

[谐波治理]

现代工厂电能质量综合治理

文/山东华天科技集团股份有限公司 山东华天电气有限公司 王丙强 由治国 雷 兵

变频器是典型的非线性负载，工作时会产生大量谐波。分析变频器产生的谐波对现代工厂的影响，通过理论仿真分析变频器的谐波特性，用实际案例阐述有源滤波器谐波治理的有效性，为现代工厂的电能质量综合治理提供理论和数据支撑。

现代化工厂因为工艺和节能的需要，越来越多地用到变频设备。变频器实现了良好的调速和工艺控制，但变频器是一个很大的谐波源，给系统带来严重的谐波污染，影响系统的正常工作。一旦出现电能质量问题，轻则造成装置的损坏，重则造成供电系统的瘫痪，给用电企业带来巨大损失。因此提高企业的整体电能质量具有非常重要的意义。

谐波对工厂供电系统的影响

变频器是典型的非线性负载，工作会产生大量谐波，谐波使电压和电流波形畸变。谐波产生额外的损耗，影响电力设备的正常运行，缩短设备寿命，降低系统安全性。

1. 谐波对电网的影响

谐波增加电网的损耗，缩短设备的使用寿命，造成接地系统保护失灵和控制系统失效。谐波有引发电网谐振的风险，造成供电中断，严重影响电网的可靠性和安全性。谐波延缓断路器的灭弧时间，使断路器的分断能力降低。谐波造成继电保护装置的误动作及影响通信系统的正常工作。谐波对电网的供电质量造成极大的负面影响。

2. 谐波对电缆的影响

谐波增大电缆的介质损耗，使输电线路损耗增加，温升升高。由于电缆的趋肤效应和邻近效应，线路阻抗随谐波次数的增加而增加，造成额外的电能损失。同时，谐波加剧电缆的局部放电，引发系统的单相接地故障。由于常规系统中零线的规格较小，零序谐波（3次及3的整数倍谐波）以代数和的形式在零线上叠加，造成零线过载，绝缘破坏，严重时甚至引起短路或发生火灾。

3. 谐波对变压器的影响

谐波使变压器的铜损和铁损增加，增加变压器的温升，使变压器产生异响。变压器损耗的增加，使变压器的绝缘介质老化，会缩短变压器的使用寿命。谐波电流占用变压器的容量，增加变压器无功功率的出力，影响变压器的效率，增加系统的成本。在低压配电系统中，一般采用DYn11的变压器，DYn11的变压器为零序谐波提供环流通路，抑制零序谐波向上级电网的传导。但DYn11的变压器不能阻止其他频率的谐波向上级电网的传导。尤其是现代工厂，三相负载较多，产生较多的5、7、

11、13次谐波，这些频次的谐波均不能被DYn11的变压器隔离，会传递到上级电网，产生更大的危害。

4. 谐波对电容器的影响

电容器的物理特性，使其比较容易放大谐波，严重时甚至引发谐振。在实际工况中，谐振的危害极大，造成较大的财产损失和人员伤亡，电容器引起的谐波放大或谐振是工程中比较常见的安全隐患。因此增加滤波装置，减少谐波的存在，对提升系统的安全性有很大的帮助。

5. 谐波的其他影响

谐波的存在，给许多电气故障和安全隐患提供了可能，降低了整个供电系统的可靠性和安全性。

变频器谐波分析和仿真

低压变频器的输入侧是典型的6脉冲整流器，当连接于理想电网时（即电网容量无限大，电网电压谐波忽略不计），其谐波含量由输入电抗器的电抗率决定。电抗率与谐波含量仿真的曲线如图1所示。

