

「控制系统」

有源滤波及智能电容技术在谐波治理上的应用

文/中国石油股份有限公司天津分公司装备研究院 张 青

以天津石化水务部CRP配电间的实际运行情况为基础,运用有源滤波和智能电容补偿技术,开发一套经济高效的具有较大容量无功补偿功能的谐波治理系统,主要针对系统谐波及无功电流进行治理,目标是满足电能质量标准要求,将功率因数控制在0.95以上,减少系统谐波污染,实现谐波治理及智能电容技术的现场工业应用。

谐波的概念

理想的供电系统,电流和电压都是正弦波。在线性负载上加上正弦波电压时,电流也是同频率的正弦波,但在非线性负载上施加正弦波电压时将偏离正弦波形,引起谐波。

从严格的意义来讲,谐波是指电流中所含有的频率为基波的整数倍的电量,一般是指对周期性的非正弦电量进行傅里叶级数分解,其余大于基波频率的电流产生的电量。谐波产生的原因主要是由于正弦电压加于非线性负载,基波电流发生畸变产生谐波。主要非线性负载有UPS、开关电源、整流器、变频器和逆变器。

谐波的危害

随着电力技术和控制技术的发展和运用,当今用户不论是家用电器还是办公自动化或者工业控制设备,越来越多使用电子整流、高频电路等非线性元件。这些非线性元件的引入产生了各种高次谐波,直接侵入电网,使电网正弦波发生畸变,所造成的不良影响和危害也越来越大。因此谐波问题正逐步被世界各国电力系统的技术人员所重视。

谐波对供电系统的主要危害如下。

1) 谐波使公用电网中的元件产生了附加的谐波损耗,降低了发电、输电及用电设备的效率,大量的3次谐波过中性线时会使线路过热甚至发生火灾。

2) 谐波影响各种电气设备的正常工作。谐波对电动机的影响除引起附加损耗外,还会产生机械振动、噪声和过电压,使变压器局部严重过热。谐波使电容器、电缆等设备过热、绝缘老化和寿命缩短,以致损坏。

3) 谐波会引起公用电网中局部的并联谐振和串联谐振,从而使谐波放大,这就使上述1)和2)的危害大大增加,甚至引起严重事故。

4) 谐波会导致继电保护和自动装置的误动作。

5) 谐波会对邻近的通信系统产生干扰,轻者产生噪声,降低通信质量;重者导致信息丢失,使通信系统无法正常工作。

有源滤波及智能电容技术

有源滤波器的概念在20世纪70年代初期就已提出,由于受到当时技术条件的影响使得已策划出的电路结构没有得到实施。20世纪80年代起,大量关于有源滤波器技术和改良问题的文章举不

胜数。

随着我国经济和科技的飞速发展，中大功率和小功率电子设备的大量应用及普及，对电网稳定性安全性要求越来越高，也催生了对谐波治理及功率补偿等相关技术设备越来越高的要求。

有源滤波器对电流型谐波有较强的抑制作用，同时还能进行无功补偿，因而得到了广泛的研究和应用。有源滤波器虽然能有效地抑制电流谐波，进行可控的无功补偿，但其具有成本较高、容量较低和损耗较大的缺点。而采用电容器并联补偿电网的无功负荷，则具有单位投资少、容量大、电能损耗小和维护简单等优点。因而并联有源滤波器及智能电容技术使用的同时具有有源滤波器良好的谐波抑制能力和无功补偿电容器补偿容量大的优点。

目前天津石化较多的使用变频装置、电脱盐、电除尘、电解槽、电加热器、开关电源和UPS等许多电力电子设备及大电动机、变压器等大部分感性负荷，在造成无功出力不足、功率因数较低的同时，也给电网造成了大量的谐波污染。运行经验表明，以上这些设备挂网运行，将导致供

电系统谐波污染严重和无功损耗发热，诱发电气设备事故，造成设备停电、装置停车事故发生。因此，开创性地将有源滤波及智能电容技术结合起来利用有源滤波器良好的谐波抑制能力和无功补偿电容器补偿容量大的优点，在滤除谐波的同时精细地补偿无功不但对保障供电系统的安全性，提高电能质量，降低电能损耗等都具有非常重要的意义，而且研究在石化企业电力设备上应用谐波治理及无功补偿技术，能够为石化企业电力设备开发出性价比高、效果良好、安全便捷和稳定性好的节能降耗技术，达到故障预警、安全增效等多重目的。

