

マトリックスコンバータを用いた電力障害補償

学生員 玉田 俊介, 正員 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Power Distortion Compensator using a Matrix Converter

Shunsuke Tamada, Student Member, Jun-ichi Itoh, Member (Nagaoka University of Technology)

This paper proposes the application of a matrix converter to a PM generator for power quality compensation, such as reactive power compensation, harmonic current and power interruption. The novel point of this work is that the matrix converter provides reactive power with harmonic current. Simulated and experimental results confirm that the matrix converter can maintain high performance as same as a conventional active filter and an uninterruptible power supply (UPS).

キーワード : マトリックスコンバータ, 無効電力補償, アクティブフィルタ

Keywords : Matrix converter, Reactive power compensation, Active filter

1. はじめに

近年, 医療機器や, セキュリティシステム, コンピュータなど停電が許されない装置が増え, 電力の安定化に対する要求が高まっている。さらにコンピュータなどの OA 機器には, コンデンサインプット型の整流器が多く使われている。そのため, それらの機器から発せられる高調波が, 系統の安定化の妨げになっている。そこでアクティブフィルタや無停電電源装置など, 系統の安定化技術はますます盛んになることが予想される。

また新しい電力供給源として電力需要地近傍に設置が可能な系統連系分散型電源システムの導入が検討されている。分散型電源にはマイクロガスタービンやディーゼル発電設備があり, 新エネルギーや非常用電源として注目されている。

アクティブフィルタや分散型電源のように, 系統の電力や高調波を補償する装置は, 高い信頼性を持ち, メンテナンスフリーであることが望ましい。これまで数多く提案されてきた系統補償装置の多くは, 6 アームのブリッジ回路が使われている。インバータや PWM 整流器によるシステムは直流部を有しているため, 初期充電回路, 電解コンデンサ, メンテナンスなどが必要となり, 信頼性の低下, 大型化, 高コストという問題を抱えている。

一方, 交流から交流へ直接変換するマトリックスコンバータの研究が盛んに行われており実用化が進められている^{(1)~(6)}。マトリックスコンバータは直流部の大型の電解コンデンサがないため従来の直流部を有するシステムに比べ小型で長寿命・高効率化をはかることができる。

本論文ではマトリックスコンバータの新しいアプリケーションとして電力障害補償装置を提案する。本論文で提案

するシステムは高効率・長寿命のマトリックスコンバータを電力障害補償に応用することで安定した電力の供給を実現する。

現在マトリックスコンバータについての多くの研究では入力電流を正弦波状に制御することに主眼を置いており, 入力電流を積極的に制御し利用しようという試みは筆者らの知る限りない。ここではマトリックスコンバータの入力電流制御法を提案し, 新たなアプリケーションとして電力障害補償装置に適用した。加えて, 本論文ではマトリックスコンバータの制御に仮想変換器方式を採用している。そこで仮想変換器方式で制御を行った場合, マトリックスコンバータと仮想 AC/DC/AC 変換器の入出力接続状態は同一となることに注目し, 入出力電流および電圧について解析を行った。またその結果を元に本装置の補償範囲について検討を行った。最後に無効電力および高調波補償が行えることを実験結果およびシミュレーションにより検証を行ったので報告する。

2. システム構成とその特徴

図 1 に本論文で提案する電力障害補償装置の構成図を示す。システムは発電機と AC/AC 直接変換器であるマトリックスコンバータにより構成される。AC/AC 直接変換器を用いることにより交流を一旦直流に変換することなく, 電力系統と電力貯蔵装置の間でエネルギー授受が行われる。

マトリックスコンバータは系統に分散型電源のインターフェースコンバータとして接続されており, 系統に接続されている機器が発生する無効電力や高調波を, マトリックスコンバータにより補償する。このとき, 有効電力は系統とマトリックスコンバータを介して接続されている電源の

両方から供給される。

3. 制御法

<3・1>仮想AC/DC/AC方式⁽¹⁾

AC/AC 直接変換器であるマトリックスコンバータを制御するには入力電流と出力電圧を同時に制御する必要がある。しかし出力側で電動機の制御を、入力で電力障害補償を行うため制御が非常に複雑化する。そこで、本論文では、仮想の整流器/インバータシステムを考え、入力側と出力側を独立に制御する仮想 AC/DC/AC 方式を採用する。またこの方式を用いることで、従来の PWM 整流器やインバータに提案されてきた様々な制御法をマトリックスコンバータに適用できる。

