

文章编号:1671-6833(2006)03-0107-03

## 配电系统的谐波问题与对策

周 勇, 任 伟

(郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘 要:** 配电系统中大量的非线性负荷是产生谐波的主要原因. 结合配电系统实际, 分析了谐波的危害, 针对不同类型的谐波源, 给出了一些常用的谐波治理措施. 其中包括减少非线性负荷产生的谐波量 and 设置交流滤波器等, 并简要地说明了各种措施在使用中应该注意的问题.

**关键词:** 配电系统; 谐波; 对策

**中图分类号:** TN 11 **文献标识码:** A

### 0 引言

随着我国国民经济的不断增长和人民群众生活水平的不断提高, 配电系统中的整流设备、电弧炉、交直流传动、节能灯和各种家用电器等也在逐年增多, 由于这些负荷的非线性特性, 使得电流和电压的波形发生畸变, 通过傅立叶分解, 可以得到一系列谐波电压和谐波电流, 当谐波电压和谐波电流达到一定水平之后, 就会给电气设备的正常运行带来不利影响<sup>[1]</sup>. 笔者将针对配电系统中的谐波问题, 介绍一些治理措施.

### 1 谐波的危害

谐波的危害主要表现在以下几方面:

(1) 引起配电系统串/并联谐振, 产生谐波过电压或过电流, 损坏无功补偿设备, 其中以电容器出现的问题最为突出<sup>[2]</sup>.

(2) 由于电压和电流的波形畸变, 使测量仪表的误差增大, 还会引起继电保护和控制装置误动作.

(3) 由于谐波电流和电机旋转磁场相互作用所产生的脉动转矩, 会使电机产生机械振动, 使电机的效率降低, 同时还会伴有强烈的噪声.

(4) 由谐波产生的附加损耗, 会增加电气设备的温度, 有时还会产生局部过热, 从而加速绝缘的老化, 缩短设备的寿命.

(5) 由于电力线路和平行的通信线路之间存在电场和磁场的耦合, 谐波电流的磁场会在通信

系统内产生干扰电压, 影响通信质量, 严重时还会损坏通信设备<sup>[3]</sup>.

综上所述, 谐波已成为“污染”电力系统的公害, 它不仅会影响电能的质量, 严重时还会威胁到电网的安全.

### 2 谐波问题的对策

配电系统中的谐波问题应该受到有关部门的关注, 及早采取有效的措施进行治理, 对于保证电网和各类用电设备的正常运行是非常必要的. 下面介绍一些配电系统谐波治理的对策.

#### 2.1 减少谐波源产生的谐波

配电系统中的谐波主要来源于非线性负荷, 因此, 谐波的治理也应该先从源头开始, 减少非线性负荷产生的谐波量无疑是最为有效的. 具体的方法有以下3种:

(1) 增加三相整流电路的脉动波数. 三相整流电路所产生的谐波主要集中在特征谐波, 非特征谐波的含量通常很少. 由于特征谐波的含量与整流电路的脉动波数成反比, 因此, 增加整流电路的脉动波数, 即可减少整流电路产生的谐波电流.

(2) 限制整流设备的容量. 系统短路容量与所供电的整流器容量之比称短路比, 一般而言, 短路比愈大, 允许注入的谐波电流越大. 因此, 在进行报装审批时, 应该根据系统短路容量的大小来限制新接入的非线性负荷的容量<sup>[4]</sup>.

(3) 在整流电路中串接电抗器. 整流电路内部的感抗愈大, 则换流时间越长, 电流波形变化越

收稿日期:2006-03-12; 修订日期:2006-04-18

作者简介:周勇(1957-), 男, 河南信阳人, 郑州大学副教授, 主要从事电力系统控制与分析方面的研究.

