

文章编号:1671-251X(2013)08-0060-05

DOI:

靳明水,赵龙章,邵现京.一种改进的谐波电流检测方法[J].工矿自动化,2013,39(8):60-64.

一种改进的谐波电流检测方法

靳明水, 赵龙章, 邵现京

(南京工业大学 自动化与电气工程学院, 江苏 南京 210009)

摘要:针对传统的 i_p-i_q 谐波电流检测方法采用锁相环虽然能得到三相电流的基频和初相角,但当电网电压发生畸变时则存在检测精度较低、电路复杂的问题,提出了一种改进的无锁相环的谐波电流检测方法;详细分析了当电网电压发生畸变时,在三相电流对称和不对称的情况下该改进方法的检测原理,并给出了该改进方法应用于单相电路谐波电流检测的实现。实验结果表明,该改进方法能够准确、实时地检测谐波电流,且算法简单。

关键词:有源电力滤波器;谐波电流检测;锁相环;对称分量法

中图分类号:TD608

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

An improved method of harmonic current detection

JIN Ming-shui, ZHAO Long-zhang, SHAO Xian-jing

(College of Automation and Electrical Engineering, Nanjing University of Technology,
Nanjing 210009, China)

Abstract: In view of problems that traditional i_p-i_q harmonic current detection method can get fundamental frequency and initial phase angle of three-phase current by using PLL, but the method has low detection precision and complex circuit when power voltage occurs distortion, the paper proposed an improved method of harmonic current detection without PLL. It detailedly analyzed detection principle of the improved method under conditions of symmetric and asymmetric three-phase current when power voltage occurred distortion, and gave implementation of the improved method applied in harmonic current detection of single-circuit. The experiment results show that the improved method can detect harmonic current accurately and real-timely and has simple algorithm.

Key words: active power filter; harmonic current detection; PLL; symmetric component method

0 引言

目前,解决日益严重的谐波污染问题的主要途径是采用有源电力滤波器 APF (Active Power Filter)。如何准确、实时地检测谐波分量是决定有源电力滤波器补偿性能的重要环节^[1]。传统的 i_p-i_q 谐波电流检测法利用锁相环虽然能得到三相电流的基频和初相角^[2],但当电网电压发生畸变时往往会影响检测精度,而且其设计和调试比较复杂。

鉴此,本文基于传统的 i_p-i_q 谐波电流检测法,提出一种改进的谐波电流检测方法,该方法采用无锁相环技术^[3],解决了由于三相电流不对称导致的电流相位和正序电流相位不同而产生的误差问题,同时该方法还可扩展至单相谐波电流检测中。

1 改进的谐波电流检测方法原理

1.1 三相谐波电流检测

1.1.1 三相电流对称的情况

收稿日期:2013-04-25。

基金项目:浙江省重大科技专项优先主题重大项目(2008C13024-1)。

作者简介:靳明水(1985—),男,安徽合肥人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统、有源电力滤波器,E-mail:jms_njut@163.com。

当电网电压有畸变时,它们可能是对称的,也可能不是对称的。首先假设畸变的电网电压是对称的^[4],即

$$\begin{cases} e_a = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} E_n \sin(n\omega t + \phi_n) \\ e_b = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} E_n \sin[n(\omega t - 2\pi/3) + \phi_n] \\ e_c = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} E_n \sin[n(\omega t + 2\pi/3) + \phi_n] \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} i_a = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \\ i_b = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin[n(\omega t - 2\pi/3) + \varphi_n] \\ i_c = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin[n(\omega t + 2\pi/3) + \varphi_n] \end{cases} \quad (2)$$

式中: e_a, e_b, e_c 为三相电压; i_a, i_b, i_c 为三相电流; E_n, ϕ_n 为各次电压有效值和初相角; ω 为电源角频率; I_n, φ_n 为各次电流有效值和初相角。

在三相电流对称情况下,三相电流中的任何相电流都包含了上述 $E_n, \phi_n, I_n, \varphi_n$ 信息,所以只需要处理某一相电流即可。以 A 相为检测相,改进的谐波电流检测方法原理如图 1 所示。

