电力谐波对电力系统的影响及治理方法

电力谐波对电网的污染和危害已经成为当前研究的热点问题，特别是在电力系统节能减排的背景下，采用正确的技术措施和合理的装备对电力系统谐波进行治理是非常有必要的，在介绍电力谐波概念和其对电力系统危害的基础上，介绍了目前常用的典型谐波治理方法和相关设备。进一步引出了有源滤波器的概念，详细地分析了其基本结构和运行机理，并与无源电力滤波器治理谐波方式进行了对比，通过示范工程项目验证了有源滤波器在谐波抑制和电能质量提升方面的有效性。

刘秀兰[1] 栾逢时[2]/1. 国网北京市电力公司电力科学研究院 2. 国网北京市电力公司

刘秀兰/工程师

关键词/Keywords
电力谐波·
有源滤波器·
电能质量·

0 引言

电力谐波主要由非线性电气设备产生，谐波源将大量的谐波电流注入到电网中，使电网电压产生畸变，构成了电力系统运行的安全隐患，电力谐波导致的各种问题日益突出，受到电力供需双方高度重视，对电力谐波进行治理十分必要。

在谐波治理设备中有源电力滤波器有其独特优势，其适应性强、治理效果好等优点受到了国内市场的追捧，逐步在各行各业得到推广，是治理电力谐波的有效途径。

1 电力谐波的概述

1.1 电力谐波的概念

交流电网中，由于许多非线性电气设备的投入运行，因其电压、电流波形发生畸变。非正弦波通常是周期性电气分量，根据傅里叶级数分析，可分解为基波和各次谐波分量整数倍的谐波分量。对于周期为$T=2\pi/\omega$的非正弦电压$\mu(\omega t)$，一般满足狄里赫利条件，可分解为以下形式的傅里叶级数

$$\mu(\omega t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}(a_n\cos n\omega t+b_n\sin n\omega t) \tag{1}$$

$$\begin{cases} a_0=\dfrac{1}{2\pi}\displaystyle\int_0^{2\pi}\mu(\omega t)\mathrm{d}(\omega t) \\ a_n=\dfrac{1}{\pi}\displaystyle\int_0^{2\pi}\mu(\omega t)\cos n\omega t\mathrm{d}(\omega t) \\ b_n=\dfrac{1}{\pi}\displaystyle\int_0^{2\pi}\mu(\omega t)\sin n\omega t\mathrm{d}(\omega t) \end{cases} \tag{2}$$

在式（1）的傅里叶级数中，频率为电网频率（工频50 Hz）的分量称为基波，频率为整数倍(大于1)基波频率的分量称为谐波，谐波次数为谐波频率与基波频率的整数比。以上定义及公式对非正弦电流的情况也同样适用。

1.2 电力谐波的危害

电力谐波的危害主要表现在：①增加输电线路的附加损耗；②在一定参数条件下，会发生串联谐振或并联谐振；③增加变压器铜损，缩短变压器适用寿命；④降低电动机的使用寿命；⑤造成电容器爆炸；⑥影响继电保护和自动化装置的工作可靠性；⑦对通信设备产生干扰。

2 治理电力谐波的方法

谐波治理措施主要有三种：一是主动治理，即从谐波源本身出发，通过改进用电设备，使其不产生或少产生谐波；二是受端治理，即从受到谐波影响的设备或系统出发，提高它们抗谐波干扰能力；三是被动治理，即通过安装电力滤波器，阻止谐波源产生的谐波注入电网，或者阻止电力系统的谐波流入负载端。

由于谐波源的广泛性和复杂性，主动治理方法受设备结构、效率、成本和

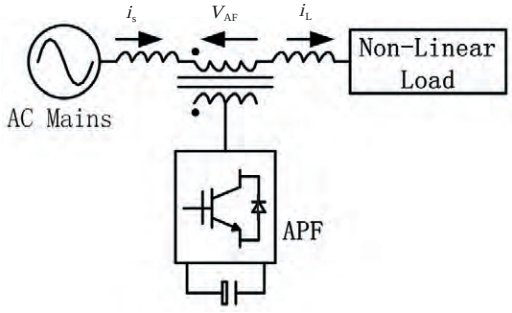
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