1. 有源滤波谐波治理的关键技术

有源电力滤波器的基本原理如图1所示，检测补偿对象的电压和电流，经指令电流运算电路计算出补偿电流的指令信号，该信号经补偿电流发生电路放大，得出补偿电流，补偿电流与负载电流中要补偿的谐波及无功等电流抵消，最终得到期望的电源电流（图1中， i_L 为负载电流； i_{Lf} 为基波电流； i_{Lh} 为谐波电流； i_C 为补偿电流； i_S 为电源电流）。

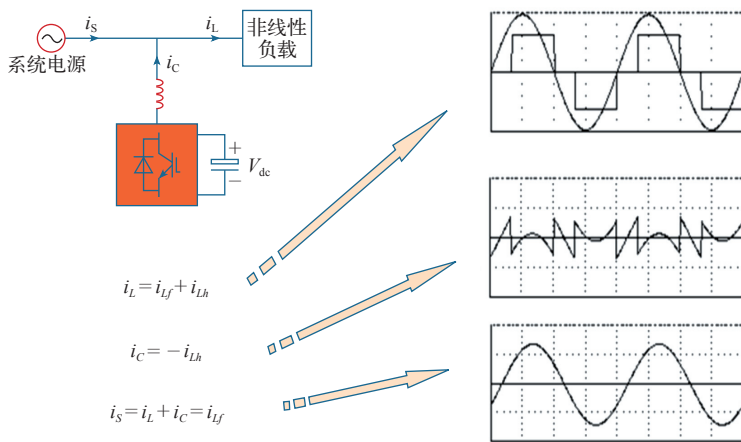


图1 有源电力滤波器基本原理

有源滤波装置（SAFA）采用现代电力电子技术和基于高速DSP器件的数字信号处理技术制成的新型电力谐波治理专用设备。它由指令电流运算电路和补偿电流发生电路两个主要部分组成。指令电流运算电路实时监视线路中的电流，并将模拟电流信号转换为数字信号，送入高速数字信号处理器（DSP）对信号进行处理，将谐波与基波分离，并以脉宽调制（PWM）信号形式向补偿电流发生电路送出驱动脉冲，驱动IGBT或IPM功率

模块，生成与电网谐波电流幅值相等、极性相反的补偿电流注入电网，对谐波电流进行补偿或抵消，主动消除电力谐波。有源滤波装置系统结构图如图2所示。

2. 智能电容无功补偿的关键技术

1) 采用进口晶闸管控制电容器实现无触点、无冲击和无过流投切，与普通补偿柜相比还具有损耗低，元件寿命长，免维护的优点。

2) 避免谐波谐振，防止谐波放大。

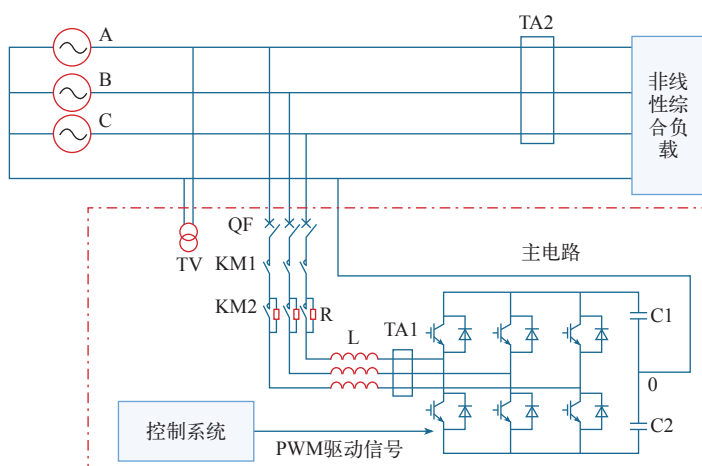


图2 三相四线制并联型有源滤波装置的系统结构图

3) 快速跟踪系统负荷无功变化, 实时动态响应。

4) 投切无冲击, 实现过零触发, 投切速度快, 无机械触点, 无电弧重燃。

通过上述关键技术的攻克, 研制出现代电力电子绿色节能产品, 为石化企业提供性能可靠的自动化、智能化节能型绿色产品, 达到节能降耗、降低成本、保护环境的目的。

动态无功补偿装置 (MTSC) 采用无触点半导体模块作为开关, 采用全智能控制, 由控制器动态投切开关、电容器、电抗器和保护元件组成。控制器实时跟踪测量负荷的基波功率因数, 无功电流, 与预先设定的给定值进行比较, 动态控制投切不同组数的电容器, 以保证功率因数始终满足设定要求。晶闸管过零触发确保投切电容无冲击、无涌流、无过渡过程。动态无功补偿装置硬件布置图如图3所示, 其中一组无功补偿模组配置图如图4所示。