仮想 AC/DC/AC 方式では「あるスイッチング状態における変換器の入出力の接続関係が同一であれば、変換器の構成にかかわらず入出力波形は同一である」ことに着目し、マトリックスコンバータのスイッチングパターンを生成する。

図 2 は仮想 AC/DC/AC 方式の仮想 PWM 整流器/インバータモデルである。仮想モデルの入出力関係でスイッチング関数を $S=1$ でオン、 $S=0$ でオフと定義すると(1)式のように表せる。図 3 はマトリックスコンバータモデルである。インバータモデルと同様に図 3 からマトリックスコンバータの入出力関係は(2)式で表すことができる。マトリックスコンバータのスイッチング行列は、AC/DC/AC 変換器のスイッチング行列の積で表せるため(1)、(2)式が等しくなれば入出力特性は同一となる。

$$\begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{up} & S_{un} \\ S_{vp} & S_{vn} \\ S_{wp} & S_{wn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{rp} & S_{sp} & S_{tp} \\ S_{rn} & S_{sn} & S_{tn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_r \\ v_s \\ v_t \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{ru} & S_{su} & S_{tu} \\ S_{rv} & S_{sv} & S_{tv} \\ S_{rw} & S_{sw} & S_{tw} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_r \\ v_s \\ v_t \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

<3・2>瞬断補償および無効電力補償

仮想 AC/DC/AC 方式を採用することにより、従来のアクティブフィルタや STATCOM の制御を適用することができる。本論文では検出電流を(3)、(4)式を用いて回転座標変換を行い、瞬時有効電力と瞬时无効電力に分離し、無効電力の制御と電源高調波の補償を行う。

$$\begin{bmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

$$\begin{bmatrix} i_{Ld} \\ i_{Lq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \omega t & \sin \omega t \\ -\sin \omega t & \cos \omega t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

電源角周波数 ω で回転座標変換を行うことにより検出した電流の基本波成分は直流となり、その他の周波数成分は交流量として現れる。この性質を利用し、電流高調波を抽出する。まず、d 軸成分の基本波有効成分をハイパスフィルタ (HPF) により取り除き、高調波成分のみを抽出する。q 軸成分では無効成分が現れるため d 軸とは異なり基本波成分も無効電力補償に利用する。また無効電力補償と電力供

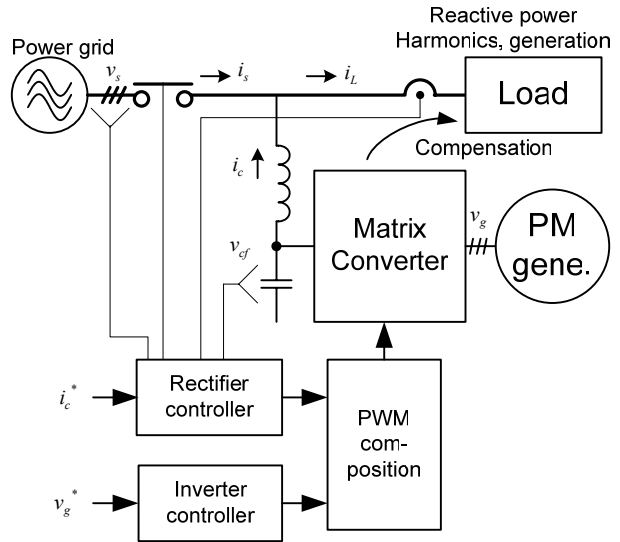


図 1 提案するシステム
Fig.1. Block diagram for the proposed system.

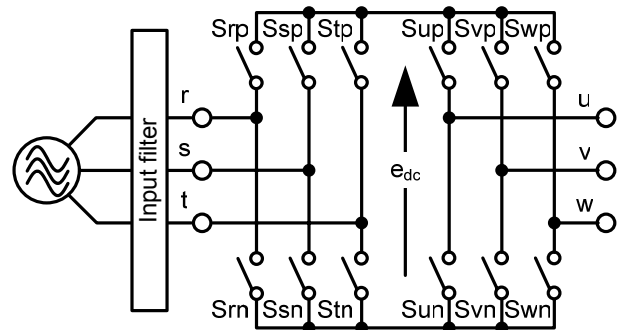


図 2 AC/DC/AC 変換器
Fig.2. An AC/DC/AC converter.

