统阐述电能质量检测技术基础问题的同时,结合实际应用,更多地反映电能质量检测技术的最新成果与进展。通过本书的学习,读者可具有从事电能质量研究和应用的基本知识和能力。

本书可供从事电能质量问题研究的工程技术人员学习参考,也可供电力系统及其自动化、供配电、工业自动化、电力电子技术等专业的电气工程技术人员阅读,还可以作为电气工程领域的工科研究生及大学本科高年级学生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代电能质量检测技术/栗时平,刘桂英编著. —北京:
中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6489-6

I. 现… II. ①栗…②刘… III. 电能-质量检验 IV. TM60

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 002371 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 3 月第一版 2008 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 290 千字

印数 0001—3000 册 定价 25.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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



随着计算机和电力电子技术等学科的飞速发展,电能质量的内涵得到了很大扩展,电能质量及其检测与控制技术的理论、方法及实现手段也获得了飞速的发展,并且应用越来越广泛。现代电能质量检测技术涉及面广、知识点多,广大读者迫切需要一本能够反映现代电力技术发展、理论与实践相结合的现代电能质量检测技术的书籍。本书正是朝着这一目标所做的努力与尝试。本书力求在系统阐述现代电能质量检测技术基础问题的同时,结合技术应用的实际需要,更多地反映现代电能质量检测技术的最新研究成果与进展;同时,在内容安排上也考虑了如何有利于读者的自学,因此对一些重要内容做了较为详细的阐述。

本书内容丰富,涵盖了现代电能质量重要指标检测的理论、方法和技术,既注重现代电能质量检测技术的成熟理论与方法,也注重该技术的新理论与新方法。通过本书的学习,读者可以了解现代电能质量检测技术的主要内容,掌握现代电能质量检测技术的基本原理,具备从事电能质量研究和应用的基本知识和能力。

本书给出了有关基本概念的定義以及需要使用到的理论的结论和公式,个别地方为了保持内容连贯性,还给出了简要的公式推导,对于繁琐的理论推导和证明一概略去。

在编写本书时作者参阅了400余篇中外论文和书籍,同时融入了作者从事电能质量技术研究10余年来的成果与思考。对于参阅的论文和书籍,基于篇幅的考虑未能在参考文献中一一列出,参考文献中主要收录在某一方面有代表意义的中文论文和书籍。

本书的读者定位于从事电能质量工作的工程技术人员及电气工程类的高年级本科生和研究生。

作者在撰写本书和承担长沙理工大学本科生与硕士研究生的《电能质量技术》课程教学的过程中,得到了长沙理工大学科技处、研究生院、电气与信息工程学院的关心与支持,在此表示衷心的感谢!本书得到了长沙理工大学的学术著作出版资助,在此深表感谢!本书在撰写过程中还得到了逯培兵、荣海舟、郑龙、罗希、范力泉、彭鹏等老师和研究生的大力协助,在此深表感谢!

虽然本书作者在两年前就有了编写计划,但是由于教学、学习和科研工作繁重,直到最近才匆匆成稿,书中难免有许多不足之处,欢迎批评指正。

编者

2008年1月于长沙



前言

1 电能质量的基本问题	1
1.1 研究电能质量的意义	1
1.2 电能质量的基本概念	1
1.3 现代电力系统运行对电能质量的要求	4
1.4 电能质量扰动的分类	7
1.5 电能质量的评价指标	9
1.6 电能质量扰动的产生原因、危害及解决方法	11
1.7 电能质量标准	12
1.8 电能质量的检测	15
1.9 电能质量管理	16
1.10 解决电能质量的措施	17
2 频率与频率偏差检测	18
2.1 概述	18
2.2 电力系统频率	19
2.3 电力系统瞬时频率	20
2.4 电力系统的动态频率	20
2.5 频率变动与频率偏差	21
2.6 电力系统频率与频率偏差的检测方法	22
3 电压与电压偏差检测	31
3.1 电压偏差的定义	31
3.2 电压与电压偏差的检测方法	31
3.3 电压偏差的统计	35
3.4 电力系统电压偏差的监测	36
4 供电中断检测与可靠性计算	38
4.1 供电中断的分类	38
4.2 供电可靠性概念及其影响因素	39
4.3 供电可靠性评价指标	40
4.4 串联系统与并联系统的供电可靠性计算	44
4.5 供电中断监测与可靠性计算系统	45
5 三相不平衡检测	47
5.1 三相不平衡的相关概念	47

