

An Approach for Calculation and Control of Harmonic Voltage in Public Power Grids

Zhengzong Duan

Chongqing Water Resources and Electric Engineering College, Chongqing
Email: 918109180@qq.com

Received: Aug. 7th, 2014; revised: Sep. 21st, 2014; accepted: Sep. 4th, 2014

Copyright © 2014 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This paper presents a practical and useful approach to measure and calculate harmonic wave in public power grids. It is based on analysis of harmonic wave data from the ordinary air condition units and color TV units. The paper also discusses the problems that harmonic wave may create and the approaches to deal with these problems.

Keywords

Harmonic Wave Source, Harmonic Current, Harmonic Wave Calculation, Harmonic Wave Impact, Approach

基于实测公共电网谐波电压计算及控制策略研究

段正忠

重庆水利电力职业技术学院, 重庆
Email: 918109180@qq.com

收稿日期: 2014年8月7日; 修回日期: 2014年9月21日; 录用日期: 2014年9月4日

摘要

本文通过对公共电网谐波产生及通过对普通空调设备和家用典型彩色电视机谐波的实测数据分析，总结出了一套实用的工程中谐波测量及计算方法。并分析了谐波的危害及应对策略。

关键词

谐波源，谐波电流，谐波工程计算，谐波危害，策略

1. 引言

随着国民经济的发展，工业用电设备的多样化自动化技术的发展和推广，电动机调速装置如变流设备、变频设备等，容量和数量都在不断增大，特别是大型晶闸管变流设备和大型电弧炉。由于这些非线性元件的大量存在，电网中的高次谐波出现了愈来愈严重的现象，给电力系统和各类用电设备带来危害，轻则增加能耗，缩短寿命，重则造成用电事故，直接影响安全生产[1]。因此，加大对公共电网谐波的研究与分析，消除谐波污染，把谐波含量控制在允许范围内，已成为主管部门和用电单位的共同奋斗目标。近年来，公共电网的谐波源类型多，呈多点分布，用户电网中的谐波电流可能来自本身的非线性设备，也可能来自外部线路，治理谐波应先对谐波的来源进行区分，从而有针对性地进行谐波治理。不但要了解电力系统中谐波源的来源，还要了解电网中谐波的次数及每次谐波的含量。因此治理谐波前必须进行谐波的必要的测试，以得到准确的数据。目前测试谐波的主要工具是谐波分析测试仪，近年来在治理谐波中起到了很重要的作用。

2. 谐波源及电气设备谐波电流分析

城市公共交流电网中，由于许多非线性电气设备如交流电动机、电焊机、感应电炉、晶闸管变流设备、电弧炉等的投入运行，随着家用电器的普及和家庭用电量的增加，日常生活的用电设备产生的谐波不可小觑。这些设备产生的谐波程分散的，多点的形式注入公共电网中。常用的家电如电视机、空调、电磁炉、洗衣机等，由于它们均为非线性元件，在使用中会产生不同谐波电压，这些谐波电压将会引起电网电压畸变。其电压、电流波形实际上不是完全的正弦波形，而是不同程度畸变的含有高次谐波的非正弦波。例如：电视机由于采用单相桥式整流电容平波电路，其整流元件要等到整流电压大于电容器的储能电压时才能导通。故交流则电流只有正弦波的波头部分。其特征谐波全部为奇次谐波，谐波的峰值与基波的峰值相重合。多台电视机如果采用的是同一相电网电压，则它们的相位是相同的，如果又是同一时间使用，则其谐波峰值进一步增大。彩色电视机的谐波主要是3次，5次，7次，9次谐波[2]。傅里叶级数分析可知，畸变后的波形可分解为基波和具有基波分量在同一时整数倍的各高次谐波正弦分量。

谐波源：谐波是用户向公用电网注入谐波电流的电气设备或在公共电网中产生谐波电压的电气设备产生的，常见的情况有：换流设备、电弧炉、各种电磁铁心、照明设备等。

表1为以日常生活中最常用的家电设备电视机和某型号的空调机谐波测量进行分析。

居民家用电器设备中，从用电量方面来讲，家用空调占了较大的比重，而且也是居民用电用户中的一种主要的谐波源。从下表对家用空调机测试数据结果可以看出，不同工作方式的家用空调机其谐波电流含量也明显不同，家用变频空调机虽然更经济实用，但其谐波电流含量却远大于普通的老式家用空调机。