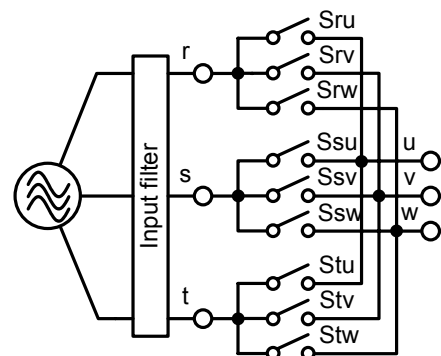


図 3 マトリックスコンバータ
Fig.3. A Matrix Converter.

給を同時に実現するために、本装置から出力する基本波有効成分を d 軸成分に加える。次に、上記で求めた電流指令を、無効電力補償の電流指令としてマトリックスコンバータに与える。

マトリックスコンバータで無効電力補償を行う際の問題のひとつに、補償電流の振動があげられる。これは、入力フィルタと系統インピーダンス間の並列共振により生じる。補償電流が振動した場合、電力系統で拡大され逆作用する恐れがある。そこで、本提案法では補償電流の振動を抑えるために、制動的に振動を抑制するダンピング制御⁽⁷⁾を用いている。

補償電流波形が振動し不安定になる原因は、システムの利得が高周波帯域で大きいためなので、振動を抑制するには高周波での利得を下げればよい。そこで本論文では、入力フィルタのキャパシタ電圧から高周波成分を抜き出し、電流指令から減算することで、高周波利得を下げるダンピング制御を提案する。

図 4 にダンピング制御のブロック図を示す。図に示すように、キャパシタ電圧から回転座標変換を用いて高調波成分を抜き出し、その値にゲイン K_d を乗じて、補償電流指令から減算し、ダンピング制御を行う。補償前の電流指令を i_c^{**} 、キャパシタ電圧を V_{cf} とするとダンピング制御後の電流指令は次式で与えられる。

$$i_c^* = i_c^{**} - K_d \frac{ST}{1+ST} v_{cf} \dots\dots\dots (5)$$

なお、マトリックスコンバータの入力部は電流形変換器の動作となるため、オープンループで制御可能である。また、電流形変換器であるが故に、電流制御ループなしに高速応答が期待できる。

次に瞬断補償について述べる。図 5 に制御ブロック図を示す。本提案装置は、通常は系統に有効電力を供給すると同時に無効電力および高調波の補償を行い、瞬断発生時にはその補償を行い UPS として動作する。瞬断検出と同時に上流の系統と負荷および補償装置をスイッチなどにより切り離し、マトリックスコンバータの入力電流指令を無効電力補償から電圧補償に切り替える。瞬断検出は、制御回路内部で生成した補償電圧指令と系統電圧の絶対値を演算し、それらの差を設定した基準値と比較し瞬断検出を行っている。なお電圧制御には PI 制御を用いる。

<3.3>マトリックスコンバータの入力電流制御法

前述のようにマトリックスコンバータの制御法には仮想 AC/DC/AC 方式を用いる。図 2 で示した AC/DC/AC 変換器において S_{mp} , S_{in} および S_{up} , S_{vp} , S_{wn} がオンした場合、R 相と U・V 相、T 相と W 相が接続される。仮想 AC/DC/AC 変換方式で制御を行った場合、マトリックスコンバータのスイッチ状態は S_{ru} , S_{rv} , S_{tw} がオンとなり R 相と U・V 相、T 相と W 相が同様に接続される。このように仮想変換器方式で制御を行

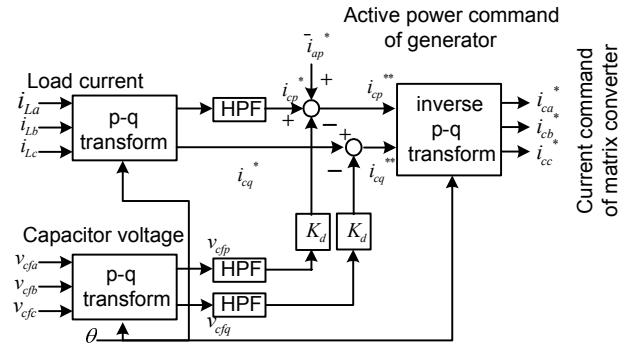


図 4 無効電力補償とダンピング制御のブロック図
Fig.4. Block diagram for reactive power compensation with dumping control for the input current.

