

# 无锡市电网谐波污染现状分析

吴俊<sup>1</sup>, 谢丹<sup>2</sup>

(1.无锡供电公司,江苏无锡 214101;2.江阴供电公司,江苏江阴 214000)

**摘要:**谐波污染是电网的一大公害,严重阻碍了电力电子技术的发展。文中以江苏省无锡市为实验区,通过对该市20家主要企业进行电网谐波测试,对无锡市电网谐波污染的现状进行分析,进而提出了改进谐波污染的一些对策。该研究期望为无锡市电网谐波污染控制和治理起到借鉴作用。

**关键词:**电网;谐波污染;谐波检测

**中图分类号:**TM93

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2010)05-0037-03

近年来,谐波污染被认为是电网的一大公害,它严重影响了电力设施和用电设备的安全,阻碍了电力电网设施的可靠、高效运行。对谐波污染的监测和分析,越来越成为该领域的重点关注课题。对谐波污染的有效监测和治理,不仅能够提高设备运行质量和节能降耗,而且关系到国民用电安全问题。

## 1 谐波污染及其危害

谐波是一个周期电气量的正弦波分量,其频率为基波频率的整数倍,因此又称其为高次谐波<sup>[1]</sup>。电网中还存在一些频率不是基波频率整数倍的正弦分量,这些分量称为分数次谐波和间谐波。低于工频的间谐波又称为次谐波,但电网中主要存在的还是高次谐波。电力系统中能产生谐波的设备即为谐波源。电力网谐波主要来自于3个方面:一是发电电源质量不高产生谐波;二是输配电系统中产生谐波;三是用电设备产生的谐波<sup>[2-4]</sup>。其中,用电设备产生的谐波包括各种换流装置、电子电压调整设备、电弧炉、感应炉以及现代工业设备为节能和控制使用的各种电力电子设备,还有多种家用电器和照明设备等,都是电网主要的谐波源。

随着电网的快速发展,负荷的急剧增加,电力装置带来的谐波问题对电力系统安全、稳定、经济运行造成潜在的威胁,给周围环境带来了极大的影响。越来越多的电力电子设备、家用电子电器、电弧放电性负载、气体放电灯和其他非线性用电负载投入使用,致使大量高次谐波电流涌入各级电网,引起电网的电压正弦波形严重畸变、三相电压不对称及电压的波动和闪变,损坏发、变电设备和用电设备,危及电网安全运行。因此,谐波被认为是电网的一大公害,严重阻碍了电力电子技术的发展<sup>[5,6]</sup>,且对电力系统谐波的研究也逐渐被人们重视。我国于1993年制定并颁布了《电能质量公用电网谐波》国家标准(GB/T

14549-93),其主要内容是规定了公用电网谐波的允许值及测试方法。该标准适用于交流额定频率为50 Hz、标称电压 $\leq 110$  kV的公用电网。我国公用电网谐波电压限制如表1所示。

表1 我国公用电网谐波电压限制

电网标称 电压/kV	电压总谐波 畸变率/%	各次谐波电压含有率/%	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

## 2 无锡市电网谐波现状分析

### 2.1 无锡市电网基本情况介绍

位于太湖之滨、运河之畔的无锡供电公司隶属江苏省电力公司,担负着无锡市所辖二市(江阴、宜兴)七区的供电任务。截止2009年底,无锡电网35 kV及以上变电站289座,电网总容量35 809.4 MV·A。其中4座500 kV变电站,9台主变,变电容量为7 500 MV·A;46座220 kV变电站,85台主变,变电容量为14 580 MV·A。无锡电网还包括21条500 kV线路、124条220 kV线路、283条110 kV线路、273条35 kV线路。

### 2.2 无锡市电网谐波测试实验

选择无锡市为研究样区,挑选该市管辖的20个主要用电单位进行电能质量测试,研究无锡市电网谐波污染的主要情况。用电单位的选择,顾及了无锡市大型企业和中小型用电企业的比例,以及各类型用电单位在城市空间的均匀分布,从历年检测数据可知,该20个主要用电单位,基本可以代表无锡电网谐波污染状况的总现状。

测试选用的仪器为 FLUKE1760 三相电能质量测试仪,其基本测试参数如下:(1)电能质量统计符合 EN50160 标准和 DISDIP 表;(2)不间断记录电压、电流、有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、闪变、失衡、频率、谐波/间谐波参数等指标的 RMS 值及相应的最小值和最大值。(3)谐波和间谐波的基本累积时间为 200 ms,示波器所有 8 个通道的采样率均为 10.24 kHz,通道 1 至通道 4 快速瞬态 FFT 的采样率选择范围为 100 kHz~10 MHz。因此,FLUKE 1760 能完全胜任当前的谐波检测,并给出分析结果,实现报表打印。

