

中間タップトランスを用いた DAB 型 AC-DC コンバータの電力脈動補償法

中村 晃盛・山ノ口 皓喜・渡辺大貴・伊東 淳一(長岡技術科学大学)

1. はじめに

EV 向け充電器を例に、交流電力を直流に変換する双方向 AC-DC コンバータが広く用いられている。単相交流に連系する場合、電源周波数の 2 倍周波数で瞬時電力が脈動する。そのため大型な電解コンデンサや追加素子が必要となり、回路の大型化や短寿命化を招きやすい⁽¹⁾。

本論文では、双方向 DAB(Dual Active Bridge Converter) コンバータと中間タップトランス、小容量キャパシタを用いた電力脈動補償法を提案する。シミュレーションにより回路の有効性を確認したため報告する。

2. 提案手法

図 1 に提案回路を示す。本回路は中間タップに電力脈動を補償するバッファ回路を接続した DAB コンバータ、PWM コンバータから構成される。DAB コンバータは上もしくは下アーム 2 つを同時にオンする同相モードを用いて電力脈動補償、対向アームをオンする差動モードによって伝送電力制御をそれぞれ実現する。なお、同相モードはトランス電圧におけるゼロ電圧期間に相当する。

図 2 に DAB コンバータの制御ブロック図を示す。また、PWM コンバータは直流中間電圧と系統電流制御を適用している。バッファキャパシタ C_{buf} の充放電電流は PI 制御を用いて制御する。この時の電流指令 i_{buf}^* は(1)式で表される。

$$i_{buf}^* = \frac{P_{ave}^* \cos(2\omega t)}{\sqrt{\frac{V_{in}^2}{4} + \frac{P_{ave}^*}{\omega C_{buf}} \sin(2\omega t)}} \dots\dots\dots (1)$$

なお P_{ave}^* は電力指令、 ω は電源角周波数である。PI 制御器はゼロ電圧期間 ε を操作量として出力し、ゼロ電圧期間を調整する⁽²⁾。また DAB の伝送電力 $P_{3L\gamma}$ は ε 及び位相差 δ を用いて(2)式で表される⁽³⁾。

$$P_{3L\gamma} = \frac{V_m V_{dc}}{2\pi\omega_{sw} L_{leak}} \delta(2\pi - 4\varepsilon - \delta) \quad \delta \leq 2\varepsilon \quad \delta \leq -2\varepsilon + \pi \quad (2)$$

ここで、 V_{dc} は DAB の 2 次側直流電圧、 ω_{sw} はスイッチング角周波数である。所望の伝送電力を実現するには、電力脈動補償で決定される ε に対応した δ を決定する必要がある。伝送電力を系統電力 p_{grid} として、 δ は(2)式を変形することで(3)式のように決定できる。

$$\delta = \pi - 2\varepsilon - \sqrt{(\pi - 2\varepsilon)^2 - \frac{2\pi\omega_{sw} L_{leak}}{V_m V_{dc}} p_{grid}} \dots\dots\dots (3)$$

また、伝送電力制御と電力脈動補償を両立するための ε は(1)式が成り立つために、(4)式を満たす必要がある。

$$0 < \varepsilon < \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2\pi\omega_{sw} L_{leak}}{V_m V_{dc}} p_{grid}} \dots\dots\dots (4)$$

3. シミュレーション結果

図 3(a)に脈動補償無しの場合、図 3(b)はありの場合のシミュレーション結果を示す。系統力率は 0.99、系統電流の THD は 3.6% となり正弦波状に制御できている。また、 i_{buf} が(1)式に追従しており、図 3(a)の入力電流 i_{in} の脈

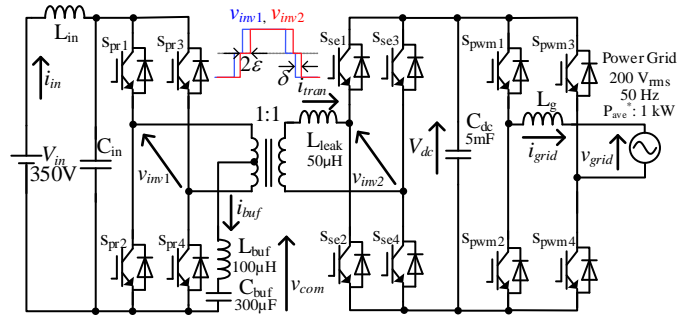


Fig. 1. Proposed AC-DC converter using center-tap transformer.

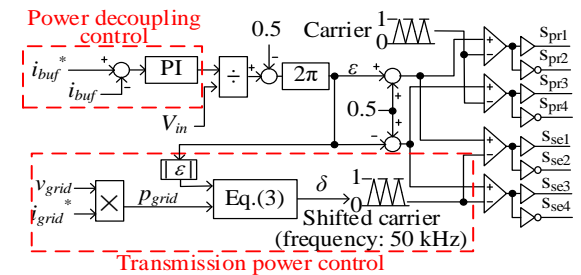


Fig. 2. Control block diagram of DAB converter.

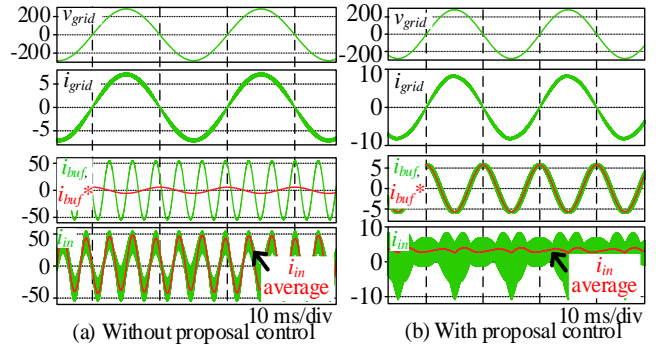


Fig. 3. Simulation results of proposed power decoupling control.

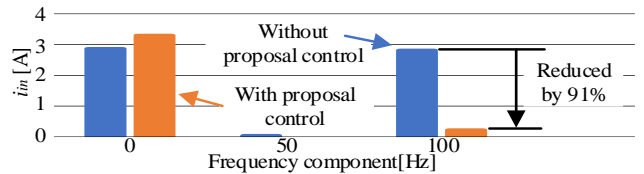


Fig. 4. Harmonic analysis result of Input current

動が低減されていることを確認した。加えて、伝送電力 1 kW における DAB コンバータの 1,2 次側上アームの ZVS 動作及び、(4)式を満たす入出力電圧での昇降圧動作を確認している。

図 4 に提案制御の有無における、入力電流 i_{in} の周波数解析結果を示す。提案する電力脈動補償制御を適用することで 100 Hz 成分を 91%低減でき、一定の直流電力が得られることを確認した。今後は回路パラメータの最適化、ZVS 動作検証、実機検証を行う予定である。

文献

- (1) K. H. Chao, P. T. Cheng, ECCE, pp.3742-3747, 2009 年
- (2) 林, 伊東: 電気学会全国大会, 4-051, 2008 年
- (3) 河内, 伊東: 産業応用部門大会(2018)