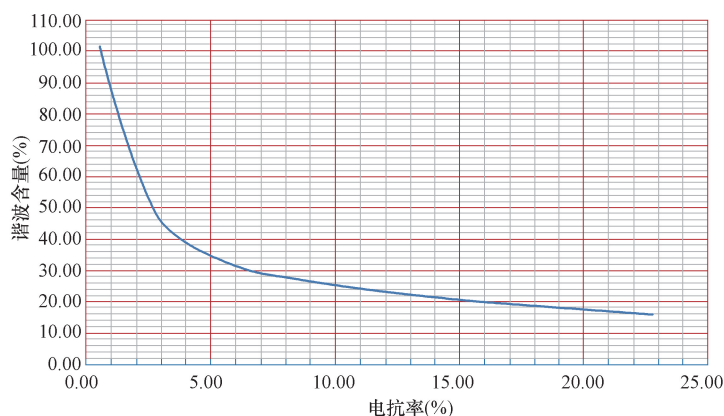


图1 电抗率与谐波含量仿真曲线图

从图1可以看出，当变频器输入电抗率为2%时，变频器输入侧最大谐波含量为62%左右；当变频器输入侧电抗率为4%时，输入侧最大谐波含量为40%左右；当变频器输入侧电抗率为10%时，输入侧最大谐波含量为26%左右。增加进线电抗器明显减少变频器的谐波含量，选择合适的电抗率对变频器的谐波治理有很重要的作用。

推荐治理方案

由于现代工厂供电系统的特殊性，要综合解决谐波和无功的问题，最好的方法就是选用带有谐波治理和无功补偿功能的有源滤波器。有源滤波器不但可以补偿感性无功，还可以补偿容性无功。在企业变电所低压侧设置有源滤波器，将设备产生的谐波滤除，减少谐波对系统的危害。有源滤波器同时具有无功补偿的能力，可以提高功率因数和系统的效率，降低变压器容量。

具有谐波和无功综合补偿功能的有源滤波器优

点为：

- 1) 动态滤除谐波，滤波效率高，谐波滤除率高达97%。
- 2) 可以滤波，同时补偿无功和校正三相不平衡。
- 3) 不受系统阻抗的影响，避免产生谐振，不会发生过载。
- 4) 提高系统运行的安全性和可靠性。
- 5) 节能降耗，降本增效。

未安装有源滤波器的系统波形如图2所示。从上至下依次为电网电压波形、电网电流波形、负载电压波形和负载电流波形。

安装有源滤波器后的系统波形如图3所示。从上至下依次为电网电压波形、电网电流波形、负载电压波形、负载电流波形和滤波器补偿电流波形。通过试验及仿真，变频器的进线电抗器选择4%可以得到比较优的效果，有源滤波器投入后满足输入侧谐波电流畸变率小于5%、总谐波电压畸变率小于3%的要求。

