

浅谈供配电系统谐波问题

邱俊

(长沙民政职业技术学院 电子信息工程系, 湖南 长沙 410004)

摘要: 详细分析了供电系统谐波产生的原因, 并提出了合理的解决方法, 取得了良好的效果。

关键词: 三相桥式整流器; 波形畸变; 谐波电流; 谐波电压

中图分类号: TM714.1

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2010)16-0080-03

Talk about the issue of power supply and distribution system harmonics

QIU Jun

(Department of Electronic and Information Engineering, Changsha Social Work College, Changsha 410004, China)

Abstract: Based on the phenomenon of power system harmonics generated by a detailed analysis of the causes of harmonic, put forward a reasonable solution and achieved good results.

Key words: three-phase bridge rectifier; voltage distortion; harmonic current; harmonic voltage

电能质量的好坏, 直接影响工业产品的质量。评价电能质量有几方面标准, 其中一方面就是电压的波形质量, 即三相电压波形的对称性和正弦波的畸变率, 也就是谐波所占的比重。

配电变压器运行时有一种电能损耗源是谐波电流, 其在系统中流动会使变压器、配电设备及导线发热, 由此产生电能损耗。另外, 谐波电流会导致谐波电压的产生, 从而引起高次谐波电压畸变。我国颁布的 GB/T14549-93《电能质量·公用电网质量》^[1] 标准中对高次谐波电压(相电压)限值有严格规定: 额定电压为 0.38 kV 的电网中, 电压总谐波畸变率不得超过 5.0%, 各次谐波电压含有率的奇次不得超过 4.0%, 偶次不得超过 2.0%。同时还规定高次谐波电压对电网的冲击持续的时间不超过 2 s, 且两次冲击之间的间隔时间不小于 30 s。

1 供配电系统中的谐波现象

某大型企业的 10/0.4 kV 变配电系统是由第一、第二两个变电所组成。两个变电所都是采用两台变压器分列运行方

式, 如图 1 所示。第二变电所的二号变压器由 10 kV 高压 304 断路器控制, 0.4 kV 低压由 11DP 输出总屏控制, 10DP 为与一号变压器输出的 I 段母线的联络开关, 12DP、13DP 为电容补偿屏, 14DP~22DP 为低压馈电线路控制屏。

图 2 所示为 14DP 供电线路的高次谐波电流百分比含量曲线图(上曲线)。从零时至第二天零时的一昼夜中, 高次谐波电流含量一般都在 10%~50% 之间徘徊, 而且三相中以 B 相含量为最高。高次谐波电压百分比含量(下曲线), 多次电压突破 5%, 达到 6% 的含量。