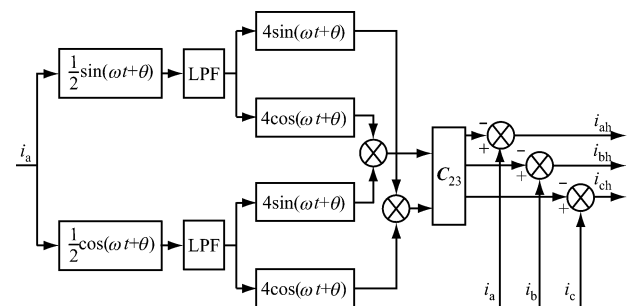


图 1 三相电流对称情况下改进的谐波电流检测方法原理

将 A 相电流 i_a 乘以 $\frac{1}{2} \sin(\omega t + \theta)$ 和 $\frac{1}{2} \cos(\omega t + \theta)$ (θ 为正余弦信号的相位角),从而得到

$$-\frac{\sqrt{2}}{4} \{ I_1 [\cos(2\omega t + \varphi_1 + \theta) - \cos(\varphi_1 - \theta) + \dots] \} \quad (3)$$

$$-\frac{\sqrt{2}}{4} \{ I_1 [\sin(2\omega t + \varphi_1 + \theta) - \sin(\varphi_1 - \theta) + \dots] \} \quad (4)$$

式(3)、式(4)经过低通滤波器 LPF,得到直流分量

$$\frac{\sqrt{2}}{4} I_1 \cos(\varphi_1 - \theta) \quad (5)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{4} I_1 \sin(\varphi_1 - \theta) \quad (6)$$

将式(5)、式(6)分别乘以 $4\sin(\omega t + \theta)$ 和 $4\cos(\omega t + \theta)$ 后,得到

$$\frac{\sqrt{2}}{2} I_1 [\sin(\omega t + \varphi_1) + \sin(\omega t + 2\theta - \varphi_1)] \quad (7)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} I_1 [\sin(\omega t + \varphi_1) - \sin(\omega t + 2\theta - \varphi_1)] \quad (8)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} I_1 [\cos(\omega t + \varphi_1) + \cos(\omega t + 2\theta - \varphi_1)] \quad (9)$$

$$\frac{\sqrt{2}}{2} I_1 [\cos(\omega t + \varphi_1) - \cos(\omega t + 2\theta - \varphi_1)] \quad (10)$$

将式(7)与式(8)相加,式(9)与式(10)相加,得

$$\begin{bmatrix} \sqrt{2} I_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \\ \sqrt{2} I_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \end{bmatrix} \quad (11)$$

将式(11)乘以 C_{23} 进行反变换,从而得到三相基波电流为

$$\begin{bmatrix} i_{af} \\ i_{bf} \\ i_{cf} \end{bmatrix} = C_{23} \begin{bmatrix} \sqrt{2} I_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \\ \sqrt{2} I_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2} I_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \\ \sqrt{2} I_1 \sin(\omega t - 2\pi/3 + \varphi_1) \\ \sqrt{2} I_1 \sin(\omega t + 2\pi/3 + \varphi_1) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$C_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \end{bmatrix}$$

将三相电流与三相基波电流相减即可得到三相谐波电流 i_{ah}, i_{bh}, i_{ch} 。

从以上运算可看出,正余弦信号的相位角 θ 对谐波电流的检测没有任何影响。在实际的电网电力系统中,希望经过有源电力滤波器补偿后的信号频率是基频,并且检测出的基波信号的频率也基本是基频, ω 可直接确定^[5]。

1.1.2 三相电流不对称的情况

以上结论是在三相电流发生畸变但是仍然对称的情况下得出的。当三相电流不对称时,A 相电流的初相角与 A 相正序电流的初相角存在相位差^[6]。为解决该问题,首先运用对称分量法取出 A 相电流的正序分量,从而获得准确的相位信息,然后对正序电流进行以上对称情况下的计算。对称分量法的变换矩阵为

$$\begin{bmatrix} i_{a(1)} \\ i_{a(2)} \\ i_{a(0)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (13)$$

式中: $i_{a(1)}, i_{a(2)}, i_{a(0)}$ 分别为正序电流分量、负序电流

分量和零序电流分量;运算符 $a=e^{j120^\circ}$, $a^2=e^{j240^\circ}$ 。

当负载突然变化时,负载电流将发生突变,如果考虑 LPF 的延时作用,谐波电流检测电路得到的基波电流将出现一个缓慢上升或下降的过程,在这过程中检测出的谐波电流将比实际值要大或小很多,即在一个很短时间内谐波电流检测结果将会有一定的误差。在这暂态过程中,谐波电流检测电路输出

