

# 広負荷力率範囲に対応する三相インバータ入力電流高調波低減 SVM のデッドタイム誤差補償法

◎西澤 是呂久, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)  
小高 章弘, 鳥羽 章夫, 海田 英俊 (富士電機株式会社)

## 1. はじめに

三相電圧源インバータの長寿命化のためには, 平滑コンデンサとして用いられる電解コンデンサに流入するリップル電流を変調方式により低減する手法が有効である<sup>(1)</sup>。これまで著者らは, 電動機駆動システムに適用される三相インバータの長寿命化のための空間ベクトル変調 (SVM) を提案している<sup>(2)</sup>。本変調方式は, ゼロベクトルの適用時間を短くすることで入力電流高調波を低減し, 出力電流の符号の組み合わせよりセクタを判別することで負荷力率の変動に対応させる。広負荷力率に対応してインバータの入力電流高調波を低減し, 平滑コンデンサに流入するリップル電流を低減することで, 電動機駆動システムの平滑コンデンサの発熱低減・長寿命化が期待できる。

しかし, 本変調方式についてデッドタイム誤差の補償法が確立されておらず, 出力電流 THD の悪化が問題となっていた。本論文では, 提案 SVM のデッドタイム補償法を提案し, 実験によりその有用性を確認したので報告する。

## 2. 提案 SVM のデッドタイム補償法

図 1 に U 相および V 相電流が正, W 相電流が負の時にインバータ入力電流高調波を低減する提案 SVM 手法を示す。図 1(a) は理想スイッチングにおける出力電圧指令ベクトル  $\mathbf{V}^*$  の生成過程, 図 1(b) はデッドタイム  $T_d$  を考慮したゲート信号をそれぞれ示す。ここでは, デッドタイム誤差の影響が大きく表れる低変調率領域を例に考える。図 1(b) より, デッドタイムを考慮することで, 各選択ベクトルのオンデューティに誤差時間  $t_{x,dead}$  が生じる。デッドタイム誤差電圧ベクトルの  $\alpha, \beta$  成分は, 各選択ベクトルの  $\alpha, \beta$  成分および誤差時間より以下の式で推定できる<sup>(3)</sup>。

$$\begin{aligned} v_{\alpha,error} &= v_{0\alpha} t_{0,dead} + v_{1\alpha} t_{1,dead} + v_{3\alpha} t_{3,dead} \\ v_{\beta,error} &= v_{0\beta} t_{0,dead} + v_{1\beta} t_{1,dead} + v_{3\beta} t_{3,dead} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで,  $v_{x\alpha}$  および  $v_{x\beta}$  はそれぞれ各選択ベクトルの  $\alpha, \beta$  成分を表す。

表 1 に提案 SVM の各セクタにおけるデッドタイム誤差電圧を示す。(1)式で推定したデッドタイム誤差電圧ベクトルの  $\alpha, \beta$  成分を, 出力電圧指令ベクトルの  $\alpha, \beta$  成分から事前に差し引くことでデッドタイム補償を行う。また, 提案 SVM では前述の通りセクタを出力電流の符号の組み合わせより判別するため, セクタ内で電流極性が変化することがない。よって, 負荷力率が変動した場合でも, 表 1 に示した各セクタのデッドタイム誤差電圧は変わらない。

## 3. 実験結果

図 2 にデッドタイム補償前後の提案 SVM を適用したインバータによる IM 駆動試験結果を示す。デッドタイムの影響が大きく表れるモータ低速域を考慮し, 変調率は 0.126 と小さく設定した。また負荷力率は 0.866 である。インバータ直流中間電圧 (200 V) と変調率より出力線間電圧基本波  $v_{m,1}$  の理論値は 21.8 V である。デッドタイム補償適用前では, デッドタイム誤差電圧の影響で, 線間電圧基本波が 16.1 V となり, 理論値通りの電圧が出力されていない。それに対してデッドタイム補償を適用することで, 線間電圧基本波が 19.2 V となり, デッドタイム誤差電圧が補償されることを確認した。

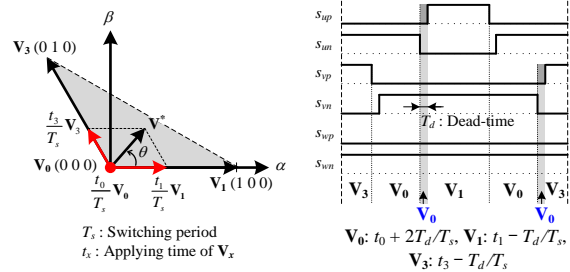


Fig. 1. Proposed SVM when modulation index is low,  $i_u$  and  $i_v$  is positive and  $i_w$  is negative (at sector B).

