無損失共振器を用いたアクティブフィルタの 補償電流指令値発生方式

学生員 杉 田 貴 紀 (東工大)
 学生員 川 合 純 一 (東工大)
 正 員 佐 藤 之 彦 (東工大)
 正 員 片 岡 昭 雄 (東工大)

A New Method of Generating Current Reference for Active Power Filters Employing Digital Loss-Less Resonator

Takanori Sugita, Student Member, Jun-ichi Kawai, Student Member, Yukihiro Sato, Member,
 Teruo Kataoka, Member (Tokyo Institute of Technology)

キーワード：アクティブフィルタ, 無損失共振器

1. はじめに

近年、高調波の問題の一解決策としてアクティブフィルタ (AF) の実用化が進んでいる⁽¹⁾。AF で高調波電流補償を行う場合、補償対象の高調波を検出して補償電流指令値を発生する必要がある。また、AF の交流側にスイッチングリプル除去用の LC フィルタが接続される場合や、主回路の制御遅れが無視できない場合は、これらを反映した補償電流指令値の補正が必要となる。本論文では、この補償電流指令値の発生と補正を一括して行なえる、無損失共振器を用いた新しい補償電流指令値発生方式を提案する。

2. 提案する制御方式

図1に本稿で検討するシステムの構成を示す。電源に高調波発生源と AF が並列に接続されている場合を想定している。この構成は一般的な電源電流検出方式の AF と同一であり、電源電流 i_s を検出し、これに含まれる高調波成分を 0 とするような電流指令値 i_c^* を発生する。

電源電流検出方式の AF では、検出した電源電流 i_s から補償対象高調波成分を抽出し、それに帰還ゲインを乗じて補償電流指令値を発生する。この場合、帰還ゲインを大きくするほど補償率は高くなり、理論的には帰還ゲインを無限大とすることで完全な高調波補償が可能となる。しかし実際には安定性の問題から帰還ゲインには上限があり、電源電流検出方式の AF では完全な高調波補償はでき

図1 システムの構成
 Fig.1. Configuration of proposed system.

図2 無損失共振器を用いた補償電流指令値発生部
 Fig.2. Reference signal generator of compensating current.

ない。これに対し本稿で提案する方式では、補償対象高調波の周波数のみで帰還ゲインを無限大とすることで、安定性を損なわずに定常的には完全な高調波補償が可能である。図2に提案する補償電流指令値発生部を示す。4個のブロックはそれぞれが無損失共振器であり、その共振周波数は補償対象高調波 (本稿では 5, 7, 11, 13 次の各高調波) の周波数と一致させる。各無損失共振器の伝達関数 G_{res} は次式で与えられる。

$$G_{res}(s) = k_r \frac{-\sin \theta_r + \cos \theta_r (s/\omega_r)}{s^2/\omega_r^2 + 1} \quad (1)$$

ここで、 ω_r は共振角周波数、 k_r は無損失共振器のゲイン係数、 θ_r は G_{res} の共振角周波数 ω_r での位相角に相当し無損失共振器の位相特性を調整するためのパラメータである。共振角周波数 ω_r ではこの G_{res} は無限大となり、フィードバック系の一巡伝達関数が無限大となるため、主回路の制御遅れや交流側 LC フィルタの影響が無視できない場合でも、系が安定であれば i_s に含まれる補償対象高調波成分を定常的には完全に補償できる。また、補償特性を損なうことなく、 k_r を非常に小さくすることが可能で、安定性に影響する高い周波数で帰還ゲインを小さくすることができ、同時に検出値に含まれる基本波周波数成分の影響の除去も可能となる。なお、試作装置ではこの無損失共振器を DSP を用いて実現している⁽²⁾。

図3 実験結果 (各部の電流波形)
Fig.3. Experimental waveforms of ac side currents.

