

「谐波治理」

抑制数据中心谐波放大及分布式治理策略

文/安科瑞电气股份有限公司 刘建春 常 帅 赵 军 洪文彪 洪秋玉

以某大型数据中心谐波治理为例，阐述数据中心谐波产生的原因和相应的有源电力滤波器谐波治理策略。

在实际工程应用中不难发现，由于电力输配电设施老化、设计不良和供电不足等原因造成末端电压过低，前端电压过高，这对电压要求较高的精密设备造成了很大的威胁。据统计当前公用电网影响用户用电设备的问题主要有电压闪变、谐波干扰、电网噪声、频率漂移、过电压、欠电压、断电及间断等现象。以上问题不可能在短时间内做出解决，比较现实的解决途径是在电网和用电设备之间插入一个二次供电设备，实现局部高品质的供电环境。一般常用的设备为不间断电源系统UPS，它在我国的应用已经非常普遍，广泛应用于互联网、数据中心、银行清算中心、证券交易中心、民航和铁路的控制中心、监控系统等等核心用电部门。但是由于UPS属于电力电子设备，正常工作的时候也会产生谐波电流，由于UPS拓扑结构的不同产生的谐波电流频次和谐波有效

值有很大的差异，本文就以大型数据中心的UPS为例，合理分析谐波电流频次，采用分布式治理的方法，有效抑制谐波电流放大，优化电能质量，提高设备用电效率。

谐波电压对电网的影响

1. 谐波电压对配电系统的影响

一般来说理想的交流电源是纯正弦波形，纯正弦的交流电压加在线性负载两端，会产生纯正弦的交流电流。但是纯正弦的交流电压加在非线性负载两端，会产生失真的交流电流，同时导致纯正弦交流电压失真。失真的交流电压无论加在线性负载或非线性负载两端，都会产生失真的交流电流。

如图1所示，1#主变压器和2#主变压器共用一

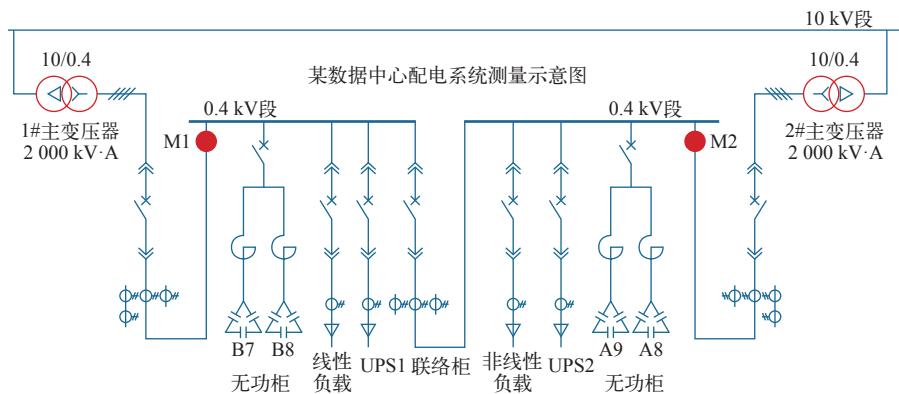


图1 某数据中心配电系统测量示意图（无功柜未投入）

段10 kV母线, 1#主变压器下UPS1没有投入运行, 主要负载全是线性负载, 2#主变压器下UPS2投入运行, 主要负载全是非线性负载, 两边电容柜没有投入运行, 联络柜中联络开关始终处于断开状态。单独运行1#主变压器时, 测量点M1处没有谐波电流和谐波电压; 单独运行2#主变压器时, 测量点M2处有谐波电流和谐波电压; 同时运行1#主变压器和2#主变压器时, 测量点M1和M2处都有谐波电流和谐波电压存在。

2. 谐波电压对滤波装置的影响

有源电力滤波器从拓扑结构上分为串联型有源电力滤波器、并联型有源电力滤波器和混合型有源电力滤波器。目前市场上的有源电力滤波器几乎都属于并联型, 并联型有源电力滤波器主要原理是通过互感器采集被补偿负载的电流, 通过计算分析提取出负载电流的谐波成分, 有源电力滤波器被动输出反向的谐波电流来抵消系统中的谐波电流, 达到谐波补偿目的。

如图2所示, 1#主变压器和2#主变压器共用一段10 kV母线, 1#主变压器下UPS1没有投入运行, 主要负载全是线性负载, 2#主变压器下UPS2投入运行, 主要负载全是非线性负载, 联络柜中联络开关始终处于断开状态。单独运行1#主变压器时, 测量点M1处没有谐波电流和谐波电压; 单独运行2#主变压器时, 测量点M2处有谐波电流和谐波电压, 开启APF2补偿后, 测量点M2处谐波电压和谐波电流有效值减小; 同时运行1#主变压器和2#主变压器时, 测量点M1和M2处都有谐波电流和谐波电压存在, 单独开启APF1, 测量点M1和M2处谐波电流和谐波电压有效值没有变化, 单独开启APF2, 测量点M1和M2处谐波电流和谐波电压有效值同时减小。