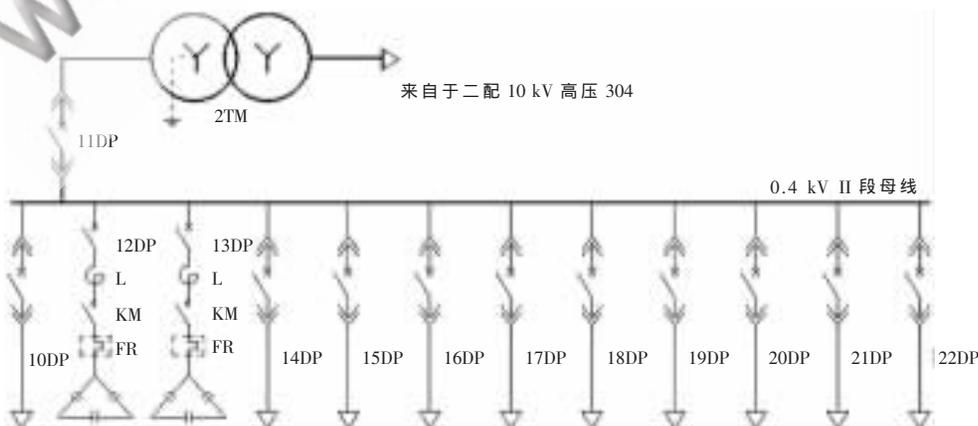


图 1 某大型企业变配电系统

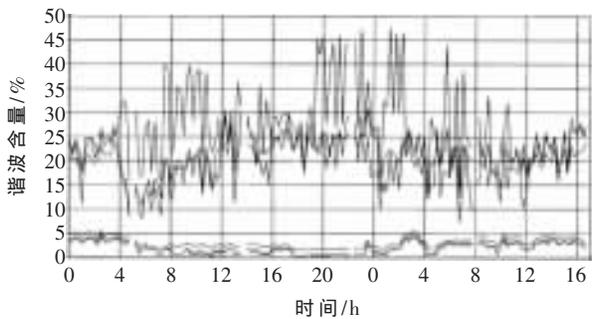


图2 2号14DP谐波含量(%)波形图

图3所示为15DP供电线路的高次谐波电流百分比含量曲线图(上曲线)。从零时至第二天零时的一昼夜中,只要线路有负荷就有谐波电流的存在,最少都有5%以上的含量,负荷高峰时可达30%~45%。高次谐波电压百分比含量(下曲线),多次电压突破5%,达到6%的含量。

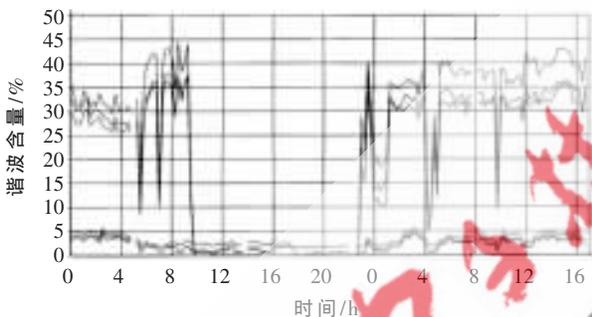


图3 2号15DP谐波含量(%)波形图

从配电所的NS6000后台系统检测的数据可看到:配电所的供电电力系统中,存在大量的高谐波电流,由此引起的高次谐波电压的含有量(特别是奇次谐波含量)远远超过了标准限值,电压总谐波畸变率特别高,而且谐波电压对本系统的冲击持续时间长,间隔时间短,有时NS6000后台系统也根本无法检测到每次冲击的时间间隔,即这种冲击长时间地停留在供配电网中。

2 供配电系统谐波的产生

从波形图上可以看出,谐波电流的含量已经超标,这必将导致系统的谐波电流出现高的畸变率。而以上两路输出线路的高次谐波电压的含量虽然不是很高,但是由于每条线路都在不同时间段存在不同程度的超高,这会使低压输出的各个分支网络的高次谐波电压在相同时间或不同时间段内不断大量涌入整个低压供电系统,导致系统的谐波电压的叠加,使谐波电压含量增加、谐波电压畸变率增大。

严格地讲,电力网络中的每个环节,包括发电、输电、配电、用电都可能产生谐波,其中产生谐波最多位于用电环节上。发电机是由三相绕组组成的,由于发电机的转子产生的磁场不可能是完善的正弦波,因此发电机发出的电压波形不可能是一点不失真的正弦波。理论上

讲,发电机三相绕组必须完全对称,发电机内的铁心也必须完全均匀一致,才不致造成谐波的产生,但受工艺、环境以及制作技术等方面的限制,发电机总会产生少量的谐波。

输电和配电系统中存在大量的电力变压器,其励磁电流的谐波含有率与它的铁磁饱和程度直接相关。正常运行时,电压接近额定值,铁芯工作在轻度饱和范围,此时谐波不大。但在一些特殊运行方式下(如夜间轻负荷期间),运行电压偏高,导致铁芯饱和程度较严重,致使磁化电流呈尖顶形,内含大量奇次谐波。另外,由于经济原因,变压器所使用的磁性材料通常在接近非磁性材料或在非磁性材料区域运行。在这种情况下,即使所加的电压为正弦波,变压器的励磁电流也是非正弦的;如果励磁电流是正弦波,则电压就是非正弦波,从而产生谐波。

