座標変換を用いない瞬時障害電流補償

学生員 戸 賀 澤 智 (東京工芸大学)

正 員 中 野 博 民 (東京工芸大学)

正 員 難 波 江 章 (東京工芸大学)

Instantaneous Distortional Current Compensation System without Coordinate Transformation

Satoshi Togasawa, Student Member, Hirotsami Nakano, Member

Akira Nabae, Member (Tokyo Institute of Polytechnics)

キーワード：瞬時障害電流空間ベクトル、シミュレーション

1. まえがき

従来より、高調波電流と無効電流（以下、併せて障害電流とする）を同時に補償する際、回転座標変換や $\alpha\beta$ 座標変換を用いた補償理論が適用されてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

無効電力補償については、以前、筆者らは座標変換に依存しない新しい瞬時の無効電力補償理論を提案した⁽⁴⁾。

本論文では、上記の理論⁽⁴⁾に高調波抑制を追加した座標変換に依存しない新しい瞬時の障害電流補償理論を提案し、シミュレーションによりその有用性を検証する。

2. 補償理論

<2・1> 瞬時電力の定義

三次元空間の直交座標系において、三相の瞬時電圧空間ベクトル $\mathbf{e}$ ($\mathbf{e} = e_x\mathbf{x} + e_y\mathbf{y} + e_z\mathbf{z}$) と瞬時電流空間ベクトル $\mathbf{i}$ ($\mathbf{i} = i_x\mathbf{x} + i_y\mathbf{y} + i_z\mathbf{z}$) との内積により三相瞬時有効電力 S を定義する。

$$S = \mathbf{e} \cdot \mathbf{i}$$

ここで、 $\mathbf{x}$ 、 $\mathbf{y}$ 、 $\mathbf{z}$ は x 軸、 y 軸、 z 軸の単位ベクトルである。

<2・2> 瞬時無効電流空間ベクトル検出式

瞬時無効電流空間ベクトル検出式は、以前導出した。

(参考文献(4)参照。)

$$\mathbf{i}_\perp = \frac{\mathbf{C} \times \mathbf{e}}{\mathbf{e} \cdot \mathbf{e}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

<2・3> 瞬時高調波有効電流空間ベクトル検出式

三相瞬時有効電力 S において、

$$S = \mathbf{e} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{e} \cdot (\mathbf{i}_\perp + \mathbf{i}_\parallel) = \mathbf{e} \cdot \mathbf{i}_\parallel \\ = |\mathbf{e}| |\mathbf{i}_\parallel| \cos \theta$$

I). ベクトル $\mathbf{e}$ とベクトル $\mathbf{i}_\parallel$ が同じ向きの時、

$$S = |\mathbf{e}| |\mathbf{i}_\parallel| \quad (\because \cos(0^\circ) = 1)$$

$$|\mathbf{i}_\parallel| = \frac{S}{|\mathbf{e}|} = \frac{S|\mathbf{e}|}{|\mathbf{e}||\mathbf{e}|} = \frac{S|\mathbf{e}|}{\mathbf{e} \cdot \mathbf{e}}$$

ここで、 $\mathbf{e}$ と $\mathbf{i}_\parallel$ は同じ向きなので、

$$\mathbf{i}_\parallel = \frac{S|\mathbf{e}|}{\mathbf{e} \cdot \mathbf{e}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

II). ベクトル $\mathbf{e}$ とベクトル $\mathbf{i}_\parallel$ が逆向きの時、

$$S = -|\mathbf{e}| |\mathbf{i}_\parallel| \quad (\because \cos(180^\circ) = -1)$$

$$|\mathbf{i}_\parallel| = \frac{-S}{|\mathbf{e}|} = \frac{-S|\mathbf{e}|}{|\mathbf{e}||\mathbf{e}|} = \frac{-S|\mathbf{e}|}{\mathbf{e} \cdot \mathbf{e}}$$

ここで、 $\mathbf{e}$ と $\mathbf{i}_\parallel$ が逆向きなので(2)式と等しくなる。即ち、瞬時有効電流空間ベクトル検出式は(2)式である。

また、 S のうち、基本波電流は直流成分となり、高調波電流は交流成分となるので、ハイパスフィルタで S より交流成分を抽出すれば良い。

以下に瞬時高調波有効電流空間ベクトル検出式を示す。

$$\widetilde{\mathbf{i}}_\parallel = \frac{\widetilde{S}\mathbf{e}}{\mathbf{e} \cdot \mathbf{e}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