测试涉及国家标准有:GB/T 12325—2003《电能质量 供电电压允许偏差》;GB 12326—2000《电能质量 电压波动和闪变》;GB/T 14549—1993《电能质量 公用电网谐波》;GB/T 15495—1995《电能质量 电力系统频率允许偏差》和 GB/T 15543—1995《电能质量 三相电压允许不平衡度》。

谐波监测的主要内容有:(1)谐波情况的普查。测量电网中的谐波电压、电流和谐波潮流及其方向,以查明谐波源,为采取措施、控制电网谐波含量提供依据。(2)谐波监测点的设置。在电网中谐波源或其他谐波畸变严重的连接点上设置谐波警报器或谐波电流、电压表,监视该点谐波变化情况,以便及时采取限制措施。(3)新的谐波源负荷接入电网时的检测。在谐波源负荷接入电网前后,均应进行谐波测量,以便为研究谐波源接入电网需要采取的措施提供依据,检查谐波源接入电网后其谐波含量是否超过允许值。(4)谐波事故分析。在电网或电气设备出现异常或故障时,要进行谐波检测分析,如属谐波(特别要注意谐振和放大)造成的故障,则应采取措施,予以消除。无锡市 20 个单位电能质量测试结果如表 2 所示。以上测试均为折算至一次侧的值,对各项参数的评断依据测试涉及的国家标准,谐波、短时间电压闪变、三相电压不平衡度的测量结果以 95% 概率值作为判断是否合格的依据,短时三相电压不平衡度、长时间电压闪变的测量结果以最大值作为判断是否合格的依据。由表 2 可知,在测试范围内,所有单位的谐波电压、电压频率、电压偏差允许值指标均满足国家标准,电压短闪变、电压长闪变和三相不平衡度指标均有 1 至 2 家单位超标,但无锡市主要用电企业在以上指标的表现总体良好,关键问题是在谐波电流指标上,20 家单位有 8 家出现超标情况,其中以 5 次和 7 次谐波污染较为严重。

### 3 谐波防治措施探讨

随着电力系统电能质量的恶化和电力用户对电

表 2 无锡市 20 个单位电能质量测试结果

单位 编号	谐波 电压	谐波 电流	电压 短闪变	电压 长闪变	电压 频率	电压 偏差	允许值 三相不 平衡度
1	合格	合格	合格	不合格	合格	合格	合格
2	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
3	合格	7 次不合格	合格	合格	合格	合格	合格
4	合格	11 次、13 次 不合格	合格	合格	合格	合格	合格
5	合格	3 次、5 次、7 次不合格	合格	合格	合格	合格	合格
6	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
7	合格	5 次、7 次不 合格	合格	合格	合格	合格	合格
8	合格	5 次不合格	合格	合格	合格	合格	合格
9	合格	3 次、5 次 不合格	不合格,超 国标 6 倍	不合格,超 国标 7.5 倍	合格	合格	合格
10	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
11	合格	合格	合格	合格	合格	合格	不合格
12	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
13	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
14	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
15	合格	3 次、5 次、7 次、11 次不 合格	合格	合格	合格	合格	合格
16	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
17	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
18	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
19	合格	7 次不合格	合格	合格	合格	合格	合格
20	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格

能质量越来越高的要求,公用电网谐波污染已引起了有关部门的广泛关注,电力系统谐波的监测、控制和抑制对策已成为当前电力系统研究的一个重要课题。在电力系统对谐波的抑制就是如何减少注入系统的谐波电流,以便把谐波电压控制在限值之内。电力谐波的抑制或减缓措施通常可分为预防性和补偿性 2 种。

(1) 电力变压器等供电设备在设计、制造、配置等方面采取减少谐波。电力变压器通过其绕组的巧妙连接,可减少某些次数的谐波。如三相整流变压器采用 Y/Δ 或 Δ/Y 的接线可消除 3 次及其倍数次谐波。这也是抑制高次谐波最基本的方法。

(2) 整流装置是电网中的主要谐波源,通过增加整流器的脉动数或采用可控整流来限制电力谐波的方法最为有效。它的特征谐波电流次数与脉动数有关,一系列次数较低、幅度较大的谐波得到消除,谐波源产生的谐波电流将减少。