可靠性等因素影响，只能解决部分问题，受端治理方法和被动治理方法仍是目前治理电力谐波问题的主要方法。例如通过串联失谐电抗器抑制无功补偿电容器导致的谐波共振放大，通过在系统中安装无源电力滤波器和有源电力滤波器进行滤波等。

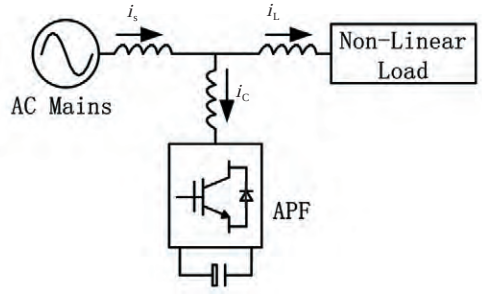
3 有源滤波器的原理

有源电力滤波器是一种用于动态抑制电力系统谐波、补偿无功功率的新型电力电子装置，能对大小和频率都变化的电力系统谐波以及变化的无功功率进行动态补偿。有源电力滤波器一般由指令电流运算电路和补偿电流发生电路两大部分组成。指令电流运算电路的作用是检测出补偿对象电流中的谐波和无功功率等电流分量，因此也被称之为谐波和无功电流检测电路。补偿电流发生电路实际上是一种谐波电流补偿器，它能够输出与负载电流谐波分量相对应的电流，从而抵消非线性负荷产生的谐波电流。主电路目前均采用PWM变流器。

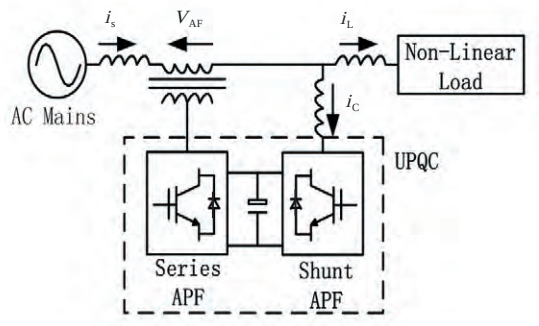
根据有源电力滤波器与被补偿系统的连接方式不同可分为：串联型有源电力滤波器（Series APF 如图1a所示），并联型有源电力滤波器（Shunt APF 如图1 b所示）和串并联型（又称为统一电能质量调节器 UPQC，如图1 c所示）。



（a） 串联型有源电力滤波器



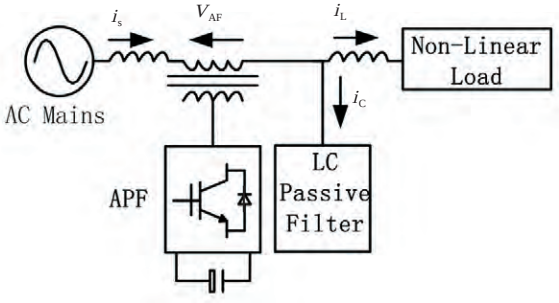
（b） 并联型有源电力滤波器



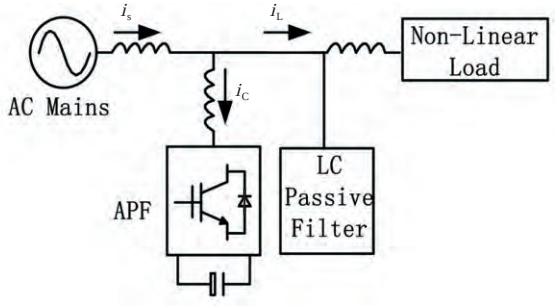
（c） 统一电能质量调节器

图1 有源电力滤波器与负载之间的连接原理图

混合型有源电力滤波器（Hybrid APF）的系统拓扑结构有两种，如图2所示。



（a） Series APF与LC PF组成的Hybrid APF



（b） Shunt APF 与LC PF 组成的Hybrid APF

图2 两种混合型有源电力滤波器

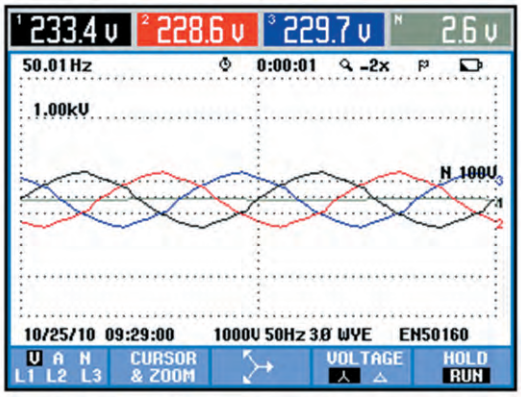
在混合型有源电力滤波器中，并联的无源滤波器主要功能为滤波和无功补偿，而改善无源滤波器的工作环境和工作性能主要由有源滤波器来完成。这样有源电力滤波器的容量和造价大大降低，因此，混合型有源电力滤波器也是很有价值的研究方向。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