用电环节谐波源更多,晶闸管整流设备、变频装置、充气电光源以及家用电器,都能产生一定量的谐波。

高含量的谐波电压是导致电压总谐波畸变的直接原因。为以上分析的各断路器供电的设备全为大型胶印设备,装机容量大,感应电动机多,变压器多,直流设备也多,为1DP-B所供电的设备的大功率的交流变频调速的电动机装机容量超过300 kW,为16DP-B所供电的设备一般采用直流电动机拖动,不论是直流电动机还是交流变频调速电机,其变频装置一般都采用大晶闸管可控整流装置,由于以上原因致使供电网络中的电压总谐波畸变率居高不下。

3 供配电系统谐波的危害

谐波是不能忽视的,其危害主要表现在以下几方面。

3.1 谐波对电能损耗的影响

谐波增加了输、供和用电设备的额外附加损耗,使设备的温度过高,降低了设备的利用率和经济效益。在理想的正弦波的情况下,无功功率 Q 仅仅反映了电能从电源与负载之间交换或传递的幅度。但是,在谐波环境下的无功功率 Q 中,一部分反映了电能从电源与负载之间交换的幅度,还有一部分则主要做了“无用功”。这是因为多数用电设备都被设计成工作在50 Hz的正弦波电网中,故它们不能有效地利用谐波和间谐波电流,于是这部分能量就只能通过发热、电磁辐射、振动和噪音等途径耗散掉,成为“无用功”,并同时造成各种环境污染^[2]。

(1) 电力谐波对输电线路的影响

谐波电流使输电线路的电能损耗增加。当注入电网的谐波频率位于在网络谐振点附近的谐振区内时,对输电线路和电力电缆线路会造成绝缘击穿。

(2) 电力谐波对变压器的影响

谐波电压的存在增加了变压器的磁滞损耗、涡流损耗及绝缘的电场强度,谐波电流的存在增加了铜损。对带有非对称性负荷的变压器而言,会大大增加励磁电流

技术与方法 Technique and Method

的谐波分量。

(3) 电力谐波对电力电容器的影响

含有电力谐波的电压加在电容器两端时,由于电容器对电力谐波阻抗很小,谐波电流叠加在电容器的基波上,使电容器电流变大,温度升高,寿命缩短,引起电容器过负荷甚至爆炸,同时谐波还可能与电容器一起在电网中造成电力谐波谐振,使故障加剧。

3.2 谐波对继电保护和自动装置的影响

特别对于电磁式继电器来说,电力谐波很可能引起继电保护及自动装置误动或拒动,使其动作失去选择性,可靠性降低,容易造成系统事故,严重威胁电力系统的安全运行。

3.3 谐波对功率因数的影响

(1) 谐波对功率因数计算方法的影响。功率因数是指有功功率和视在功率的比值,在系统存在谐波时的实际功率因数为: $PF=P/S$, 式中, P 是有功功率, S 是视在功率。

在理想正弦波的情况下, 功率因数 $\cos\phi=P_1/S_1$, 式中, P_1 是基波有功功率, S_1 是基波的视在功率。

但是,在谐波环境中, $PF < \cos\phi$, 即:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{S_1} \times \frac{S_1}{S} = PF_{\text{disp}} \times PF_{\text{dist}}$$

式中, PF_{disp} 为位移功率因数, PF_{dist} 为畸变功率因数。

(2) 谐波对功率因数补偿方法的影响。传统的静电电容补偿方法只能解决由于电流相位滞后导致的无功功率问题,而对由于谐波、间谐波等频率不合所导致的无功功率却无能为力。

因此,在谐波环境中,计算静电补偿电容的容量时,应当扣除畸变所致的无功功率,而且这部分无功功率必须用配置电抗器、滤波器等治理谐波的方法解决^[3]。

3.4 谐波导致配电系统地谐振风险增大

谐波会在热效应、耐压等方面给补偿电容器带来负面影响,故应根据谐波状况来调整电容器的耐压参数。应当注意的是,谐波还会导致电容器过载、过热,故谐波还会影响电容器的容量选择。另外,配电系统中,无功补偿电容器和变压器电抗在一定条件下可以形成串联或并联谐振电路。前者从电网吸入谐振频率及其相近频率的谐波电流,从而导致电容器过载,同时在电容器和电感上产生极高的电压,导致相关设备绝缘击穿;后者将向电网注入经谐振电路放大数倍的电流,从而导致电容器、变压器及导线过载,同样也会产生极高的谐波电压,导致相关设备绝缘击穿。