(3) 随着全控器件的推广应用,基于脉宽调制法(PWM)控制技术整流器得以实用化。采用 PWM 在所需的频率周期内,将直流电压调制成等幅不等

宽的系列交流输出电压脉冲可以达到抑制谐波的目的。

(4) 在谐波源处就近使用滤波装置是国内限制谐波超标的主要方法之一。滤波装置分为无源滤波、有源滤波和混合型滤波装置等,用户可以根据实际情况选择滤波方式。

#### 4 谐波治理实例

接到营销部优质服务专职反映东风苑居民投诉照明闪烁,电压不稳情况,首先对用户进行谐波测试,发现2次、3次、5次谐波含量过大,经过供电线路运行方式查询,发现220 kV新光变110 kV线路光厂线有无锡钢厂运行,考虑到钢厂电弧炉作为非线性及无规律负荷接入电网,将会对电网和其他负荷产生一系列的不良影响,主要产生高次谐波,其中普遍存在如2次、4次偶次谐波与3次、5次、7次等奇次谐波共存的状况,因此对无锡钢铁厂110 kV光厂线进行24 h谐波监测,发现该钢厂2次、3次、5次谐波数据不合格,含量过大。可以判断居民用户照明闪烁、电压不稳是由于该钢厂使用电弧炉造成谐波含量超标引起的。

电弧炉由于接触不良、电气连接松动或电刷老旧污秽,会在工作中引起闪变,并会通过设备线路扩散,影响到整个系统。闪变也是谐波污染的重要原因之一,因此对钢厂长时间闪变、短时间闪变进行测试,数据如表3所示。

表3 长闪和短闪统计报表

参数	最大值	平均值	最小值	95%值	国际值	结论	
频率/Hz	50.05	50.00	49.95	50.01	± 0.2	合格	
三相电压不平衡度/%	0.93	0.433 9	0.10	0.64	2.00	合格	
短时 间闪 变	A相	6.61	2.92	0.09	4.94	0.80	不合格
	B相	7.50	2.92	0.09	4.85	0.80	不合格
	C相	6.27	2.86	0.09	4.72	0.80	不合格
长时 间闪 变	A相	4.26	3.33	0.95	4.05	0.60	不合格
	B相	4.58	3.32	1.26	4.14	0.60	不合格
	C相	4.15	3.25	1.03	3.89	0.60	不合格

按照国际标准,长时间闪变标准值为0.6,短时间闪变标准值为0.8,从表3可知,该钢厂长时间闪变最大值为4.58,是标准值的7至8倍,短时间闪变最大值为7.5,是标准值的9至10倍,远远超出标准要求,是造成谐波污染的重要原因。

通过对无锡钢铁厂产生谐波污染原因进行分

析,提出以下几点抑制电弧炉谐波污染的方案。

(1) 利用超高速净化装置(TVSS)实时动态补偿。TVSS是以高速CPU为核心的智能检测调控系统模块和优化的监控软件,以ns级的速度动态检测供电系统的电压、电流冲击和浪涌等参数,能动态响应和调整抑制模块参数,配合超高响应频率的闪变抑制元件,该装置在监测到冲击和浪涌的几个ns后将冲击和浪涌阻断在电炉变压器外,从而实现电网几乎不被污染,并减少冲击和浪涌阻在变压器等元件上造成的损失。该装置投入费用低,不需要维护费用,但无法提高系统功率因数。

(2) 合理装设无源交流滤波器(FC)。这种途径是现阶段最常见、最实用、也是最有效的抑制高次谐波的措施。无源滤波装置是由电力电容器、电抗器和电阻器组合而成,运行中它和谐波源并联。除作滤波外,兼作无功补偿。滤波装置通常包括数组单调谐波滤波器和一组高通滤波器。常用于工程实际的滤波器种类有:各阶次单调谐波滤波器、双调谐波滤波器、二阶宽频带与三阶宽频带高通滤波器等。单调谐波滤波器的优点是滤波效果好,结构简单,缺点是电能损耗比较大,但随着品质因数的提高而减少,同时又随谐波次数的减少而增加。高通(宽频带)滤波器,一般用于某次及以上次的谐波抑制,即可以通过参数调整,形成该滤波器回路对某次及以上次谐波形成低阻抗通路。通常推荐存在谐波污染的企业,通过此途径解决谐波污染问题。

(3) 利用静止无功补偿器(SVC)动态补偿。SVC是一种快速调节无功功率的装置,一般由并联的感性和容性两大回路构成,其中至少一个回路为动态回路,即能根据补偿要求快速变化其无功功率的回路。依据构成动态回路的不同方式,目前主要有3种形式的SVC:晶闸管投切的电容器;晶闸管控制的电抗器和自饱和电抗器。虽然其谐波污染治理能力较强,但其初期投入和后期维护费用过高,影响企业生产成本。

