

# 一种新型零序电流滤波装置的研究

李阳春

(浙江创维自动化工程有限公司, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 针对 Zigzag 变压器治理零序电流所存在的缺陷, 提出了一种新型的零序电流治理方案。该方案采用了 Zigzag 变压器与有源电力滤波器相结合的方式。电力有源滤波器能提高配电变压器的零序等效阻抗, 而 Zigzag 变压器能降低有源电力滤波器所承受的电压。该方案极大改善了 Zigzag 变压器滤除零序电流的性能, 减少了 Zigzag 变压器对配电变压器零序阻抗的依赖, 同时也降低了 Zigzag 变压器和有源电力滤波器的容量与成本, 具有较高的性价比和广阔的市场应用前景。仿真与试验的结果表明, 该方案是解决目前日益严重的零序电流问题的一种切实可行的方案。

**关键词:** 三相四线制; 零序电流; Zigzag 变压器; 有源电力滤波器; 滤波效果

## Study on a new filter to suppress the zero-sequence current

LI Yang-chun

(Zhejiang Creaway Automation Engineering Co.,Ltd , Hangzhou 310012 , China)

**Abstract:** In order to avoid the zero-sequence current, a new method based on Zigzag transformer and active power filter is introduced in this paper. Zigzag transformer can decrease the tolerated voltage of the active power filter while the active power filter is used to increase the equivalent zero-sequence impedance of distribution transformer. This method can effectively improve the performance and at the same time reduce the capacity and cost of Zigzag transformer. This method shows high performance-price ratio and bright market prospects. The simulation and experimental results proved that it is a feasible method to deal with the zero-sequence current problem.

**Key words:** three-phase four-wire system; zero-sequence current; Zigzag transformer; active power filter; filter efficiency

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)07-0091-03

## 0 引言

三相四线制是低压配电网中最主要的供电方式, 在工业现场和民用建筑中得到广泛应用。在三相四线制系统中, 因三相元件的不对称而产生的不平衡电流, 尤其是零序电流, 将对电网造成极大的影响。电网中的零序电流会增加线路及变压器的铜损, 会增加变压器的铁损, 降低变压器的出力, 甚至会影响变压器的安全运行。

现有的 10/0.4 kV 低压配电变压器多为 Yyn0 接法。由于该类型变压器的一次侧无中点引出线, 当二次侧存在零序电流时, 将无法达到安匝平衡, 从而导致中性点偏移。对于三相三柱的铁芯而言, 零序磁通无法在铁芯内形成回路, 而必须通过油箱壁等, 从而产生较大的涡流损耗, 因而铁损较大<sup>[1]</sup>。

目前抑制零序电流的主要方法是采用 Zigzag 变压器, 该方法具有接线简单、不会与系统产生谐振, 无需复杂的控制等优点, 但是也存在一些固有的缺陷。本文采用 Zigzag 变压器与有源电力滤波

装置相结合的结构, 这种结构充分发挥了 Zigzag 变压器在治理零序电流方面的独特优势, 同时降低了有源电力滤波装置的容量, 使得整套装置具有较高的性价比和广阔的市场应用前景。

## 1 Zigzag 变压器的工作原理

Zigzag 变压器是一种特殊接线结构的变压器, 其基本原理图如图 1 所示。

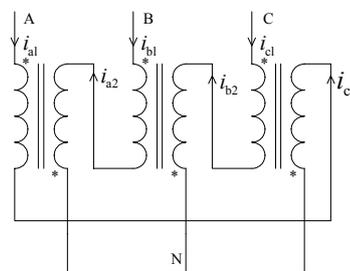


图 1 Zigzag 变压器基本原理图

Fig.1 Schematic diagram of the Zigzag transformer

图 1 中, 变压器变比设置为 1:1, 即原、副边

绕组的匝数相同。

由于在电网的零序网络中,  $i_{a1} = i_{b1} = i_{c1}$ , 由此可得:

$$\begin{cases} i_{a1} = i_{a2} \\ i_{b1} = i_{b2} \\ i_{c1} = i_{c2} \end{cases} \quad (1)$$

