

三相一単相マトリックスコンバータの単相電力脈動によるスナバ電圧上昇抑制制御の基礎検討

高橋 広樹*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Fundamental Consideration of Suppression Control for Snubber Voltage of Three-phase to Single-phase Matrix Converter
Hiroki Takahashi, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

マトリックスコンバータを風力発電のような数 kV, 数 MVA クラスのシステムに適用する場合, 三相一単相マトリックスコンバータをセルとしてトランスで多重化する多重マトリックスコンバータが有用である⁽¹⁻²⁾。多重マトリックスコンバータのセルは三相一単相構成なので, セルの入力電流には単相電力脈動成分が重畳する。ここで, 単相電力脈動周波数に対するフィルタキャパシタ (以下フィルタ C) インピーダンス Z_{Cf} とトランスの漏れインダクタンス (以下フィルタ L) インピーダンス Z_{Lf} が近い場合, フィルタ C 電圧に単相電力脈動成分が重畳する。これにより, セルマトリックスコンバータに並列接続されるクランプスナバの電圧が上昇し, システムの運転を阻害する問題がある。

本論文では, セルマトリックスコンバータのスナバ電圧を抑制する制御法を検討する。提案する制御はイナーシャが大きい負荷をアプリケーションとし, あえて出力電流をひずませることでスナバ電圧を抑制する。シミュレーションの結果, フィルタ L が 10% の時, スナバ電圧の上昇分を 41% 低減できることを確認したので報告する。

2. システム構成

図 1 に検討するセルマトリックスコンバータを示す。検討するシステムはダンピング抵抗付き LC フィルタと三相一単相マトリックスコンバータ, クランプスナバで構成される。ここで, マトリックスコンバータの入力電流 i_{mc} には次の周波数の単相電力脈動成分が重畳する。

$$f_{d1} = |2f_{out} - f_{in}| \quad (1)$$

$$f_{d2} = |2f_{out} + f_{in}| \quad (2)$$

ここで, f_{in} は入力の商用電源周波数, f_{out} は出力周波数である。マトリックスコンバータの三相側は電流源にみなせるため, スナバ電流を無視すれば i_{mc} はフィルタ L とフィルタ C に分流する。この時, f_{d1}, f_{d2} に対する Z_{Lf} と Z_{Cf} の関係が $Z_{Lf} \ll Z_{Cf}$ とならない場合, i_{mc} に含まれる単相電力脈動成分がフィルタ C に流入する。これにより, フィルタ C 電圧 v_{cf} に単相電力脈動成分が重畳して, クランプスナバダイオードがターンオンする。その結果, スナバ電圧が上昇し保護機能によってシステムが停止する。 f_{d1}, f_{d2} に対して $Z_{Lf} \ll Z_{Cf}$

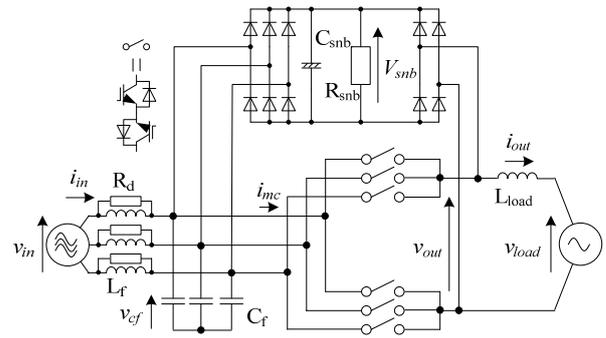


Fig. 1. Three-phase to single-phase matrix converter with a clamp snubber as a cell matrix converter.

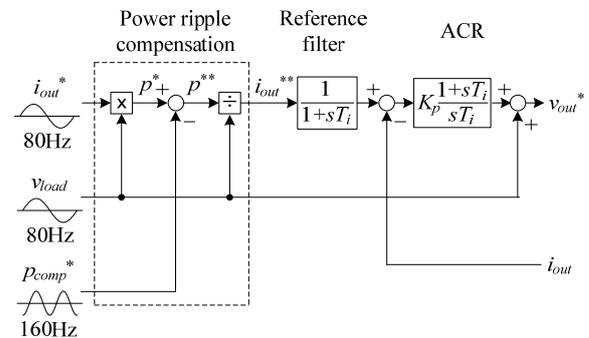


Fig. 2. Control block diagram to suppress snubber voltage.

となるようにフィルタ C を小さくしてもスナバ電圧を抑制できるが, システムの配線インダクタンスを考慮して装置ごとにフィルタ C を選定すると開発コストが増加する。

図 2 に検討するスナバ電圧抑制制御のブロック図を示す。図 2 は単相電力脈動補償, 指令値フィルタ, 出力電流 PI 制御 (以下 ACR) から構成される。図 2 の特徴は, 電力指令値 p^* から出力平均電力を変えず, 脈動電力のみを減少させるように出力電流指令値を補正する点にある。これにより, i_{mc} に含まれる単相電力脈動成分が小さくなり, スナバ電圧の上昇を抑制できる。提案法で電力脈動を補償すると出力電流に高調波成分が重畳するが, 図 1 のセルと図 2 の制御を用いた多重マトリックスコンバータの負荷モータのイナーシャが大きければ, 出力電流ひずみによるトルクリプルは

イナーシャで吸収され、その影響は少ない。本検討ではセル単体で検証するため、負荷をインダクタと電圧源とする。

3. シミュレーション結果

表 1 にシミュレーション条件を示す。単相出力なので出力周波数 80 Hz の電流指令値に追従できるように ACR 応答を 800 Hz とする。また、入力電流に含まれる単相電力脈動成分の周波数は(1), (2)式より 100 Hz, 220 Hz となる。

