

一种抑制整流桥谐波电流的新方法

余欣梅 吴耀武 张永立 熊信良 华中理工大学电力系 (430074)
曹志煌 刘文清 湖南省电力局 长沙 (410000)

【摘要】 在传统谐波注入法的基础上提出了一种改进法,即在整流桥输出端与整流变压器副方中性点间引入3次谐波滤波器,使输出端的3次谐波注入到变压器中去,从而改善变压器原方电流的波形。试验结果表明,该方法是可行和有效的。

【关键词】 谐波注入法 谐波电流 滤波器

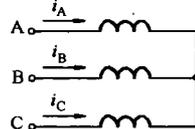
现代电力系统中的谐波主要是由非线性用电设备造成的,其中影响较大的谐波源是各种换流设备,如高压直流输电系统、化工和冶金企业的整流设备等。这些装置按一定的规律开闭不同的电路,从电网取用非正弦波的电流,因而产生大量谐波电流注入电力系统,致使电力系统的电流、电压波形发生畸变,严重影响电力系统及各种电气设备的正常运行和安全。为使谐波控制在规定的限值以内,目前通常所采用的谐波抑制措施是,在谐波源处装设滤波器,就地吸收谐波电流,使注入系统的谐波电流降低到较低的水平。这一方法具有工作可靠、维护方便的优点,且人们有着较成熟的设计和制造经验。但它的缺点也是显而易见的。由于一个滤波装置是由若干组单调谐滤波器与一组高通滤波器配合而成的,其中所需要的电容器、电抗器元件很多,这就造成装置在一定程度上的复杂性;而且,由于滤波器装设在整流变压器的高压侧,其成本也较高。针对传统滤波装置的这两方面不足,目前又提出了其它几种方法来抑制谐波,如谐波注入法^[1]、磁通补偿法^[2]以及直流纹波注入法^[3]等。一方面它们克服了装置复杂性与高成本的缺点,另一方面,它们又都提出了更高的技术要求。本文提出的一种抑制整流桥谐波电流的新方法,就是在传统谐波注入法的基础上加以改进的一种方法。试验证明了该方法的可行性。

1 谐波注入法的基本原理

谐波注入法是通过谐波源把谐波电流叠加到整流桥电流方波上来消除谐波的一种方法。该方法最初由 Bird 提出,后来由 Ametani 归纳而成。

1.1 原理电路图

图1中, S_3 是一个3次谐波电流源,它向整流变压器副方中性点N注入3次谐波电流 i_3 。对



i_3 的波形要求是:波峰需对应于整流桥电流方波的正中心,波谷需对应于电流方波的上升沿或下降沿(即谐波源 S_3 必须保持与该运行系统的同步性)。

1.2 工作原理

以a相为例分析变压器副、原方电流分别在加与未加谐波源 S_3 两种情况下的波形。

(1) 未加3次谐波电流源 S_3 时,变压器副方电流 i_a 是一个矩形方波,经变压器变换后,原方电流 i_A 为与 i_a 相似的矩形方波,如图2(a)和(b)所示。

(2) 加入3次谐波电流源 S_3 后,变压器副方电流 i_a 为:

$$i_a = \begin{cases} I_d + i_3 & (0 \leq \omega t \leq \frac{2\pi}{3}) \\ 0 & (\frac{2\pi}{3} < \omega t < \pi \text{ 或 } \frac{5\pi}{3} < \omega t < 2\pi) \\ -I_d + i_3 & (\pi \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{3}) \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, I_d 为整流桥直流电流。

经变压器变换后,原方电流 i_A 为:

$$i_A = \begin{cases} I_d + \frac{1}{3} i_3 & (0 \leq \omega t \leq \frac{2\pi}{3}) \\ -\frac{2}{3} i_3 & (\frac{2\pi}{3} < \omega t < \pi \text{ 或 } \frac{5\pi}{3} < \omega t < 2\pi) \\ -I_d + \frac{1}{3} i_3 & (\pi \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{3}) \end{cases} \quad (2)$$