5.2	三相不平衡的计算	48
5.3	对称分量的检测	49
5.4	三相不平衡检测仪	56
6	波形畸变检测方法	59
6.1	概述	59
6.2	波形畸变的相关概念	60
6.3	滤波法	64
6.4	傅里叶变换法	65
6.5	小波变换法	70
6.6	正交坐标变换法	81
6.7	人工智能检测方法简介	87
6.8	谐波检测仪	90
7	电压波动与闪变检测	93
7.1	电压波动与闪变的相关概念	93
7.2	闪变评价	96
7.3	电压波动与闪变检测方法的分类	102
7.4	电压波动与闪变检测的经典方法	103
7.5	电压波动与闪变检测的现代方法	108
7.6	闪变检测仪	114
8	暂态电能质量扰动检测方法	118
8.1	暂态电能质量的定义	118
8.2	暂态电能质量扰动类型及其基本特征	118
8.3	短时电压变动的检测方法	122
8.4	电磁暂态扰动的小波变换检测方法	129
8.5	非平稳信号的噪声消除方法	131
8.6	暂态电能质量检测方法的研究现状	137
9	电能质量数据压缩与共享	139
9.1	数据压缩的必要性	139
9.2	数据压缩的基本概念和评价指标	140
9.3	数据压缩的常用方法	141
9.4	基于小波变换的电能质量数据压缩	145
9.5	数据共享的基本概念	149
9.6	电能质量数据共享平台的设计	150
10	电能质量检测设备	159
10.1	电能质量检测设备的类型	159
10.2	现代电能质量检测设备的硬件技术	160
10.3	几种常用电能质量检测设备	168

10.4	电能质量检测设备的发展方向.....	171
11	电能质量监测	173
11.1	电能质量监测的目的和方式.....	173
11.2	电能质量监测的特点.....	175
11.3	电能质量监测的基本要求.....	175
11.4	电能质量的网络化监测.....	176
11.5	电能质量监测网络系统实例.....	181
	参考文献	185

电能质量的基本问题

1.1 研究电能质量的意义

电能作为人们广泛使用的能源,其应用程度是一个国家发展水平和综合国力的主要标志之一。在满足工业生产、社会 and 人民生活对电能需求量的同时,提高对电能质量的要求是一个国家工业生产发达、科技水平提高、社会文明程度进步的表现,是信息时代和信息社会发展的必然结果,是增强用电效率、节能降损、改善电气环境、提高国民经济的总体效益以及工业生产可持续发展的技术保证。电能质量的优劣已经成为电力系统运行与管理水平高低的重要标志,检测、控制和改善电能质量也是保证电力系统自身可持续发展的必要条件。

虽然电能质量问题在电能输送分配和使用的一开始就已经提出,但随着时代的进步和科技的发展,当代电力系统已经赋予了它新的概念和内容。现代工业的工艺制造和设备要求、高科技作用的实现,以及生产力和产品竞争力的提高越来越依赖高质量的电力供应。电能质量问题已不仅仅是电力系统中电压和频率等的基本技术问题,已被提升为关系到整个电力系统及设备的安全、稳定、经济、可靠运行、电气环境工程保护,以及整个国民经济的总体效益和发展战略的高度来认识。

当代电力系统的负荷结构发生了很大的变化,用电设备和生产工艺对电能质量的要求比传统设备高。许多新设备和装置都带有基于微处理器的数字控制器或功率电子器件,它们对各种电磁干扰都极为敏感,原本微不足道的电压扰动或特性变化可能影响到其电子控制系统的正常工作,甚至导致跳闸或生产停顿。

随着电能质量标准的制定和实施,电能质量的监督管理及法规体系将逐步建立。这必将大大促进设备制造厂商提高其生产设备与电力系统的兼容性,促使电力用户在使用高性能设备、提高产品生产率的同时,严格限制自身对电力系统和其他设备的电磁干扰;进一步促进供电部门加强电能质量的技术监督与电力系统的运行管理,推动电能质量先进测控技术的研发和应用;保证配电系统安全经济运行和向用户提供合格的电能和优质的服务。所以,深入了解和认识电能质量,高度重视电能质量下降对供用电系统运行的危害与影响,以及对社会经济的作用和影响,深入研究实现电能质量全面检测、控制和管理,具有极其重要的社会意义和经济意义。

1.2 电能质量的基本概念

1.2.1 电能质量问题的提出

早期的电能质量问题主要局限在频率偏移和电压偏移两个方面。20 世纪 80 年代以来,新兴负荷的出现提高了对电能质量的要求,使电能质量问题不断扩展,并逐渐引起电力公司和用户的普遍重视。

从技术角度讲,提供优质电能是由供用电双方共同保证的(可以将发电厂视为理想的正弦电压源),因而对电能质量日益关注的原因是多方面的,归纳起来主要有 5 点:

(1) 现代用电设备对电能质量的要求比传统设备更高。许多新的电器和装置都带有基于微处理器的控制器和功率电子器件,它们对各种电磁干扰极为敏感。

(2) 对电力系统运行总效率的重视程度不断加强,特别在用电设备方面表现突出。但这些设备的使用会导致电网电气环境污染,致使供电电压干扰加重,给电力系统安全运行带来直接的或潜在的危害。

