

パルスパターン改善空間ベクトル変調方式マトリックスコンバータの 4 ステップ転流を考慮したシミュレーション

宮崎 貴将* 山本 吉朗 江平 翔
(鹿児島大学大学院 理工学研究科)

1 はじめに

マトリックスコンバータ(以下 MC)は、商用三相交流電圧を振幅可変、周波数可変の交流電圧に直接変換する変換器である。MC は、従来の整流器-インバータシステムと比較して、大容量の電解コンデンサを必要とせず、変換器の小形化、長寿命化を可能にすることから注目されている。

本稿では、本研究室が先に提案したパルスパターン改善空間ベクトル変調方式^[1]を用いる MC について 4 ステップ転流を考慮したシミュレーションを行い、入力力率を変化させたときの入力力率特性と出力電圧特性について検討したので報告する。

2 パルスパターン改善空間ベクトル変調方式を用いた入力力率制御

2.1 パルスパターン改善空間ベクトル変調方式

図 1 に MC の主回路を示す。これを図 2 に示す仮想整流器-インバータに置き換えて考える。MC の一般的な空間ベクトル変調では、図 3(a), (b) に示す 2 つの指令ベクトル I_{in}^* および E_{out}^* に対し、それらに隣接するベクトル I_{γ} , I_{δ} および E_{α} , E_{β} を出力するデューティ d_{γ} , d_{δ} および d_{α} , d_{β} を決定し、合成することで出力 PWM パターンのデューティ ($d_{\gamma\alpha}$, $d_{\gamma\beta}$, $d_{\delta\alpha}$, $d_{\delta\beta}$, d_0) を決定する。提案方式ではこのデューティからさらに、MC の各スイッチのデューティを求めて制御する。提案方式を用いると、出力線間電圧指令値の増加に伴い、使用されるパターンが自動的に変化し、常に、より低い入力線間電圧を用いて、より幅の広いパルスを出力するため、出力電圧ひずみを抑制することが可能である^[2]。

2.2 4 ステップ転流方式

図 4(a) に i_U が正、図 4(b) に i_U が負の場合の 4 ステップ転流方式における S_{RU} と S_{SU} のスイッチングを示す。 S_{RU} は U_{1f} と U_{1r} の逆阻止 IGBT の逆並列接続で構成され、 S_{SU} は U_{2f} と U_{2r} の逆阻止 IGBT の逆並列接続で構成されている。 S_{RU} と S_{SU} に流れる電流が正方向の場合は U_{1f} と U_{2f} 、電流が負方向の場合は U_{1r} と U_{2r} にそれぞれ電流が流れる。初期状態において図 4(a) では U_{1f} に、図 4(b) では U_{1r} に電流が流れ、各ステップ間に転流時間 T_d を設けて転流を行う。

2.3 入力力率制御可能範囲

提案方式を用いた MC の入力力率制御は、図 5 のように入力力率角指令値 φ^* を I_{in}^* に与えることで行う。ここで、与えられた φ^* に対し、MC のすべてのオンデューティが 0~1 の範囲に入るとき、入力力率が制御可能であることを意味する^[3]。MC のすべてのオンデューティが 0~1 を満たす範囲を求めると

$$|E_{out}^*| / |\cos \varphi^*| \leq \sqrt{3} \cdot |E_{in}| / 2 \approx 173 \dots \dots (1)$$

$$-\pi/6 \leq \varphi^* \leq \pi/6 \text{ または } 5\pi/6 \leq \varphi^* \leq 7\pi/6 \dots \dots (2)$$

となり、式(1), (2)を同時に満たす範囲が入力力率制御可能範囲となる^[4]。

3 シミュレーション

3.1 シミュレーション条件

提案方式を用いた MC の入力力率制御について 4 ステ

ップ転流考慮あり、なしの場合でシミュレーションを行った。シミュレーション条件は、入力線間電圧 200 V/60 Hz, 入力フィルタ $L_f = 0.5$ mH, $C_f = 10$ μ F, キャリア周波数 10 kHz, 入力力率角指令値 $\varphi^* = -30 \sim +30$ 度, 出力線間電圧指令値(実効値) $E_{UV}^* = 80, 150$ V(30 Hz)とした。また、負荷には $R = 7.81 \Omega$, $L = 0.124$ H の三相 RL 負荷を用いた。