这样,变压器的副、原方电流波形示于图2(c)

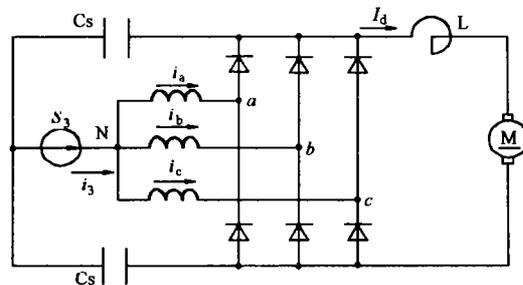
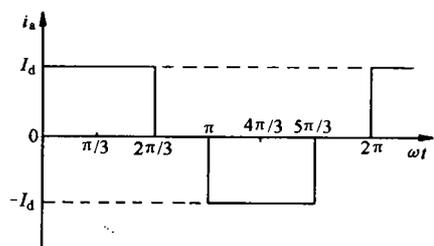
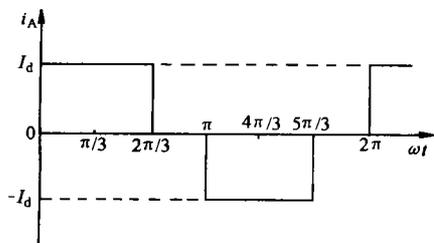


图1 谐波注入法的原理电路图

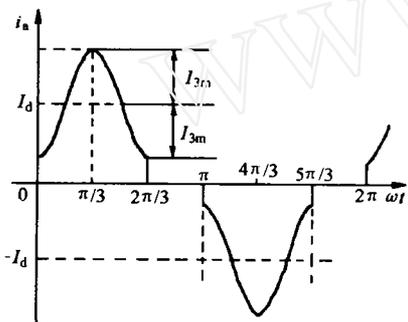
和(d):



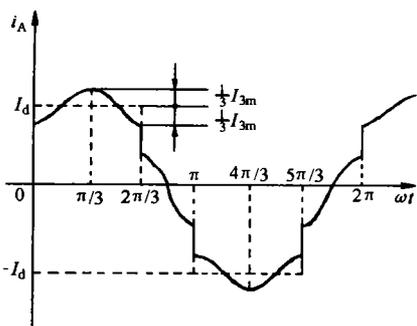
(a) 未注入谐波时变压器副方电流 i_a



(b) 未注入谐波时变压器原方电流 i_A



(c) 注入谐波时变压器副方电流 i_a



(d) 注入谐波时变压器原方电流 i_A

图2 采用谐波注入法时变压器副、原方电流

比较图2中的(b)、(d)两波形,前者为一个谐波含量很大的矩形方波,后者为一个与正弦波较为相似的波形,显然,注入3次谐波电流后,变压器原方电流的波形比未注入时的波形有了显著改善。

1.3 谐波注入法的缺陷

谐波注入法具有结构简单的优点,但同时它存

在着如下缺点:

- (1) 必须保持3次谐波电流源与运行系统的同步性;
- (2) 注入谐波电流的幅值与相位均不能调节,因而不但难以适应多变的运行条件,而且不能得到一个最佳的波形改善效果;
- (3) 只适用于不控整流桥。

2 改进的谐波注入法

为能得到一个可自动满足相位要求的注入电流,应设法从整流桥的直流侧提取3次谐波电流,而避免采用专门的3次谐波源。本文提出的改进谐波注入法,就是通过采取两套3次谐波滤波器,将直流侧电压中所含的3次谐波分量吸收到变压器副方中性点中去,这就类似于传统谐波注入法中的谐波源向中性点注入3次谐波电流一样。