(3) 电力用户已提高了对电能质量的认识,如供电短时电压上升、短时电压下降、短时电压中断、电路通断引起的电磁暂态现象等实际问题对供电质量的影响。为满足高效生产流程的需要,维护用电设备的正常运行,越来越多的用户向电力部门提出了高质量供电的要求,甚至通过签订供电合同和质量协议的方式获得保证。

(4) 电力网的各个部分都是相互联系的,综合协调处理至关重要。任何一个局部的故障或事件都有可能造成大面积的影响,甚至是重大损失。这迫使供电部门在保证向用户提供优质电力的同时,还需极力避免遭受用电设备产生的电磁干扰,维护电网安全运行。因此解决电能质量问题已经成为一项系统工程。

(5) 电能质量问题越来越广,造成的危害越来越大,查清电能质量问题发生的原因和明确责任非常重要。关于电能质量问题发生的原因与责任,供用电双方在认识和看法上往往存在很大的不同。例如,配电系统普遍采用的电容器投切操作,有可能引起暂态过电压而损坏用户设备,也可能造成用户设备失电,此时用电方会抱怨供电质量太差,以至于投诉。又如,当电网某处发生短路故障,很可能在一些负荷公共连接点出现不同程度的短时电压下降,造成某工厂的变频驱动装置失电。由于目前电力部门还缺少对类似现象的监测记录与统计,供电方可能会认为对该工厂的电力供应是正常的。再如,由于用户电气设备硬件老化、软件不成熟或者控制系统不可预知的错误动作等,可能引起故障而使电能质量受到影响。所以引起电能质量问题的原因有时是多方面的,不能简单地把某一事件只同一种特殊的起因联系起来。也正因为电能质量问题产生原因和区分责任的复杂性,更须引起电力用户和电力公司的关注。

1.2.2 电能质量术语的由来

起初,人们在谈到供电与用电双方的相互作用和影响问题时,使用的技术名词很不规范。例如,有使用 electric power systems quality (电力系统质量),或使用 quality of power supply (供电质量)等词语的,对其含义也各有解释。有文献报道,在1968年发表的一篇关于美国海军电子设备电源规范研究的论文中,最先使用了 power quality (电能质量)这一词语。与此同时,前苏联等国家开始使用 voltage quality (电压质量)。此后,越来越多的研究人员表现出对电能质量或电压质量的关心,并在关于电能质量问题应采用规范的技术名词上逐渐趋向一致。IEEE 标准化协调委员会和国际电工委员会(IEC)也接受了 power quality (电能质量)这一术语。例如,电力部门可能把电能质量定义为电压与频率的合格率,并且用统计数字来说明电力系统是安全可靠运行的;电力用户则可能把电能质量简单定义为是否向负荷正常供电。因此,在供电中断持续时间等问题上供受双方意见就不相一致,这种故障事件应当归属输配电工程问题还是电能质量问题说法不一。而设备制造厂家则可能定义电能质量就是指电源特性应当完全满足电气设备的正常工作需要,但实际上,不同厂家和不同设备对电源特性的要求可能相去甚远。什么是电能质量,用什么样的词语来描述供电与用电(系统与负荷)双方的相互作用和影响的讨论,仍会继续下去。

IEC 没有直接采用 power quality (电能质量)这一术语来描述供电和用电双方的相互作用和影响,而是提出使用 EMC (电磁兼容)术语,指出和强调设备与设备之间的相互作用



和影响, 以及电源与设备之间的相互作用和影响。

在 IEC 提出的电磁兼容概念中, 采用排放 (emission) 来表示由设备产生的电磁污染, 它反映电流质量问题; 采用抗扰 (immunity) 来表示设备免除电磁污染的能力, 它与电压质量相关, 并且以此为基础, 制定出了一系列相关的电磁兼容标准。

电磁兼容术语与电能质量术语有很大的重叠性。但是, 电能质量和电磁兼容是两种不同性质的概念和不同范畴的标准体系, 两者既有联系也有区别。

时至今日, 在供用电双方, 甚至在电力研究者中关于电能质量的范畴、定义, 以及质量下降的起因等许多方面仍存在分歧与争论, 在使用的相关名词上也并未完全达成共识。不过, 采用 power quality (电能质量) 术语来描述供电与用电双方的相互作用和影响已经普遍基本得到接受, 统一到 power quality (电能质量) 术语已是一种必然趋势。

1.2.3 电能质量的内涵和定义

从普遍意义讲, 电能质量是指优质供电。但是, 由于人们看问题的角度不同, 迄今为止, 对电能质量的技术含义仍存在着不同的认识, 还不能给出一个准确、统一的定义。

长期以来, 电能质量的概念和电力供应可靠性几乎是等同的。如何描述供电与用电双方的相互作用和影响, 并且给出相应的技术定义仍是人们不断探索的问题。不管对电能质量给出什么样的技术定义, 电能质量的内涵应该包括如下几个方面的内容, 已经取得了普遍共识。