Table 1. Dead-time voltage errors at each sector of proposed SVM.

| Sector | Polarity |       |       | Selected vectors   | Dead-time voltage errors |                        |
|--------|----------|-------|-------|--|--------------------------|------------------------|
|        | $i_u$    | $i_v$ | $i_w$ |  | $v_{\alpha,error}^*$     | $v_{\beta,error}^*$    |
| A      | +        | -     | -     | $\mathbf{V}_6-\mathbf{V}_2-\mathbf{V}_7$ or $\mathbf{V}_1$ | $-4/3^*T_d/T_s$          | 0                      |
| B      | +        | +     | -     | $\mathbf{V}_1-\mathbf{V}_3-\mathbf{V}_0$ or $\mathbf{V}_2$ | $-2/3^*T_d/T_s$          | $-2/\sqrt{3}^*T_d/T_s$ |
| C      | -        | +     | -     | $\mathbf{V}_2-\mathbf{V}_4-\mathbf{V}_7$ or $\mathbf{V}_3$ | $2/3^*T_d/T_s$           | $-2/\sqrt{3}^*T_d/T_s$ |
| D      | -        | +     | +     | $\mathbf{V}_3-\mathbf{V}_5-\mathbf{V}_0$ or $\mathbf{V}_4$ | $4/3^*T_d/T_s$           | 0                      |
| E      | -        | -     | +     | $\mathbf{V}_4-\mathbf{V}_6-\mathbf{V}_7$ or $\mathbf{V}_5$ | $2/3^*T_d/T_s$           | $2/\sqrt{3}^*T_d/T_s$  |
| F      | +        | -     | +     | $\mathbf{V}_5-\mathbf{V}_1-\mathbf{V}_0$ or $\mathbf{V}_6$ | $-2/3^*T_d/T_s$          | $2/\sqrt{3}^*T_d/T_s$  |

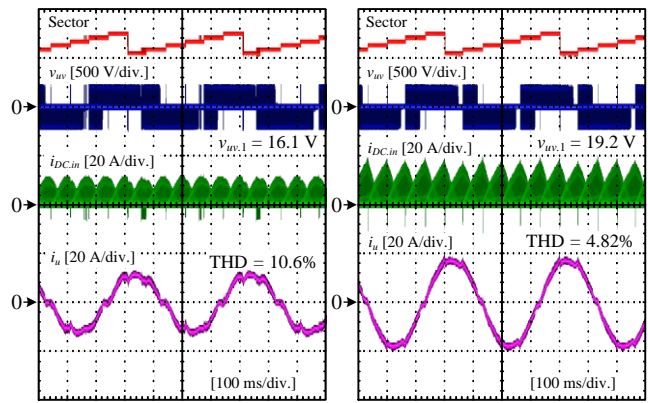


Fig. 2. Experimental waveforms at  $\cos \varphi = 0.866, m = 0.126$ .

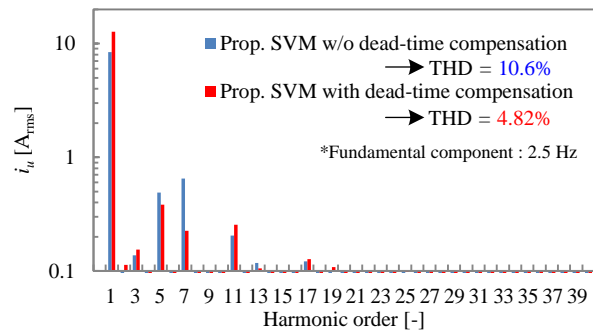


Fig. 3. Harmonic spectrum of  $i_u$  at  $\cos \varphi = 0.866, m = 0.126$ .

図 3 に U 相電流の高調波スペクトルを示す。デッドタイム補償を適用することで, デッドタイム誤差に起因する 5 次および 7 次成分が低減されていることを確認した。

## 参考文献

1. D. Nguyen et al, *IEEE Trans. PE*, Vol.29, No.1 (2014)
2. 西澤 他 : H28 電気学会全国大会, Vol.4, No.086 (2016)
3. S. Ahmed et al, *APEC 2011*, pp. 685-690 (2011)