

# 谐波治理设备在供电系统中的应用

魏学良 程 婷

(中国石油大学(北京)地球物理与信息工程学院 北京 102249)

**摘要:** 随着电力电子设备的广泛应用,供电系统中产生大量谐波,导致电压畸变、电能质量下降等问题。针对电力系统中谐波产生的机理和谐波治理措施的分析,对比有源滤波和无源滤波的性能,提出了采用有源滤波谐波治理的方案,并分析了有源滤波器的工作原理。通过具体实例,测试验证有源滤波器投入前后谐波的治理情况。运行结果表明,根据实际用例,选择不同的安装方案和适当的容量,采用有源滤波器可以有效地抑制谐波,提高功率因数,保证供电系统的安全运行。

**关键词:** 有源电力滤波器;谐波危害;谐波治理

**中图分类号:** TN713 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.40

## Application of harmonic-eliminating device in power supply system

We Xueliang Cheng Ting

(College of Geophysics and Information Engineering China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

**Abstract:** At present power electronic devices are increasingly connected in China's industrial power supply systems. The harmonic content generated by the nonlinear loads will lead to the voltage distortion and power quality decline. Through analyzing the mechanism of harmonic generation and control measures, and comparing the active filter system with the passive filter system, the harmonic suppression method with active filter technology is pointed out and the introduction is given to the working principle. The application of specific examples test and verify the harmonic treatment before and after using the active filter. Operation results show that the use of active filter can effectively eliminate harmonics, improve the power factor, and ensure safe operation of the power supply system in case of a different installation scenarios and appropriate capacity with the actual situation.

**Keywords:** active power filter; harmonic hazards; harmonic suppression

### 1 引言

随着电力电子技术的迅速发展,各种电力电子变流装置在电力系统、工业企业中的广泛应用,使得其用电性质发生了很大变化,同时也带来一些问题。工厂的用电设备不再仅是电热器、电机及白炽灯等传统负荷,而更多的是电源设备、电力电子变频设备、计算机电源、调压设备及节能灯等大量感性、非线性负荷,以及大容量频繁启动的负荷。这些设备呈现出非常明显的非线性特性,产生大量的谐波电流,干扰供电系统、负载及其他邻近的设备,导致整个电力系统中电压和电流波形的严重失真,从而带来了谐波污染<sup>[1]</sup>。一方面,导致工业电气系统的谐波电流量增加,电能质量下降,干扰电力系统中各种安全自动设备的

正常工作,严重影响电力系统的安全运行,并造成电能浪费,降低电网的功率因数;另一方面,污染电力系统,影响各种用电设备的用电效率和寿命。因而,近年来公用电网的电能质量<sup>[2-4]</sup>问题备受关注,人们致力于电网电能质量的研究,对公用电网进行无功补偿和谐波抑制,以改善电能质量,净化电网环境。有源电力滤波器(active power filter, APF)是一种新型电力电子装置,在电力系统中安装和使用有源电力滤波器,可有效抑制电网谐波及动态补偿无功功率。

### 2 谐波污染

谐波是指频率为基波频率整数倍的正弦波电流分量。谐波的主要来源是包含整流电路的设备。工业上的谐波

源<sup>[5]</sup>主要有:电力电子装置,包括各种晶闸管可控开关设备、交直流换流装置以及 PWM 变频器等;中高频感应炉、各种使用可控硅调压电源装置的电加热炉,以及使用高功率直流电源的电弧炉、交流电焊机等。

谐波能造成电网电压的畸变,严重污染供电质量。谐波对供电系统的变压器、断路器、补偿设备、用电计量和继电保护装置,以及用电设备都会造成很大危害和影响,成为污染电网的公害。谐波的主要危害:

1)增加了公用电网的附加损耗,降低了发电、输电及用电设备的效率,使电容器、电缆等设备过热、寿命缩短、绝缘老化以至损坏;

2)引起电网中局部的串联谐振和并联谐振,可能使谐波电流放大几倍甚至数十倍,会对电容器和与之串联的电抗器形成很大的威胁;

3)导致电能计量出现混乱,大量的高次谐波电流涌入供电系统可能导致中线过热甚至引起火灾;

