

# スイッチング回数を最小化する極数切替型誘導電動機向け空間ベクトル変調法

佐藤 駿・山下 一祥・加藤 大貴・渡辺 大貴・伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

## 1. はじめに

幅広い動作領域での高効率駆動を可能とする極数切替型誘導電動機(PCIM)が提案されている<sup>(1)</sup>。一方で、PCIM 駆動用インバータには、電圧利用率が高く制御自由度が高い空間ベクトル変調(SVM)の適用が期待される。本稿ではスイッチング回数に着目し、PCIM 駆動用インバータ向け SVM を提案する。シミュレーションから提案 SVM 適用時のスイッチング損失が三角波比較 PWM 適用時と比較して低減することを確認した。

## 2. 提案空間ベクトル変調法

図 1 に PCIM 駆動用のインバータを、図 2 に静止座標系で変調に用いるインバータの空間ベクトルの一部を示す。本稿では 4 極と 8 極の切替が可能な PCIM の駆動を想定した 6 相インバータを考える。また、静止座標系への座標変換には文献(2)に示す VSD 変換を適用している。図 2 において、空間ベクトルはそれぞれ独立した 4 極静止座標系と 8 極静止座標系に表される。そのため、インバータのleg状態に対する空間ベクトルの座標は、2 つの座標系で 1 組に定まる。それぞれの座標系で所望の指令値を変調するためには、図 2 に示す 2 つの電圧指令ベクトルに対して、それぞれの座標系で指令値ベクトルの先端を同時に囲める空間ベクトルを選択する必要がある。ここで、従来の三角波比較 PWM では、図 2(a)に示す通り指令値を囲むために、7 個の空間ベクトルが選択し、同じ空間ベクトルを複数回使用していることがわかる。

提案 SVM では、空間ベクトルの数に着目し、スイッチング回数が最小となる空間ベクトルを選択する。6 相かつ 4 極と 8 極を切り替える PCIM の場合、2 つの電圧指令ベクトルの座標 4 つ( $v_{\alpha 4}^*$ ,  $v_{\beta 4}^*$ ,  $v_{\alpha 8}^*$ ,  $v_{\beta 8}^*$ )に加えて空間ベクトルの Duty 制約条件 1 つ付与する。そのため、2 つの座標系で指令ベクトルを同時に囲むためには、少なくとも 5 つの空間ベクトルを選択すればよい。提案 SVM の Duty 計算式を(1)式に示す。

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{1-\alpha 4} & v_{2-\alpha 4} & v_{3-\alpha 4} & v_{4-\alpha 4} & v_{5-\alpha 4} \\ v_{1-\beta 4} & v_{2-\beta 4} & v_{3-\beta 4} & v_{4-\beta 4} & v_{5-\beta 4} \\ v_{1-\alpha 8} & v_{2-\alpha 8} & v_{3-\alpha 8} & v_{4-\alpha 8} & v_{5-\alpha 8} \\ v_{1-\beta 8} & v_{2-\beta 8} & v_{3-\beta 8} & v_{4-\beta 8} & v_{5-\beta 8} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_{\alpha 4}^* \\ v_{\beta 4}^* \\ v_{\alpha 8}^* \\ v_{\beta 8}^* \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $d_x$  ( $x=1-5$ )は各空間ベクトルの Duty,  $v_{x-\alpha 4}$ ,  $v_{x-\beta 4}$ ,  $v_{x-\alpha 8}$ ,  $v_{x-\beta 8}$  は各空間ベクトルの座標を示す。また、Duty は各空間ベクトルの各成分の総和が指令値と一致することから求める。図 2(b)に示す通りに、提案 SVM では同じ電圧指令を変調する際に選択する空間ベクトルの数を減らせる。従来の PWM と比較するとスイッチング回数は 7 回から 5 回に削減できており、スイッチング損失の低減が期待できる。

## 3. シミュレーション結果

図 3 に提案 SVM 適用時と従来の三角波比較 PWM 適用時における 6 相インバータのスイッチング損失を示す。

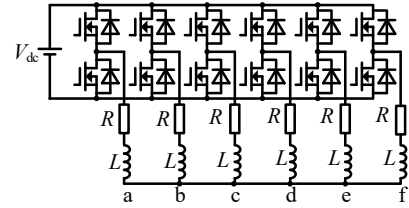


Fig. 1. Configuration of 6-phase inverter

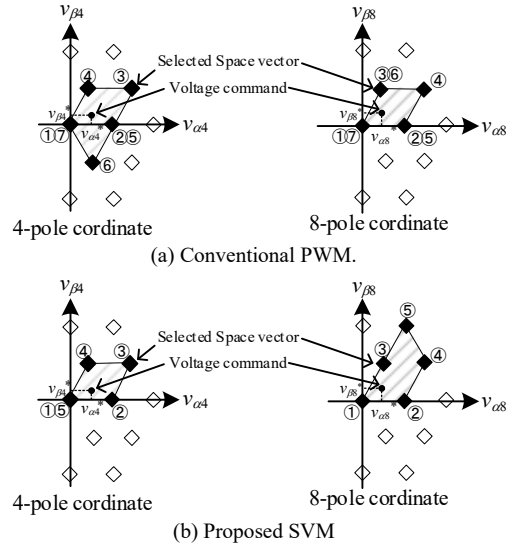


Fig. 2. Selected space vector in 4-pole and 8-pole coordinate.

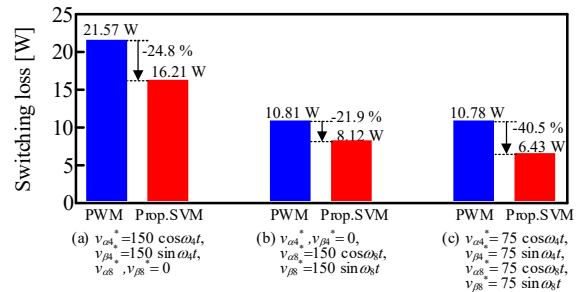


Fig. 3. Switching loss comparison between PWM and proposed SVM.

ここで、インバータ DC リンク電圧  $V_{dc}$  は 300 V, 抵抗  $R$  とインダクタンス  $L$  はそれぞれ  $1 \Omega$  と  $100 \text{ mH}$ , 電気角周波数  $\omega_4$  と  $\omega_8$  はそれぞれ  $377 \text{ rad/s}$ ,  $754 \text{ rad/s}$  として解析している。電圧振幅  $V_{\alpha 4}^*$ ,  $V_{\beta 4}^*$ ,  $V_{\alpha 8}^*$ ,  $V_{\beta 8}^*$  は、図 3 (a) 4 極動作時, (b) 8 極動作時, (c) 極数切替中を模擬して複数のパターンを与えている。図 3 より、従来の三角波比較 PWM と比較して、提案 SVM ではスイッチング損失を最大 40.5% 低減できている。以上より、提案 SVM は PCIM 駆動用インバータのスイッチング回数の最小化し、スイッチング損失を低減できることを確認した。

以上より、PCIM 駆動用多相インバータに適用でき、スイッチング回数を最小化する SVM を提案した。今後は空間ベクトルの理論的な選択方法を検討予定である。

## 文 献

- (1) Y.Hidaka et al., IEEJ Trans. on EEE, Vol.14, No.12, pp.1842-1850(2019)
- (2) T.A.Lipo et al., IEEE Trans. on IA, Vol.31, No.5, pp742-749 (1995)