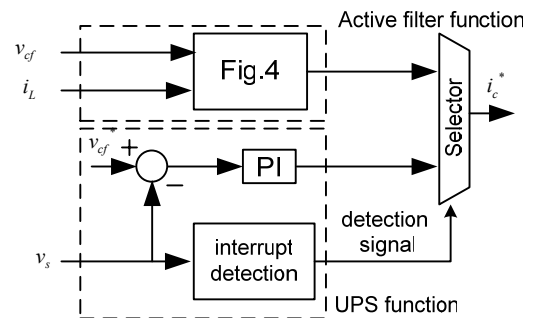


図 5 制御ブロック図
Fig.5. Block diagram for active filter with UPS function.

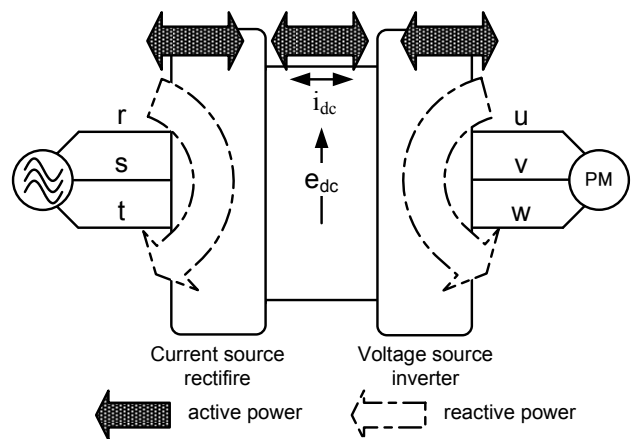


図 6 電力変換器のパワーフロー
Fig.6. Power flow of the AC/DC/AC converter.

った場合、AC/DC/AC変換器とマトリックスコンバータの入出力接続状態は全く同一となる。よってAC/DC/AC変換器の理論はマトリックスコンバータに完全に対応する。

上記の考えを元に、マトリックスコンバータの入力電流制御法について説明する。マトリックスコンバータを仮想変換器方式で制御した場合、入力側は電流形整流器、出力側は電圧形インバータと見ることが出来る。よってマトリックスコンバータの入力電流は仮想直流リンク電流に依存

する。図 6 に AC/DC/AC 変換器のパワーフローを示す。電圧形インバータでは無効電力は負荷側で還流し直流側には影響を及ぼさない。そのため直流リンクの状態は負荷の有効電力に影響される。それは仮想変換器方式で制御を行ったマトリックスコンバータにおいても同様である。図 2 に示すように、仮想変換器にはエネルギーバッファが存在しないため、仮想直流リンク電流は、仮想インバータの出力電流と負荷力率によって決定される。負荷力率はインバータの出力電圧指令と出力電流から求められるため、出力電圧指令を v_{α}^* , v_{β}^* , 出力電流を $i_{out\alpha}$, $i_{out\beta}$, 出力電流の最大値を i_{out_max} とすると仮想直流リンク電流 i_{img_dc} は次式で与えられる。

$$i_{img_dc} = i_{out_max} \cdot \cos \theta_{out}$$

$$= i_{out_max} \cdot \frac{v_{\alpha}^* \cdot i_{out\alpha} + v_{\beta}^* \cdot i_{out\beta}}{\sqrt{(v_{\alpha}^{*2} + v_{\beta}^{*2})(i_{out\alpha}^2 + i_{out\beta}^2)}} \quad (6)$$

仮想直流リンク電流は、出力側の電流の最大値に応じて $\sqrt{3}i_{img_dc} \sim i_{img_dc}$ の範囲で脈動するため、入力電流を制御できる範囲は仮想直流リンク電流の $\sqrt{3}/2$ 倍までとなる。仮想電流形整流器のパルス生成にはキャリア比較を用いているため、入力電流指令を仮想直流リンク電流の $\sqrt{3}/2$ 倍で規準化を行う。入力電流のデューティ指令は次式で与えられる。

$$i_c^{**} = \frac{i_c^*}{\frac{\sqrt{3}}{2} * i_{img_dc}}$$

$$= \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{i_c^*}{i_{out_max}} \cdot \frac{\sqrt{(v_{\alpha}^{*2} + v_{\beta}^{*2})(i_{out\alpha}^2 + i_{out\beta}^2)}}{v_{\alpha}^* \cdot i_{out\alpha} + v_{\beta}^* \cdot i_{out\beta}} \quad (7)$$

