

# 中間タップ付き DAB 型マトリックスコンバータの単相電力脈動補償法

◎入村 晃盛, 山口 正通, 渡辺 大貴, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

## 1. はじめに

電気自動車の車載用充電器には小型で双方向電力伝送可能な AC-DC 変換器が求められており, これまでに中間タップ付きトランスを適用した DAB(Dual Active Bridge)コンバータと PWM 整流器を組み合わせた電力変換器が検討されている<sup>(1)</sup>。しかし, 系統連系インダクタや DC リンクキャパシタにより回路のさらなる小型化に制約がある。

そこで本論文では, 単相/単相マトリックスコンバータ(MC)と中間タップ付きトランスを用いた DAB コンバータとを組み合わせた回路構成を提案し, シミュレーションにより電力脈動補償効果を確認する。

## 2. 提案法

図 1 に提案する回路構成を示す。本提案回路は, 単相/単相 MC と中間タップに設けられたバッファ回路およびインバータで構成される。系統側の変換器に MC を適用することで, 系統連系インダクタと DC リンクキャパシタを削減できる。

DAB 直流側はゼロ電圧を含む 3 レベル動作を行う。文献 1 の手法により, ゼロ電圧期間 $\varepsilon$ は電力脈動補償動作によって決定される。MC は仮想 AC/DC/AC 変換を用いて制御する<sup>(2)</sup>。仮想 PWM 整流器は力率制御動作を行い, 仮想出力インバータは DAB 直流側と同様のパルス有位相差 $\delta$ ずらしたスイッチパターンを出力する。

図 2(a)のように  $2\varepsilon$ が $\delta$ 以上の場合は, DAB1,2 次側のゼロ電圧期間が重なる区間がある。一方で, 図 2(b)のように  $2\varepsilon$ が $\delta$ 未満の場合は, ゼロ電圧期間が重なることはない。このゼロ電圧期間が重なる区間の有無によってインダクタ電流が変化し, 異なる電力式が求まる。(2)式では, ゼロ電圧期間と位相差の条件式を示し, それぞれの条件に対応する電力式を (3),(4)式に示す。<sup>(3)</sup>

$$\delta \leq 2\varepsilon \dots\dots\dots (2)$$

$$P_{3A} = \frac{NV_{in}v_{ac}}{2\pi\omega_{sw}L_{leak}}\delta(2\pi - 4\varepsilon - \delta) \quad \delta \leq 2\varepsilon \dots\dots\dots (3)$$

$$P_{3B} = \frac{NV_{in}v_{ac}}{\pi\omega_{sw}L_{leak}}(\pi\delta - \delta^2 - 2\varepsilon^2) \quad \delta > 2\varepsilon \dots\dots\dots (4)$$

ここで  $\omega_{sw}$  はスイッチング角周波数,  $p_{grid}$  は伝送電力,  $\varepsilon$  はゼロ電圧期間の四半分である。

(3)式および(4)式を位相差 $\delta$ について解いた式を(5)(6)式に示す。これら 2 つの式を(2)式の条件に応じて切り替えることで,  $\varepsilon$ の値に関係なく電力伝送が可能となり, 電力脈動補償動作に制約を設ける必要がない。

$$\delta_A = \pi - 2\varepsilon - \sqrt{(\pi - 2\varepsilon)^2 - \frac{2\pi\omega_{sw}L_{leak}}{NV_{dc}v_{ac}}p_{grid}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\delta_B = \frac{1}{2} \left( \pi - \sqrt{\pi^2 - 8\varepsilon^2 - \frac{4\pi\omega_{sw}L_{leak}}{NV_{dc}v_{ac}}p_{grid}} \right) \dots\dots\dots (6)$$

## 3. シミュレーション結果

図 3 に提案法の双方向動作のシミュレーション結果を示す。力行/回生の両動作において, 系統力率は 0.99, 系統電流の THD は 3.9%となり, 系統電圧のゼロクロス時にはサージが見られるものの, 電流は正弦波状に制御されている。また, バッファ電流はリップルが最大 3.3App で, 指令値に追従している。

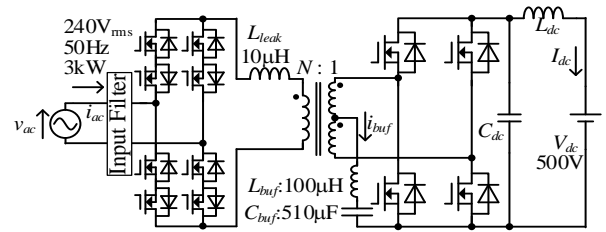


図 1 提案回路

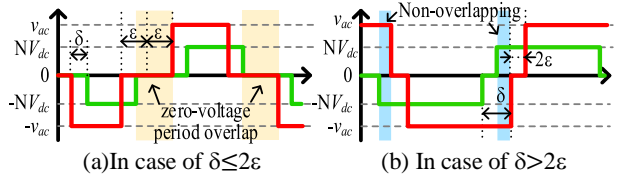


図 2 ゼロ電圧期間と位相差による電圧波形の変化

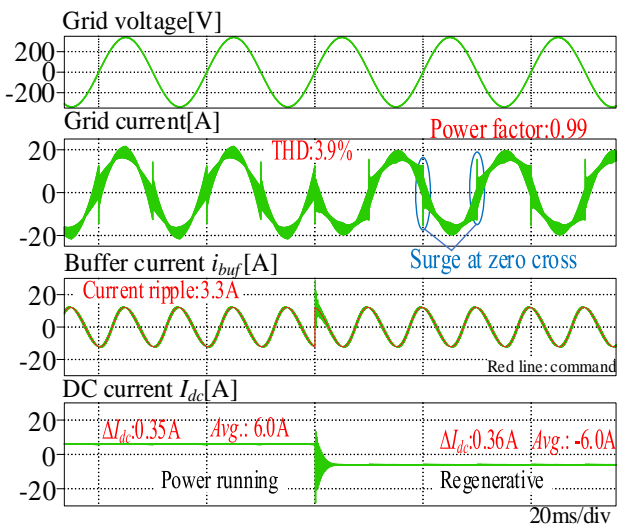


図 3 提案回路の力行/回生動作結果

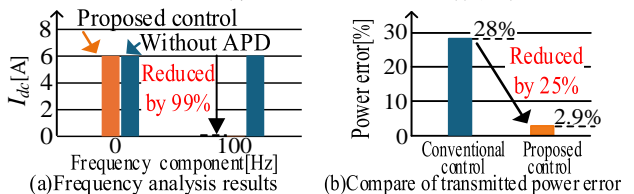


図 4 直流電流の周波数解析結果および伝送電力誤差比較

図 4 には, 電力脈動補償の有無における直流電流の周波数解析結果と, 従来法および提案法の伝送電力誤差の比較結果を示す。図 4(a)から, 提案する電力脈動補償制御を適用することで, 単相系統の電力脈動の原因である 100Hz 成分が 99%低減することが確認された。また図 4(b)は, 回路パラメータを従来法と提案法で同値に設定し, 3kW でのシミュレーションを行った結果を示している。この結果, 伝送電力誤差の最大値が 25%低減することが確認された。

今後は回路パラメータの最適化や実機検証による有効性の評価, ゼロクロスのサージ低減を行う予定である。

## 参考文献

1. 入村, 伊東:北陸支部連合大会,A9-4, 2023 年
2. 伊東, 佐藤:産業応用部門大会, 124 巻 5 号, 2004 年
3. N. Hou, W. Song: IEEE vol. 31, no.12, pp8552-8561(2016)