4)谐波还会对通信及信息处理设备产生干扰,轻则降低通信质量,重则导致信息丢失,使工控系统崩溃。

### 3 谐波治理

谐波治理是提高电能质量,保证供用电设备安全可靠运行的重要手段之一。治理谐波<sup>[6]</sup>的主要措施可以从两方面入手:

1)谐波预防,从供电源头减少谐波的产生,即通过改进供电设备的设计来抑制谐波的形成,对可控硅整流装置通过增加整流器的脉动数来限制整流器的谐波;

2)谐波治理,通过改变系统的馈线参数或者安装谐波治理装置,对系统中非线性负载进行谐波补偿。

#### 3.1 整流设备

整流装置产生的特征谐波电流次数与脉动数有关,脉动数直接关系到产生谐波的次数,而且两者成正比关系,谐波次数越大,谐波电流就越小,所以提高整流设备的脉动数可以有效抑制谐波。但是,整流装置的脉动数越多,对整流装置的配置要求就越高,一般几百 kVA 以上的大功率整流装置常采用 12 脉或 24 脉等多脉整流,对于几百 kVA 以下的中小功率,常采用先进的脉宽调制(PWM)技术,可以控制电网侧电流为畸变很小的正弦化电流且功率因数接近 1。

#### 3.2 供电设备

通过巧妙地连接电力变压器的绕组,可以有效减少某些次数的谐波。如三角形连接的变压器可有效消除 3 次及其倍数次谐波。发电机提供符合标准的正弦波形电能是对它的基本要求,在制造上有一系列措施来消除或减少谐波电动势,如采用星形连接可避免出现 3 次及其倍数次谐波电动势,采用短距绕组可消除 5 次和 7 次谐波。

#### 3.3 无源电力滤波器

无源电力滤波器(passive power filter, PPF)是由电感元件与电容元件按照一定的拓扑结构连接,再进行一定

的参数配置形成的,能够有效滤除某次或某些次的谐波。无源滤波是在供电系统中为谐波提供一个并联谐振的低阻通路起到滤波作用,其滤波特性由配电系统和无源滤波装置的阻抗比确定。这种滤波器结构简单、易于实现和维护。但 PPF 在实际运行时存在以下问题:

1)只能滤除按设计要求规定的谐波成分,难以协调滤波、调压和无功补偿的要求,且会对某些谐波产生放大作用,当高次谐波成分复杂时,必须同时加入多个滤波电路才能获得较好的滤波效果,这样会造成装置体积变大,损耗也就越高;

2)不能应对电网频率和阻抗变化的情况,系统的运行情况发生变化时,滤波效果也会发生变化,谐波电流过大时还会造成元件过载,损坏设备;

3)可能会与电力系统发生串联或并联谐振,造成电力系统故障。

### 3.4 有源电力滤波器

近些年,随着功率器件的控制精度不断提升,人们对电网质量的要求也越来越高,无源滤波器不能满足对改善电能质量的要求。因而,在电力系统中广泛地投入有源电力滤波器抑制谐波和补偿无功。

#### 3.4.1 有源电力滤波器基本原理

以并联型有源电力滤波器为例来进行研究。图 1 所示为并联型有源电力滤波器的系统原理图。图中  $i_s$ 、 $u_s$  表示公用电网的电流和电压, $i_c$  为有源电力滤波器输出的补偿电流, $i_L$  为负载电流。HPF(high pass filter)为滤除开关纹波电流的高通滤波器。

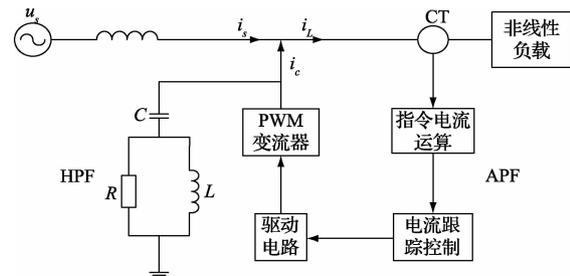


图 1 并联型有源电力滤波器的系统原理

有源电力滤波器系统由指令电流运算部分和补偿电流发生部分组成。其中,指令电流运算部分<sup>[7-8]</sup>的主要任务是检测出补偿对象中的无功和谐波电流,将无功和谐波电流提取出来,而电流跟踪控制电路<sup>[9-12]</sup>、驱动电路和 PWM 变流器共同组成补偿电流发生部分。PWM 变流器作为系统的主电路,可以作为逆变器,输出补偿电流,又可作为整流器,由电网向直流侧储能元件充电。