上記の指令をキャリア比較し、仮想整流器を制御することで、オープンループでマトリックスコンバータの入力電流を制御することが可能となる。

4. 補償範囲の検討

この章では、本提案装置の無効電力補償範囲について述べる。本提案装置では、無効電力補償を行う際、マトリックスコンバータから有効電力、そして系統の無効電力を補償するため、逆相の無効電力を出力する。そのため、無効電力補償時にマトリックスコンバータの入力力率が悪化する。マトリックスコンバータは基本的に AC/DC/AC 変換回路を元に議論でき、入力側は電流形整流器と見なせる。そのため、マトリックスコンバータの入力力率が低下した場合、仮想直流リンク電圧が低下し、電圧利用率が低下する⁽⁸⁾。するとマトリックスコンバータの出力電圧が低下し、出力側に接続されたモータを制御することができなくなる。よってマトリックスコンバータで無効電力補償を行う際、補償

する負荷の容量とマトリックスコンバータの出力電圧（モータの回転数）を適切に選択する必要がある。

本節では、出力電圧と補償する無効電力量の関係について検討する。系統電圧 V_s , マトリックスコンバータの入力力率を $\cos \theta_{in}$ とするとマトリックスコンバータの出力電圧 V_{out} は次式で与えられる。

$$V_{out} = \frac{\sqrt{3}}{2} V_s \cdot \cos \theta_{in} \quad (8)$$

次に 3 章で述べたように、マトリックスコンバータの入力電流は仮想直流リンク電流によって決まるため、出力電流の大きさと力率に依存する。よって無効電力補償時のマトリックスコンバータの入力皮相電力は、系統電圧 V_s , マトリックスコンバータの出力電流 I_{out} , 出力力率 $\cos \theta_{out}$ を用いて次式で表せる。

$$S_{in} = V_s \cdot I_{out} \cdot \cos \theta_{out} \quad (9)$$

マトリックスコンバータの入力力率は(9)式で与えられる皮相電力と、補償対象の無効電力量 Q_{load} で決まる。よって入力力率は次式で与えられる。

$$\cos \theta_{in} = \frac{\sqrt{S_{in}^2 - Q_{load}^2}}{S_{in}}$$

$$= \frac{\sqrt{(V_s \cdot I_{out} \cdot \cos \theta_{out})^2 - Q_{load}^2}}{V_s \cdot I_{out} \cdot \cos \theta_{out}} \quad (10)$$

よって(8), (10)式より出力電圧と補償する無効電力量の関係は次式で与えられる。

$$|Q_{load}| = I_{out} \cdot \cos \theta_{out} \cdot \sqrt{(V_s + \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot V_{out})(V_s - \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot V_{out})} \quad (11)$$

図 7 に式(11)で求められる無効電力補償範囲を示した。本提案装置の無効電力補償能力は、マトリックスコンバータの出力電圧（モータ電圧）が低く、かつ出力力率が高い領

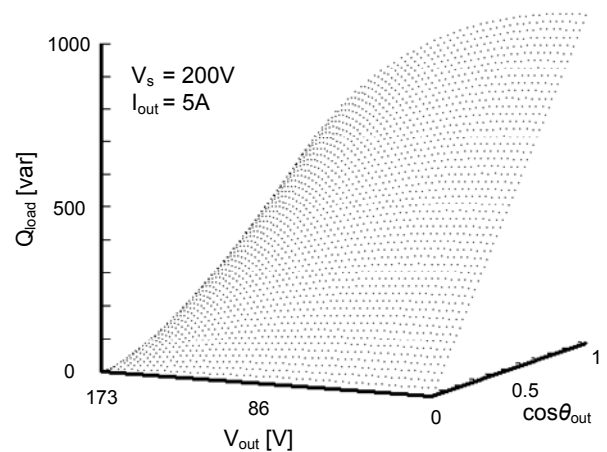


図 7 無効電力補償範囲

Fig.7. Compensation range of reactive power.

