

文章编号 :1005 - 0523 (2002)01 - 0021 - 04

# 当今电能质量的新含义及分析

邱万英

(华东交通大学 基础科学学院, 江西 南昌 330013)

**摘 要 :** 介绍了电能质量的概念, 包括频率偏移, 电压偏移, 电磁暂态, 波形失真, 三相不平衡以及电压波动和闪变等. 分析了影响电能质量的各种因素, 讨论了电能质量不满足要求时可能造成的危害.

**关 键 词:** 电能质量; 电力系统; 评价指标

中图分类号: TM7

文献标识码: A

## 0 引 言

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. 二十世纪八十年代以来, 新兴负荷的出现对电能质量的要求更高, 电能质量问题逐渐引起电力公司和用户的普遍重视. 主要原因如下:

- 1) 大量基于计算机的控制设备和电子装置投入使用, 其性能对电压质量非常敏感.
- 2) 调速电机和无功补偿装置, 导致系统谐波水平不断上升, 从而对电力系统的容量和安全运行产生影响.
- 3) 电力用户不断增长的电能质量意识迫使电力公司提高供电质量, 设法解决诸如失去电压、电压跌落和开关暂态等电能质量问题. 实际上电能质量问题涉及的内容并不新颖, 新颖的是如何采用系统的方法来看待和处理这些问题. 目前, 美国电气工程师协会工业应用协会 (IEEE IAS) 和电力工程协会 (IEEE PES)、国际电工委员会 (IEC)、国际大电网会议 (CIGRE) 等学术组织都开始对这些问题进行专门的研究. 在国内, 电能质量问题也已引起电力工作者的广泛重视.

## 1 电能质量的定义

由于出发点不同, 电能质量存在很多不同的定义. 电力公司常将电能质量定义为供电可靠性并用统计数字来表示, 而设备制造商则将电能质量定义为能使设备正常运行的供电特征, 因此不同的设备制造商往往采用不同的电能质量指标. 从用户方面考虑, 电能质量定义为<sup>[1]</sup>: 导致用户设备失效或不能正常工作的电压、电流或频率偏移. 电能质量是众多单一类型的电力系统干扰问题的总称, 实质是电压质量, 主要描述供电电压偏离其理想状态的程度. 其内容涉及频率偏移、电压偏移、电磁暂态、波形失真、三相不平衡以及电压波动和闪变等.

## 2 电能质量的评价

### 2.1 频率偏移

频率偏移是电能质量的一个重要指标, 它定义为电力系统基波频率偏离额定频率的程度. 大容量负荷或发电机的投切以及控制设备不完善都有可能导致频率偏移. 我国《电力工业技术管理法规》规定, 大容量电力系统的频率偏移不得超过  $\pm 0.2$  Hz, 一些工业发达国家规定频率偏移不得超过  $\pm 0.1$  Hz.

系统频率的过大变动对用户和发电厂的不利影响主要有如下几个方面:

收稿日期 2001—06—20

作者简介 邱万英 (1963 - ), 女, 江西信丰人, 华东交通大学副教授.

1) 频率变化引起异步电动机转速变化, 导致纺织、造纸等机械的产品质量受到影响。

2) 与系统频率有关的测控设备受系统频率的影响而降低其性能, 甚至不能正常工作;

3) 系统频率降低引起电动机的转速和功率降低, 导致传动机械效率降低;

4) 频率降低发电厂汽轮机叶片的振动变大, 影响使用寿命, 甚至产生裂纹而断裂;

5) 频率降低, 发电厂给煤、排水系统效率降低, 从而使系统频率状态进一步恶化;

6) 系统频率降低引起异步电机和变压器激磁电流增加, 所消耗的无功功率增加, 恶化了电力系统的电压水平;

7) 频率的变化还可能引起系统中滤波器的失谐和电容器组发出的无功功率变化。

## 2.2 长时电压偏移

长时电压偏移是衡量电能质量的另一个重要指标, 它定义为持续时间超过 1 分钟, 稳态工频电压有效值超过规定限值的所有电压偏移。包括过电压、欠电压和持续失去电压三种情况。常用电力网中各节点电压值对其额定值的偏移大小来表示。一般规定长时电压偏移的大小应在额定值的  $\pm 10\%$  之内。

大负荷与无功补偿电容器的投切操作, 系统阻抗较大或电压调节不善都可能引起长时电压偏移。长时电压偏移过大会对电力系统的正常运行产生不利影响, 主要表现在:

1) 电压降低引起异步电动机的转矩减小, 转速降低, 影响了产品的质量和数量;

2) 电压降低引起发电厂给排水系统和给煤系统的效率降低, 影响锅炉、汽轮机和发电机的出力;

3) 电压降低引起照明设备的效率降低, 使对电网电压敏感的电子设备不能正常工作;

4) 电压升高损害电气设备的绝缘, 使变压器、发电机等电气设备工作在饱和状态, 激磁电流增加, 设备过热并产生有害的谐波电流;

