配電用アクティブフィルタの特性改善法 研究開発 レター

学生員 伊藤 加代 (名古屋工業大学)
正員 青木 睦 (名古屋工業大学)
正員 常広 譲 (名古屋工業大学)

Improving the Behavior of Active Filter for Power Distribution System
Kayo Ito, Student Member, Mutsumi Aoki, Member, Yuzuru Tsunehiro, Member
(Nagoya Institute of Technology)

キーワード：アクティブフィルタ，電流形変換器，系の安定化法

1. ま え が き

配電線の高調波電流を除去する装置として，アクティブフィルタ (AF) が研究されている。この場合，線路には不特定多数の進相コンデンサなどが付設されているので AF の設置点によっては，系に望ましくない共振現象などが生じる⁽¹⁾。本文は，この原因とそれを防止する一方法について述べたものである。

2. AF の機能と不安定現象

図1は，AFの機能を一相分について示した図である。

負荷の高調波電流 i_{Lh} を a 点で検出し， $-i_{Lh}$ に等しい電流を変換器で生成し線路に供給する。この動作が時間遅れなく正確に行われれば，線路の高調波電流 i_{sh} を 0 とすることができる。しかし，線路のインピーダンス Z_l が大きく，AF の近傍に進相コンデンサなどが付設されているときは，AF の電流は C にも分流するため， a 点の電流は AF の付設により増加する。

この結果 i_{Lh} はさらに増加，これが補償電流を増大させるといった正帰還動作 (不安定現象) を引き起こす。

図2は高調波電流についての等価回路である。図から

$$\left. \begin{aligned} i_{Lh} + i_{AF} &= i_{sh} = v_h / Z_l(P) \\ i_{AF} &= -G_{AF} i_{Lh}, \quad (G_{AF} \cong 1) \\ i_{Lh} &= i_{oh} - Y_C(P) v_h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

Y_C : 進相コンデンサのアドミッタンス

であるから，伝達関数 $I_{sh}(s)/I_{oh}(s)$ は，

$$\frac{I_{sh}(s)}{I_{oh}(s)} = \frac{1 - G_{AF}}{1 + (1 - G_{AF}) Y_C(s) Z_l(s)} \dots\dots\dots (2)$$

となる。これより図3 (a) のブロック線図が得られる。

(2)式または図3から $G_{AF} < 1$ でなければならない。 $(G_{AF} > 1$ の時は正帰還になり系は不安定になる。また，AFに演算などによる時間遅れがあると， $G_{AF} < 1$ でも系が不安定になることを後で示す。)

このような特性を改善するには，補償電流の検出点を b

点に移し， i_{sh} をフィードバックすればよい⁽²⁾。

このときの伝達関数は，(1)式で $i_{AF} = -G_{AF} i_{sh}$ とし

$$\frac{I_{sh}(s)}{I_{oh}(s)} = \frac{1}{G_{AF} + 1 + Y_C(s) Z_l(s)} \dots\dots\dots (3)$$

である。これより，図3 (b) のブロック線図を得る。

制御時間遅れによる不安定現象 AFの制御時間遅れを表わすため， $G_{AF} = K e^{-Ts}$ としよう。また，簡単のため， Y_C と Z_l を次のように仮定する。

$$Y_C(s) \doteq C s, \quad Z_l(s) \doteq L s + R \dots\dots\dots (4)$$

図4の実線は， $1/(1 + Y_C Z_l) \cdot K e^{-Ts}$ すなわち，図3 (b) の系の周波数特性のナイキスト線図の概形である。

図1. AFの機能
Fig.1 Principle of AF

図2. 高調波についての等価回路
Fig.2 An equivalent circuit of higher harmonic

図3. 系のブロック線図表示
Fig.3 Block diagram representation of the system

遅れ時間 T が微小であれば、軌跡は $-1+j0$ の右側に存在するので、 K をかなり大きくしても系は安定である。

一方、図 3 (a) の系で $G_{AF} = Ke^{-Ts}$ 、 $K \neq 1$ とすると

$$\frac{G_{AF}}{1-G_{AF}} \doteq \frac{e^{-Ts}}{1-e^{-Ts}} = \frac{e^{-Ts/2}}{2j\sin(\omega T/2)}$$

のように近似できるので、周波数特性はおおよそ図の破線のようになり、 $Y_c(s)Z_l(s)$ の値によっては系が不安定になること

図 4. 系の周波数応答

Fig.4 Frequency response of the system

図 5. 試験回路

Fig.5 Testing circuits

図 6. 試験結果 (a) 電流波形 (b) 周波数スペクトラム

Fig.6 Experimental result

が十分予想される。

3. 供試装置による試験結果

図 5 に試験回路を示す。AF の変換器は電流形で、制御時間遅れをなくするため、アナログ回路による補償電流検出回路 (同期回転座標による補償電流の演算⁽³⁾) を用いた。

高調波源には整流回路、また本法の効果を検証するため、 Z_l と Y_c は配電線の値よりかなり大きめに選んである。

図 6 は $K=5.0$ にしたときの i_L と i_s の波形で、負荷の高調波電流は実用上十分な程度に除去されている。

同図 (b) に両波形の周波数スペクトラムを示す。縦軸は基本波に対する % で、 i_L に約 11[%] 含まれる 7 次高調波は、電源側では 2[%] 弱 ($\approx 1/6$) に低減できることを示している。

4. あ と が き

以上、配電用 AF の不安定現象を回避する方法として、電流の検出点を電源側に移す方法を考察した。

従来の方式が開ループ制御であったのに対し、本法は高調波電流に関し閉ループ系を構成している点が特徴で、制御の時間遅れさえ無くせば、極めて安定な AF が実現できる。

(平成 8 年 3 月 25 日受付、平成 8 年 7 月 25 日再受付)

文 献

- (1) 電気学会技術報告 (II 部) 第 425 号 「電力用 AF 技術」
- (2) 伊藤、常広他: 「電流形 PWM 変換器を用いた配電用アクティブフィルタ」 電学会東海支連大講演論文集 No. 182 (平成 7)
- (3) 松波、常広他: 「電流形 PWM 方式のアクティブフィルタの性能改善法」 電学論 D No. 115 pp. 751~757

伊藤 加代 (学生員)

1973 年 1 月 12 日生。1995 年 3 月名古屋工業大学工学部電気情報工学科卒業。現在、同大学大学院工学研究科電気情報工学専攻博士前期課程在学中。アクティブフィルタに関する研究に従事。

青木 睦 (正員)

1970 年 1 月 26 日生。1994 年 3 月名古屋工業大学大学院工学研究科電気情報工学専攻博士前期課程修了、同年 4 月株式会社トーエネック F S 研究所入社、現在同学博士後期課程在学中。

常広 譲 (正員)

1936 年 1 月 20 日生。1959 年 3 月福井大学工学部電気工学科卒業。1978 年 1 月名古屋工業大学教授。工学博士。半導体素子による電気機械の制御と応用に関する研究に従事。計測自動制御学会会員。