

# 単相等価回路を用いたマトリックスコンバータの動作解析

◎ 春名 順之介 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

## 1. はじめに

マトリックスコンバータ(以下 MC)は入出力両方の制御が可能であるため、発電機と電動機を接続するシステムに適用できるが、発電機と電動機の両方を電流制御すると、制御が干渉して動作が不安定になる<sup>(1)</sup>。

本論文では制御の干渉の原因を MC の単相等価回路を用いて考察する。また、干渉を解消するための出力電流制御について考察する。

## 2. 単相等価回路による解析

図1に発電機と電動機を接続したMCの構成図を示す。MCの入力フィルタは発電機の同期リアクタンスとフィルタコンデンサで構成される。ここで、MCの出力1相分を抜き出して単相等価回路を得る。

図2にMCの単相等価回路を示す。ここでは解析の簡単化のため、入出力をある位相で固定した直流モデルで考える。入力電圧にかかわらず出力電圧を一定に制御すると、非線形となる。そこで定常近傍で線形近似を行い、状態方程式を導出する。(1)式に図2の状態方程式、(2)式に(1)式のA行列、(3)式に出力方程式を示す。

$$p \begin{bmatrix} \Delta i_m \\ \Delta v_c \\ \Delta i_o \\ \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \Delta i_m \\ \Delta v_c \\ \Delta i_o \\ \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C} \frac{i_m}{2} K_p \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \frac{v_c}{2} K_p \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) & -\frac{1}{L} \\ 0 & \frac{K_i}{\eta^2 T_d} & 0 \\ 0 & -\frac{K_p}{\eta^2 T_d} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta v_{in} \\ \Delta v_o \\ \Delta v_c \end{bmatrix} \dots \dots \dots (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{C} \frac{1}{C} \left[ \frac{i_{mcs}}{v_{cs}} - \frac{i_{os}}{v_{cs}} \frac{1}{2} \left( \frac{v_{cs}^*}{v_{cs}} - i_{os} \right) K_p \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) + x_{1s} + x_{2s} \right] & \frac{1}{C} \left[ \frac{i_{os}}{2} K_p \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) - \frac{v_{mcs}}{v_{cs}} \right] & -\frac{1}{C} \frac{i_{os}}{2} & -\frac{1}{C} \frac{i_{os}}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{v_{cs}^*}{v_{cs}} - i_{os} \right) K_p \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) + x_{1s} + x_{2s} \right] & -\frac{1}{L} \frac{v_{cs}}{2} K_p \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) & \frac{1}{L} \frac{v_{cs}}{2} & \frac{1}{L} \frac{v_{cs}}{2} \\ 0 & 0 & -\frac{K_i}{\eta^2 T_d} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_p}{\eta^2 T_d} & 0 & -\frac{1}{\eta^2 T_d} \end{bmatrix} (2)$$

$$y(t) = [0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} \Delta i_m \\ \Delta v_c \\ \Delta i_o \\ \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (3)$$

従来のMCの制御では、発電機が電源の場合、同期リアクタンスの影響により、瞬時電力一定の条件下で制御すると入力側には負性抵抗特性が現れる<sup>(2)</sup>。その結果、安定性が低下し、入力電流  $I_m$  とコンデンサ電圧  $V_c$  には大きな振動が発生する。両方制御器を導入すると、MCの出力側の電流制御器(ACR)は瞬時電力を一定に制御し、入力側の振動抑制制御はこれを緩和する動作をし、矛盾が生じ制御が発散する。従って、入出力の制御を統合して考えることができれば、制御器の設計が容易になり、高インピーダンス電源の条件下で高性能な電動機駆動が実現できる。

## 3. 出力電流制御による入出力の影響

MCでは入力側の制御に微分項を付加することで、安定化が図れる。(1)-(3)式に基づいて状態フィードバックを適用することも考えられるが、ここでは簡単のため出力

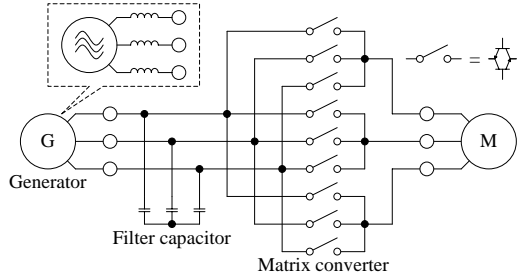


Fig. 1. System configuration of matrix converter.

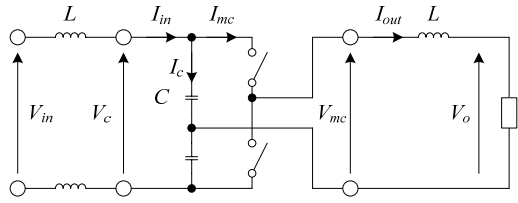


Fig. 2. Single-phase equivalent circuit of matrix converter.

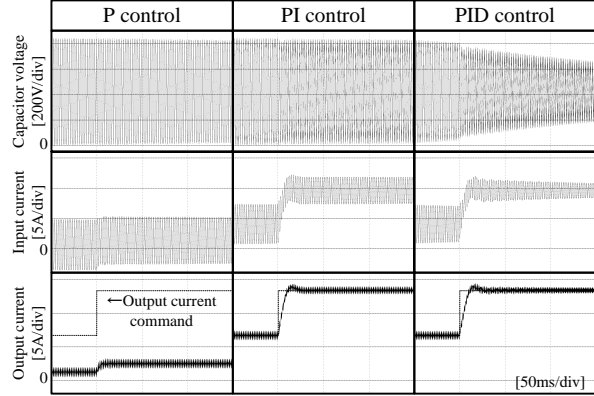


Fig. 3. Simulation results of output current control.

側の電流制御に微分項を適用することを検討する。

図3に、出力電流制御にP, PI, PID制御を用いた場合のシミュレーション結果を示す。P制御では出力電流に定常偏差が生じるがゲインが低いため、安定性はある程度確保されており、コンデンサ電圧の振動が小さい。定常偏差をなくすため、PI制御を導入すると、所望の電流が得られるが、ゲインが高く安定度が低下し、コンデンサ電圧と入力電流の振動が大きくなる。一方、PID制御の場合は入力電流に振動が抑制され、また、コンデンサ電圧の振動が大きく抑えられている。以上より、従来では入力側と出力側の制御を個別に設計していたため、入出力の干渉が問題となっていたが、出力電流制御に微分項を導入することで、入力側の振動制御を出力電流制御と統合できることがわかった。

今後は状態方程式を用いた安定解析と、三相回路での電流制御の効果を確認する予定である。

文献

(1) 春名・伊東：SPC-08-173, LD-08-76, (2008)  
 (2) I. Sato et al. : IPEC-Niigata, pp.546-551, 2005