5) 电压过低引起补偿电容器组输出无功减少, 严重时可能引起连锁反应而导致全网性的电压崩溃。

## 2.3 短时电压偏移

短时电压偏移包括电压跌落、电压升高和失去电压。对短时电压偏移, 国外已进行了不少研究工

作, 国内尚未引起足够重视。

电压跌落是指工频电压或电流降低到  $0.1 \text{ p.u.} \sim 0.9 \text{ p.u.}$  之间, 持续时间在 0.5 个周波到 1 分钟之间的电压质量问题。瞬时性故障往往以电压跌落开始, 大电力负荷的投入、大容量电容器的切除、大电机的起动或多个电动机的同时起动都有可能引起邻近负荷的电压跌落。变电站内某条配电线路的单相接地故障也有可能引起邻近馈电线路的电压跌落。

电压升高是指工频电压或电流有效值上升到  $1.1 \text{ p.u.} \sim 1.8 \text{ p.u.}$  之间, 持续时间在 0.5 周波到 1 分钟之间的电压质量问题。单相接地故障会引起非故障相的电压升高, 大负荷的切除或电容器组的充电也会导致类似的电压质量问题。

失去电压指的是供电电压或电流降到  $0.1 \text{ p.u.}$  以下, 持续时间不超过 1 分钟的电能质量问题。失去电压的主要原因是由于雷击、树木倾倒、刮风等引起的电力系统瞬时性故障, 也有可能是因为设备失效或控制装置的误动作。

对失去电压和电压跌落的重视是近十几年来的事, 主要原因是计算机系统的大规模应用和自动控制系统的不断精细化。对于一个计算中心来说, 两秒钟的失去电压或电压跌落会造成计算机系统的工作紊乱, 数据损坏。在大型机床厂, 0.1 秒的电压跌落就有可能造成巨大的产量和质量损失。事实上, 失去电压或电压跌落超过两个或三个周波, 马达、机床或机器人就无法保持对由其驱动的过程的精确控制。

## 2.4 电磁暂态

电磁暂态是指电力系统从一个稳定状态过渡到另一个稳定状态时, 电压或电流数值的暂时性变化。产生电磁暂态的主要原因有雷电波冲击和电力系统故障等。电磁暂态可分为冲击暂态和振荡暂态两类。

冲击暂态定义为电压或电流在稳态下的突然的非工频变化, 变化是单方向的。常用其上升和延迟时间来描述。产生冲击暂态的主要原因是闪电。由于涉及到的频率很高, 所以产生的冲击电压或电流衰减很快, 同一个冲击暂态事件, 在电力网络的不同点会观察到不同的结果。冲击暂态常常引起设备因过电压而损坏, 还有可能激发电力系统的固有振荡而导致振荡暂态。

振荡暂态定义为电压或电流在稳态下的突然

的非工频变化, 变化是双向的. 常用频谱成份(主导频率)、持续时间和幅值进行描述. 根据其频谱范围, 振荡暂态可分为高频、中频和低频三种.

高频振荡暂态的主导频率一般在  $0.5 \sim 5$  MHz 之间, 持续时间为几个  $\mu\text{s}$ , 它往往是由于当地冲击暂态所引起.

中频振荡暂态的主导频率在  $5 \sim 500$  kHz 之间, 持续时间为几十个 ms. 背靠背电容器的充电会产生主导频率为几十 kHz 的振荡暂态, 电缆的投切也会产生同样频率范围内的振荡暂态. 冲击暂态也会引起中频振荡暂态.

主导频率低于 5 kHz, 持续时间在  $0.3 \sim 50$  ms 之间的暂态称为低频振荡暂态. 低频振荡暂态在输电系统和配电系统中经常遇到, 很多事件都可能导致低频振荡暂态的产生. 电容器组的充电会产生主导频率在  $300 \sim 900$  Hz 之间, 峰值约为  $2.0 \mu\text{p}$  的低频振荡暂态. 配电网中存在的主导频率低于 300 Hz 的低频振荡暂态, 主要同配电网中的铁磁谐振现象和变压器充电产生的励磁涌流有关.

## 2.5 三相不平衡

电压不平衡定义为相电压或相电流对于三相电压或电流平均值偏移的最大值. 三相电压(电流)不平衡的产生既有设计方面的原因, 如单相电气设备三相分布的严重不对称; 也有存在大容量单相负荷的客观原因, 如单相电力机车, 电弧炉等; 另外, 系统故障也会导致三相不平衡的产生. 在三相电力系统中, 三相不平衡的程度常用负序分量与正序分量有效值之比来表征. 根据 GB/T15543-1995《电能质量 三相电压允许不平衡度》的规定, 电力系统公共连接点正常电压不平衡度允许值为 2%, 短时不得超过 4%.

