

[谐波治理]

有源电力滤波器的分析及设计

文/华电电力科学研究院 王启业

阐述了几种常见APF的拓扑结构及各自的优缺点，详细分析了有源电力滤波器的基本原理和结构，并设计了并联型有源电力滤波器的控制系统，其谐波抑制和无功补偿可以达到良好的效果，在技术上是可行的。

当正弦波电压施加在非线性电路上时，电流就变成非正弦波，非正弦波电流在电网阻抗上产生压降，会使电压波形也变为非正弦波。对非正弦波作傅里叶级数分解，其中频率与工频相同的分量称为基波，频率大于基波的分量称为谐波。

如今广泛使用的负载大部分是非线性的，如整流器、变频器、电弧炉、焊接设备、UPS、电梯、空调、节能灯（荧光灯）和复印机，等等，这些非线性负载会产生大量的谐波电流并注入到电网中，使电网电压产生畸变，这种谐波“污染”会对电网和用户产生严重的危害。

谐波的危害如下。

- 1) 加大线路损失，使电缆过热，绝缘老化，降低变压器额定容量。
- 2) 使电容器过载发热，加速电容器老化甚至击穿。
- 3) 保护装置的误动或拒动，导致区域性停电事故。
- 4) 影响电动机效率和正常运行，产生振动和噪声，缩短电动机寿命。
- 5) 大大增加了电网中发生谐振的可能。谐振会导致很高的过电压或过电流，引起严重的事故。
- 6) 损坏电网中敏感设备。
- 7) 使电力系统各种测量仪表产生误差。
- 8) 对通信、电子类设备产生干扰。
- 9) 导致中性线电流过大，造成中性线发热甚至火灾。

抑制谐波的方法

随着工业、农业和人民生活水平的不断提高，除了需要电能成倍的增长，对供电质量及供电可靠性的要求也越来越多，电能质量（Power Quality）受到人们的日益重视。于是各国纷纷出台措施，制定相关标准。目前滤波是治理电网污染的有效方法，滤波就是将信号中特定的波段频率滤除的操作，是抑制和防止干扰的一项重要措施。它分为“无源滤波”（Passive Filter, PF）和“有源滤波”（Active Power Filter, APF）。

1. 无源滤波

无源滤波器，又称LC滤波器，是利用电感、电容和电阻的组合设计构成的滤波电路，可滤除某一次或多次谐波，最易于采用的无源滤波器结构是将电感与电容串联，可对主要次谐波构成低阻抗旁路；单调谐滤波器、双调谐滤波器和高通滤波器都属于无源滤波器。无源滤波器具有结构简单、成本低廉、运行可靠性较高和运行费用较低等优点。基本的无源滤波器的拓扑结构如图1所示。

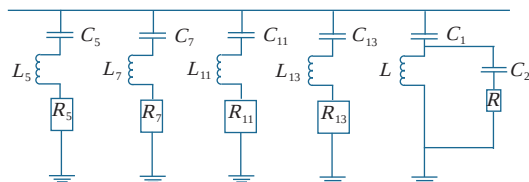


图1 无源滤波器结构图

2. 有源滤波

目前，谐波抑制的一个重要趋势是采用有源滤波器。该滤波器也是一种电力电子装置，其基

本原理是从补偿对象中检测出谐波电流，由补偿装置产生与该谐波电流大小相等而极性相反的补偿电流，从而消除电网中的谐波。这种滤波器能对频率和幅值都变化的谐波进行跟踪补偿，且补偿特性不受电网阻抗的影响，因而受到广泛的重视，并且在日本等国得到广泛应用。有源电力滤波器的基本思想在20世纪六七十年代就已经形成。自20世纪80年代以来，由于大中功率全控型半导体器件的成熟，脉冲宽度调制（Pulse Width Modulation, PWM）控制技术的进步，以及基于瞬时无功率理论的谐波电流瞬时检测方法的提出，有源电力滤波器才得以迅速发展。