(1) 电压质量。给出实际电压与理想电压间的偏差, 以反映供电部门向用户分配的电力是否合格。电压质量通常包括电压偏差、电压频率偏差、电压不平衡、电磁暂态现象、电压波动与闪变、短时电压变动、电压谐波、电压间谐波、电压缺口、欠电压、过电压等。

(2) 电流质量。电流质量与电压质量密切相关。为了提高电能的传输效率, 除了要求用户汲取的电流是单一频率正弦波外, 还应尽量保持该电流波形与供电电压相同。电流质量通常包括电流谐波、间谐波、电流相位超前与滞后、噪声等。研究电流质量有助于电网电能质量的改善, 降低线路损耗, 但不能概括大多数因电压原因造成的质量问题, 而后者往往并不总是由用电造成的。

(3) 供电质量。它包括技术含义和非技术含义两部分。技术含义有电压质量和供电可靠性; 非技术含义是指服务质量, 包括技术供电部门对用户投诉与抱怨的反应速度和电力价目的透明度等。

(4) 用电质量。用电质量反映供用电双方相互作用与影响的责任和义务, 它包括技术含义和非技术含义等。技术含义包括对电力系统电能质量技术指标的影响和要求。非技术含义是指用电责任和义务的履行质量, 如用户是否按时、如数缴纳电费。

目前, 国内外虽然对使用电能质量这一术语及其内涵达成了共识, 但是对电能质量确切的定义尚未形成统一的共识。使用比较广泛的几个定义如下:

定义 1: 合格电能质量的概念是指, 给敏感设备提供电力和设置的接地系统均适合于该设备正常工作。这一定义来自 IEEE 标准化协调委员会给出的 power quality (电能质量) 的技术定义。

定义 2: 电能质量是指供电装置在正常工作情况下不中断和不干扰用户使用电力的物理特性。该定义来自 IEC (1000-2-2/4) 标准。根据这一定义, 现代电能质量除了保证额定电压和额定频率下的正弦波形外, 还包括频率偏差、电压偏差、电压波动与闪变、三相不平

衡、波形畸变、所有电压瞬变现象，如冲击脉冲、电压下跌、瞬间间断及供电连续性等。这个定义概括了电能质量问题的成因和后果，还包括了供电可靠性的问题。

定义 3: 电能质量定义是指在电力系统中某一指定点上电压的特性，这些特性可根据预定的基准、技术参数来评价。该定义是由国际电工委员会（IEC）给出的。根据这一定义，可以认为电能质量就是电压质量，合格的电能质量应当是恒定频率和恒定幅值的正弦波形电压与连续供电。

1.2.4 电能质量的特点

电能由于其产品形式单一，生产、输送与消耗的全过程独具特色，因此电能质量与一般产品质量不同，有如下特点：

(1) 电能质量现象的动态性。对于不同的供（或用）电点在不同的供（或用）电时刻，电能质量指标往往是不同的。也就是说，电能质量在时间上和空间上均处于动态变化之中。

(2) 电能质量扰动的潜在性。电力系统运行过程中，总是会存在各种电能质量扰动，电能质量扰动发生的时间、位置以及发生扰动的类型，都存在随机性、偶然性和潜在性。

(3) 电能质量扰动的传播性。电力系统某一点的电能质量扰动可以传播到电力系统中其他地方。

(4) 电能质量责任的特殊性。由于电能质量问题的起因有电力公司和电力用户和自然现象三个方面，因此，电力公司和电力用户对电能质量问题起因的看法有很大的分歧。一方面双方都愿意把电能质量事件的责任归咎于自然现象，但用户仍然认为电力公司在这方面应负的责任要更多。

(5) 电能质量评估的复杂性。电能质量不完全取决于电力生产部门，甚至有的质量指标（例如谐波、电压波动和闪变、三相电压不平衡度）往往由用户干扰所决定。

(6) 电能质量控制的整体性。电能质量不仅仅反映“电”的质量，而且和用电设备的性能密切相关。也就是说，电能质量标准的制定应充分考虑电力系统实际的可能性和电气设备的标准，从国民经济总体效益出发，使两者得到合理的兼顾。

1.3 现代电力系统运行对电能质量的要求

1.3.1 现代电力系统的特点

随着我国经济建设的发展，电能需求迅速增加，电力系统的规模也越来越大，电力系统已跨越省区，形成了“联合电力系统”。因此，现代电力系统呈现出以下新特点：

(1) 系统总装机容量相对减少。由于现代电力系统跨越地域大，各地最大负荷的出现时间不尽相同，因此，系统的综合最大负荷常小于各个发电厂单独供电时各最大负荷的总和。由于系统综合最大负荷的降低，在相同负荷条件下，现代电力系统可相对减少系统中的总装机容量。