负序和零序分量的存在会对电力设备的运行产生下列影响:

- 1) 凸极式同步电机对负序分量存在很强的谐波变换效应, 三相不平衡会导致同步电机产生电力谐波, 污染电力系统的运行环境;
- 2) 负序电流流入同步电机或异步电机, 会使电机因产生附加损耗而发热, 产生附加转矩而降低使用效率;
- 3) 对直流输电的换流器来说, 三相不对称不仅会增加控制的困难, 还会导致非特征谐波的产生;
- 4) 零序电流的存在会对邻近的通信线路产

生很强的干扰.

## 2.6 波形失真

波形失真定义为理想工频正弦波的稳态偏移, 常用其频谱含量来描述. 波形失真主要包括五个方面的内容: 直流偏移, 谐波, 间谐波, 陷波和噪声.

交流电网中如果存在直流电压或电流, 则称为直流偏移. 产生直流偏移的主要原因是由于地磁暴产生的电磁干扰和电网中半波整流设备的存在. 直流电流流过变压器会引起变压器的直流偏磁, 产生附加损耗而过热并降低其使用寿命. 直流电流还会导致接地体或其它联接器的电化腐蚀.

谐波定义为具有供电系统基波频率整数倍频率的正弦电压或电流. 导致波形失真的原因是非线性负荷的存在. 谐波失真水平可以用每个单一谐波成份的幅值和相位描述, 也可用某一特定的参数, 如谐波失真度来描述. 谐波失真度或畸变率(THD)是评价电力系统中谐波含量的主要指标, 它定义为各次谐波分量总有效值与基波分量有效值之比.

谐波污染对电力设备的危害是严重的, 主要表现在如下几个方面:

- 1) 谐波电流在旋转电机绕组中流通, 使电机产生附加功率损耗而发热, 产生脉动转矩和噪声;
- 2) 引起无功补偿电容器组谐振和谐波电流放大, 导致电容器组因过负荷或过电压而损坏, 对电力电缆也会造成过负荷或过电压而损坏;
- 3) 由于集肤效应和邻近效应的存在, 使输电线路、变压器等因产生附加损耗而发热;
- 4) 电压或电流波形的畸变改变了电压或电流的变化率, 影响了断路器的断路容量, 对晶闸管的使用寿命产生严重影响;
- 5) 对继电保护和自动控制装置产生干扰和造成误动或拒动;
- 6) 使计量仪表, 特别是感应式电能表产生计量误差;
- 7) 造成通信干扰.

间谐波定义为具有供电系统基波频率非整数倍频率的正弦电压或电流, 它常表现为离散频率或宽带频谱. 间谐波广泛存在于各级电网中, 产生的原因是静止频率变换器、变流器、感应电机和电弧设备等, 电力线路上的载波信号也可以认为是间谐波. 间谐波会引起 CRT 等显示设备的闪烁.

陷波是由于换流器换相而产生的周期性电压干扰, 尽管可以利用傅里叶变换将陷波分解成一系

列谐波，但一般将陷波单独处理，因为其谐波次数一般较高且幅值不大，用谐波测量设备很难表征。

噪声是指叠加在每相电压或电流、中性线或信号线上的，频率超过 200kHz 的不希望的电气信号。电力电子设备、控制电路、电弧装置、以及供电系统的投切都会产生电磁噪声。噪声会影响微机和可编程控制器的正常工作，装设滤波器和隔离变压器会降低电磁噪声的影响。

2.7 电压波动和闪变

电压波动是指电压包络线的规则变化或电压的一系列随机变化，但其变化范围在额定值的 ± 10% 之内。闪变指的是电压波动对照明设备产生影响，这个影响被人眼主观感觉到了。电压波动的主要影响是引起白炽灯等照明设备、电视机等显示设备的闪烁现象。电弧炉和轧钢机等大容量冲击性负荷的存在是引起电压波动和闪变的根本原因。

3 结论

从定性的描述到定量的分析，电能质量的概念正在不断地深化和量化。本文介绍的电能质量评价方法，将有助于加深对电能质量内涵的理解，有助于制定适合我国国情的质量标准。

参考文献:

[1] Dugan R C, *et al.* Electrical Power System Quality[M] . New York: McGraw – Hill, 1982.

[2] 何人望, 邱万英. 单相电弧炉对供电系统电能质量的影响分析[J]. 浙江电力, 2000, 19(5): 58 ~ 60.

[3] Zhuang Y, Menzies R W. Factors Affecting the Dynamic Performance of A Statcom at a Weak HVDC Terminal [M]. CIGRE, 1996 Session 14 – 301, Paris France. September 1996.

New Definition of Power Quality and Its Estimation at the Present Time

QIU Wan-ying

(School of Natural Science ,East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013 )

**Abstract:** This paper discusses the concepts of power quality, such as power frequency variations, voltage variations, transients, waveform distortion, voltage imbalance, voltage fluctuations and flicker. The effects of power quality on electric equipment and the factors influencing power quality are also described.

**Key words:** power quality; power system; evaluation index