

六相モータ向け空間ベクトル変調方式の損失比較

田中 元粋・安田 匠・熊谷 崇宏・日下 佳祐・伊東 淳一（長岡技術科学大学）

1. はじめに

多重三相モータは三相ごとに独立した中性点を有することから、既存の三相インバータの変調方式を直接転用できる⁽¹⁾。一方で、多相モータでは全相が共通の中性点を有することから、従来の方式を転用すると、循環電流が生じる可能性がある⁽²⁾。

本稿では、六相を一括して変調する空間ベクトル方式を提案し、スイッチング損失とひずみ率の観点から二重三相モータの変調法と比較する。

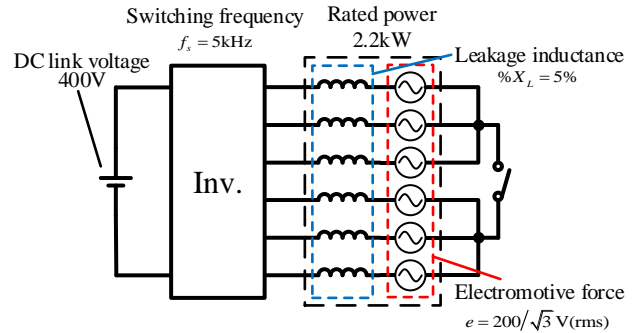


Fig.1 Six-phase VSI circuit.

2. スイッチング損失を低減する変調法

図1に六相2レベルインバータの回路図を示す。本稿では誘導機を速度起電力 e と漏れリアクタンス $\%X_L$ で模擬している。図1で模擬した誘導機は、各三相インバータの中性点の接続時は六相モータ、非接続時には二重三相モータとなる。本稿では、六相モータは六相インバータの空間ベクトル変調、二重三相モータは2台のインバータをそれぞれ三角波正弦波比較PWM(以下、従来方式)により駆動する。

図2に六相インバータの電圧ベクトル図を示す。六相インバータでは64通りの電圧ベクトルが存在する。ただし、図中には u 相を基準とした0から30deg.内で使用するベクトルのみを記載している。六相モータにおいて各相の電流をそれぞれ制御するために、各相を60 deg. (α - β), 120 deg. (α' - β'), 180 deg. (α'' - β'')ずつ回転させることで独立した3つの座標平面を得る。変換行列を(1)式に示す。

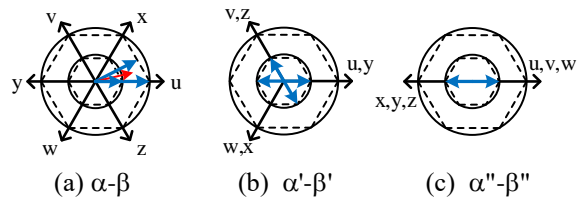


Fig.2 Vector diagram of six phase VSI.

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_{\alpha'} \\ v_{\beta'} \\ v_{\alpha''} \\ v_{\beta''} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 & 1/2 & -1 & 1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 & \sqrt{3}/2 & 0 & -\sqrt{3}/2 \\ 1 & -1/2 & -1/2 & -1/2 & 1 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 & 0 & \sqrt{3}/2 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \\ v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} \dots (1)$$

図2は、2つの三相インバータが生成する(a)電圧ベクトルの和、(b)電圧ベクトルの差、(c)零相成分の差を表している。六相モータ駆動時には、図2に示すベクトル図から最も損失が少なくなるベクトルの組み合わせと出力順番を総当りで選択して決定している(以下、提案方式)。また、二重三相モータ駆動時にはそれぞれのインバータを2相変調で駆動する。

3. シミュレーション結果

本稿では、可変速動作を想定し、速度起電力(回転速度)を変化させたときのスイッチング損失および負荷電流ひずみ率を比較する。このとき、六相電流指令値の実効値は18Aで一定とし、力率は0.86に制御する。また、六相インバータのデバイスはSCT3080AL(ROHM)である。

図3に速度起電力を変化させたときのスイッチング損失の比較結果を示す。図3では二重三相モータを従来方式で駆動した際のスイッチング損失を1p.u.として規格化している。図3より、提案方式を適用することによ

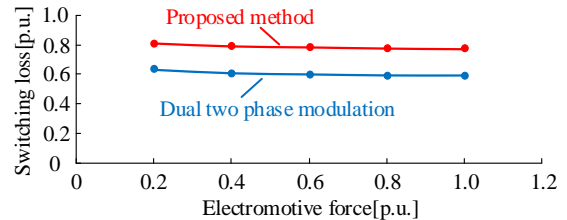


Fig.3 Comparison of losses.

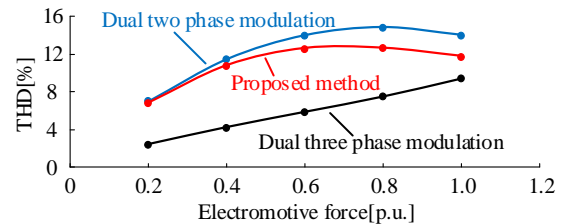


Fig.4 THD of u-phase current.

て、スイッチング損失を従来方式に対して最大で23%低減している。また、二重三相モータに2相変調を適用した場合、スイッチング損失は従来方式より最大41%低減している。よって、六相モータに比較して二重三相モータは低スイッチング損失での駆動が可能である。

図4に速度起電力を変化させたときの負荷電流ひずみ率を示す。ひずみ率はスイッチング周波数の2倍周波数である10kHzの高調波までを考慮して演算している。図4より、提案方式適用時のひずみ率は2相変調を適用した場合のひずみ率より減少している。以上より、本稿で提案する空間ベクトル変調方式は2相変調よりスイッチング損失低減効果は小さいが、低ひずみ率を実現できることを明らかにした。よって、提案方式はスイッチング周波数が低い大容量機では有用といえる。

文 献

(1) R. Bojoi, et al., IEEJ Trans. IA, Vol.126, No.4, pp. 420-429 (2006)
 (2) A. S. Abdel-Khalik, et al., IEEE Access, Vol. 8, pp. 223009-223020 (2020)