図 3 に単相電力脈動補償時の各部波形を示す。図 3(a)が補償なし、図 3(b)が補償ありの結果である。なお、図 3 の入力電流 i_{mc} はキャリア成分を含むので観測用のローパスフィルタを使用した。また、図 3(b)では補償する電力脈動を平均電力の 0.4 p.u. とする。補償なしの場合は出力電流が正弦波状となり、 i_{mc} に単相電力脈動成分が重畳する。この時、 i_{mc} に含まれる 100 Hz, 220 Hz 成分はそれぞれ基本波の 55.3%, 55.5% となる。さらに、フィルタなしの理想モデルでは 975.8 V となるスナバ電圧が 15.5% 増加し、1127 V まで上昇する。なお、この時の出力電流 THD (Total harmonic distortion) は 7.3% となるが、これは v_{cf} に単相電力脈動成分が重畳し、それが出力電圧に現れて ACR の外乱となるためである。しかし、図 3(b)の結果より、出力電流をひずませることで i_{mc} に含まれる 100 Hz, 220 Hz 成分をそれぞれ 33.3%, 42.1% にまで抑制できる。これにより、スナバ電圧は 1065 V となり、補償なしの結果から上昇分を 41% 低減できる。一方、出力電流 THD は 56.7% となり、提案法で出力電流をひずませることでスナバ電圧を抑制できる。

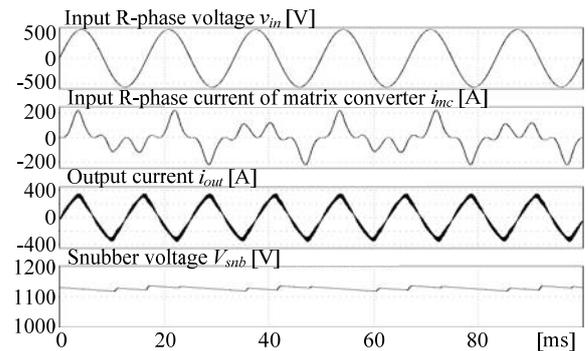
図 4 に、フィルタ L に対するスナバ電圧の上昇分と出力電流 THD のグラフを示す。フィルタ L を大きくするとフィルタ C 電圧 v_{cf} に含まれる単相電力脈動成分が大きくなるため、補償なしの場合はスナバ電圧が 15.5% 増加する。一方、フィルタ L に応じて補償する電力脈動を増やすことでスナバ電圧上昇を抑制し、上昇分を 10% 以下に低減できる。従って、提案法によるスナバ電圧抑制効果はフィルタ L が高いほど大きい。なお、出力電流 THD は補償する電力脈動に応じて増加するため、フィルタ L に対して増加する。しかし、 i_{mc} に含まれる全ての単相電力脈動成分を補償するわけではないので、出力電流 THD は 60% 以下となる。本論文ではスナバ電圧上昇分を最大限に抑制するように補償量を調整したが、スナバ電圧の抑制幅を小さくすれば、出力電流 THD は図 4 の結果よりも低減できる。

4. 結論

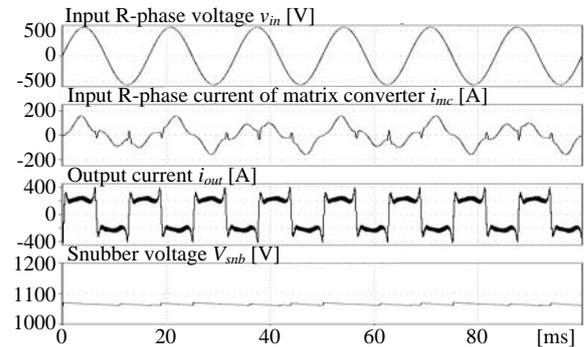
本論文では、三相-単相マトリックスコンバータの単相電力脈動によるスナバ電圧上昇を抑制する制御法を提案した。提案法は、脈動電力成分を抑制するように出力電流指令値を補正し、出力電流をひずませることでスナバ電圧を低減する。シミュレーションの結果、フィルタ L が 10% の時にスナバ電圧の上昇分を 41% 低減できることを確認した。

Table 1. Simulation parameters.

Input voltage	690 V	Rated output voltage	597 V
Rated power	200 kVA	Load voltage	0.7 p.u.
Input frequency	60 Hz	Output frequency	80 Hz
Input filter inductance	10%	Load inductance	5%
Input filter capacitance	20%	Carrier frequency	10 kHz
Damping factor of R_d	0.3	Current command	0.6 p.u.
Snubber resistance	952 Ω	Damping factor of ACR	0.7
Snubber capacitance	1000 μF	Natural frequency of ACR	800 Hz



(a) Without the proposed control.



(b) With the proposed control.

Fig. 3. Simulation waveforms ($L_f = 10\%$).

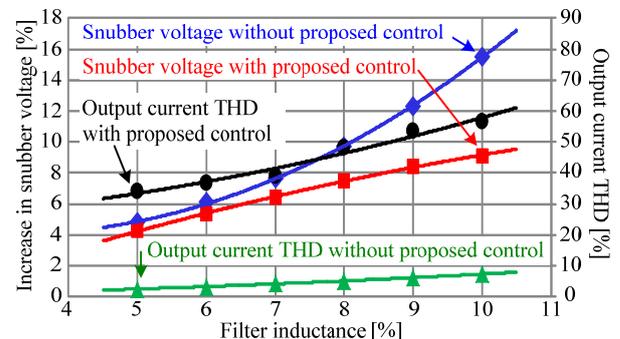


Fig. 4. Relationship among filter inductance, increase in snubber voltage and output current THD.

文献

- (1) J. Kang et al, IEEE Trans. IE., Vol. 58, No. 11 (2011)
- (2) J. Wang et al, IEEE Trans. IE., Vol. 59, No. 1 (2012)