(2) 动力资源利用合理，运行更为经济。现代电力系统可以充分利用水利资源，在丰水季节可多发水电，以节省燃料；在负荷较轻时，则可停止运行效率低、成本高的火电厂。在正常运行时，可合理组合各类发电厂，使负荷在各发电厂间得到最佳的经济分配。

(3) 有利于安装大容量机组，提高劳动生产率。对于传统的小型电力系统，单机容量不能过大，否则一旦发生故障，对系统影响很大，严重时会使电力系统不能正常运行。因



此,对于现代的大型联合电力系统,从经济上考虑,可以安装大容量机组,以节省运行费用,机组运行效率也会很高。

(4)可以减少备用容量。由于设备存在故障和需要检修,电力系统需要一定的备用容量。由于各地区设备同时发生故障的概率较小,所以可以通过合理安排检修,使系统总的备用容量减少。

(5)电力系统扩张与联网逐渐形成,系统运行的安全性和可靠性要求不断提高。

(6)可提高供电可靠性及电能质量。由于电力系统容量的增大,当系统的一部分发生故障而被切除时对全系统的影响变小。另外,由于系统间的联系加强,各个地区之间功率可以互相支援,使用户停电概率降低,提高了用电的可靠性及电能质量。

(7)电能质量问题影响范围增大,造成危害程度加大。由于电力系统结构变得复杂,当发生局部故障时,若处理不及时或不正确,事故将会扩大以至危及整个电力系统的安全,从而带来严重的后果。由于电力系统容量的增大,等值并联回路数增加,系统一旦发生故障,故障电流也会相应增大,并且会增大对通信线路的干扰。

(8)现代电力系统的电网和负荷的构成出现了新的变化趋势,由此带来的电能质量问题越来越引起电力部门和电力用户的高度重视。强化电能质量的概念,提高对电能质量重要性的认识已经成为电力系统的需要。电力用户为满足其对产品的个性化、多样性生产的需求,从最大经济利益出发,在大功率、冲击性、非线性的负荷迅速增长的同时,更大规模地采用科技含量高的器件、设备与技术。越来越多的电力用户采用了微电子技术、计算机技术、电力电子技术、数字控制的自动化生产线等。大批新兴产业迅速崛起,这些新兴产业对电能质量问题非常敏感,使一些过去不受重视的电能质量问题变得不容忽视。

(9)在保证电力系统一定的自然垄断特性条件下,引进竞争机制,实施电力市场化营运,强化环境保护意识与提高信息管理已经势在必行。

(10)现代电力系统与计算机技术、通信技术的结合更加紧密,采用高新技术以提高电力传输能力和实现配电自动化的趋势方兴未艾。

1.3.2 负荷的分类

一、根据用户对可靠性的要求分类

通常,根据用户对可靠性的要求,可以将电力系统的负荷分为三类:

(1)一类负荷。对这类用户如果停止供电,就会带来人身危险,设备损坏,生产大量废品,将长期破坏生产秩序,给国民经济带来巨大损失。

(2)二类负荷。对这类用户如果停止供电,就会造成大量减产,使人民生活和城市公用事业受到影响。

(3)三类负荷。指不属于第一类、第二类的其他用户,短时停电不会带来严重后果,比如工厂附属车间的用电,小城镇、农村的用电等。

当系统发生事故,出现供电不足情况时,首先应当切除三类负荷的用电,以保证一、二类负荷的正常用电。通常,对一类用户,需要设置两个或两个以上的独立电源,以便在任何一个电源发生故障时,对负荷的供电都不致造成中断。

二、根据负荷对电能质量的敏感度分类

负荷敏感度是指负荷对电能质量问题的敏感程度,即提供给负荷的电能质量不良时,负荷能承受干扰仍正常工作的能力。这种能力越低,敏感度也就越高。根据不同负荷对电能质

量的敏感度,大致可以将电力系统的负荷分为如下三类:

(1) 普通负荷。电能质量问题一般对普通负荷的影响不显著,只有当持续断电或电压波动幅度过大、持续时间较长时才会受到影响,如照明设备、通风机、空调机、一般家电等。

(2) 敏感负荷。此类负荷对电能质量不良相当敏感并会受到损害,因此对电能质量有一定要求且必须采取一定的对策以确保达到此要求,如一般的电机控制器、PWM 变频调速装置等。但不同类型敏感负荷的敏感程度不同,因此,要在进行费用收益比分析并作出最佳缓解程度的决策后,再提出电能质量要求及其相应措施。

(3) 严格负荷。电能质量问题会对此类负荷造成严重后果,有的会造成巨大经济损失,有的会发生不可挽回的损害,因此必须确保所提供的电能质量符合要求。例如:医院中用计算机进行的心脏外科、脑外科、心血管外科、眼科手术等,用大型计算机网络操作的证券交易所、银行等金融机构,生产精密度要求特别高的信息工业芯片、微电子元件以及纳米级元件的制造,大多数的军事工业制造及军事设施等。