可以看出，普通空调机谐波电流主要为其 1~3 次谐波分量，而三次以上谐波电流分量的影响明显减小。

注：THD1——总谐波电流含量

某型号彩色电视机谐波电流测量值

各型号电视机谐波电流实测表，见表 2。

从表中的型号彩色电视机谐波电流测量值明显看出，奇波电流的 3~7 次谐波分量较大，9 次以上谐波的影响明显减小，控制家用电器谐波的影响应从较低次谐波的控制入手。这也为电业部门对接入公共电网的谐波用户的验算和管理提供了依据。

3. 谐波的计算及测量

第 n 次谐波电压含有率 HRU_n 与第 n 谐波电流分量 I_n 关系如下：

$$HRU_n = \frac{\sqrt{3}Z_n \cdot I_n}{10U_n} (\%) \quad (1)$$

近似的工程估算按下式计算：

$$HRU_n = \frac{\sqrt{3}U_n \cdot n \cdot I_n}{10S_k} (\%)$$

$$\text{或 } I_n = \frac{10S_k \cdot HRU_n}{\sqrt{3}U_n \cdot n} (\%)$$

Table 1. The harmonic currents from an air condition unit

表 1. 某型号的普通空调机谐波电流测量值

工况(谐波次数)	风扇	弱、中、强冷	中热	强热	工况(谐波次数)	风扇	弱、中、强冷	中热	强热
n = 1	0.519	3.65	2.95	4.03	n = 9	0.019	0.058	0.054	0.078
n = 2	0.002	0.231	0.218	0.289	n = 11	0.037	0.027	0.029	0.036
n = 3	0.024	0.776	0.918	0.705	n = 13	0.002	0.002	0.004	0.003
n = 4	0.004	0.098	0.066	0.111	n = 15	0.003	0.017	0.014	0.019
n = 5	0.014	0.303	0.215	0.288	n = 17	0.001	0.008	0.007	0.010
n = 7	0.016	0.095	0.113	0.075	THD1(%)	7.24	24.57	33.14	21.76

Table 2. The harmonic currents from various types of TV units

表 2. 各型号电视机谐波电流实测表

型号	额定功率(W)	基波电流有效值	各次谐波电流分量测量值					
			n = 3	5	7	9	11	13
长虹 2919PV	215	0.605	0.545	0.447	0.318	0.192	0.081	0.018
康佳 T2988	190	0.527	0.459	0.363	0.242	0.130	0.035	0.024
嘉华 K929A	180	0.512	0.428	0.305	0.162	0.049	0.030	0.052
索尼 F29MF1	169	0.433	0.389	0.317	0.227	0.142	0.068	0.022
飞利浦 29B9PV	115	0.457	0.395	0.313	0.210	0.117	0.039	0.021
熊猫 2918	135	0.636	0.573	0.472	0.345	0.219	0.0103	0.016

式中:

U_n ——电网的标称电压, KV

S_K ——公共连接点的三相短路容量, MVA

I_n ——第 n 次谐波电流, A

Z_n ——系统中第 n 次谐波电抗, Ω

两个谐波源的同次谐波电流在一条线路的同一相上叠加, 当相位角已知时, 按下式计算:

$$I_n = \sqrt{I_{n1}^2 + I_{n2}^2 + 2I_{n1} \cdot I_{n2} \cdot \cos \theta_n}$$

I_{n1} ——谐波源 1 的第 n 次谐波电流, A

I_{n2} ——谐波源 2 的第 n 次谐波电流, A

θ_n ——谐波源 1 和谐波源 1 的第 n 次谐波电流之间的相位角

当相位角不确定时可按下式计算

$$I_n = \sqrt{I_{n1}^2 + I_{n2}^2 + K_n I_{n1} \cdot I_{n2}}$$

式中 K_n 系数按表 3 选取。

两个以上同次谐波电流叠加时, 首先将两个谐波电流叠加, 然后再与第三个谐波电流相叠加, 依次类推。

在公共点处第 i 个用户的第 n 次谐波电流允许值(I_{ni})可按下式计算:

$$I_{ni} = I_n (S_i / S_t)^{1/a}$$

式中

I_n ——按式 1 换算的第 n 次谐波电流允许值, A

S_i ——第 i 个用户的用电协议容量, MVA

S_t ——公共连接点的供电设备容量, MVA

A ——相位叠加系数, 按表下表取值:

相位叠加系数取值表, 见表 4。

4. 谐波的危害

4.1. 变压器类设备的附加功率损耗和发热

谐波电流将会在电机中产生正序和负序谐波电流, 形成正和反向的旋转磁场, 使电动机产生固定数的振动力矩和转速的周期变化, 降低电动机的效率并增加电动机的发热。对于同步电动机, 由于交流集肤效应的作用, 谐波电流将会在电机转子表面形成局部环流, 引起同步电动机转子绕组局部发热, 对电机绝缘造成威胁, 影响电机的使用寿命。对变压器而言, 电网的谐波电流特别是高次谐波电流分量, 因为其频率高, 不断地反复正向磁化铁芯, 将产生严重的磁滞伸缩和噪声, 从而产生磁滞损耗和附加损耗, 这两种损耗均会引起铁芯过热, 造成其绝缘介质老化甚至绝缘击穿。

4.2. 造成断路器误动作

当存在较大的谐波电流时, 某些断路器的磁吹线圈不能正常工作, 致使断路器的开断能力降低。同时对于过载保护开关而言, 谐波电流的发作用大于有效值相等的工频电流, 能降低热元的发热动作电流, 这样将造成电动机过载保护开关误动作。

Table 3. Coefficient table for K_n
表 3. K_n 系数取值表

n	3	5	7	11	13	9、偶次、>13
K_n	1.597	1.301	0.710	0.181	0.082	2.2

Table 4. Coefficient table for phase stacking
表 4. 相位叠加系数取值表

n	3	5	7	11	13	9、偶次、>13
a	1.2	1.25	1.38	1.9	1.97	2.2

4.3. 造成并联电容器局部放电

电容器的特点之一是其阻抗是呈容性，高次谐波更容易通过电容元件，也即电容器更容易吸收高次谐波电流，这些谐波电流通过电容器时将会引起其发热增加，影响其正常运行。电容器的特点之二是易与感性的电力系统之间发生谐振[3]。当电容的容性阻抗 X_c 与电力系统中的感性阻抗 X_l 满足一定的条件时，即当 $X_c = X_l$ 时容易构成谐波谐振，谐振时电容器的电压会急剧升高，有时甚至增加至额定电压的几倍，从而造成使电容器击穿故障。而且谐波电压与基波电压叠加时将会使电容电压波形起伏增加，出现不规则的尖顶波，造成电容器发生局部放电，影响电容器的正常运行，由实验观察可知，电网中的谐波会造成电容器每个周期中局部放电次数明显增多。

4.4. 对继电保护装置的影响

一般情况下，对电磁型电流继电器，如果谐波含量小于是 10%，将不会造成明显影响。但如谐波含量高于些数值，并且谐波衰减较慢时就会产生明显的影响。其主要影响有两种：误动和拒动[4]。谐波电流的程在相当于电网电流在基波的基础上多叠加了一个电流，这样通过继电器线圈的电流有效值将会增加，从而造成误动。对过电压继电器来说，其动作值将会超过基波时的整定值，从而造成拒动。而对欠电继电器呢，同理要以分析得知会出现误动的情况。

对距离保护的影响也是很大的，距离保护整定时一般是按基波阻抗进行整定的，如果电网中谐波电流超过 10%，将会产生明显影响。谐波电流将会使电线路阻抗明显增大，从而引起误动，特别是含有大量 3 次谐波の場合。

对零序保护来说，电网中谐波含量增加，将会使得零序电流增大，而零序保护又是按基波整定的，这样不难分析将会造成零序保护的误动。

4.5. 对输配电线路的影响

由于大截面输电线路在运行中要受到交流集肤效应的影响，集肤效应使得输电线路的线路阻抗增大，从而增大了线路上的损耗。与此同时，三相输电线路的中线电流也会因此增大，引起中性线过载。在一定的参数配合条件下，产生串、并联谐振。从而引起线路部分设备对地电压异常升高，严重时引起设备对地击穿，或线路绝缘击穿事故。

4.6. 其他

谐波电压使电缆绝缘局部放电增加，对电缆使用寿命有较大的影响。大容量高压变压器由谐波造成的涌磁过程能延续数秒或更长的时间，可能引起谐波过电压，并使相应避雷器的放电时间过长，放电能

量过大而受到损坏。谐波电流引起的电气设备及配线路过载导致短路，甚至引起电气火灾。

5. 谐波控制措施

谐波干扰是造成电能质量下降的关键因素之一，为保证电网向国民经济各部门提供质量合格的50Hz电能，必须对接入电力系统的谐波源加以控制，对于超出允许值的谐波电流进行抑制和消减，以保证电网和用户用电设备的安全经济运行。根据谐波达标的水平、效果、经济性和技术成熟度的综合分析，减小谐波影响的技术措施有：