上述测试中有一种情况比较特殊, 在同时运

行1#主变压器和2#主变压器, 单独开启APF1进行补偿时, 虽然滤波器有谐波电流输出, 但是测试点M1和M2处谐波电流和谐波电压有效值并没有减小, 测量1#主变下线性负载上的谐波电流有效值, 有明显的放大现象。这说明2#主变压器下非线性负载引起谐波电流失真, 导致10 kV段电压失真, 失真的电压加在1#主变压器的线性负载两端, 使M1点出现了谐波电流和谐波电压。虽然APF1对线性负载的谐波电流进行了补偿, 但M1点的谐波电流和谐波电压不会改变, 相对于APF1并线点的网侧谐波电流和谐波电压有效值不变, 负载侧谐波电流有效值增大。因此, 并联型有源电力滤波器并不能有效滤除电压谐波引起的电流谐波, 相反, 会使负载侧谐波电流变得更大。

谐波分布式治理

工程中往往谐波的产生是多方面的, 非线性负荷引起的谐波、背景谐波、补偿装置谐波放大等现象, 都是引起谐波产生的重要因素。

如图3所示, 是中国银行某数据中心的配电一次图, 正常运行时联络柜中母联断路器始终保持断开状态, T1变压器和T2变压器下负载全是12脉冲整流的UPS (T1: SUA2-1、SUA2-2、SUA2-3、SUA5-1、SUA5-2; T2: SUB2-1、SUB2-2、SUB2-3、SUB5-1、SUB5-2), 两台变压器所带负载基本一致, 前期APF1和APF2没有投入运行, 测量T1变压器和T2变压器进线柜谐波电压电流, 如图4和图5所示。

从上图中可以看出, 12脉冲整流型UPS输入侧谐波电流应该是以11次和13次为主, 但实际测量发现明显5次、7次谐波非常大。通过对UPS故障排查发现由于12脉冲整流器使用可控整流方式, 上下整流桥调相角度不一致或上下桥直流输出带载

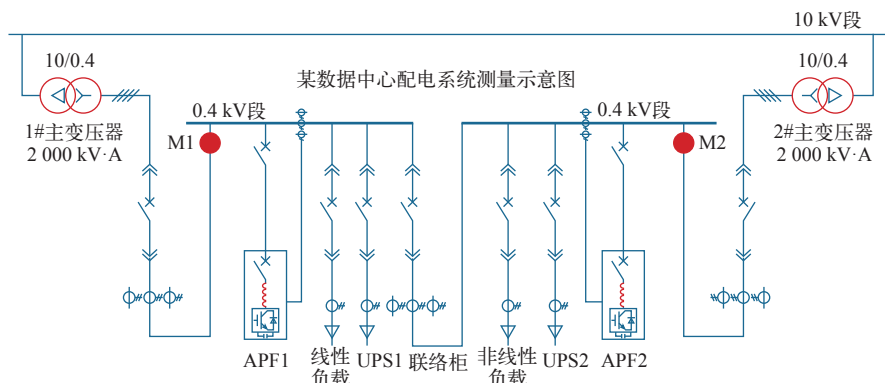


图2 某数据中心配电系统测量示意图 (增加APF)