由式(1)可知, Zigzag 变压器的原副边电流相等, 各自产生的磁通相互抵消, 从而使得 Zigzag 变压器在零序网络中呈现低阻抗。

而在电网的正序/负序网络中, Zigzag 变压器的原副边电流产生的磁通无法相互抵消, 从而使得 Zigzag 变压器在正序/负序网络中呈现高阻抗。

故利用此原理, 将 Zigzag 变压器并联接入电网中, 可使得零序电流经过 Zigzag 变压器而不再通过中性线, 从而起到抑制零序电流的作用。

采用 Zigzag 变压器治理零序电流是一种比较理想的方法, 但单独使用会存在一些固有的缺陷。如 Zigzag 变压器的滤波效果强烈地依赖于 Zigzag 变压器支路和电网支路的阻抗比; 当电网中存在背景零序电压时, 会在电网侧中性线和相线之间产生较大的零序电流, 从而导致中性线电流过载、变压器发热等等。

## 2 新型滤波方案的工作原理

为了克服单独使用 Zigzag 变压器所存在的问题, 本文提出了一种 Zigzag 变压器与有源电力滤波装置 (APF) 相结合的方案, 其拓扑结构如图 2 所示。

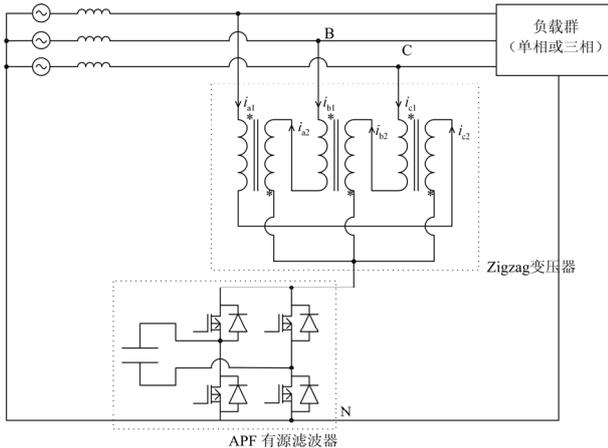


图 2 装置应用的拓扑结构图

Fig.2 Network structure for the device

由图 2 可见, Zigzag 变压器与 APF 串联后与负载并联。其中, APF 装置被控制成一个电压源。

下面将对该装置的工作原理进行详细分析。根

据对称分量法, 我们可以绘制出该装置应用时的零序网络单线图 (图 3)。

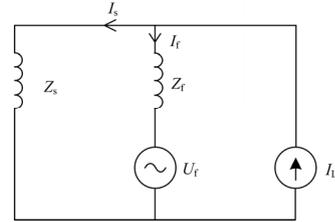


图 3 装置应用时的零序网络单线图

Fig.3 Single-line diagram of the zero-sequence network

图中:  $U_f$  为 APF 装置作为电压源输出的电压,  $U_f = KI_s$ ;  $I_L$  为负载等效的零序电流源;  $Z_f$  为 Zigzag 变压器的零序阻抗, 主要体现为该变压器的漏抗;  $Z_s$  为电网侧的短路阻抗。

根据图 3 可列出如下方程:

$$U_f = I_f Z_f - I_s Z_s \quad (2)$$

$$I_f = I_L - I_s \quad (3)$$

$$U_f = KI_s \quad (4)$$

将式 (3)、式 (4) 代入式 (2), 可得:

$$KI_s = (I_L - I_s)Z_f - I_s Z_s \quad (5)$$

推导可得:

$$I_s = \frac{Z_f}{K + Z_f + Z_s} I_L \quad (6)$$

由式(6)可知, 该装置的控制作用相当于在零线的电网侧串入了一个阻值为  $K$  的电阻, 如图 4 所示。

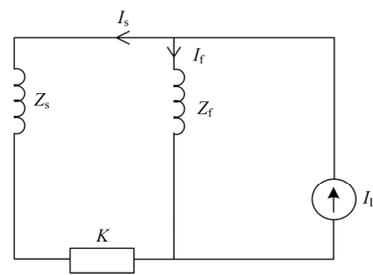


图 4 装置控制作用等效图

Fig.4 Equivalent diagram of the device

该电阻的存在, 一方面增加了电源回路对零序电流的阻抗, 迫使零序电流尽量流入无源滤波器, 从而极大地改善了 Zigzag 变压器滤除零序电流的效果, 另一方面还能抑制电网中存在的零序电压产生的零序电流。