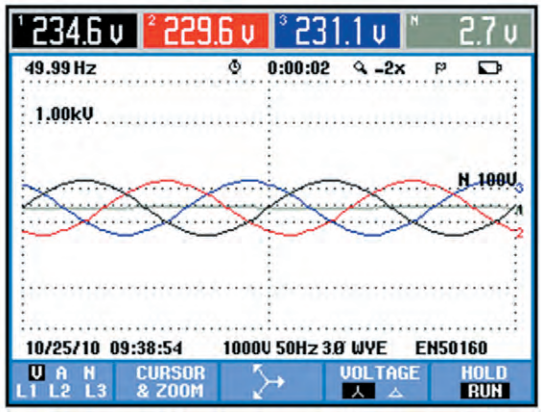
4　有源电力滤波器在某太阳能电池板生产车间的应用

4.1 某变压器有源滤波器投入前后效果对照

滤波器投入前后效果图如图3所示、图4所示。数据对比如下表所示。

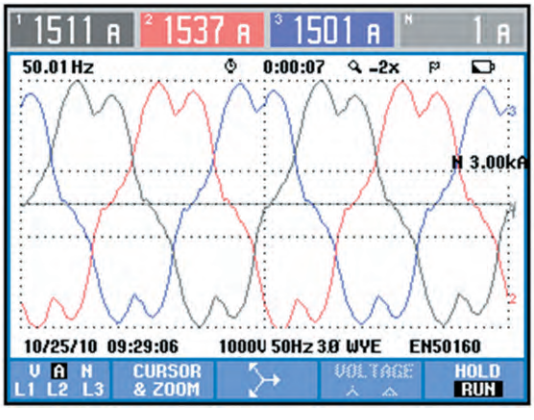


（a） 滤波器投入前效果

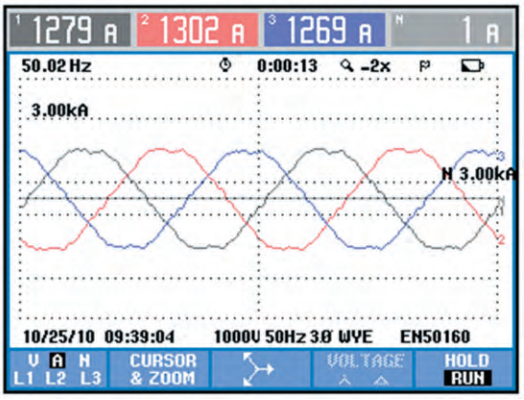


（b） 滤波器投入后效果

图3　相电压有效值及波形对比



（a） 滤波器投入前效果



（b） 滤波器投入后效果

图4　相电流有效值及波形对比

表　滤波器投运前后数据对比表

	滤波器投入前		
	谐波次数/次	THDf（%）	绝对值
电压	总量	5.05	11.68
	总量	20.36	276.00
	3	0.52	7.09
	5	19.48	264.05
电流	7	4.60	62.34
	9	0.16	2.20
	11	2.61	35.37
	13	0.95	12.83
PF		0.99	
	滤波器投入后		
	谐波次数/次	THDf（%）	绝对值
电压	总量	2.37	5.49
	总量	4.48	50.85
	3	0.25	2.86
	5	3.05	34.56
电流	7	1.47	16.70
	9	0.09	1.05
	11	0.57	6.43
	13	1.11	12.59
PF	1		