域で高くなることがわかる。

5. シミュレーション結果

提案方式の有効性をシミュレーションにて検証を行った。系統電圧 200V, 周波数 50Hz, マトリックスコンバータの入力フィルタのカットオフ周波数 1.4kHz, 制動係数 0.2, キャリア周波数 10kHz の条件でシミュレーションを行った。また負荷の電力の約 3 割を発電機から供給している。

図 8 にダイオード負荷時の高調波補償および瞬断補償のシミュレーション結果を示す。系統電流はほぼ正弦波となっており、高調波補償の効果が確認できる。また瞬断発生後も負荷電圧, および負荷電力はほぼ一定に保たれているため、瞬断発生前と同様に負荷にエネルギーが供給されていることがわかる。

6. 実験結果

本論文では、提案した手法の有用性を無効電力補償および高調波補償の実験により検証した。系統電圧 200V, 周波数 50Hz, 入力フィルタのカットオフ周波数 1.6kHz, 制動係数 0.2 の条件で実験を行った。ただしシミュレーション条件に対し、実験装置の都合により 750W の PM モータを駆動(回生ではなく力行)して実験を行った。また系統に 1.39mH のリアクトルを挿入した。

図 9 は、系統に負荷として RL 負荷 ($R=25\Omega, L=50\text{mH}$) を接続したときの、系統電圧, マトリックスコンバータの入力電流, 系統電流, マトリックスコンバータ出力電流波形である。系統電圧と系統電流がほぼ同位相になっており、無効電力補償が行われていることが確認できる。またマトリックスコンバータから進み位相の電流が流れていることが確認できる。

図 10 は、系統にダイオード整流器負荷(直流リアクトル 200mH, 抵抗 75Ω) を接続したときの、系統電圧, マトリックスコンバータの入力電流, 系統電流, マトリックスコ

ンバータの出力電流波形である。ただし、ダイオード整流器の入力各相に 5mH のリアクトルを挿入している。図 10(a) に高調波補償を入れる前の実験結果を示した。補償前では系統電流は大きく歪んでいるが、図 10(b)の補償後の波形では、歪みが大幅に減少し、正弦波状になっている。また図 10(b)の波形では、マトリックスコンバータの入力電流が急

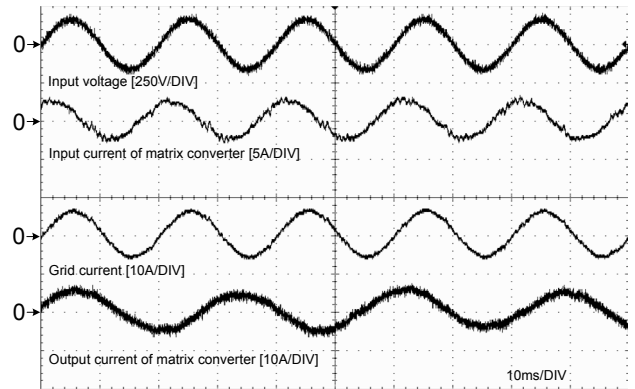
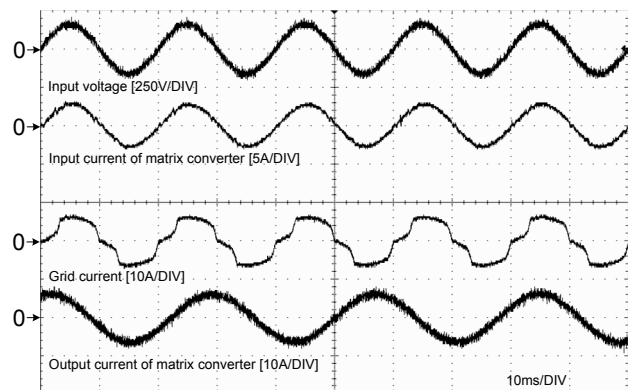
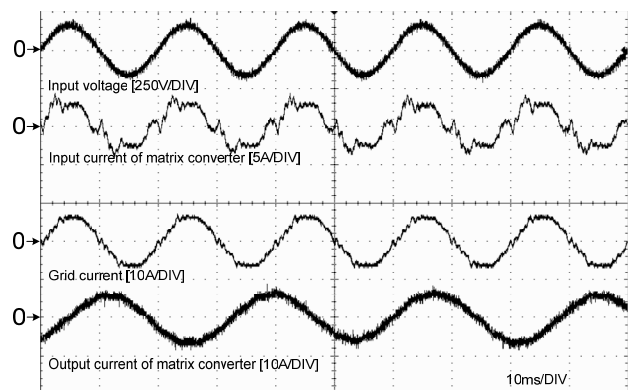


図 9 無効電力補償の実験結果

Fig.9. Experimental result with reactive power compensation.