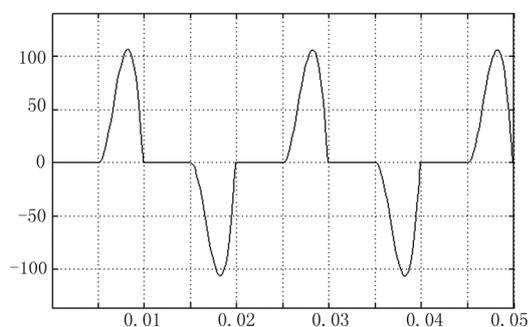
在这种结构中, 由于 APF 迫使更多的零序电流

流过 Zigzag 变压器, 使得对 Zigzag 变压器的设计不再那么苛刻, 使其在体积和重量方面都会有所下降。而且 Zigzag 变压器的存在, 也使得 APF 装置只需要承受零序电压, 从而降低了对 APF 容量的要求。

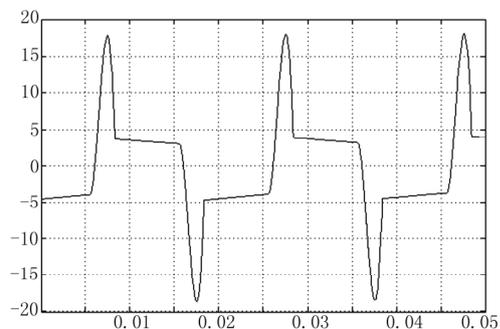
### 3 新型滤波方案的算法仿真

为了验证本装置所采用的方案及控制方法的正确性, 本文利用 Matlab 软件对本装置的滤波效果进行仿真分析。仿真效果如图 5 所示。

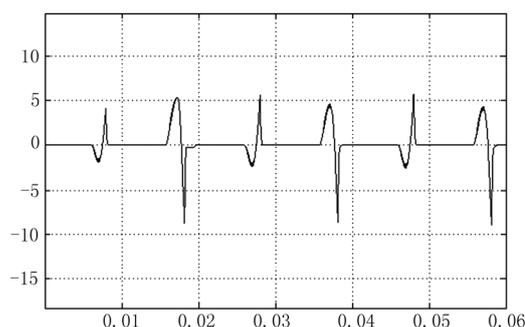
图 5 所示分别为在未投入滤波装置、仅投入 Zigzag 变压器、同时投入 Zigzag 与 APF 三种情况下的系统中线电流。



(a) 未投入滤波装置



(b) 仅投入 Zigzag 变压器



(c) 投入 Zigzag 变压器与 APF

图 5 Matlab 仿真

Fig.5 Matlab simulation

由图 5 可知, 在未投入滤波装置时, 系统的中线电流幅值在 100 A 左右。在投入 Zigzag 变压器后, 中线电流幅值降到 18 A 左右, 这说明了 Zigzag 变压器能对部分零序电流进行分流。而在投入 APF 后, 此时的中线电流的幅值不到 10 A, 由此验证了本装置所采用的方案及控制方法的正确性。

### 4 结论

Zigzag 变压器与 APF 的结合, 使装置具有较高的性价比和更为理想的零序电流抑制与补偿效果。本文所提出的方案以其治理效果好、性价比高必将在中线零序电流治理中得到成功应用。

### 参考文献

- [1] 单铁铭, 杨仁刚. 不平衡电流无功补偿方法研究[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(12): 26-29.  
SHAN Tie-ming, YANG Ren-gang. Reactive Power Compensation for Unbalanced Current[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(12): 26-29.

收稿日期: 2009-05-14; 修回日期: 2009-06-13

作者简介:

李阳春(1977-), 男, 硕士, 工程师, 从事电能质量治理产品的研究工作。E-mail: yangchun\_li@163.com