的谐波电流中含有部分与基波电流同相位的电流成分。据此,可以引入一个反馈环节将这一部分基波电流以一定的增益反馈回来,从而实现对基波电流的补偿,减小负载变化过程中 LPF 的延时作用。三相电流不对称情况下改进的谐波电流检测方法原理如图 2 所示(图中 A 为增益)。

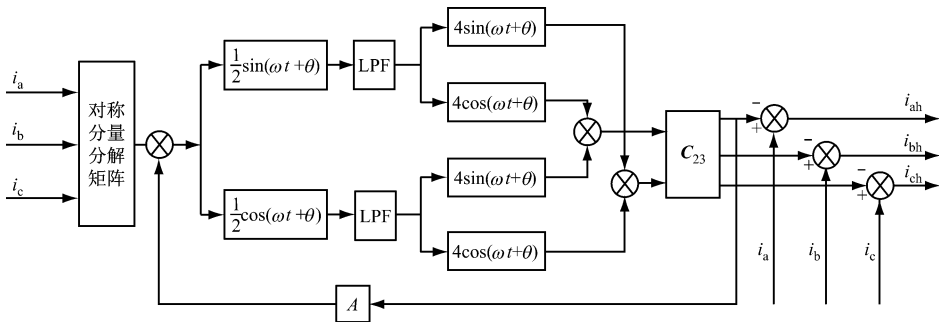


图 2 三相电流不对称情况下改进的谐波电流检测方法原理

1.2 扩展至单相谐波检测

改进的谐波电流检测方法的另一个优点是易于由三相电路扩展至单相电路^[7],不需要将单相先扩展为三相再利用传统的 i_p-i_q 谐波电流检测法检测出单相电路的谐波电流。与三相谐波电流检测电路相比,单相谐波电流检测电路省去了正序电流分量的求取、 C_{23} 变换电流及基波余弦的求取,而且能获得与改进的谐波电流检测方法一样的检测效果。其检测电路原理如图 3 所示。

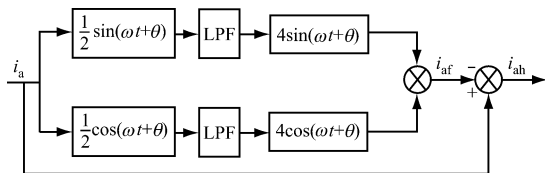


图 3 单相谐波电流检测电路原理

2 实验结果与分析

基于 Matlab/Simulink 电力系统仿真元件库对改进谐波电流检测方法进行验证。电网参数:电网电压有效值为 220 V,电网频率为 50 Hz,负载电阻为 0.1 kΩ。以不可控整流电路作为谐波源,LPF 的截止频率为 30 Hz,加入谐波源后的电流波形如图 4 所示,从中可看出,电流波形含有很多谐波分量。

2.1 三相电流对称情况下的实验结果

当畸变的三相电流对称时,改进的谐波电流检测方法仿真模型如图 5 所示,并采用该模型对图 4 中的电流波形进行谐波检测,结果如图 6、图 7

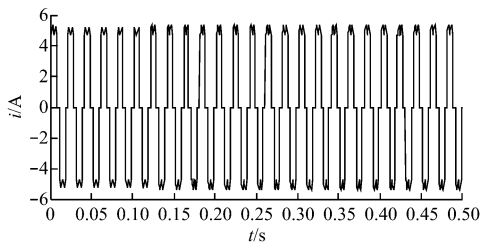


图 4 加入谐波源后的电流波形

所示。从图 6 可看出,由于 LPF 的作用,改进的谐波电流检测方法存在大约半个周期的延时,半个周期后能得到准确的基波电流波形。从图 7 可看出,在不需要检测无功电流的场合下,改进的谐波电流检测方法能够在电网电压畸变的情况下准确地检测出谐波电流。

2.2 三相电流不对称情况下的实验结果

当畸变的三相电流不对称时,改进的谐波电流检测方法仿真模型如图 8 所示,并采用该模型对图 4 中的电流波形进行谐波检测,结果如图 9、图 10 所示。从图 9 可看出,由于 LPF 的作用,存在不到半个周期的延时作用,图 9 的检测效果好于图 6。

2.3 单相谐波电流检测的实验结果

同样以三相不可控整流电路作为谐波源,单相谐波检测电路中 LPF 的截止频率为 25 Hz,其仿真模型如图 11 所示,并采用该模型对图 4 中的电流波形进行谐波检测,结果如图 12、图 13 所示。