缓慢,因此在整流电路中串接适当的电抗器也可以减少高次谐波电流。

## 2.2 设置交流滤波器

交流滤波器一般可分为:无源滤波器、有源滤波器、混合式滤波器。根据非线性负荷的谐波特性,就近安装交流滤波器也是目前比较常用的谐波治理方法,近年来已成为人们研究的热点<sup>[5]</sup>。

### 2.2.1 无源滤波器

无源滤波器(Passive Power Filter,简称PPF)由电容器C、电抗器L和电阻R组成,根据其结构不同,无源滤波器又可以分为以下三种形式:

(1) 单调谐滤波器。单调谐滤波器是利用串联L、C谐振原理构成的,其原理接线如图1(a)所示。

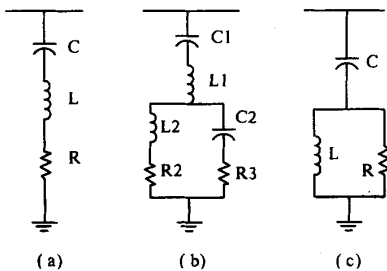


图1 无源滤波器的原理接线图

Fig.1 The wiring diagram of passive power filter

滤波器对  $n$  次谐波阻抗为

$$Z_n = R + j\left(n\omega L - \frac{1}{n\omega C}\right).$$

在谐振点处  $n\omega L = \frac{1}{n\omega C}$ , 谐振时的谐波次数  $n = \frac{1}{\omega \sqrt{LC}}$ , 谐波阻抗  $Z_n = R$ 。由于  $R$  很小, 所以  $n$  次谐波电流主要由  $R$  分流, 很少流入电网中。而对于其他次数的谐波, 谐波阻抗  $Z_n \gg R$ , 滤波器分流很少。因此, 简单地说, 只要将滤波器的谐振次数  $n$  设定为需要滤除的谐波次数, 则该次谐波电流将会大部分流入滤波器, 从而起到滤除该次谐波的目的。

(2) 双调谐滤波器。双调谐滤波器的原理接线如图1(b)所示。它实际上相当于两个并联的单调谐滤波器, 能够同时吸收两种频率的谐波。

(3) 高通滤波器。高通滤波器的原理接线如图1(c)所示, 当频率低于其截止频率  $f_0$  ( $f_0 = 1/2\pi RC$ ) 时, 由于容抗的作用, 使得低次谐波电流难以通过; 而当频率高于  $f_0$  时, 由于容抗减小, 高次谐波电流便可顺利通过电容器和电阻, 总的阻抗也变化不大, 形成一个通频带。

采用单调谐滤波器结构简单, 便于调谐, 应用较多; 而双调谐滤波器结构比较复杂, 调谐困难, 应用较少; 高通滤波器具有综合滤波功能, 它可以同时滤除多种高次谐波。因此, 在采用滤波器进行谐波治理时, 应该针对非线性负荷的特点, 同时考虑无功补偿的需要, 选择合适的滤波方案。从目前无源滤波器的使用效果来看, 采用几组单调谐滤波器, 再加一组高通滤波器是比较经济可行的方案。

传统的无源滤波器参数易受外界因素的影响, 导致滤波器偏离谐振状态, 使滤波效果变差。近年来人们又设计了一些可控的无源滤波器<sup>[6]</sup>, 比如晶闸管控制高短路阻抗变压器(简称TCT)、双向晶闸管控制电抗器(简称TCR)和利用机械开关投切电容器—晶闸管静止开关自动调整电抗器的分接头(简称MSC-TCR)等。使用这些方法的目的都在于及时调节电感和电容的参数, 使滤波器在参数变化后重新回到谐振状态。

### 2.2.2 有源滤波器

在非线性负荷中, 有一些还具有波动性, 比如电弧炉和电焊机等, 这种负荷产生的谐波很不稳定, 频率及振幅都是时变的。为了有效地抑制这种波动性负荷所产生的谐波, 人们在上世纪70年代开始利用电力电子技术研制有源滤波器(Active Power Filter, 简称APF), 到了90年代, APF技术开始进入实际应用。