有源电力滤波器的基本工作原理是通过电流互感器(CT)、电压互感器(PT)等检测技术,获取非线性负载的电流信号和系统电压信号,并将获取的信号进行处理,获得需要补偿的无功和谐波电流指令信号,再根据指令信号来控制主电路中的 PWM 变流器的通断,输出与电网中谐波

形状相同、相位相反的无功或谐波补偿电流,从而降低或消除电网中的谐波电流成分,提升电网质量。

### 3.4.2 有源电力滤波器的优点

与无源滤波器相比,有源电力滤波器有以下优点:

1) 使用灵活,能滤除开关器件开关频率以内的各次谐波,还能使用指定次数谐波滤除技术,灵活地进行谐波补偿;

2) 实现动态补偿,响应速度快,可补偿频率和幅值都变化的谐波,滤波效果不会受到电网频率和阻抗的影响;

3) 不存在过载现象,当电网谐波电流过大时,能在其额定容量内工作。

因而,与其他谐波抑制方法相比,有源电力滤波器具有更优越的补偿性能,随着技术的进步及成本的下降,有源电力滤波器将具有良好的发展前景。

## 4 有源滤波器应用实例

### 4.1 配电概况及谐波测试

某材料研制厂房安装多台采用可控硅中频电源的大功率电加热设备和数控车床,该类设备产生大量的谐波,污染电网,影响该厂房的配电设施安全运行及一些电气设备的正常使用。谐波电流曾导致该厂房电站汇流排震动,发出异常声响,使该厂房电站存在极大的安全隐患。为解决该厂房的谐波问题,对该厂房电站进行谐波检测。

进行电能质量检测的电站情况为:1#变压器容量2 000 kVA,所带负载主要为中央空调 $3 \times 40$  kW、中频炉 $1 \times 350$  kW、数控机床、水泵、风机等设备;2#变压器容量为2 000 kVA,变压器主要负载有中频炉 $2 \times 350$  kW、中频炉 $1 \times 250$  kW,等静压机 $1 \times 600$  kW,等静压机 $1 \times 240$  kW及其他设备。经测试,该厂房电站1#变、2#变低压供电支路谐波电流评估结果如表1所示。

表1 电站1#变、2#变低压供电支路谐波电流评估结果

序号	项目	5次	7次	11次
1	0.38kV 谐波电流 允许值/A	204.6	145.2	92.4
2	1#主变谐波电流 测量值/A	112.16	67.51	42.30
3	2#主变谐波电流 测量值/A	287.61	141.73	71.78

从上表可以看出,2#变低压供电支路注入母线的5次、7次、11次谐波电流含量较高,其中注入母线的5次谐波超过国家标准规定的限值。

基于以上情况,需要在该厂房变电站2#变压器支路加装有源滤波器,进行谐波治理,以消除或降低谐波危害,提高电能质量,确保供电安全。

### 4.2 变低压供电支路谐波治理方案设计

设计条件:

变压器容量 S:2 000 kVA;变压器负载率  $\eta$ :80%;5次谐波电流值  $I_{h5}$ :287.61 A;7次谐波电流值  $I_{h7}$ :141.73 A;11次谐波电流值  $I_{h11}$ :71.78 A;5次谐波滤除率:85%;7次谐波滤除率:85%;11次谐波滤除率:80%;有源滤波器负载率  $\lambda$ :80%;有源容量设计裕度  $\eta$ :1.2倍。

有源滤波装置容量计算:

$$I_{\text{有源}} = \frac{\sqrt{(I_{h5} \times 85\%)^2 + (I_{h7} \times 85\%)^2 + (I_{h11} \times 80\%)^2}}{\lambda} = 417 \text{ A} \quad (1)$$