三、根据负荷是否产生电能质量扰动分类

根据负荷是否产生电能质量扰动,大致可以将电力系统的负荷分为如下两类:

(1) 三相正弦对称负荷,是指三相电压和电流是对称的正弦波或余弦波的负荷。这类负荷不产生有害的电能质量扰动。

(2) 扰动负荷,是指产生有害电能质量扰动的负荷。对扰动负荷应提供附加的治理措施减小危害。电能质量问题起因很多,扰动负荷是主要的扰动源。

1.3.3 现代电力系统运行对电能质量的基本要求

由于现代电力系统的上述特点以及电力工业在国民经济中的重要地位和作用,现代电力系统运行对电能质量提出了下列基本要求:

一、保证供电的可靠性

电能的特点是不能储存,而且是发、供、用电同时完成,并由用电的多少来决定发电与供电的多少。因此,对用户连续不断供电是电能质量的一个重要标志。电力系统对用户供电的中断将使生产停顿,生活发生混乱,甚至会危及人身、设备的安全,造成严重的后果。造成供电中断的原因很多,可能是由于电力系统中某些元件设备发生故障(如绝缘击穿导致的短路、雷击、误操作等),也可能是由于系统中各发电厂之间并联运行的稳定性遭到破坏而引起系统运行的全面瓦解。保证供电可靠性的主要措施有:提高电力系统及电气设备的可靠性指标;提高系统运行的稳定性;利用计算机对电力系统运行进行安全监视和控制等。

由于用户对供电可靠性的要求不一样,供电中断造成的后果不一样的。因此,必须根据实际情况区别对待。对于某些重要用户(如连续生产的化工厂、冶炼厂和矿井等)由于停电会带来人身危险、设备损坏和生产大量废品等后果,所以在任何情况下都必须保证供电不发生中断。对其他不重要的用户则可以允许不同程度的短时停电。

二、保证优良的供电质量

前面已经述及,电能既是一种经济、实用、清洁且容易控制和转换的能源形态,又是电力部门向电力用户提供由发、供、用三方共同保证质量的一种特殊产品,它同样具有产品的若干特征,如可被测量、预估、保证或改善,具有以商品形式向用户出售的性质,又具有为



千百万用户服务的公用事业性质。由于电能的供应带有垄断性,电力用户往往在使用电力企业所供的电能时,对其质量的波动或不良情况也无可奈何。故早期制订的常规电能质量标准,其要求不够严格,相当长时间内没有重大改进。用户与电力企业之间矛盾不断发生。20世纪后半叶,世界科技发展速度加快,供电质量的衡量指标不断丰富,传统的电能质量标准已无法适应用户需要,迫使电力企业和有关学术组织不得不对电能质量标准作出较大的修订补充。传统的电能质量只包含频率、电压和可靠性三个方面。不断出现的事故和用户投诉使人们逐步认识到电网中的谐波和三相不平衡现象的严重危害性。近年来,随着微电子、精密制造等制造业的发展,电压波动与闪变、电压短时变动等现象的危害性日益显现,使电能质量衡量指标大大增加。目前,国内有6个国家标准规定的电能质量衡量指标,国际上的IEC、IEEE和欧共体标准给出的电能质量衡量指标远多于我国标准。并且,电能质量衡量指标呈现继续扩展的趋势。由于供电质量的衡量价指标是一个动态发展过程,因此保证优良的供电质量是一个永恒的命题。

1.4 电能质量扰动的分类

1.4.1 按扰动的表现特征分类

按照电能质量扰动现象的两个重要表现特征——变化的连续性和事件的突发性为基础分成两类:变化型电能质量扰动和事件型电能质量扰动。

(1) 变化型电能质量扰动。所谓变化型是指连续出现的电能质量扰动现象,其重要的特征表现为电压或电流的幅值、频率、相位差等在时间轴上的任一时刻总是在发生着小的变化。例如系统频率不可能一成不变的等于50Hz(或60Hz),系统电压有效值也不可能每时每刻恒等于其额定值,与理想值的偏差始终存在。这一类现象包括电压幅值变化、频率变化、电压和电流间的相位变化、电压不平衡、电压波动、电压和电流畸变、电压缺口、主网载波信号干扰等。由于电力系统中的电能质量现象多为随机现象,在对变化型电能质量进行质量评估时,往往采用概率统计方法来处理,即采用概率密度函数给出相应变量在某已确定点的概率值,并且用概率分布函数反映该变量处在某已确定范围内的可能性有多大。