#### 5 结束语

随着电网的快速发展,负荷的急剧增加,电力装置带来的谐波问题对电力系统安全、稳定、经济运行造成潜在威胁,给周围环境带来了极大影响,如何减低谐波污染,提高电能质量,已成为电力企业和用户共同关心的课题。从无锡市20家主要企业电网谐波测试实验可知,无锡市部分主要用电企业存在不同程度的谐波污染问题。该问题的有效治理需要从技术方面和管理方面共同解决。

压,导致方向元件失效,并且取自中性点TV的动作元件也将失效,该选择性定子接地保护只能在发电机定子的95%范围内实现选择性保护,另外5%通过常规的三次谐波电压保护来实现无选择性保护。

### 3 结束语

通过对国内某工程三机一变接线方式的贯流式机组选择性定子接地保护的安装调试,积累了丰富的经验。通过现场试验数据的分析计算,验证了该保护原理的正确性和实用性。

#### 参考文献:

- [1] 王维俭. 电气主设备继电保护原理与应用(第2版)[M]. 北京:中国电力出版社,2002.  
[2] 陈俊,沈全荣. 扩大单元接线发电机定子接地保护方案

[J]. 电力系统自动化,2007,31(24):86-89.

- [3] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理(第3版)[M]. 北京:中国电力出版社,1994.  
[4] 李玉海,张小庆,徐敏. 关于定子接地保护的几个问题[J]. 电力系统自动化,1999,23(11):50-54.

#### 作者简介:

- 谈涛(1982-),男,助理工程师,江苏溧阳人,主要从事电气主设备微机保护的调试工作;  
陈俊(1978-),男,高级工程师,江苏姜堰人,主要从事电气主设备微机保护的研究和开发工作;  
王翔(1978-),男,高级工程师,安徽芜湖人,主要从事电气主设备微机保护的研究和管理工作;  
徐金(1979-),男,工程师,山东烟台人,主要从事电气主设备微机保护的调试工作。

## Calculation and Analysis of Selective Stator Earth Fault Protection Based on the Zero Sequence Direction Elements

TAN Tao, CHEN Jun, WANG Xiang, XU Jin

(Nanjing NARI-Relays Electric Co. Ltd, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** At presents, medium and small hydro-power generator applies expanding unit connection mode, and stator earth fault protection cannot distinguish the failure unit, which leads to the tripping of all units and the enlarging of failure range. A novel selective stator earth fault protection based on zero-sequence direction element is calculated and analyzed. With the on-site experiment results, the validity and reliability of this principle is verified.

**Key words:** selective protection; expanding unit; stator ground fault; zero-sequence direction; generator

(上接第39页)

#### 参考文献:

- [1] 宋文南,刘宝仁. 电力系统谐波分析[M]. 北京:中国电力出版社,1995.  
[2] 张哲,陈红坤. 谐波源辨识研究的现状和发展[J]. 电力系统及其自动化学报,2005,17(5):21-25.  
[3] 李丹青,李汉青. 浅析变压器谐波的产生、危害及抑制[J]. 机电工程技术,2004,33(8):157-158.  
[4] 赵勇,沈红,李建华,等. 谐波源的识别及其与非谐波源的分离方法[J]. 中国电机工程学报,2002,22(5):84-87.

- [5] 许克明,徐云,刘付平,等. 电力系统高次谐波[M]. 重庆:重庆大学出版社,1991.  
[6] 张一中,宁元中,宋永华,等. 电力谐波[M]. 成都:成都科技大学出版社,1992.

#### 作者简介:

- 吴俊(1982-),男,江苏南京人,助理工程师,从事电力计量工作;  
谢丹(1982-),女,江苏无锡人,助理工程师,从事变电运行工作。

## Analysis of Harmonic Pollution in Wuxi Electric Power Network

WU Jun<sup>1</sup>, XIE Dan<sup>2</sup>

(1.Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214101,China;2.Jiangyin Power Supply Company, Jiangyin 214000,China)

**Abstract:** Harmonic pollution is regarded as a serious damage to obstruct the development of power electronics. Twenty factories of Wuxi have been taken as samples to test their power harmonics and analyze the related situation. And some countermeasure to improve harmonic pollution is proposed. The study can be used for reference in controlling and preventing the power harmonic pollution of Wuxi power grid.

**Key words:** power system; harmonic pollution; harmonic detection

## 什么是电力网?

电力网是由各种不同电压等级的升压和降压变电站及输、配电线路组成,它把发电厂发出来的电能输送到用电区域,分配给用户。它由许多不同电压等级的电力线路连接而成,包括各变电站(含开关站)的开关和操作控制设备、计量设备、变电设备和调整电压等所有的电气装置。