有源滤波器系统原理及内部设计

1. 有源滤波系统原理

APF的基本原理是检测电网中的谐波电流。通过可控功率半导体器件向电网注入与原有谐波电流幅值相等、相位相反的电流，使电源的总谐波电流为0，从而达到实时补偿谐波电流的目的。其原理框图如图2所示。

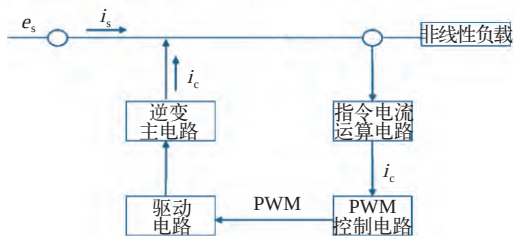


图2 有源滤波系统原理图

2. 有源滤波器内部设计

有源电力滤波器内部原理结构图如图3所示。断路器合闸后，APF首先通过预充电电阻对DC母线的电容器充电，这个过程会持续8 s，是防止上电后对DC母线电容器的瞬间冲击。当母线电压 U_{dc} 达到额定值后，预充电接触器闭合。

直流电容作为储能元件，为通过IGBT逆变器和内部电抗器向外输出补偿电流提供能量。同时，直流电容器通过电源PCB向内部的控制PCB和电子电路提供工作电源。

APF通过外部CTe采集电流信号送至控制PCB的谐波分离模块，该模块将基波成分分离，将谐波成分送至调节和监测模块。该模块会将采集到的系统谐波成分和APF已发出的补偿电流比较，得到差值作为实时补偿信号输出到驱动电路，触发IGBT逆变器将补偿谐波电流注入到电网中，实现滤除谐波的功能。

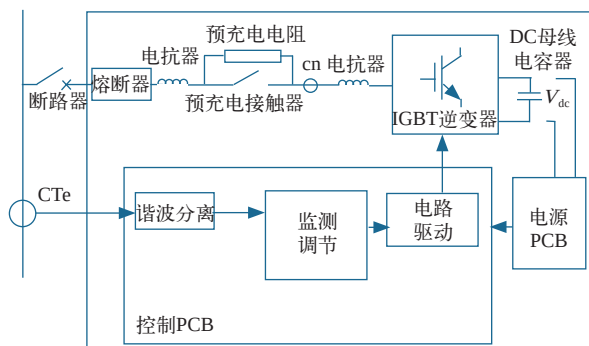


图3 有源电力滤波器内部设计结构图

有源滤波器的种类

APF的结构形式很多，但其基本原理都是类似的，按电路拓扑结构可分为并联型APF、串联型APF和串—并联型APF。

1. 并联型APF

并联型APF基本结构如图4所示。由于与系统并联，可等效为一受控电流源。并联型APF可产生与负荷电流大小相等、方向相反的谐波电流，从而将电源侧电流补偿为正弦基波电流。主要适用于抵消非线性负载的谐波电流、无功补偿及平衡三相系统中的不平衡电流等。并联型APF在技术上比较成熟。

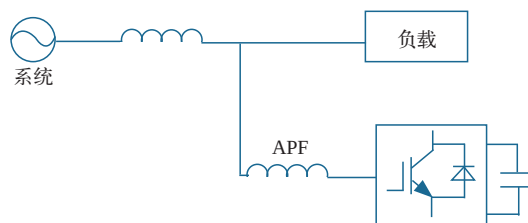


图4 并联型有源滤波器结构图

2. 串联型APF

串联型APF基本结构如图5所示。通过一个匹配变压器将APF串联在电源和负载之间，以消除电压谐波，平衡或调整负载的端电压。与并联型APF相比，串联型APF损耗较大，且各种保护电路也较复杂。因此，很少单位使用串联型APF，大多将其作为混合型APF的一部分。

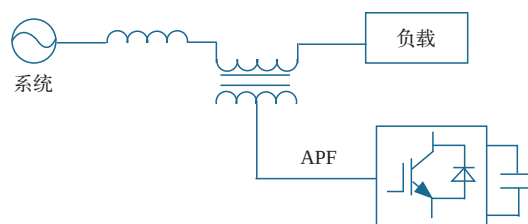


图5 串联型有源滤波器结构图

(下转第70页)