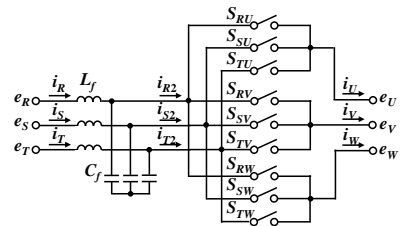


図 1 マトリックスコンバータの主回路

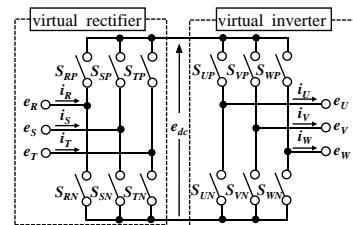
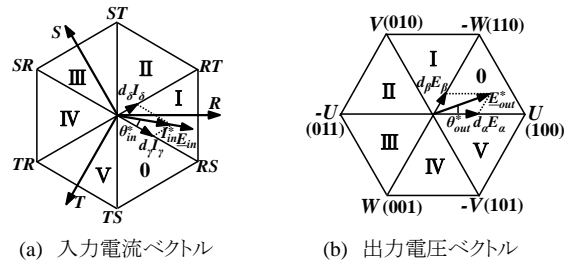
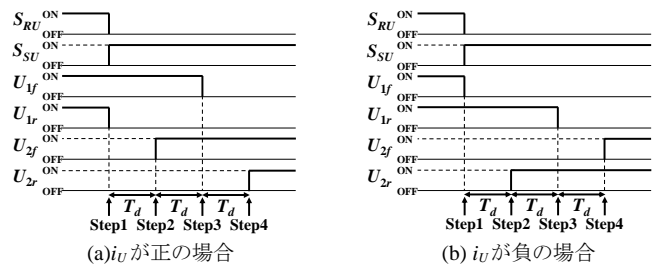


図 2 仮想整流器-インバータシステム



(a) 入力電流ベクトル (b) 出力電圧ベクトル

図 3 マトリックスコンバータの空間ベクトル



(a) i_U が正の場合 (b) i_U が負の場合

図 4 4 ステップ転流方式における S_{RU} と S_{SU} のスイッチング

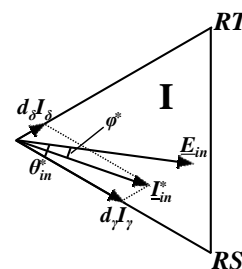


図 5 マトリックスコンバータの入力力率制御法 (入力電流ベクトルのセクタ I の場合)

3.2 シミュレーション結果

4 ステップ転流考慮あり, なしの出力線間電圧を比較するために, 出力線間電圧指令値 $E_{UV}^*=80$ V, 入力力率角指令値 $\varphi^*=0$ 度のときの 4 ステップ転流考慮なしのシミュレーション結果を図 6 に, 4 ステップ転流考慮ありのシミュレーション結果を図 7 に示す。4 ステップ転流考慮なしの出力線間電圧にはひずみがみられないのに対して, 4 ステップ転流考慮ありの出力線間電圧にはひずみがみられる。ここで, 4 ステップ転流考慮あり, なしのシミュレーションを比較するために, 図 8 に実験の出力線間電圧を示す。4 ステップ転流考慮ありのシミュレーション波形と同様に, 図 8 の実験の出力線間電圧にはひずみがみられることから, 4 ステップ転流考慮ありのシミュレーションは実験を再現できているといえる。次に, 4 ステップ転流考慮ありの場合で入力力率制御ができるか確かめるために出力線間電圧指令値 $E_{UV}^*=80$ V, 入力力率角指令値 $\varphi^*=30$ 度のときの 4 ステップ転流考慮ありのシミュレーション結果を図 9 に示す。図 7, 図 9 より入力力率角指令値が 0 度から 30 度に変化するのに伴って入力電流の位相が遅れていることがわかる。最後に, 出力線間電圧と入力力率角を変化させたときの 4 ステップ転流考慮あり, なしの場合のシミュレーション結果を図 10, 図 11 に示す。図 10, 図 11 より, 4 ステップ転流考慮なしの場合に比べ, 4 ステップ転流考慮ありの場合は出力電圧誤差, 入力力率角誤差が大きくなることがわかった。

4 まとめ

本稿では本研究室が先に提案したパルスパターン改善空間ベクトル変調方式を用いる MC について 4 ステップ転流考慮あり, なしの場合でシミュレーションを行った。その結果, 4 ステップ転流考慮なしの場合に比べ, 4 ステップ転流考慮ありの場合は出力電圧誤差, 入力力率角誤差が大きくなることがわかった。また, シミュレーションで 4 ステップ転流を考慮することで, 出力線間電圧のシミュレーション波形を実験波形に近づけることができた。実験でも 4 ステップ転流考慮ありのシミュレーションと同様の出力電圧誤差, 入力力率角誤差が生じると考えられるので, 実験では出力電圧誤差, 入力力率角誤差を補正する必要があると考える。

文献

- [1] 山本, 篠原, 森:「マトリクスコンバータの空間ベクトル変調におけるパルスパターンの改善」, 電学論 D, 128, 3, pp.176-183 (2008-3)
- [2] 唐鎌, 山本, 鶴崎:「パルスパターン改善空間ベクトル変調方式を用いたマトリクスコンバータの特性解析」, 電気学会電力技術, 電力系統技術, 半導体電力変換合同研資, SPC-14-080, pp.97-102 (2014-3)
- [3] 島田, 竹下:「出力電圧高調波を低減するマトリクスコンバータ制御の入力力率調整と実験特性」, 電学論 D, 126, 9, pp.1193-1201 (2006-12)
- [4] 椎屋, 山本, 江平:「パルスパターン改善空間ベクトル変調方式を用いたマトリクスコンバータの入力力率制御」, 平成 27 年度電気・情報関係学会九州支部連合大会講演論文集, 02-2A-03(2015)

