改良形移動平均デジタルフィルタを用いた瞬時高調波補償電流検出遅れ低減法

正 員 西田克美 (山口大学)

正 員 中岡睦雄 (山口大学)

A Novel Reduction Method of Time Delay Existing in Detected Active Component of Harmonic Instantaneous Compensating Current Vector by Advanced Moving Average-Typed Digital Filter

K. Nishida, Student Member and M. Nakaoka, Member (Yamaguchi University)

Abstract- The detection of instantaneous compensating currents without delay is required in order to improve the transient response of an Active Power Filter (APF). The advanced method for reducing the delay of detecting the active component of compensating current vector is proposed in this paper. The necessary moving average value is estimated by the application of the quadratic approximation of the 3 moving average values detected in the past. The experimental results obtained from a three-phase current-source type APF are also illustrated herein. It is proved that the transient oscillations of the DC side current of APF as well as source currents are controlled effectively at the same time.

Index terms : Moving average, Detection delay, Active Power Filter, Improvement of a transient response

キーワード：移動平均，検出の遅れ，アクティブパワーフィルタ，過渡応答改善

1. まえがき

アクティブパワーフィルタ(APF)の実現のためには、補償電流制御系の目標値である高調波電流および無効電流を、負荷電流から正確に検出することが不可欠である。高調波電流を検出する方法として、一般的に負荷電流瞬時空間ベクトルのd軸成分からローパスフィルタ(LPF)によって濾過されたその直流分を差し引く方法が採用されているが、過渡時の応答が遅いという問題がある。LPFを移動平均の手法を基本としたデジタルフィルタに置き換えて検出遅れを改善する方法が提案されているが⁽¹⁾、やはり移動平均区間の1/2の遅れが伴う。本論文ではわずかの数値処理の追加だけで移動平均LPFの過渡時における応答を改善する一般的な新手法を提案している。

2. 改良形移動平均

図1は改良型移動平均の原理である。任意のサンプリング点nにおける負荷電流瞬時空間ベクトル有効分の移動平均値は $\frac{1}{60} \sum_{j=n-59}^n i_{ld}(j)$ とし、商用電源半周期間の60個のサンプリングデータから算出する。この場合サンプリング周期は電気角で3 degである。半周期の期間で移動平均値を求めておくと、三相負荷電流に不平衡があり、その瞬時空間ベクトル有効分に基本波の二倍の周波数の脈動成分が含まれている場合でも正しい平均値が求められる。

現サンプリング時点kで算出された移動平均値 y_1 は、サンプリング点k-59からkまでのデータの平均値であり、 y_1 はこの期間の終端kではなく、中点k-30における移動平均値を示している。同様に y_2 は y_1 より20サンプリング前、 y_3 はさらに20サンプリング前に算出された移動平均値であり、各サンプリング期間の中点k-50、およびk-70にお

ける移動平均値をそれぞれ示している。

次に、現サンプリング時点kにおける移動平均値 y_0 は、30サンプリング周期後までたまたないと、正確な値は判明しないが、 y_1, y_2 および y_3 を用いた2次近似の手法により以下のように推測をする：

図1. 改良形移動平均の原理

Fig.1 Principle of advanced moving average low pass filter

3. 三相電流形APF

図2に、直流側に誘導性負荷が接続された三相ダイオードブリッジ整流回路が発生する瞬時の高調波および無効電流を、シャント形に接続した三相電流形PWMコンバータをAPFとして適用して補償する回路を示す⁽²⁾。電流形APFが出力すべき補償電流 i_c の目標値 i_c^* は、以下のようにd-q成分毎に導出される。

$$\begin{aligned} i_{cd}^*(k) &= y_0 - i_{ld}(k) \\ i_{cq}^*(k) &= -i_{lq}(k) \end{aligned} \quad \cdots \cdots (2)$$

(2)式を図3に示す。ここで $i_l (= i_{ld} + j i_{lq})$ は、負荷電流の瞬時空間ベクトルを電源の同期回転座標面上で表したものである。一方、有限時間整定器は i_c が目標値に一致するように、コンバータ入力電流 i_p の空間ベクトル変調を行う。

図2. 三相電流形APF

Fig.2 Three-phase current-source APF

図3 負荷電流と補償電流目標値の瞬時空間ベクトル i_l , i_c^*

Fig.3 Instantaneous Space Vector i_l and i_c^*

4. 実験結果と検討

図4(a)はダイオードブリッジ直流側の抵抗が、ステップ上に变化した場合の、瞬時負荷電流ベクトルの有効分 i_{ld} 、改良形移動平均値 y_0 、補償電流の有効分 i_{cd} および電源電流の有効分 i_{sd} を示している。一方図4.(b)には、移動平均が y_0 ではなく、従来の y_1 とした場合の応答を示している。

改良形にするとその移動平均 y_0 は i_{ld} の直流成分とよく一致し検出遅れ時間が低減されることが分かる。また、APFの直流側電流 i_{dc} の応答をみると、改良形ではほぼ一定に保たれているので、DC-リアクトルの容量を低減しても差し支えないこともわかる。

図5はu相電流を取り上げて、その高調波負荷電流、補償電流、電源電流の波形を示している。有限時間整定制御器と改良形移動平均法の効果で、過渡時の電流波形の乱れがほとんど観測されないことが分かる。

5. あとがき

アクティブフィルタの高調波補償電流検出に用いられる移動平均ローパスフィルタの過渡特性を改善する新手法について提案した。実験によって過渡時の電源電流の振動が抑制されるばかりでなく、APF直流側電流の変動も低減できることを確認し、その有効性を明らかにした。

(a) Advanced moving average

(b) Conventional moving average

図4. 瞬時電流ベクトル有効分の過渡応答

Fig.4 Transient responses of active current components

upper: i_{lu} (負荷電流), center: i_{cu} (補償電流), bottom: i_{su} (電源電流)

図5. 改良形移動平均法を使用したときの誘導性負荷におけるu相電流の過渡応答 (5[A/div])

Fig.5 Transient responses of u-phase current to a step change on the resistance component in an inductive load (平成14年2月20日受付, 平成14年4月15日再受付)

- 文 献
- [1] 大八木, 鳥井, 植田: 「移動平均HPPを用いたアクティブフィルタの逆相電流補償」, 電全大, No.4-158, p.1457-1458 (2001年3月)
 - [2] K.Nishida, Y.Konishi, M.Nakaoka: 'Novel Current Control Scheme with Deadbeat Algorithm and Adaptive Line Enhancer for Three-Phase Current-Source Active Power Filter', Proceedings of IEEE-Industrial Applications Society (IAS), October 2001