<2・4> 瞬時障害電流空間ベクトル検出式

(1)式と(3)式より、

$$\mathbf{i}^* = \mathbf{i}_\perp + \widetilde{\mathbf{i}}_\parallel = \frac{\mathbf{C} \times \mathbf{e}}{\mathbf{e} \cdot \mathbf{e}} + \frac{\widetilde{S}\mathbf{e}}{\mathbf{e} \cdot \mathbf{e}} \\ = \frac{\mathbf{C} \times \mathbf{e} + \widetilde{S}\mathbf{e}}{\mathbf{e} \cdot \mathbf{e}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

(4)式を各相の成分表示で示し、また、三相三線式の場合、一般に $e_u + e_v + e_w = 0$ 、 $i_u + i_v + i_w = 0$ の条件が成立するので、これらの条件を当てはめると、

$$\mathbf{i}^* = \frac{\begin{Bmatrix} (e_u i_v - e_v i_u) \{ (e_w - e_v) \mathbf{x} \\ + (e_u - e_w) \mathbf{y} + (e_v - e_u) \mathbf{z} \} \\ + \widetilde{S} (e_u \mathbf{x} + e_v \mathbf{y} + e_w \mathbf{z}) \end{Bmatrix}}{2 \{ (e_u + e_v)^2 - e_u e_v \} \dots \dots (5)}$$

(5)式に基づく検出回路を図1に示す。

図1. 検出回路

Fig. 1. Block Diagram of detecting circuit

3. シミュレーション

前章で示した瞬時障害電流補償理論についての有用性をシミュレーションにより検証する。シミュレーションで使用するシステムの原理図を図2に示す。負荷には三相整流器を想定し、補償装置は理想的な電流源とする。また、三相各相の瞬時障害電流の検出方法は、前章の(5)式に従っている。シミュレーション結果を図3に示す。

図2. 原理図

Fig. 2. Schematic Diagram

図3. シミュレーション結果

Fig. 3. Simulation result

図3のシミュレーション結果(e_u と i_{su})を見て分かるように、瞬時障害電流が補償装置により出力されるため補償後の系統側電流は、基本波力率1の完全な正弦波状の電流波形となっていることが伺える。

以上、本章で行なったシミュレーションより、三相三線式系統での瞬時障害電流補償装置の制御回路が座標変換に依存しない検出式により構成できることが確認できた。

4. おわりに

本論文では、理論的に座標変換に依存しない瞬時障害電流空間ベクトル検出式を導出すると共に、その理論の有用性をシミュレーションにより検証した。

(平成6年6月27日受付)

文 献

- (1) 高橋・藤原・難波江:「他励サイリスタ変換器を用いた障害電流補償システム」、電学論B101, P. 121 (昭56-3)
- (2) 赤木・金沢・藤田・難波江:「瞬時無効電力の一般化理論とその応用」、電学論B103, P. 483 (昭58-7)
- (3) 赤木・阿藤・難波江:「直列多重電圧形PWM変換器を用いた電力用低周波フィルタの補償特性」、電学論B106, P. 563 (昭61-7)
- (4) 戸賀澤・村瀬・中野・難波江:「クロスベクトル理論による無効電力補償」、電学論D114, P. 340 (平6-3)

戸賀澤 智 (学生員)

昭和46年1月8日生。平成5年3月東京工芸大学工学部電子工学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程入学、現在に至る。

中野 博民 (正員)

昭和32年7月31日生。同55年3月長岡技術科学大学電子機器工学課程卒業。同57年3月同大学院工学研究科修了。同62年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。平成5年東京工芸大学助手。現在に至る。

誘導電動機可変速駆動システム、半導体電力変換器、無効電力補償システムの研究に従事。工学博士。

難波江 章 (正員)

大正13年9月13日生。昭和22年9月東京大学電気工学科卒業。同26年9月(株)東芝入社。同58年4月長岡技術科学大学教授。平成2年東京工芸大学教授。工学博士。

IEEE Fellow。昭和60、平成3年電気学会論文賞。'91 IEEE-IAS Tr. Paper Award。平成5年電気学会業績賞。