外乱オブザーバを用いた一括補償型アクティブフィルタの高調波補償特性

学生員 浜 崎 真 一 (横浜国立大学)

正 員 河 村 篤 男 (横浜国立大学)

Disturbance-Observer based Compensation Characteristic of the Active Filter detecting the Source Current Harmonics

Shinichi Hamasaki, Student Member, Atsuo Kawamura, Member (Yokohama National University)

In case of the harmonic compensation based on the detection of the source-current, a problem of the resonance between the AF and an LC filter often arises if an LC filter is connected parallel to the AF. Thus the disturbance observer is introduced to solve this problem. By the estimation of the hamonics disturbance using the proposed disturbance observer, the compensation characteristics of the AF is improved and the resonant current is suppressed. The theoretical analysis and the simulation results are presented in this paper.

キーワード：電源電流検出、共振、外乱オブザーバ

1. はじめに

近年、問題となっている高調波を補償する装置として、アクティブフィルタ（以下、AFと呼ぶ）の研究・開発が進められている。AFは高調波除去用のLCフィルタ（以下、LCFと呼ぶ）と並列接続された時に、共振現象の発生によりAFが悪影響を及ぼす可能性のあることが知られている。

本論文では、複数負荷に対して一括補償可能である電源側電流検出方式によるAFにおいて、LCFが並列接続された時に発生する現象について考察し、その問題点を解決するために、外乱オブザーバを使用したAFを提案し、それにより得られた補償効果について報告する。

2. 共振・反共振現象の考察

〈2・1〉 LCFがない時 系統と負荷（LCFを含む）の間にAFが接続された状態を単相の等価回路で表すと図1のようになる。

図1 LCフィルタ付き単相等価回路

Fig. 1. Equivalent circuit(LCfilter exists)

V_S : 電源電圧
 L_S, r_s : 系統パラメータ
 L_l, R_l : 負荷パラメータ
 L_f, C_f, r_f : LCフィルタパラメータ
 I_0 : 負荷側の等価電流源 (高調波発生源)

AFの補償電流 I_C は、電源側電流 I_S の高調波成分 I_{Sh} (各高調波成分には添字 h をつける) を検出して、AFの指

令値 $I_{Sh}^* = 0$ として制御すると、図1の回路から、AFの時間遅れ及び、高調波検出を考慮したAFの制御システムのブロック図は図2のようなP制御で表される。

この制御法ではLCFがない状態であれば、AFのゲイン K を大きくすることにより高調波を補償できる。⁽¹⁾

図2 AF制御ブロック図

Fig. 2. Block diagram of AF

Z_S : 系統インピーダンス

Z_L : LCFを含む全ての負荷インピーダンス

〈2・2〉 LCFがある時 LCFがある場合の共振現象を周波数特性より検証する。ここで、高調波発生源 I_0 の入力に対する出力を電源側電流 I_S としての伝達関数の振幅特性を増幅度 A として定義しておく。

例として以下のようなパラメータの回路の場合について考える。なお、回路のパラメータは負荷 $2KVA$ を $1pu$ とした時、系統インピーダンスが $0.1pu$ 、高調波除去用LCFは共振周波数 $250Hz$ (5次)、 Q 値 50 となる場合である。

表1 パラメータ表

Table 1. Parameters table

L_S	2.55(mH)	r_s	1.60(Ω)
L_l	38.2(mH)	R_l	16.0(Ω)
L_f	4.24(μ H)	C_f	95.5(μ F)
r_f	0.13(m Ω)	K	10
τ	200(μ sec)	基本周波数 f	50Hz

この状態で、AFの有無による増幅度 A の周波数特性の比較をすると、図3のようになる。

図3 周波数特性の比較 (下図は上図の拡大図)

Fig. 3. Comparison of frequency characteristics

AF が接続されていない場合、LCF の次数と同じ 5 次の高調波は大きく減衰するが、システムの L 成分と LCF の LC 成分により反共振となる 3.9 次 (195Hz) の高調波は系統-LCF 間で増大する。この状態で AF を接続すると、反共振周波数を含むほとんど全ての周波数帯で、電源側高調波をほぼ 0 に減衰させることができる。しかし、AF の接続により反共振点が 4.8 次 (240Hz) へ移動し、その点において元の高調波より増加する。これは、この周波数において AF が悪影響を及ぼすことを意味する。

3. 外乱オブザーバ

前節の周波数特性を改善するために、外乱オブザーバを用いた方式を提案する。

図 2 から高調波発生源 I_0 はシステムに対して外乱とみなすことができる。そこで、この I_0 を推定して相殺する外乱オブザーバを設計するとブロック図は図 4 のようになる。

図4 外乱オブザーバを含むブロック図

Fig. 4. Block diagram including disturbance-observer

この方式であれば、外乱オブザーバの出力を逆位相にして AF 指令値に加えることにより、 I_0 を補償し、かつ、AF の時間遅れ分も補償可能となる。

この方式の場合と、P 制御のみの場合の周波数特性を比較すると図 5 のようになる。提案する方式は LCF による反共振の影響が少なくなり、周波数帯によらずに高調波を補償でき、全体の補償効果も P 制御のみの時より向上する。

4. シミュレーション

周波数特性が正しいことを確認するため、図 1 の回路、表 1 のパラメータを用いて、シミュレーションを行なった。

図 6 で示されるように、反共振以外の周波数では P 制御のみでも高調波を補償できるが、オブザーバを加えることにより補償効果は向上する。また反共振周波数となる 4.8 次周波数では、図 7 のように P 制御のみでは高調波が増加するのに対し、オブザーバを用いると高調波を補償できる。

これらの結果から、図 2、図 5 の周波数特性の妥当性が

図5 周波数特性の比較 (下図は上図の拡大図)

Fig. 5. Comparison of frequency characteristics

図6 電源側高調波 I_{Sh} (I_{0h} が 3, 5, 7, 11 次高調波)

Fig. 6. Harmonics current I_{Sh} (I_{0h} including 3, 5, 7, 11th order harmonic)

図7 電源側高調波 I_{Sh} (I_{0h} が 4.8 次高調波のみ)

Fig. 7. Harmonics current I_{Sh} (I_{0h} including 4.8th order harmonic)

示され、かつ、外乱オブザーバの有効性が確認できる。

5. まとめ

本論文では、AF と LCF の並列接続時の反共振現象による問題点を周波数特性により解析し、その問題点を解決するための一方法として外乱オブザーバを用いた AF を提案し、理論計算、及びシミュレーションにより、提案した方式は補償効果が向上することを確認した。

パラメータ変動に対する感度の検討、及び実験による確認は、稿を改めて報告する予定である。

(平成 11 年 5 月 14 日受付)

文 献

- (1) 浜崎, 河村: 「並列型アクティブフィルタの電源電流検出による高調波補償」, 平成 10 年電気学会全国大会講演論文集, No. 825, 1998.
- (2) 浜崎, 河村, 他: 「並列型アクティブフィルタの電源電流検出による高調波補償の効果」, 平成 11 年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集, No. 235, 1998.
- (3) 木幡, 赤木, 他: 「並列形アクティブフィルタと直列形アクティブフィルタの補償特性の検討」, 電学論 D, 平 8 年 3 号, pp. 287~293, 1996.
- (4) 古田, 佐野: 「基礎システム理論」, コロナ社, 1978.

浜崎 真一 (学生員) 1975 年 10 月 17 日生。現在、横浜国立大学大学院工学研究科博士課程前期在学中。