3. 実験結果

提案方式の妥当性を確認するために、電流形PWM変換器(キャリア周波数2.4kHz)を用いて実験的検討を行った。この電流形PWM変換器の交流側にはLCフィルタが接続しており、共振を抑制するためにLCフィルタの状態帰還制御を適用した⁽³⁾。補償対象としては、チョークインプット形ダイオードブリッジ整流回路を接続した。各回路定数や無損失共振器の定数はシミュレーションをもとに決定した。図3は各部の電流波形であり、方形波状の負荷電流 i_l に対し、電源電流 i_s はかなり正弦波に近づいている。また図4は電源電流 i_s の高調波成分の測定結果である。これよりAFによって、補償対象である5, 7, 11, 13次の各高調波がほぼ完全に補償されていることがわかる。電源電流 i_s の全高調波ひずみ率は27.02%から7.61%と大幅に改善された。

なお、試作装置のLCフィルタの共振周波数は460[Hz]であり、補償対象の5~13次高調波の周波数ではLCフィルタの影響により電流指令値 i_c^* に対して補償電流 i_c の位相は大きく変化する⁽²⁾。図3, 4は、このような場合にも良好な高調波電流補償が実現できることを示している。

4. まとめ

本稿では、電源電流検出方式のAFに無損失共振器を用いてフィードバック制御を行う方法を提案し、その基本的な動作を実験的に確認した。提案方式は、PWM変換器の制御遅れ時間が大きい場合やLCフィルタの影響を無視できない場合にも、定常的には完全な高調波電流補償が可能である。今後、過渡特性の評価および改善や、補償対象の高調波電流がPWM変換器の電流制御能力を超えた場合の制御法について検討する予定である。

(平成9年4月4日受付, 平成9年5月9日再受付)

文 献

- (1) 電力用アクティブフィルタ調査専門委員会: 「電力用アクティブフィルタ技術」, 電気学会技術報告, (II部) 第425号 (平4)
- (2) 杉田・根津・佐藤・片岡: 「アクティブフィルタ機能を有する電流形PWM整流回路」, 電気学会研究会資料, SPC-96-107 (平8)
- (3) Y. Sato, T. Kataoka: "A Current-Type PWM Rectifier with Active Damping Function", *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, Vol.32, No.3, pp.533-541 (1996)

(a) アクティブフィルタを動作させない場合
(a) Without proposed active filter.

(b) アクティブフィルタを動作させた場合
(b) With proposed active filter.

図4 実験結果 (電源電流の高調波成分)
Fig.4. Experimental results of harmonic components in total input current.

杉田 貴紀

(学生員) 1972年4月22日生。95年3月東京工業大学工学部電気・電子工学科卒業。97年3月同大学大学院理工学研究科修士課程(電気・電子工学専攻)修了。現在(株)明電舎勤務。在学中は、アクティブフィルタ機能を有する電流形PWM整流回路の制御法に関する研究に従事。

川合 純一

(学生員) 1973年12月7日生。97年3月東京工業大学工学部電気・電子工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科修士課程(電気・電子工学専攻)在学。電流形PWM整流回路に関する研究に従事。

佐藤 之彦

(正員) 1963年9月3日生。86年3月東京工業大学工学部電気・電子工学科卒業。88年3月同大学大学院理工学研究科修士課程(電気・電子工学専攻)修了。同年4月同大学工学部電気・電子工学科助手、96年4月同助教授、現在に至る。この間、主に半導体電力変換器の解析と制御法に関する研究に従事。工学博士。IEEE Member。

片岡 昭雄

(正員) 1960年3月東京工業大学理工学部電気工学科卒業。65年3月同大学大学院博士課程(電気工学専攻)修了。工学博士。同年4月同大学理工学部電気工学科助手。その後助教授を経て、同大学工学部電気・電子工学科教授。電機変換工学講座担当。97年3月停年退職。同大学名誉教授。同年4月より東京電機大学工学部電気工学科教授。IEEE Fellow。