(2) 事件型电能质量扰动。所谓事件型是指突然发生的电能质量扰动现象,其重要的特征表现为电压或电流短时严重偏离其额定值或理想波形。这一类现象包括电压暂降和电压短时间中断、欠电压、瞬态过电压、阶梯形电压变化、相位跳变等。在事件型电能质量评估时,通常采用其特征量,如用幅值偏移量的多少、事件持续时间长短以及发生的频次等来描述,并且用概率论和数理统计方法以及可靠性计算来处理。监测事件型电能质量时,要求有一个事件启动信号,如电压均方根值低于某一预定的阈值便开始记录,待事件结束时停止记录。

1.4.2 按扰动的时特性分类

按照电能质量扰动的时特性来分,电力系统中各种扰动引起的电能质量问题主要可分稳态和暂态两大类。

(1) 稳态电能质量扰动。稳态电能质量扰动主要包括频率偏差、电压偏差、三相不平衡、闪变、波形畸变以及噪声等。

(2) 暂态电能质量扰动。暂态电能质量问题可分短时电压变动和电磁暂态两大类。短时

电压变动包括暂态过电压、电压骤降、电压骤升以及供电瞬时中断问题。电磁暂态包括脉冲暂态和振荡暂态。

1.4.3 按产生电磁现象的方式分类

在国际电工界有影响的 IEC 从电磁现象及产生的方式考虑,对引起电磁干扰的基本现象进行了如下分类:

- (1) 传导型低频现象:谐波、间谐波;信号系统(电力线载波);电压波动;电压凹陷(骤降)、凸起和间断;电压不对称;工频偏差;感应低频电压;交流电网中的直流分量。
- (2) 辐射型低频现象:工频电磁场。
- (3) 传导型高频现象:感应连续波电压或电流;单方向瞬变;振荡性瞬变。
- (4) 辐射型高频现象:磁场;电场;电磁场;连续波;瞬变。
- (5) 静电放电现象。
- (6) 核电磁脉冲。

电力系统中的电能质量扰动主要是传导型低频现象和传导型高频现象。因此,IEC 进一步把电力系统电能质量问题分为 7 大类,每一类又分为若干方面:

- (1) 长时间电能质量问题:长时过电压;长时欠电压;持续失去电压。
- (2) 短时间电能质量问题:短时电压下降;短时电压升高;瞬时电压下降;瞬时电压升高;电压凹陷;短时断电;瞬时断电。
- (3) 暂态电能质量问题:冲击暂态;振荡暂态。
- (4) 频率变化:长时频率变化;短时频率变化;瞬时频率变化。
- (5) 三相不平衡:不平衡度;负序分量;零序分量。
- (6) 电压波动和闪变:电压波动;长期闪变值;短期闪变值;瞬时闪变值。
- (7) 波形畸变:谐波;间谐波;缺口;直流偏移;噪声。

1.4.4 按电磁干扰的现象分类

IEEE 对引起电能质量劣化的电磁干扰的基本现象进行了分类,如表 1-1 所示。对表中列出的各种现象可进一步用其属性和特征加以描述。对于稳态现象,可利用以下属性:幅值、频率、频谱、调制、电源阻抗、陷落深度、陷落面积;对于非稳态现象,可利用以下属性:上升率、幅值、相位移、持续时间、频谱、频率、发生率、能量强度、电源阻抗等。表 1-1 提供了一个清晰描述电能质量的电磁干扰现象的实用工具。

表 1-1

电力系统电能质量电磁现象的分类及其特征

种 类		典型频谱成分	典型持续时间	典型电压幅值
电磁瞬态	冲击	纳秒级	5ns 上升	<50ns
		微秒级	1 μ s 上升	50ns~1ms
		毫秒级	0.1ms 上升	>1ms
	振荡	低 频	<5kHz	0.3~50ms
		中 频	5~500kHz	20 μ s
		高 频	0.5~5MHz	5 μ s

续表

种 类		典型频谱成分	典型持续时间	典型电压幅值	
短时电压变动	即时	中断(间断)	$0.5\sim 30T$	$<0.1\text{p. u.}$	
		下降(骤降、跌落、凹陷)	$0.5\sim 30T$	$0.1\sim 0.9\text{p. u.}$	
		上升(突起、升高、骤升)	$0.5\sim 30T$	$1.1\sim 1.8\text{p. u.}$	
	瞬时	中断(间断)	$30T\sim 3\text{s}$	$<0.1\text{p. u.}$	
		下降(骤降、跌落、凹陷)	$30T\sim 3\text{s}$	$0.1\sim 0.9\text{p. u.}$	
		上升(突起、升高、骤升)	$30T\sim 3\text{s}$	$1.1\sim 1.4\text{p. u.}$	
	暂时	中断(间断)	$3\text{s}\sim 1\text{min}$	$<0.1\text{p. u.}$	
		下降(骤降、跌落、凹陷)	$3\text{s}\sim 1\text{min}$	$0.1\sim 0.9\text{p. u.}$	
		上升(突起、升高、骤升)	$3\text{s}\sim 1\text{min}$	$1.1\sim 1.2\text{p. u.}$	
长时电压变动	持续中断		$>1\text{min}$	0.0p. u.	
	欠电压		$>1\text{min}$	$0.8\sim 0.9\text{p. u.}$	
	过电压		$>1\text{min}$	$1.1\sim 1.2\text{p. u.}$	
电压不平衡			稳态	$0.5\%\sim 2\%$	
波形失真 (畸变)	直流偏移(直流偏置)		稳态	$0\sim 0.1\%$	
	谐 波		$0\sim 100$ 次	稳态	$0\sim 20\%$
	间谐波		$0\sim 6\text{kHz}$	稳态	$0\sim 2\%$
	缺 口		稳态($<0.5T$)		
	噪 声		宽 带	稳态	$0\sim 1\%$
电压波动			$<25\text{Hz}$	断续(间歇)	$0.1\%\sim 7\%$
频率偏差				$<10\text{s}$	