2) 用对中工装对中,如图7所示。先用电线将断路器动侧与静侧和灯泡或蜂鸣器连接起来,将对中工装即对中界限规套在静弧触头上,人力推动断路器直动密封拉杆,使断路器对中界限规与动弧触头刚合,这时灯泡亮;然后游动静侧法兰,灯熄灭,表明已对中好,对角拧紧法兰螺栓,卸下吊具;如果发现法兰螺栓间隙量不够调节,灯泡仍然亮,这时可调节静侧绝缘支撑的4个螺栓,灯灭表示对中良好。动侧与静侧法兰及大罐的加工精度能够保证每个断路器都能对中良好。对中工装如图8所示。



图8 对中界限规

3) 对中好后,人力拉动断路器拉杆分闸,从手孔处取出界限规,再将喷口从手孔处进去装,拧到位。为防止界限规与喷口接触,弄脏喷

口,所以喷口一般在对中之后装。

4) 封静侧大盖板、下手孔盖板及上两出线处绝缘盆子盖板,将断路器从支架工装上卸下来,并继续进行GIS的安装,如图1所示。

结束语

某420 kV单断口断路器有两种装配形态,一种是作为独立的罐式断路器用,对于罐式断路器,灭弧室水平布置,大罐主体中心高1 650 mm,因此,不需要借助支架工装来升高罐体,另外,由于大罐腿高竖直装配需要翻转,难度大,因此,灭弧室水平装配、水平对中,更为便捷;另一种就是本文所述的420 kV GIS的断路器,由于大罐竖直放置自由对中后,翻转为水平工作状态,此时,灭弧室悬臂理论上有一弹性变形挠度的存在,会使水平状态的灭弧室对中效果受到影响。因此利用对中界限规水平对中不失为一种优良的装配方法。EA

(收稿日期:2016.02.28)

(编辑:刘群点)

(上接第67页)

3. 串—并联APF

串—并联型APF基本结构如图6所示。具有串联APF和并联APF的优点,能解决电气系统发生的电能质量问题,又称为万能APF或统一电能质量调节器。串联型APF将电源和负载隔离,阻止电源谐波电压串入负载和负载电流流

入电网。并联型APF提供一个零阻抗的谐波支路,把负载中的谐波电流吸收掉。这种方案兼有串、并联APF的功能,可以抑制闪变、补偿谐波和消除共同耦合点处的三相电压不平衡,具有较高的性价比。该类APF的主要问题是控制复杂、造价较高。

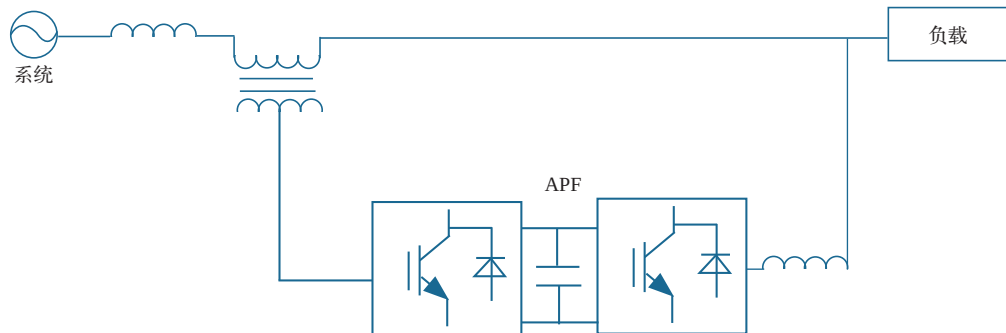


图6 串—并联型有源滤波器结构图

结束语

有源电力滤波器是很有前景的一个谐波抑制手段。介绍了抑制谐波的方法,分析了有源滤波的系统原理和有源滤波器的内部结构和原理,设

计出一套APF控制系统。并对有源滤波器的种类进行了对比分析。EA

(收稿日期:2016.03.17)

(编辑:刘群点)