4 谐波治理方法

4.1 三相整流变压器采用 Y、d 或 D、d 联结方式

由于 3 次及 3 次整数倍次的谐波电流在三角形联结的绕组内形成环流,而星形联结的绕组内不可能出现 3 次及 3 次整数倍次的谐波电流,因此采用 Y、d 或 D、d 联结的三相整流变压器,能消除注入供电网络的 3 次及 3 次整数倍次的谐波电流。又由于供电系统中的非正弦

交流电压或电流,通常是正、负两半波对时间轴(横轴)是对称的,不含直流分量和偶次谐波分量,因此采用 Y、d 或 D、d 联结的整流变压器以后,注入电网的谐波只有 5、7、11 等次谐波了。这种方法是抑制谐波的最基本方法。

4.2 增加整流变压器二次侧的相数

整流变压器二次侧的相数越多,整流波形的脉波数越多,其次数低的谐波被消去的也越多。如整流变压器相数为 2×3 相时,出现的 5 次谐波电流为基波电流的 18.5%,7 次谐波电流为基波电流的 12%。如果整流相数增加到 4×3 相时,则出现的 5 次谐波电流降为基波电流的 4.5%,7 次谐波电流降为基波电流的 3%,都差不多减少到 1/3。由此可见,增加整流变压器二次侧的相数对抑制谐波效果相当显著^[4]。

4.3 装设分流滤波器

在大容量“谐波源”(如大型晶闸管整流器)与电网连接处,装设分流滤波器,使滤波器各组 R-L-C 回路分别对需要消除的 5、7、11 等次谐波进行调谐,使之发生串联谐振。由于串联谐振时阻抗极小,从而使这些谐波电流被它分流吸收而不至于注入公用电网。分流滤波器接线图如图 4 所示^[5]。

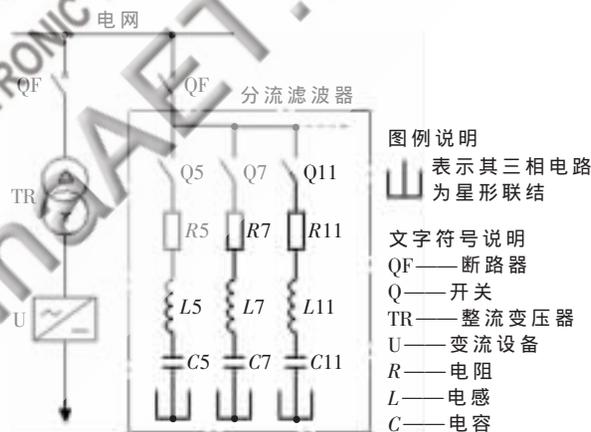


图 4 分流滤波器接线图

综上所述,谐波治理是综合治理过程,是改善供电品质的重要手段。GB/T 14549-93《电能质量—公用电网谐波》^[6]对电网各级电压谐波水平进行了量化限制。这样做不仅能够改善整个网络的电力品质,同时也能延长用户设备使用寿命,提高产品质量,降低电磁污染环境,减少能耗,提高电能利用率。

参考文献

- [1] 国家标准 GB4728-85. 电器图用图形符号[S], 1985.
- [2] WAKILEH G J. Power systems harmonics fundamentals analysis and filter design[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] 陈众励. 民用建筑配电系统谐波防治技术初探[J]. 建筑电气, 2009(10): 3-7.
- [4] 罗安. 电网谐波治理和无功补偿技术及装备[M]. 北京:

(收稿日期: 2010-03-18)

中国电力出版社, 2007.

- [5] 姜齐荣, 赵东元, 陈建业. 有源电力滤波器-结构、原理、控制[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [6] 国家标准 GB/T14549-93. 电能质量·公用电网谐波[S], 1993.

作者简介:

邱俊, 女, 1964年生, 硕士, 高级工程师, 副教授, 主要研究方向: 自动控制技术。