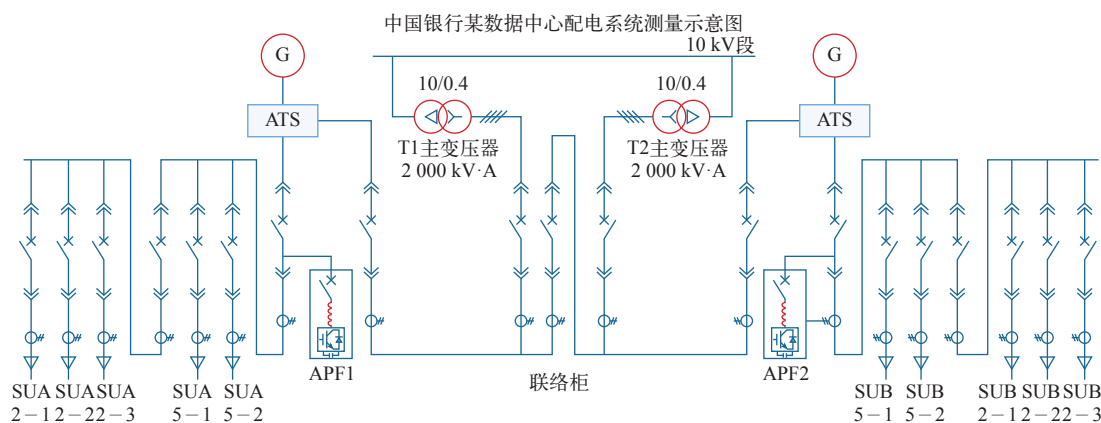


图3 中国银行某数据中心配电系统图

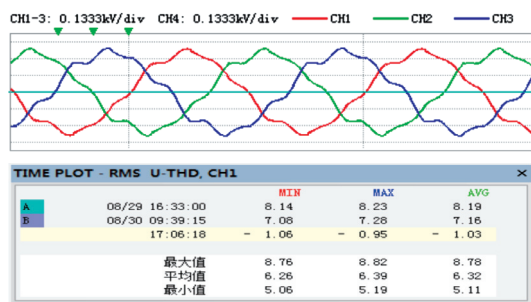


图4 补偿前谐波电压波形及畸变率

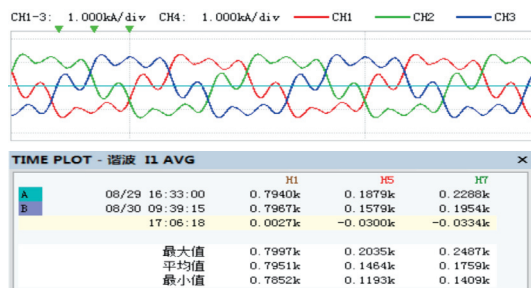


图5 补偿前谐波电流波形及有效值

不对称等原因造成了UPS输入端5次、7次谐波并没有完全抵消，这些没有抵消的5次、7次谐波经过11次滤波器时谐波被放大，这就出现了我们看到的图4和图5的情况。

为了滤除现场谐波电流，主动断开所有UPS的11次谐波滤波器滤波支路，增大APF滤波容量，考虑使用APF补偿UPS产生的所有谐波频次。UPS谐波滤波器改造完成后，同时运行APF1和APF2，测量T1变压器和T2变压器进线柜谐波电压电流，如图6和图7所示。

以上数据满足GB/T 14549—1993《电能质量公用电网谐波》的相关限值。通过对现场系统和负荷特性的了解，分析负荷故障原因，避免了UPS自带无源滤波器与UPS间的并联谐振，抑制电流谐波放大；采用分布式补偿方案，避免变压器间电

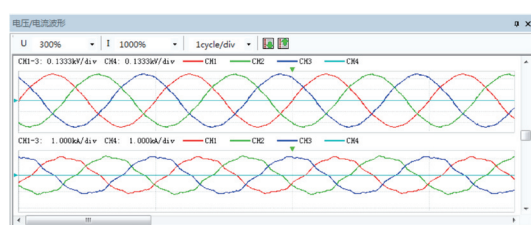


图6 补偿后谐波电压电流波形

谐波次数	U	VALUE	THD	THD OFF	谐波次数	I	VALUE	THD	THD OFF
CH1	U1	0.1333kV/div	0.1333kV/div	0.1333kV/div	CH1	I1	1.0000kA/div	1.0000kA/div	1.0000kA/div
0	0.0216	0.0132	0.0132	0.0132	0	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
1	0.2245	0.1333	0.1333	0.1333	1	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
2	0.0910	0.0134	0.0134	0.0134	2	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
3	0.0619	0.0635	0.0635	0.0635	3	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
4	0.0310	0.0136	0.0136	0.0136	4	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
5	2.5021	0.0137	0.0137	0.0137	5	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
6	0.0412	0.0138	0.0138	0.0138	6	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
7	2.7523	0.0139	0.0139	0.0139	7	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
8	0.1124	0.0140	0.0140	0.0140	8	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
9	0.0925	0.0141	0.0141	0.0141	9	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
10	0.0226	0.0142	0.0142	0.0142	10	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
11	1.0227	0.0143	0.0143	0.0143	11	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
12	0.0928	0.0144	0.0144	0.0144	12	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
13	1.1929	0.0145	0.0145	0.0145	13	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
14	0.0130	0.0146	0.0146	0.0146	14	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116
15	0.0731	0.0147	0.0147	0.0147	15	0.000116	0.000116	0.000116	0.000116

图7 补偿后谐波电压电流有效值

压畸变引起的电流畸变，从而有效地滤除UPS产生的谐波电流，解决了现场谐波对公用电网的污染问题。

结束语

(1) UPS的谐波主要是由相控整流功率器件引起的。

(2) 12脉冲整流型UPS上下桥调相角或带载不对称时，输入端11次谐波滤波器会与UPS未抵消的5次、7次谐波电流产生谐振，放大5次、7次谐波电流。

(3) 有源电力滤波器APF并不适用于谐波电压（背景谐波）引起的谐波电流滤波场合。

(4) 电能质量优化工程项目中，了解现场负荷特性、分析故障根本原因，是解决工程项目谐波治理的必要条件。EA

(收稿日期：2017.10.10)

(编辑：白文亭)