

# Dual Active Bridge コンバータの 3 レベル動作による電力誤差補償法

©河内 謙吾, 比嘉 隼, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

## 1. はじめに

近年, 電気自動車やスマートグリッドなどの蓄電システムの普及により, デュアルアクティブブリッジ(DAB)コンバータが注目されている。DAB コンバータは軽負荷領域において, デッドタイムにより中点クランプ現象が発生し, 伝送電力に誤差が発生する<sup>(1)</sup>。本論文では, ゼロ電圧期間を含んだ 3 レベル電圧波形を用いて, デッドタイムによる電力誤差を低減する手法を提案する。実機検証により, 提案法の妥当性を検証したので報告する。

## 2. 回路構成および動作原理

図 1 に DAB コンバータの回路図を示す。一次側と二次側のインバータは方形波電圧もしくはゼロ電圧を含んだ 3 レベル電圧を出力する。

図 2 に 2 レベルの動作波形および提案する 2 種類の 3 レベル動作波形を示す。2 レベル動作においてデッドタイムがある場合, 中点クランプ現象が発生する。この現象により発生する電力誤差はデッドタイムと各インバータ出力電圧の位相差のみで決定するため, デッドタイム補償を用いたとしても軽負荷領域で電力が伝送できない。そこで, 図 2(b),(c)に示す 3 レベル動作を用いることで動作の自由度がゼロ電圧期間および位相差となるため, 中点クランプ現象を回避でき, デッドタイムによる電力誤差を補償できる。また, 電力指令値によって 2 つの 3 レベル動作を切り替えることで広い負荷範囲で電力誤差を補償できる。

次に動作モードの決定方法を示す。まず, 2 レベル動作で電力指令を達成するために必要な位相差 $\delta$ を伝送電力と位相差の関係<sup>(1)</sup>から導出する。導出した位相差 $\delta$ とデッドタイム $\delta_{dt}$ の条件が $\delta > 2\delta_{dt}$ を満たす場合は 2 レベル動作,  $\delta \leq 2\delta_{dt}$ となる場合は 3 レベル動作を使用する。2 レベル動作では計算した位相差 $\delta$ を指令値とする。一方, 3 レベル動作では, 負荷によって 2 つの 3 レベル動作を切り替えるため, 電力指令  $P_{ref}$  からゼロ電圧期間 $\varepsilon$ および使用する動作モードを決定するために必要な条件を(1), (2)式に示す。

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left( \pi - \sqrt{2\pi\omega L P_{ref} / V_{in}^2} \right) \quad (1)$$

$$\varepsilon > \pi/4 + 1/2\delta_{dt} \quad (2)$$

(2)式を満足する場合に 3 レベル動作の mode1 を使用する。なお, mode1 の場合, 位相差 $\delta$ は伝送電力に寄与しないため, 各インバータのゼロ電圧期間のみで電力が決定する。一方, (2)式が成立しない場合は mode2 を使用し, 電力指令  $P_{ref}$  から mode2 適用時に必要なゼロ電圧期間 $\varepsilon$ を(3)式により計算する。

$$\varepsilon = 1/4 \left( 2\pi - \delta - 2\pi\omega L P_{ref} / \delta V_{in}^2 \right) \quad (3)$$

デッドタイムを考慮したゼロ電圧期間 $\varepsilon_{ref}$ ,  $\gamma_{ref}$  および位相差指令 $\delta_{ref}$ を(4)式に示す。

$$\begin{aligned} \delta_{ref} &= \delta_{const} + \delta_{dt}/2 \\ \varepsilon_{ref} &= \varepsilon - \delta_{dt}/2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\gamma_{ref} = \varepsilon$$

(4)式において, mode1 適用時には $\delta_{const}$ に $\pi/2$  rad, mode2 適用時には $\pi/4$  rad を代入する。

## 3. 実験結果

3 レベル DCM 動作の妥当性を確認するために, 図 1 に記載する実験条件を用いて 2 レベル動作および 3 レベル動作を比較する。

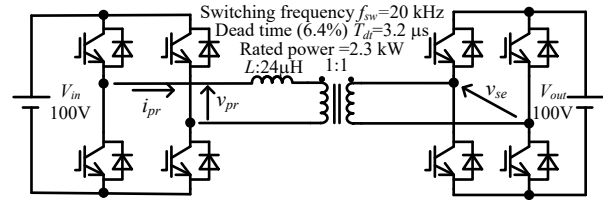


Fig. 1. Dual active bridge converter.

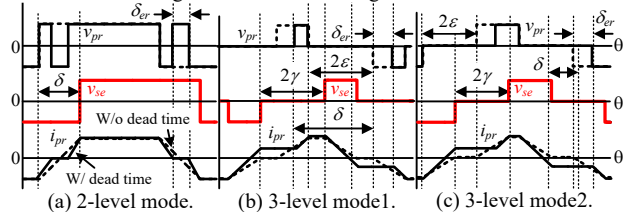


Fig. 2. Operation mode.

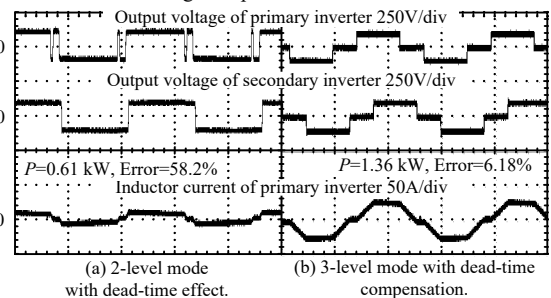


Fig. 3. Experimental waveforms at  $P_{ref}=1.45$  kW.

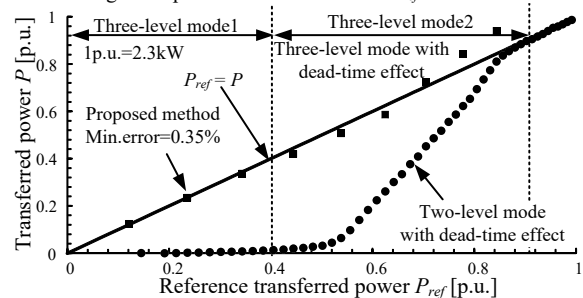


Fig. 4. Characteristics of transferred power.

図 3 に位相差 $\delta = \pi/6$  rad 時の 2 レベルおよび 3 レベルの動作波形を示す。図 3(a)では, 中点クランプ現象により, 電力に誤差が発生している。図 3(b)は 3 レベル動作波形である。図 3(b)から中点クランプを回避でき, 電力誤差を 58.2%から 6.18%に低減できる。

図 4 に電力指令に対する伝送電力を示す。2 レベル動作の場合, 電力指令値 0.19p.u. 以下では位相差指令値 $\delta$ がデッドタイム $\delta_{dt}$ より小さくなるため, 伝送電力がゼロとなる。一方, 提案法を適用することで 2 レベル動作と比較して電力指令に対する最大誤差が 99.3%から 0.35%に低減できる。しかし, 2 レベル動作と 3 レベル動作の切り替え点付近で 3 レベル動作時の伝送電力が指令値に対して, 11.3%の誤差が発生している。これはデッドタイムが長く mode2 の補償可能範囲外となるため, 3 レベル電圧波形に中点クランプ現象が発生していることが原因である。2 レベル動作と 3 レベル動作の切り替え点付近の誤差補償法については今後の課題とする。

## 参考文献

- (1) B. Zhao, et al:IEEE Trans. PELS, Vol.29, No.4, (2014)
- (2) F. Krismer, IEEE Trans. PELS., Vol. 27, No.1, (2012)