有源滤波器的构造主要是由一电能转换器(power converter)再加上一储能组件组成。按照储能组件的种类, 可分为电压源型与电流源型。电压源型有源滤波器的储能组件是电容器, 设在电力转换器的直流侧, 将其做成一个电压源; 而电流源型有源滤波器则以电感器作为储能组件, 设在电力转换器的直流侧, 将其做成一个电流源。按照与系统的连接方式, 可分为串联式有源滤波器和并联式有源滤波器, 分别对谐波电压和谐波电流进行补偿。串联型有源电力滤波器的作用是阻止负载中谐波电流流入电网, 同时阻止电源谐波电压加至负载端, 它对基波表现为低阻抗, 而对谐波表现为高阻抗。而并联型有源电力滤波器则是一个谐波电流的通道, 它的作用就是把负载中谐波电流吸收掉。因而并联型有源电力滤波器对基波表现为高阻抗, 对谐波表现为低阻抗。

由于配电系统中大部分谐波源为电流源, 因此并联式有源滤波器应用最多, 它的主要优点有以下几条:

(1) 可实现对谐波和基波无功电流的实时动态跟踪补偿,对系统中各次谐波均能有效抑制,而且不存在过载问题;

(2) 当系统结构发生变化时,该装置不存在产生并联谐振的危险,不影响补偿性能;

(3) 该装置接入系统后,不会对系统阻抗产生影响,也不会和系统阻抗发生串并联谐振。

与无源滤波器相比,有源滤波器的损耗较大,结构复杂,价格昂贵,作为高频开关设备,其长期运行的维护成本也比较高。因此,目前还难以普遍推广。此外,有源滤波器还会产生次数很高的谐波,在实际应用中要注意增加一些措施,以避免这些高频电流对补偿电容器或其他敏感设备产生不利影响。

### 2.2.3 混合式滤波器

从目前情况来看,无源滤波器尚存在一些目前技术无法克服的缺点,而有源滤波器则受限于半导体功率组件,在大容量的应用上有所限制,且其价格很高。将无源滤波器与有源滤波器按照并联、串联、串并联的方式组合,构成混合式滤波器,可以有效地解决单独使用无源滤波器或有源滤波器时存在的问题。在混合式滤波器中,有源滤波器的容量比无源滤波器要小得多,因此,前期投资和运行费用都比较低,用于配电系统的谐波治理,具有比较理想的综合效果。

## 3 结论

(1) 配电系统中大量的非线性负荷是产生谐

波的主要原因,有关部门应该对此给予足够的重视。在治理配电系统谐波时,应充分考虑系统中各种因素的影响,并兼顾到一些相关的指标,选择合理有效的滤波方案。

(2) 由于价格和运行成本的优势,使无源滤波器目前应用十分广泛,当系统参数发生变化时,要注意滤波器特性的变化,严格避免谐波放大现象的发生。

(3) 有源滤波器谐波抑制能力大大优于传统的无源滤波器,就当前技术水平而言,采用容量较小的有源滤波器与无源滤波器组成混合型有源滤波器是一种切实可行的方案。

## 参考文献:

- [1] 王兆安,杨 君,刘进军.谐波抑制和无功功率补偿[M].北京:机械工业出版社,1998.39~49.
- [2] 周 勇,王文峰,赵慧光.电容器的谐波放大问题分析[J].郑州大学学报(工学版),2005,26(2):36~38.
- [3] 吴国沛,刘育权,任 震.电力系统谐波对继电保护的影响[J].电力自动化设备,2002,22(7):78~79.
- [4] 傅利平,张建平.嵊泗直流输电逆变器无功电压分析[J].浙江电力,2000,22(1):16~18.
- [5] 翁利民,陈允平,吴秩群.配电网的谐波源特性与高次谐波的抑制[J].电力电容器,2001,25(4):10~14.
- [6] 同向前,陈延敏,贾 荣,等.交流调谐滤波器的进展[J].高压电器,2004,40(5):373~375.

## The Harmonic Problems in the Distribution Network and Their Countermeasures

ZHOU Yong, REN Wei

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** A large number of nonlinear loads are the main source of harmonics in distribution network. The hazard and interference of harmonics are analyzed based on engineering practices. General countermeasures to restrain harmonics are introduced for different sources of harmonics such as minimizing harmonics content produced by nonlinear load and setting AC filters. In the end, some problems to which attention should be paid in using are discussed concisely.

**Key words:** distribution network; harmonic; countermeasure