图3 MTSC硬件布置图

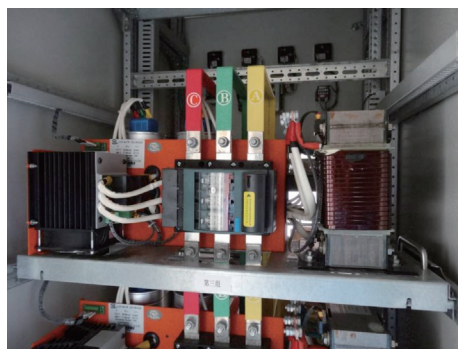


图4 无功补偿模组配置图

现场应用

将有源滤波装置 (SAFA) 和低压动态无功补偿装置 (MTSC) 应用在水务部CRP配电间。现场安装图如图5所示。水务部CRP配电间低压侧总开关柜下带有7条CRP电解支路及4台ABB变频器, 电解支路全部投运, 4台ABB变频器2用2备。系统接线示意图如图6所示。

利用Fluke434电能质量分析仪分以下3种情况测量回路电流电压值、谐波和功率等指标。

1. SAFA和MTSC均未投入时

利用Fluke434示波器采集三相电压电流波形、

三相电压电流值、功率因数、电压谐波和电流谐波。采集波形如图7所示。



图5 现场安装后照片

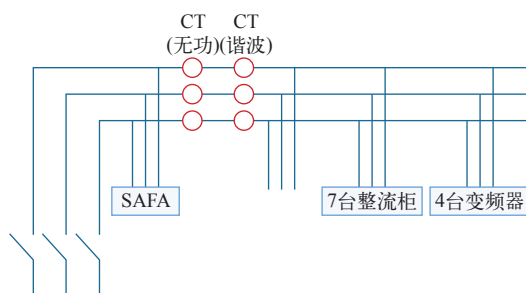


图6 系统接线示意图

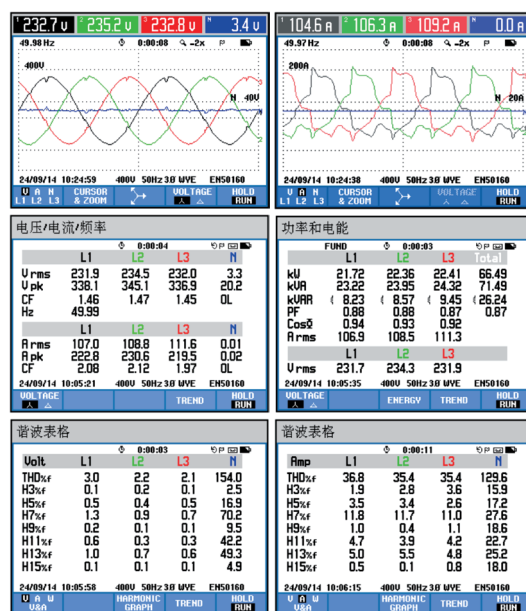


图7 Fluke434采集的波形

2. 单独投入SAFA

工作模式选择谐波补偿。Fluke434采集电压电流值、电压电流谐波、功率因数和电流波形，波形如图8所示。

3. SAFA和MTSC均投入

SAFA工作模式为补偿谐波，智能补偿自动模式，MTSC为自动控制。Fluke434采集画面，如图9所示。



图8 Fluke434采集的波形

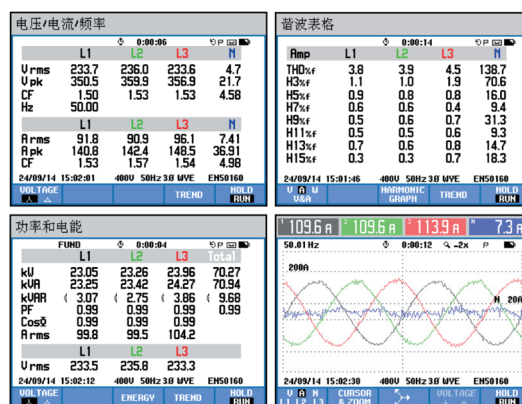


图9 Fluke434采集的波形

结束语

1) 单独投入SAFA消除谐波，电网三相相电流波形畸变率THDI由36.8%、35.4%、35.4%降低至6.6%、6.6%、7.3%，三相电流波形畸变程度明显好转，功率因数由0.87提高到0.92。

2) SAFA和MTSC都投入后，SAFA选择消除谐波模式，MTSC选择自动控制模式，三相THDI由36.8%、35.4%、35.4%降低至3.8%、3.9%、4.5%，三相电流波形畸变程度明显好转，功率因数由0.87提高到0.99。

由以上测试结论可知，通过有源滤波及智能电容技术的配合使用消除谐波效果明显，减少了谐波对电气设备的危害，并可节约能源消耗。EA

(收稿日期：2016.12.26)

(编辑：刘群彦)