(a)Harmonics compensation is OFF.



(b)Harmonics compensation is ON.

図 10 高調波補償の実験結果

Fig.10. Experimental result with harmonics compensation.

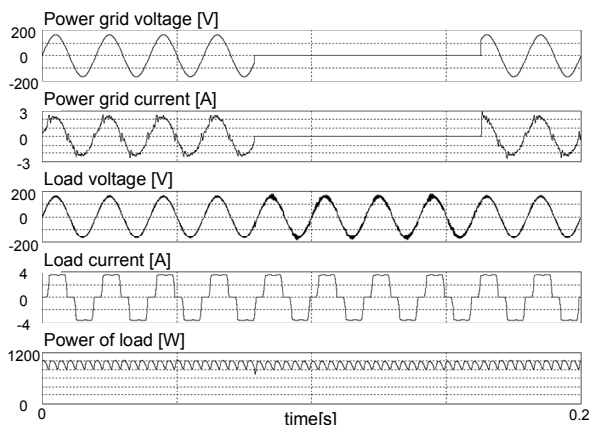


図 8 高調波および瞬断補償のシミュレーション結果

Fig.8: Simulation results of interruption.

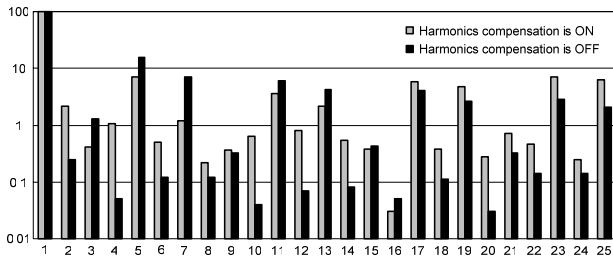


図 11 系統電流の FFT

Fig.11. FFT result of power grid current.

峻に変化し、補償電流を形成していることがわかる。この結果よりマトリックスコンバータにおいても入力電流波形を任意の形に制御可能であることが確認できる。

図 11 に補償前と補償後の系統電流の高周波解析結果を示す。偶数調波では、補償後で振幅が増えている部分もあるが、3 次、5 次、7 次の高調波については補償後には振幅が明らかに下がっており、アクティブフィルタとして効果が出ていることがわかる。これよりマトリックスコンバータを用いた場合でもインバータなどを用いた従来の装置同様、高調波補償が行えることを確認できる。

7. まとめ

本論文では、マトリックスコンバータの新たなアプリケーションとして電力障害補償装置（無効電力補償・高調波補償・瞬断補償）を提案し、その制御法を示した。また、マトリックスコンバータの入力電流制御法を提案し、その制御範囲についても明らかにした。シミュレーションにて無効電力補償、高調波補償および瞬断補償について検証を行った。また無効電力補償・高調波補償については、750W の PM モータを力行して実験を行い、有用性の確認を行った。以下にその結論を示す。

- (1)マトリックスコンバータの入力電流制御により、無効電力補償が行える。
- (2)非線形負荷においても高調波電流補償が行える。
- (3)瞬断補償時にも良好な電圧波形が得られる。
- (4)マトリックスコンバータの入力電流を正弦波だけでなく任意波形に制御可能。
- (5)提案した入力電流制御法により、従来のシステム同様の補償効果が得られる。

以上のことから、提案する方式によりマトリックスコンバータの入力電流を任意波形に制御することが可能となり、インバータを用いた従来の装置同様に補償が行えることができる。よってマトリックスコンバータの利点である、高効率・長寿命のシステムが実現可能であることを示すことができた。