从图 12 可看出,单相谐波电流检测电路经过一定的延时后能够得到基波电流波形。从图 13 可看

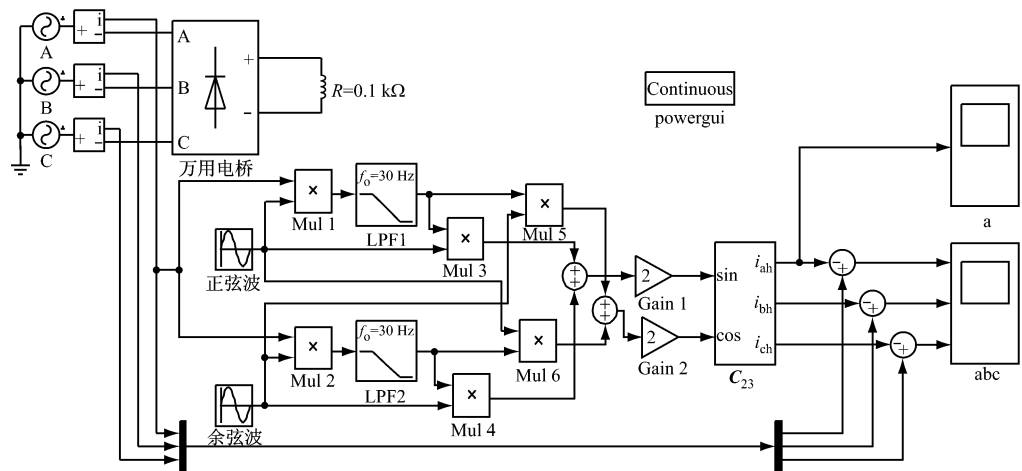


图 5 三相电流对称情况下改进的谐波电流检测方法仿真模型

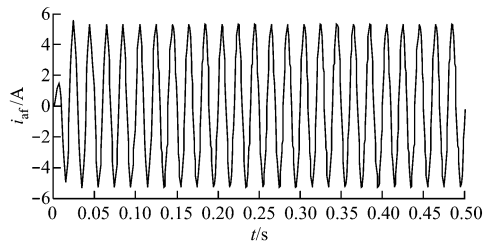


图 6 三相电流对称情况下的基波电流波形

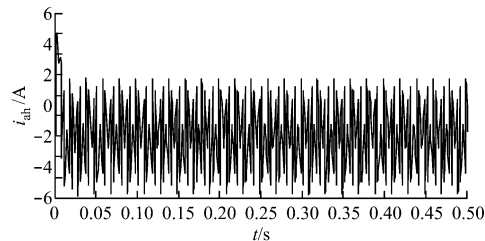


图 7 三相电流对称情况下的谐波电流波形

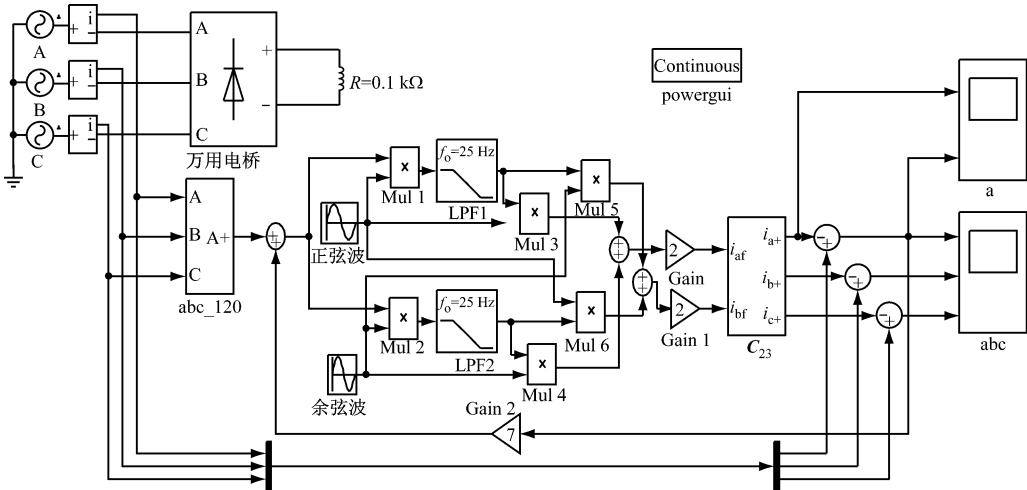


图 8 三相电流不对称情况下改进的谐波电流检测方法仿真模型

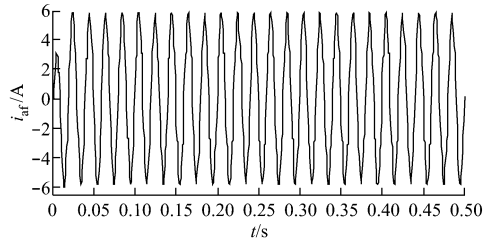


图 9 三相电流不对称情况下的基波电流波形

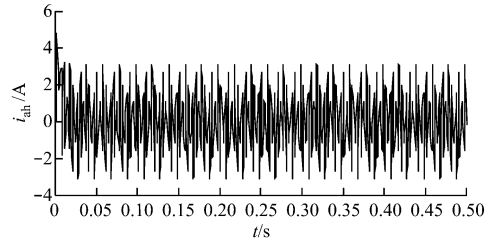


图 10 三相电流不对称情况下的谐波电流波形

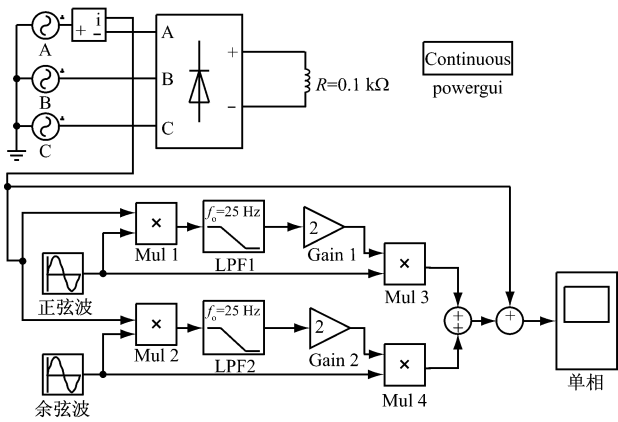


图 11 单相谐波电流检测电路仿真模型

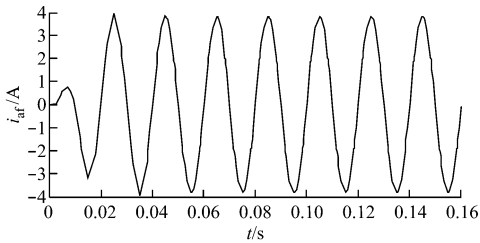


图 12 单相谐波电流检测电路的基波电流波形

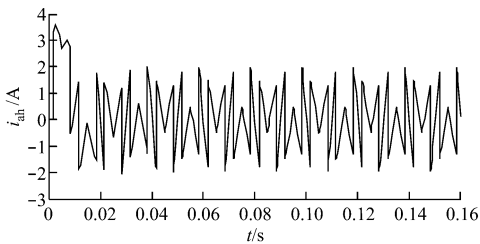


图 13 单相谐波电流检测电路的谐波电流波形

出,单相谐波电流检测电路能够准确地检测出谐波电流。

3 结语

改进的谐波电流检测方法省去了锁相环,通过