(1) 随着直流输电技术的应用，我国出现了越来越多的换流站，这些换流站特别是其直流部分产生了大量的谐波，增加换流装置的脉动数，改造换流装置或利用相互间有一定移相角的换流变压器，如：在500KV换流站交直流装置两侧装设高通滤波器并配置一套12脉动数的换流器就可以大大减小谐波。对换流站，由于其高次谐波中的主要分量是3次谐波分量，可以安装专门的三次谐波滤波器[5][6]。

(2) 加装由滤波电抗器、滤波电抗器组成交流滤波成套装置，在谐波源附近安装若干个单调谐或高通滤波支路。此装置对基波来说由于其高阻抗作用，其无法通过。而对于高次谐波来说，由于其低阻抗特性，使得大量谐波顺利通过。此方法可以有效减小谐波含量，可以消除电网公共点电压畸变，提高电力系统的功率因素，并且运行维护简单。但需专门设计该装置，并应同时考虑无功补偿和电压调整效应。

(3) 改变谐波源的配置或工作方式，用电设备有三类，一种是呈感性的，一种是呈容性，第三种是电阻性的。如果条件允许，对运行中呈容性和呈感性的谐波互补性的设备进行集中布置，对都呈容性或都呈感性或阻性的设备不具备进行分散布置或交错使用，这样可以适当限制谐波源产生谐波。

(4) 加装串联电抗器。在了解加装点附近的用户情况后，明确周围有没有大型谐波源，配合精准的实测参数，再根据实际情况可在用户进线处配置串联电抗器。其电抗率应在4.5%~13%之间为宜，并适当考虑电抗器损耗。此方法可以增大和系统的电气距离，减小和系统的谐波相互影响，对减小电容放电电流、电容励磁涌流及操作过电压有很好的效果。但在实施中应考虑功率因素补偿和电压调整的计算[7]。

(5) 加装静止无功补偿装置，如针对炼钢电弧炉产生的谐波可采用高压静止无功补偿装置，这种装置可以根据负荷变动情况，自动进行调整，能随时方便切除部分补偿支路。此装置主要由滤波电容器组，电抗器，控制器，投切开关等组成。对电路中的2、3、4、5、6、7次谐波均能起到很好的抑制作用。此方法的主要特点是可以有效地减小波动谐波源的谐波含量，就近有效抑制电压波动和闪变、提高功率因素，能可靠保证各项指标不超出规定的要求。但初始性一次投资较大，并且需专门设计。

(6) 避免电力电容器组对谐波的放大。装设电容器组后的电力系统，其谐波阻抗随电力系统的谐波的频率不同会发生变化，一旦达到某些条件，将会发生谐振，相当于将等效谐波阻抗提高到了最大值，从而放大了谐波电流。这个被放大的谐波电流或电压将会叠加在电容的基波电流上，使其有效增加，引起附加损耗，造成电容器损坏。工程设计中根据所测得参数适当改变电容器组的串联电抗器的参数，或将电容器组的部分支路进行滤波器设计，或根据实测数据适当改变电容器组的投切容量值，这样可以有效抑制电容谐波放大，但必须进行精确的测量和计算。

针对家用电器谐波电源的注入特点，可以采用加装分散的单调谐滤波器，此种滤波器具有简单经济，基波损耗小的特点。能明显抑制家用电器向公共电网注入高次谐波。

参考文献 (References)

- [1] 任元余, 卞铠生, 姚家祎 (2005) 工业与民用配电设计手册. 中国电力出版社, 北京.
- [2] 梅正青 (2009) 浅议家用电器的谐波源污染源的防范与治理. 电网电能质量控制与监测学术交流会议论文集, 4.
- [3] 王兆安, 杨军, 刘进军 (2006) 谐波抑制和载功率补偿. 机械工业出版社, 北京.

- [4] 张直平, 李芬辰 (2001) 城市电网设计手册. 中国电力出版社, 北京.
- [5] 徐政 (2011) 电力系统谐波分析及计算. 机械工业出版社, 北京.
- [6] 肖湘宁, 韩民晓, 徐永海 (2004) 电能质量分析与控制. 中国电力出版社, 北京.
- [7] 杨智, 王玉秋 (2010) 变频器谐波干扰防范与处理措施. *电工技术*, **9**.