推荐有源滤波器容量为400 A。

### 4.3 改造方案

有源滤波装置容量为400 A,需要两台200 A的有源电力滤波器。有源滤波器与母排之间采用电缆连接,需要在进线柜进线端三相母排上分别加装电流互感器,该互感器采用开口式结构便于安装,电流采样点在有源滤波器注入点与负载之间。有源滤波器安装接线如图2所示。

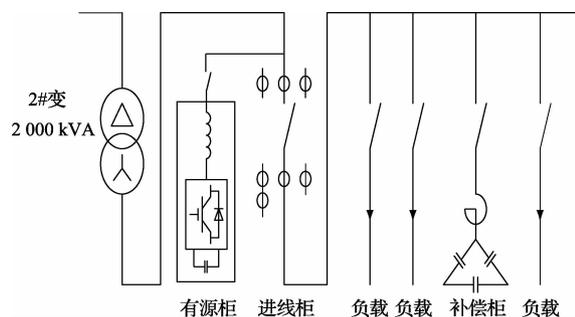


图2 电站改造系统

### 4.4 治理效果分析

安装有源滤波器后,电站的运行情况得到明显改善。以下为治理前后的数值对比如图3~6所示。

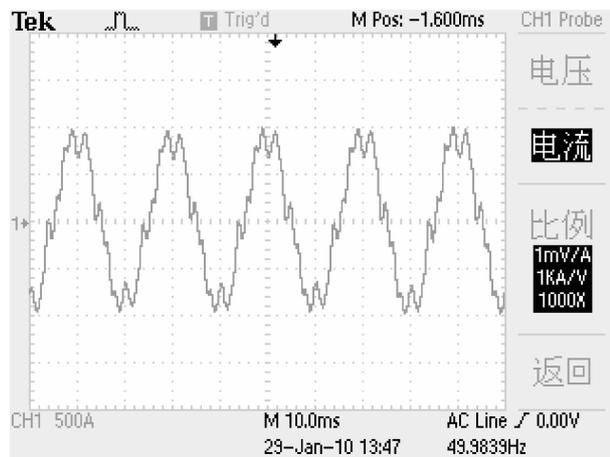


图3 设备运行,滤波器停运电流波形

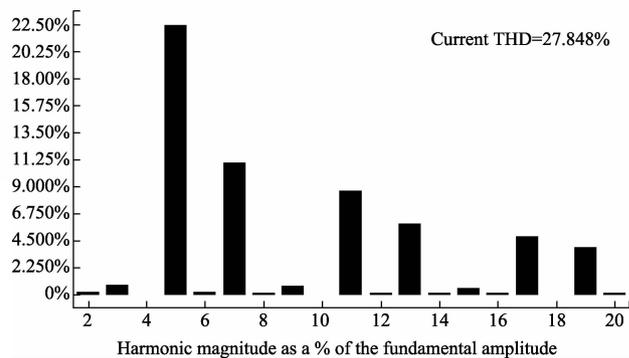


图4 改造前的系统电流频谱

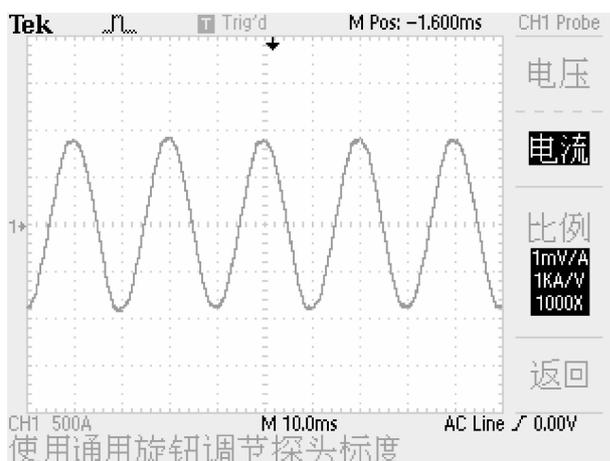


图5 设备运行,滤波器投运的电流波形

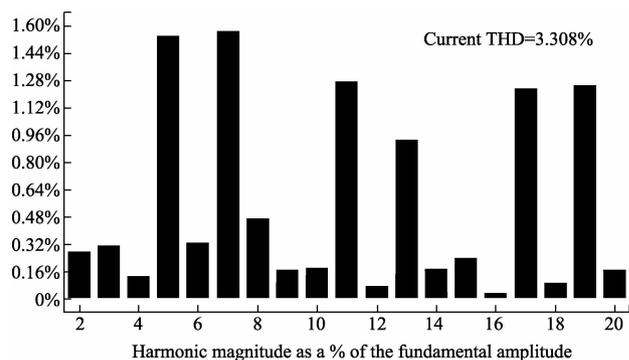


图6 改造后的系统电流频谱

从上面量测数据可以看出,在安装了有源电力滤波器后,电能质量得到明显改善:总谐波电流畸变率从原先的21%,下降到了1.8%左右;其中5次谐波电流从原先的近22.5%,下降到了1.5%左右;7次谐波电流从原先的12%,下降到了0.3%左右。安装有源滤波器后,电站母线的异响基本消除。

## 5 结论

电能质量涉及国民经济各行各业及电力的可持续发展,而谐波是影响电能质量的重要因素。因此,研究有源滤波器在谐波治理改善电网质量方面,具有广阔的应用前

景。本文分析了谐波对工业供电系统的危害,介绍了谐波治理措施,对比分析其优缺点及可行性,提出了有源滤波器的工作原理及优点,通过某材料研制厂房安装有源滤波器的应用实例,分析了有源滤波器投入运行前后谐波的治理情况。有源滤波器的投入有效地保证了供电系统的安全运行,谐波电流明显减小,运行结果表明有源电力滤波器是解决供电系统谐波问题的较好方法之一。在实际应用中,根据不同的用电环境,选择在配电室集中安装或对用电功率较大的谐波源设备就地安装等不同安装方案,并选择适当的容量,以达到最佳的治理效果。随着电力工业的快速发展及节能降耗的迫切需求,不断研究电网谐波及其治理方案,解决谐波治理中出现的新问题。