对称分量法取出三相电流的正序分量,解决了由于三相电流不对称导致的电流相位和正序电流相位不同而产生的误差问题,并且很容易扩至单相电路的谐波检测。在电网电压畸变的情况下,分别对三相电流对称电路、三相电流不对称电路和单相电路的谐波电流进行了检测,结果表明,该方法能有效地检测出谐波电流。三相电流不对称情况下的改进的谐波电流检测方法比对称情况下的改进的谐波电流检测方法多了一个正序分量的提取环节和一个比例反馈环节,虽然能够减少 LPF 的延时作用,但是由于属于闭环控制,如果反馈增益太大可能导致谐波检测电路的不稳定性,所以要根据实际需要设定反馈增益。

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.

[2] 戴列峰. 并联型电能质量补偿装置的研究与实现[D]. 南京:东南大学,2003.

[3] 王洋,盛吉. 电网谐波和无功电流检测的一种新方法[J]. 电测与仪表,2011,48(2):10-14.

[4] 罗安. 电网谐波治理和无功补偿技术及装备[M]. 北京:中国电力出版社,2006.

[5] 丁菊霞,张华俊,张秀峰. 一种改进的无锁相环三相电路谐波电流检测方法[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(24):42-45.

[6] 周林,孟婧,刘强,等. 基于瞬时无功理论的谐波和无功电流检测算法[J]. 高电压技术,2009,35(2):385-392.

[7] 杜少武,吴义敏,黄海宏. 一种基于 DSP 的单相谐波检测方法的研究[J]. 电力电子技术,2012,46(2):80-82.