2.1 原理电路图

图3中, L_{3a} 、 L_{3b} (虚框所示) 为两套3次谐波滤波器,其中的电感和电容元件参数需根据3次谐振条件来计算选取:

$$jx_{Ln} - jx_{cn} = 0 \quad nx_{L1} - \frac{1}{n}x_{c1} = 0$$

$$n^2 = x_{c1}/x_{L1} = 1/(\omega_1^2 LC)$$

$$LC = 1/(n\omega_1)^2 \tag{3}$$

当 $n = 3$ 时, L 、 C 应满足:

$$LC = 1.125(H \cdot \mu F) \tag{4}$$

2.2 工作原理

以整流桥触发角 $\alpha = 0^\circ$ 为例。直流侧电压 u_{12} 是端点1、2的电位差,通过傅立叶分析可以得到 u_1 和 u_2 的数学表达式为:

$$u_1 = 1.17U(1 + \frac{1}{4}\cos 3\omega t - \frac{2}{35}\cos 6\omega t + \frac{1}{40}\cos 9\omega t + \dots) \tag{5}$$

$$u_2 = -1.17U(1 - \frac{1}{4}\cos 3\omega t - \frac{2}{35}\cos 6\omega t - \frac{1}{40}\cos 9\omega t - \dots) \tag{6}$$

式(5)和式(6)中的 U 为整流变压器副方绕组相电压的有效值。

从式(5)和式(6)中可看出, u_1 、 u_2 所含的谐波含量主要是3次谐波,除此外还有少量的6次、9次、……等3的倍数次谐波分量。通过3次谐波滤波器, u_1 、 u_2 中的3次谐波即被作为注入电流。显然,这样引接谐波电流,可以自动满足3次谐波电流的相位要求。

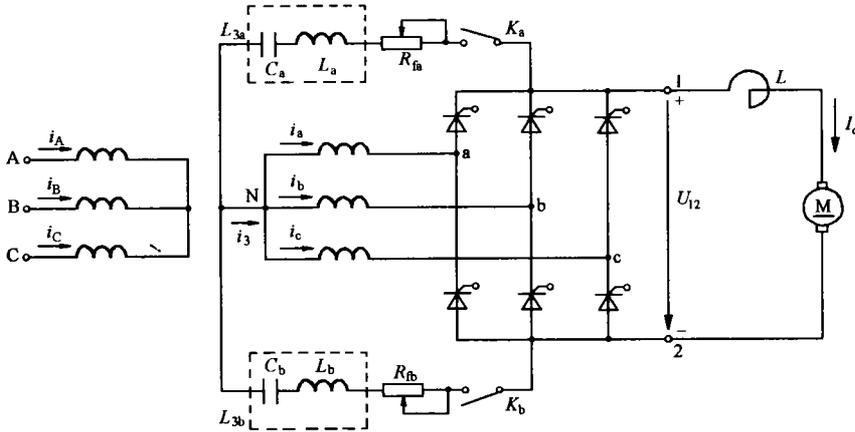


图3 改进谐波注入法的原理电路图

首先以变压器为Y/Y接线的系统为例来说明这种改进谐波注入法对波形的改善作用。

(1) 断开 K_a 、 K_b 开关时，两套滤波器未投，变压器原、副方电流均为矩形方波，如图2(a)、(b)波形所示。

(2) 合上 K_a 、 K_b 开关后，滤波器投运，此时，变压器副方电流 i_a 的表达式与式(1)同，而原方电流 i_A 则要根据磁势平衡原理及基尔霍夫电流定律(KCL)来推导得出：

$$N(i_A - i_a) = N(i_B - i_b) = N(i_C - i_c) \quad (7)$$

$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad (8)$$

式(7)中， N 为变压器匝数比。

由式(7)与式(8)得变压器原方电流：

$$i_A = (2i_a - i_b - i_c)/3 \quad (9)$$

代入已知值 i_a, i_b, i_c ，则原方电流 i_A 为：

$$i_A = \begin{cases} I_d + \frac{1}{3} i_3 & (0 \leq \omega t \leq \frac{2\pi}{3}) \\ -\frac{2}{3} i_3 & (\frac{2\pi}{3} < \omega t < \pi \text{ 或 } \frac{5\pi}{3} < \omega t < 2\pi) \\ -I_d + \frac{1}{3} i_3 & (\pi \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{3}) \end{cases} \quad (10)$$