注 T 为电力系统的工频信号周期。

综上所述,虽然 IEEE 和 IEC 划分电能质量扰动的方法不同,但是所划分的各类电能质量扰动的名称和特征在相当程度上是一致的。这给我们研究电能质量带来了方便。本书的电能质量的相关概念主要依据 IEEE 的分类方法,同时在必要的时候,也借鉴 IEC 的分类以及其他分类方法所给出的相关概念,并且不再做特别的说明。

1.5 电能质量的评价指标

电能质量是一个综合性概念,有很多因素可以影响电能质量。为了系统、全面地分析研究电能质量问题,并能够对其进行测量和结果分析,从而找出引起电能质量问题的原因和采取针对性的解决办法,需要给出电能质量的具体评价指标。电能质量的评价指标可以分为传统电能质量评价指标和现代电能质量评价指标。

1.5.1 传统电能质量评价指标

传统电能质量评价都是以电力企业自身需要而规定的标准来评定的。传统的电能质量评价指标主要有三个:可靠性、频率偏差和电压偏差。

1.5.2 现代电能质量评价指标

现代电能质量评价指标除了三个传统的电能质量评价指标之外,还包括如下一些电能质

量评价指标：

- (1) 三相不平衡；
- (2) 短时电压中断；
- (3) 短时电压下降；
- (4) 短时电压上升；
- (5) 电压波动与闪变；
- (6) 谐波；
- (7) 间谐波；
- (8) 直流偏移；
- (9) 过电压；
- (10) 欠电压；
- (11) 暂态脉冲；
- (12) 暂态振荡；
- (13) 暂时过电压；
- (14) 瞬态过电压。

1.5.3 电能质量扰动的容许曲线

20 世纪 80 年代，美国计算机和商用设备制造商协会 (CBEMA)^①，出于大型计算机对电能质量的要求，曾提出了电压容限曲线及相关的 4 种典型电压扰动：短时电压下降（下跌）、短时电压上升、暂态脉冲（尖峰脉冲）和短时电压中断（断电），以防止电压扰动造成计算机及其控制装置误动和损坏。容限曲线见图 1-1 和图 1-2，阴影部分为合格电压。该曲线已为 IEEE 采纳作为 IEEE STD446-1980 的一部分，成为美国标准。加拿大也有自己规定，与此基本一致。

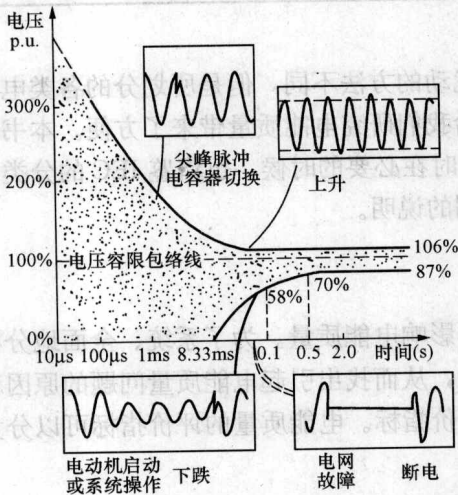


图 1-1 美国 CBEMA 电压容限曲线及相关的典型电压扰动（阴影部分为合格电压）

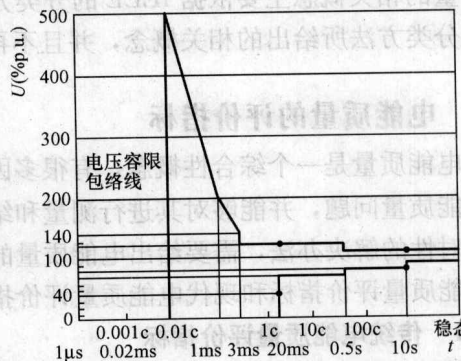


图 1-2 ITIC 曲线 (CBEMA 曲线)

① 现在已经改称信息技术工业协会 (ITIC)。