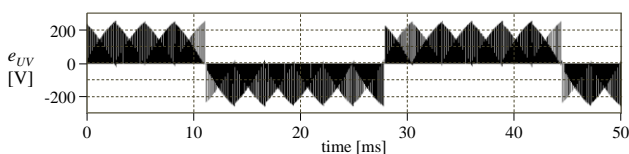


図 6 出力線間電圧指令値 $E_{UV}^*=80$ V, 入力力率角指令値 $\varphi^*=0$ 度のときのシミュレーション波形(4 ステップ転流考慮なし)

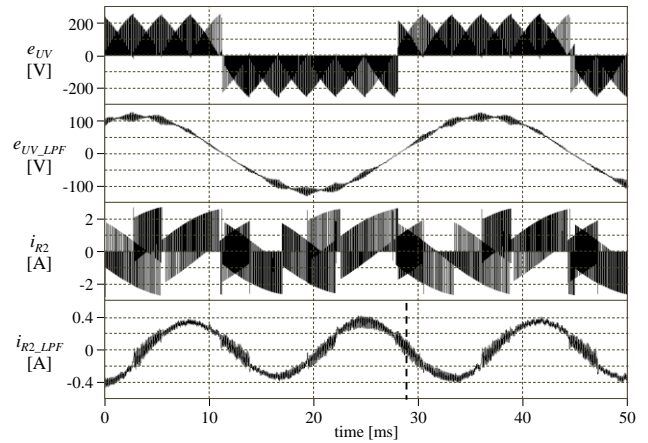


図 7 出力線間電圧指令値 $E_{UV}^*=80$ V, 入力力率角指令値 $\varphi^*=0$ 度のときのシミュレーション波形(4 ステップ転流考慮あり)

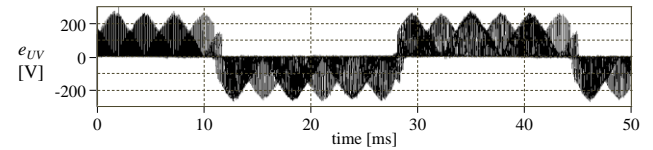


図 8 出力線間電圧指令値 $E_{UV}^*=80$ V, 入力力率角指令値 $\varphi^*=0$ 度のときの実験波形

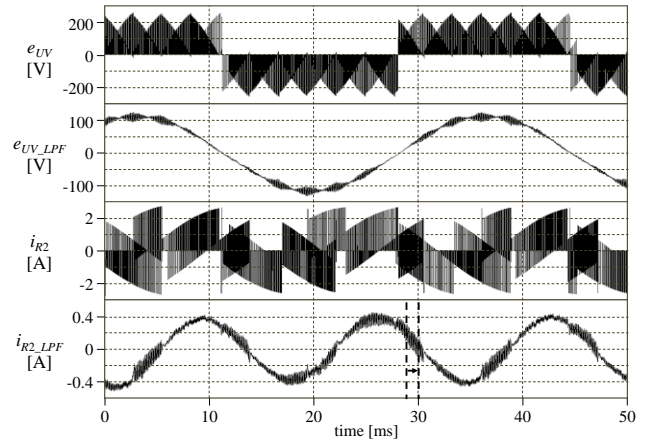


図 9 出力線間電圧指令値 $E_{UV}^*=80$ V, 入力力率角指令値 $\varphi^*=30$ 度のときのシミュレーション波形(4 ステップ転流考慮あり)

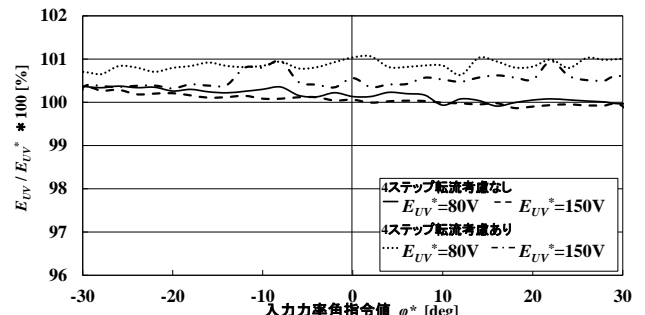


図 10 (出力線間電圧 E_{UV})/(出力線間電圧指令 E_{UV}^*) - 入力力率角指令値 φ^* の特性(シミュレーション)

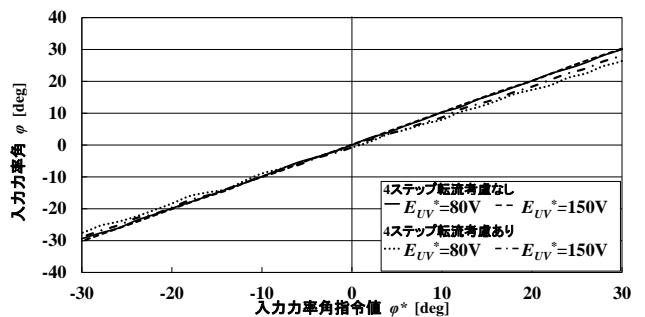


図 11 入力力率角 φ - 入力力率角指令値 φ^* の特性(シミュレーション)