今後、回生にて動作検証を行い、瞬断補償についても実験を行う予定である。

なお、本研究は平成 17 年度産業技術研究助成事業の支援を受けており、関係各位に感謝の意を表します。

文 献

- (1) Jun-ichi Itoh, Ikuya Sato, Hideki Ohguchi, Kazuhisa Sato, Akihiro Odaka, Naoya Eguchi: "A Control Method for the Matrix Converter Based on Virtual AC/DC/AC Conversion Using Carrier Comparison Method" IEEJ Trans. IA, Vol.124, No.5 2004 (in Japanese)
伊東淳一, 佐藤以久也, 大口英樹, 佐藤和久, 小高章弘, 江口直也: 「キャリア比較方式を用いた仮想 AC/DC/AC 変換方式によるマトリックスコンバータの制御法」, 電学論 D, 124 巻 5 号, 457-463
- (2) Jun-ichi Itoh, Hirokazu Kodachi, Akihiro Odaka, Ikuya Sato, Hideki Ohguchi, Hidetoshi Umida: "A High Performance Control Method for the Matrix Converter Based on PWM generation of Virtual AC/DC/AC Conversion" Japan Industry Applications Society Conference I-303 2004(in Japanese)
伊東淳一, 小太刀博和, 小高章弘, 佐藤以久也, 大口英樹, 海田英俊: 「パルスパターンに着目した仮想 AC/DC/AC 変換方式によるマトリックスコンバータの高性能化」, 平成 16 年電気学会産業応用大会, 1-306
- (3) Takaharu Takeshita, Hiroshi Shimada: "Matrix Converter Control Using Direct AC/AC Conversion Approach to Reduce Output Voltage Harmonics" IEEJ Trans. IA, Vol.126, No.6, 2006(in Japanese)
竹下 隆晴, 島田 大志: "出力電圧高調波を低減する AC/AC 直接変換方式マトリックスコンバータ制御", 電学論 D, Vol. 126, No. 6, pp.778-787 (2006).
- (4) P.W.Wheeler, J.Rodriguez, J.C.Clare, L.Empringham: "Matrix Converters: A Technology Review" IEEE Transactions on Industry Electronics Vol. 49, No.2 pp274-288, 2002
- (5) H.Hara, E.Yamamoto, M.Zenke, K.Kan, T.Kume "An Improvement of Output Voltage Control Performance for Low Voltage Region of Matrix Converter" Proc. Of IEEJapan IAS 2002, pp.I-313-316 (1-48), 2004 (in Japanese)
原・山本・善家・姜・久米: 「低電圧領域におけるマトリックスコンバータの電圧改善の一方策」平成 16 年産業応用部門全国大会, 214, 2004
- (6) Jun-ichi Itoh, Koji Kato: "Improvement of Commutation Method in Matrix Converter" JIASC2006, I-04-1
伊東 淳一, 加藤 康司: 「マトリックスコンバータの転流方式の改善」平成 18 年産業応用部門全国大会, 1-04-1, 2006
- (7) Ikuya Satou, Jun-ichi Itoh, Hideki Ohguchi, Akihiro Odaka, Hironori Mine: "An Improvement Method of Matrix Converter Drives Under Input Voltage Disturbances" IPEC Niigata, 546-551, 2005
- (8) unnosuke Haruna, Jun-ichi Itoh "A Consideration about the Voltage Utilization Ratio of the Matrix Converter Connected a Generator to the Input Side", Annual Conference of IEEJ, No.4-102, 2007(in Japanese)
春名 順之介, 伊東 淳一: 「発電機を電源とするマトリックスコンバータの電圧利用率に関する一考察」平成 19 年電気学会全国大会, 4-102
- (9) Pichai Jintakosonwit, Hideaki Fujita, Yasufumi Akagi: "Considerations of a Fully-Digital=controlled Active Filter for Installation on Power Distribution Systems" T.IEE Japan, Vol.121-D, No.3 2001 (in Japanese)
Pichai Jintakosonwit,
藤田英明, 赤木泰文: 「配電系統用アクティブフィルタの全デジタル制御システムとその留意点」, 電学論 D, 119 巻 5 号 316-324(平成 13 年)
- (10) Yasuhiro Tamai, Sunt Srianthumrong, Hirofumi Akagi: "Comparisons Between a Hybrid Shunt Active Filter and a Pure Shunt Active Filter", IEEJ Trans. IA, Vol.124, No.5, 2004
玉井 康寛, Sunt Srianthumrong, 赤木 泰文: 「ハイブリッドフィルタとアクティブフィルタの比較・検討」, 電学論 D, Vol. 124, No. 5, pp.494-502 (2004)
- (11) Shunsuke Tamada, Jun-ichi Itoh: "Reactive Power and Harmonics Compensator using a Matrix Converter", JIASC2006 1-53
玉田 俊介, 伊東 淳一: 「マトリックスコンバータを用いた無効電力および高調波補償」, 平成 16 年電気学会産業応用大会, 1-53