i_A 电流波形如图2(d)所示。

为使原方电流波形更为平滑，减少 $\omega t = \frac{2\pi}{3}, \pi, 2\pi, \dots$ 等处的不连续性，可以调节电阻器 R_{fa}, R_{fb} 来改变注入电流的幅值 I_{3m} ，从而使：

$$\frac{1}{3} I_{3m} + \frac{2}{3} I_{3m} = I_d \quad I_{3m} = I_d$$

定义振幅比： $\rho = I_{3m}/I_d$ 。当 $\rho = 1$ 时，原方电流波形最平滑，此时波形改善效果最佳。

当振幅比 $\rho = 1$ 且变压器匝数比 $N = 1$ 时，副、

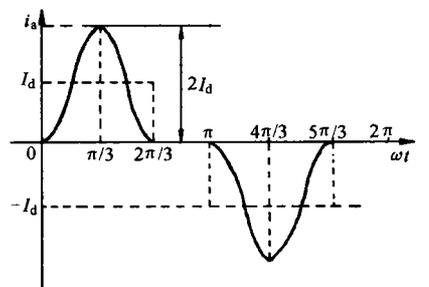
原方电流波形如图4所示：

比较图2(d)与图4(b)两波形，显而易见，采用改进谐波注入法所得的原方电流波形比传统谐波注入法的波形更接近于正弦波形。

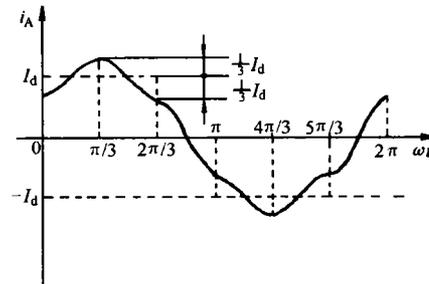
对于变压器为 Δ/Y 接线的系统而言，改进谐波注入法同样能起到较明显的波形改善效果。限于篇幅，这里不再赘述其原理。

3 实验结果

在实验室里，作者针对一个由 Δ/Y 型变压器及半控整流桥构成的运行系统进行了试验。实验结果与理论推导相符合。不仅在触发角 $\alpha = 0^\circ$ 时采用本文提出的方法可以改善原方电流的波形；而且，当改变触发角 α 为某个非零值（如 $\alpha = 28^\circ$ ）时，同样发现原方电流波形有了较强的改善。由此推断，该方法不只适用于不控整流桥，而且适用于半控或全控整流桥。这样，它的应用面比起传统的谐波注入法来就拓宽了许多。



(a) 副方电流



(b) 原方电流

图4 采用改进谐波注入法时变压器副、原方电流

试验时采用示波器显示变压器副、原方电流波形，所示波形与理论波形基本一致。

(下转 39 页)

过程中稍微不注意,就会发生错误而造成严重后果,应注意以下几个问题:

3.1 一般性试验

如绝缘强度试验,检查接地点(接地点仅能是b相)等项目,且必须按有关检验规程规定试验,不得漏项。

3.2 接线正确性的检查

可用交流电压表依次测量 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 三个线电压。若都是 100V,则说明互感器没有断保险或反接等错误。用相位表在电压互感器二次出线,各中转屏的端子排上、测量表的端子上等处分别检查 \dot{U}_{ab} 、 \dot{U}_{bc} 、 \dot{U}_{ca} 的相序及其相互之间的相位差,验证其接线组别和相序是否正确。如果测量中发现三个线电压不相等,且相差较大,并相位差也相差较大,说明互感器接线有错误或者有断线,断保险等故障。