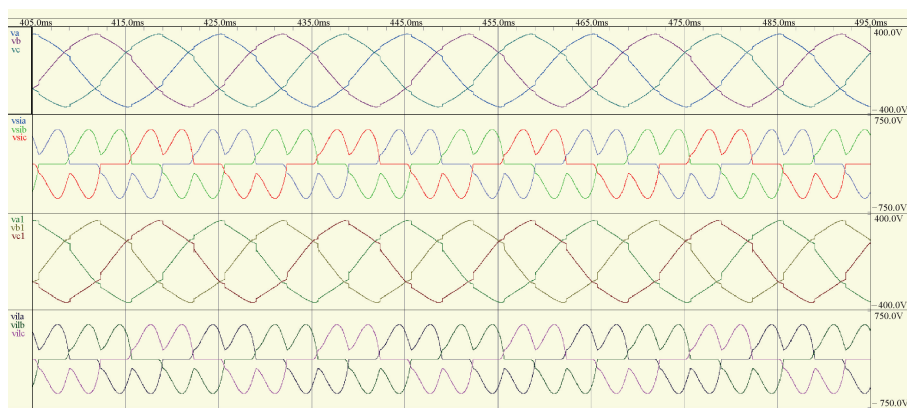


图2 未安装有源滤波器的系统波形图

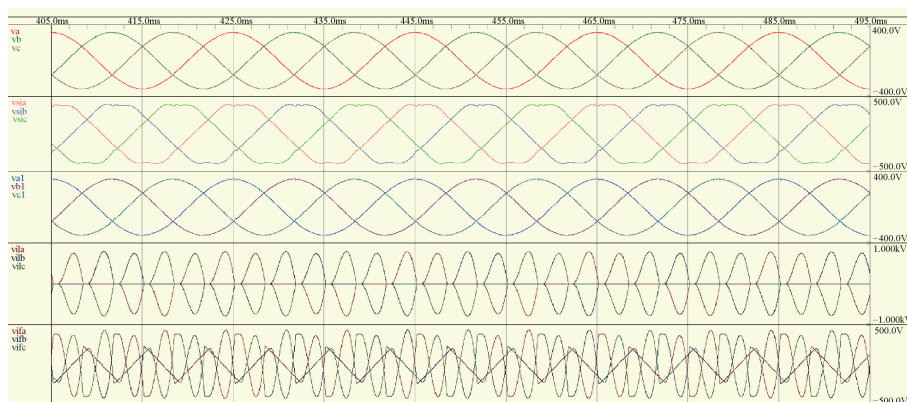


图3 安装有源滤波器后的系统波形图

典型应用

某大型现代化企业，大量使用变频器等非线性设备，产生大量谐波，对厂区的供电安全造成很大的危害。经过论证、考察和对比，最终选择山东华天的有源滤波器进行全厂的电能质量综合治理，同时对变频器的进线电抗器进行优化配置。针对有源滤波器投入前后的状态，分别对供电系统电源侧进行测试，有源滤波器投入前后对比效果如图4~

图11所示。

有源滤波器未投入时，波形畸变较大，电压谐波含量为6.5%（以A相为例），超过国家标准（0.38kV电压总畸变率限值为5%）；电流谐波含量为27.5%（以A相为例），尤其是5、7、11、13次谐波较大。有源滤波器投入后，电压谐波含量降至2.6%，电流谐波含量降至3.1%，PF值由0.93升高至0.97。