## 参考文献

- [1] 罗德凌,周方圆,唐朝晖,等.有源电力滤波器的研究现状与发展动向[J].国外电子测量技术,2006,25(2):1-5.
- [2] 胡为兵,李开成,方聪,等.综合电能质量监控系统的研制[J].仪器仪表学报,2008,29(8):1725-1730.
- [3] VAN WYK J. Power quality, power electronics and control[C]. In Proceedings of Power Electronics and Applications, 1993:7-32.
- [4] 刘俊华,罗隆福,张志文,等.基于模糊集对分析法的电能质量综合评估[J].电网技术,2012,36(7):81-85.
- [5] 黄海宏,杨胜江,王海欣,等.多逆变器并联在EAST装置中的应用[J].电子测量与仪器学报,2012,26(9):818-823.
- [6] 吴江伟,王雪,孙欣尧,等.采用优化经验模态分解的电力谐波辨识方法[J].电子测量与仪器学报,2012,26(10):858-863.
- [7] 张桂斌,徐政,王广柱,等.基于空间矢量的基波正序、负序分量及谐波分量的实时检测方法[J].中国电机工程学报,2001,21(10):1-5.
- [8] 牛胜锁,梁志瑞,张建华,等.基于四项余弦窗三谱线插值FFT的谐波检测方法[J].仪器仪表学报,2012,33(9):2001-2008.
- [9] 陈增禄,曾宪莉,龙波,等.新型多电平滞环跟踪控制方法的研究与设计[J].电子测量技术,2013,36(2):1-5.
- [10] 林连冬.基于无差拍控制的PMSM电流预测控制算法[J].电子测量技术,2013,36(10):38-42.
- [11] 赵强,唐猛.基于奇次谐波重复控制的PWM逆变器的研究[J].国外电子测量技术,2012,31(10):26-28.
- [12] 关静.DC-DC变换器新型数字控制方式的研究与对比[J].电子测量技术,2013,36(3):36-39.

## 作者简介

魏学良,1972年出生,主要研究方向为电力电子在电力系统中的应用,有源电力滤波器装置以及相应的PWM技术、全数字控制技术等。  
E-mail:sdslxy@163.com