4.2 变压器在有源滤波器投入前后综合评价

配电变压器总进线滤波前后测量结果评价如下：

1）在有源滤波器投入运行后，电压和电流波形得到明显改善。

2）有源滤波器投入运行后，电压和电流谐波明显改善，电压谐波总畸变率由原来的5.05%降到2.37%，电流谐波总畸变率由原来的20.36%降到4.48%。

3）电流谐波以5、7和11次为主，滤波器投入后总谐波电流及各次主要谐波电流滤除率极高，从根本上解决了谐波问题。

4）功率因数保持在0.99以上。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

5 结束语

电力谐波问题是一种电网污染和公害，已引起人们的高度关注。在节能减排呼声日益增高的形势下，采取正确技术措施对电力谐波进行治理十分加必要。采用有源电力滤波器对谐波进行治理具有适用工况广、治理效果好等优势，正确掌握这一技术手段，有效治理电力谐波，具有重要意义。推广、应用电力谐波治理技术是有关专业技术人员的责任。

参考文献

[1] Mohan Mathur R. 基于晶闸管的柔性交流输电控制装置[M]. 北京：机械工业出版社，2009.

[2] George J. Wakileh电力系统谐波-基本原理、分析方法和滤波器设计[M]. 北京：机械工业出版社， 2007.

[3] 吴竞昌. 供电系统谐波[M]. 北京：中国电力出版社， 1998.

[4] 卓放. 三相四线制有源电力滤波器的研究[D]. 西安：西安交通大学，2001.

（收稿日期：2015－05－26）EA

作者简介

刘秀兰（1983-），女，硕士研究生，工程师，研究方向为电动汽车充电技术；

栾逢时，男，硕士研究生，工程师，研究方向为电网规划。

（上接第124页）

由上图可知，横向比较中，相邻两月变化大的有2～3月、6～7月和11～12月，在纵向比较中只有6月份的变化大，综合比较，怀疑该用户在6月份有窃电行为，该月窃电量和在10 kW·h左右，其他月份电量的变化应该和气候变化有关。

3.3 加强法律和道德规范

刑法中没有专门设立窃电罪，窃电只属于侵犯财产罪的范畴，只有在最高人民法院《关于审理盗窃案件具体应用法律若干问题的解释》中涉及到窃电，把“盗窃公私财物，包括电能、煤气和天然气”正式列入盗窃罪的范畴，明确窃电是一种盗窃行为，要处以刑罚，但是没有根据电能的特点设立窃电罪[4]。而且在刑法中对窃电的金额没有特别规定，在盗窃罪中，最严重的是盗窃公私财物价值人民币3～10万元以上，认为数额特别巨大，情节特别严重，处10年以上有期徒刑或者无期徒刑，并处罚金或没收财产，据此规定，窃电的最高惩罚是10年有期徒刑或者无期徒刑，没有死刑。因此很多窃电分子就是抓住法律的空当，认为窃电不触犯刑罚，或者即使犯法，处罚也不严重，所以有恃无恐，窃电量越来越大。完善法律中关于窃电的定性和定量分析，出台专有的窃电法对窃电分子才是最有利的打击。

窃电行为之所以无法杜绝，有一方面是因为人们的道德素质不高，唯利是图，个人荣誉观念薄弱，对窃电行为不以为耻。

窃电行为要消除，必须从根本上解决，高科技产品只是一种防御措施，只能减少窃电数量，并不能消除窃电现象。人们之所以窃电是因为人们的贪念，同时法律对窃电行为威慑力也不够，使得人们对窃电的严重性认识不够全面，走入了盲区。提高国民素质，深刻认识到电能作为一种国家财产，是不容侵犯的，需要大家相互监督，只有这样才能保证电力事业的快速稳定发展。

4 结束语

反窃电是一项漫长的工作，高科技的反窃电技术是必须的，因为它能强有力地预防和阻止窃电的发生，第一时间给出窃电信息，同时给侦查人员提供依据， 但是只有高科技的反窃电技术还是远远不够的，因为反窃电技术不能根本解决窃电问题，还需要法律的强制和道德的约束，使人们不敢也不会窃电。

参考文献

[1] 方伟. 如何加强用电检查反窃电工作的建议[J]. 广东科技，2012，10(19)：101-102.

[2] 曹娟. 反窃电技术改进措施[J]. 科技视野，2012，8(22)：294.

[3] 柴鹏飞，陈国栋. 数据分析在反窃电中的应用[J]. 河南电力，2013，2：61-64.

[4] 石小鹏. 关于窃电的法律规制[D]. 兰州：兰州大学，2007，5：6-8.

（收稿日期：2015－05－26）EA

作者简介

高明（1965-），男，高级工程师，主要研究方向为电力设施保护。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net