3.3 互感器极性的试验

在施工安装调试中必须关注互感器极性并验证准确无误,绝不能以为出厂已做过试验且有极性标志,而省去不作,同时在检查过程中还要注意互感器的一次和二次标号“*”相对应,不能接反。如果测量一次和二次相角差为 0° (或 180°),则接线属于“12”(或“6”)形。另外,互感器安装面应水平,并列安装的互感器应排列整齐;同一组互感器的极性方向应一致。

3.4 二次线导通检查及端子标志的核对

从互感器二次端子箱到电度表、电压表等以及到保护、操作装置的接线盒之间的连接导线端子排上应分别设专门的标志。该标志应准确清晰,端子连线的检查可用万用表或干电池作成的通灯即可。

收稿日期:1998-06-02

王振胜 男,1956年生,工程师,主要从事变电检修工作。

ANALYSIS ON THE WRONG WIRING OF VOLTAGE TRANSFORMER V/V-12

Wang Zhensheng (The Repair and Testing Department of Yinchuan Power Supply Bureau, 750011, Yinchuan, China)

Abstract This paper uses the analysis method of vector diagram to prove the wrong wiring of voltage transformer V/V-12

Keywords VT V/V-12 Wiring Vector diagram

(上接 28 页)

4 结论

本文提出的方法是基于传统谐波注入法的原理之上并对其进行局部改进的,它不仅克服了传统滤波法的复杂性与高成本两大缺点,而且,它比传统谐波注入法又前进了一步,表现在如下几点:

- (1) 无需专门的谐波电流源提供注入电流;
- (2) 注入电流可以自动满足相位要求;
- (3) 通过电阻器的调节,可以改变注入电流的幅值,从而得到改善效果最佳的原方电流波形;
- (4) 不只适用于不控整流桥,还适用于半控和全控整流桥。

实验和理论都证明,这种改进的谐波注入法是一种可以有效抑制整流桥谐波电流的好方法。

实验和理论都证明,这种改进的谐波注入法是一种可以有效抑制整流桥谐波电流的好方法。

参考文献

- 1 Bird B. et al., Harmonic reduction in multiplex converters

A NOVEL METHOD FOR REDUCING HARMONIC CURRENT PRODUCED BY BRIDGE RECTIFIERS

Yu Xinmei, Wu Yaowu, Zhang Yongli, Xiong Xinyin (Huazhong University of Science and Technology Wuhan, 430074, China)

Cao Zhihuang, Liu Wenqing (The Power Authorities of Hunan Province).

Abstract An improved method based on the classical way of harmonic injection is presented in this paper. Feedback loops containing filters are connected between the bridge rectifier output and the star point of the transformer secondary. Thus the third-harmonic currents derived from the rectifier output will be injected into the transformer windings, and the waveshape of primary transformer current will be improved. The experimental results show that the new method is feasible and effective.

Keywords The harmonic injection method Harmonic current Filter

bytriple frequency current injection, Proc. Inst. Electr. Eng., 1969.

- 2 Sasaki H, Machida T. A new method to eliminate a. c. harmonic currents by magnetic flux compensation, Considerations on basic design. Trans. IEEE, 1971, PAS90, 2009 ~ 2019.
- 3 Baird J F, Arrillage J. Harmonic reduction in d. c. ripple reinjection. Proc. IEE, 1980 C, 127, 294 ~ 303.
- 4 Harmonic current reduction in industrial distribution networks. Electric Power System Research, 1993, 27, 117 ~ 122.

收稿日期:1998-08-18

余欣梅 女,1978年生,硕士研究生,从事电力系统规划研究。

吴耀武 男,1963年生,副教授,从事电力系统自动化教学和科研工作。

曹志煌 男,1965年生,高级工程师,从事电力系统及自动化的科研工作。