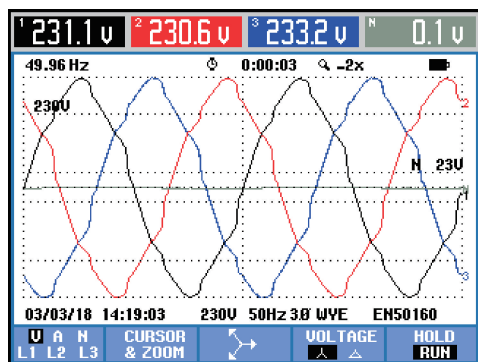


图4 有源滤波器投入前电压波形

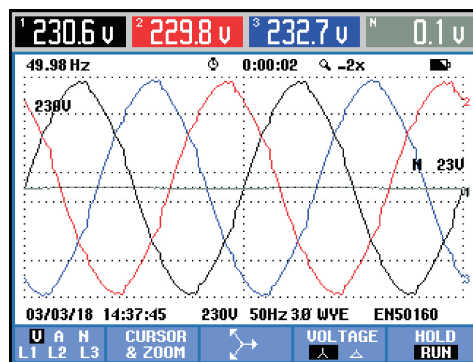


图5 有源滤波器投入后电压波形

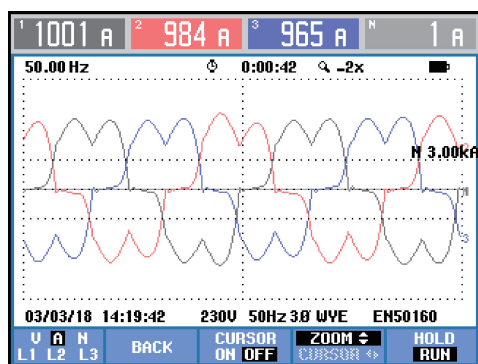


图6 有源滤波器投入前电流波形

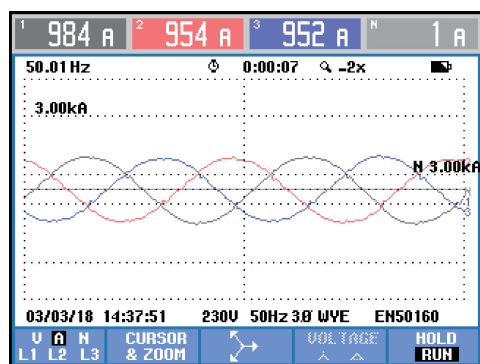


图7 有源滤波器投入后电流波形

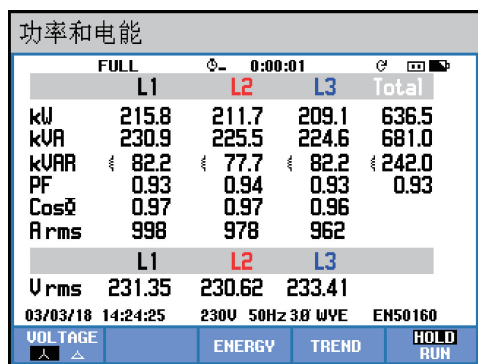


图8 有源滤波器投入前功率

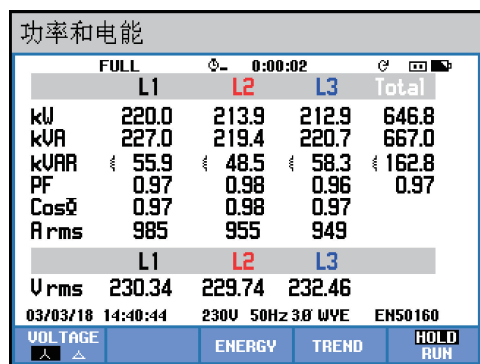


图9 有源滤波器投入后功率

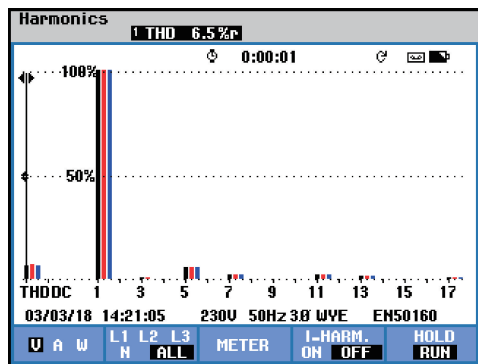


图10 有源滤波器投入前电压谐波

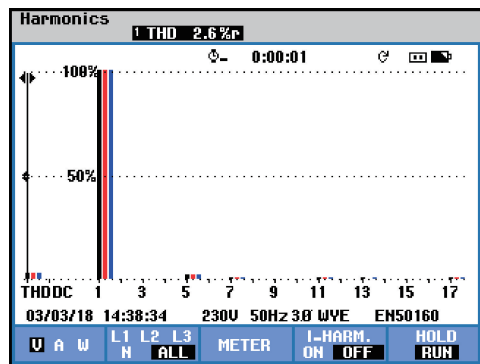


图11 有源滤波器投入后电压谐波

通过治理,变压器低压侧母线电压、电流谐波均满足国标 GB/T 14549—1993《电能质量 公用电网谐波》中的要求,达到了预期效果,电网质量得到了很大提高,用电设备的安全性和可靠性得到了保障。

结束语

通过具体项目实施,对变频器产生的谐波进行

集中治理,消除谐波,提高系统功率因数,降低供用电设备的损耗,营造一个安全、可靠的供用电环境,提高了电力系统的稳定性,并为现代化工厂电能质量综合治理提供典型案例和理论支撑。EA

(收稿日期:2021-04-12)