

モジュラーマルチレベルコンバータの

半導体素子の損失定式化及びインダクタンス設計法

門嶋 祥之・中西 俊貴・伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年、マルチレベル電力変換器の一つであるモジュラーマルチレベルコンバータ(以下 MMC)が注目され、様々なアプリケーションへの適用が提案されている。しかし、MMC の損失や回路パラメータについての言及がなく、設計法が確立されていない。本論文では、MMC の半導体素子の損失計算法及びバッファリアクトルのインダクタンス設計法を確立したため報告する。

2. 動作原理

図 1 に MMC を用いた三相インバータを示す。主回路は、チョップセルとバッファリアクトルにより構成される。各セルの出力電圧を PWM 制御することで相電圧 v を制御し、セル数 n の場合、相電圧はゼロ電圧を含め、 $(n+1)$ レベルの PWM 波形となる⁽¹⁾。

3. 半導体素子の損失計算法

損失計算の前提条件として、リップル電圧による影響を取り除くため、各チョップセルのコンデンサは一定の指令値電圧に保たれていると仮定する。よって、全コンデンサを理想電圧源に置き換えて損失計算法を検討する。

各セルのアーム電流とスイッチングパターンは共通であるため、各セルの半導体素子の損失は等しくなる。したがって、1 セルの半導体素子の損失を導出すれば良い。セル 1 つあたりの損失 P_{cell} は(1)式にて求められる。

$$P_{cell} = P_{U_SW_Con} + P_{U_SW_Sw} + P_{U_FWD_Con} + P_{U_FWD_Rec} + P_{L_SW_Con} + P_{L_SW_Sw} + P_{L_FWD_Con} + P_{L_FWD_Rec} \quad \dots(1)$$

ここで、 $P_{U_SW_Con}$: 上側 SW の導通損失、 $P_{U_SW_Sw}$: 上側 SW のスイッチング損失、 $P_{U_FWD_Con}$: 上側 FWD の導通損失、 $P_{U_FWD_Rec}$: 上側 FWD のリカバリ損失、 $P_{L_SW_Con}$: 下側 SW の導通損失、 $P_{L_SW_Sw}$: 下側 SW のスイッチング損失、 $P_{L_FWD_Con}$: 下側 FWD の導通損失、 $P_{L_FWD_Rec}$: 下側 FWD のリカバリ損失である。

導通損失の周期平均値 P_{Con} は素子のオン電圧 v_{on} と素子に流れる電流 i_{on} から導出することができ、(2)式より導出することができる。

$$P_{Con} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} v_{on} i_{on} d\theta \quad \dots(2)$$

スイッチング損失及びリカバリ損失の周期平均値 P_{Sw} 、 P_{Rec} はスイッチング一回あたりの損失 e とキャリア周波数 f_c から導出することができ、(3)式より導出することができる。なお、 e はセルの直流電圧 V 、素子に流れる電流の平均値 I に比例すると仮定し、損失測定時の電圧 V_d と電流 I_d で基準化している。

$$P_{Sw(Rec)} = \frac{V I e}{V_d I_d} f_c \quad \dots(3)$$

図 2 に損失と効率について、回路シミュレーションにより求めた値と(2)、(3)式より導出し、(1)式により推定した理論値との比較結果を示す。図 2 より、損失計算にお

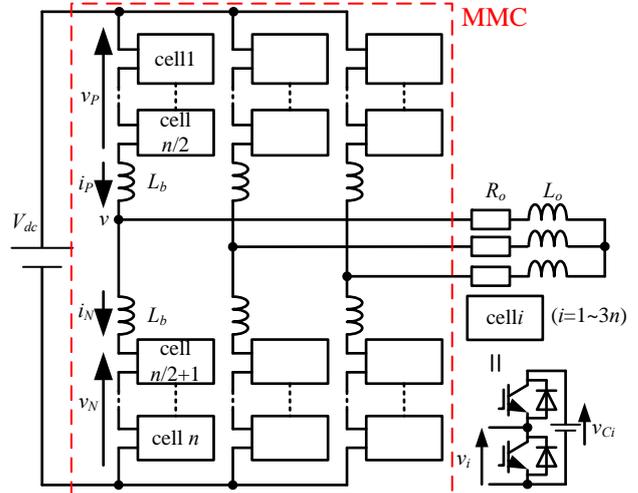


Fig.1 Three phase inverter using MMC.

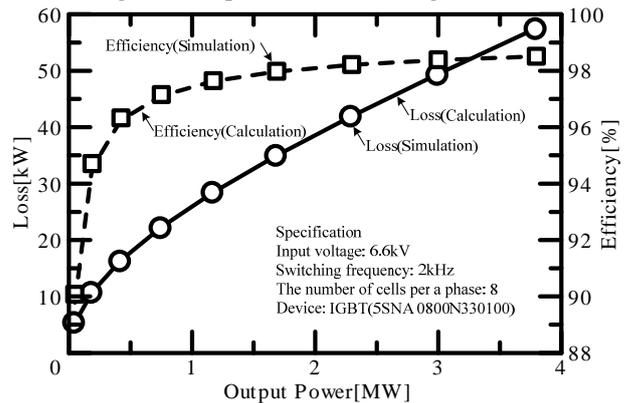


Fig.2 Semiconductor loss and efficiency of the MMC.

いてシミュレーション結果と計算結果の最大誤差率は 3.4%であり、理論式の妥当性を確認した。

4. バッファリアクトル設計法

回路の仕様として V_{dc} : 入力電圧、 S : 電力容量、 n : セル数、 a : 変調度、 $\cos\phi$: 力率、 f_{out} : 出力周波数、 f_c : キャリア周波数を決定すると、バッファリアクトルに流れる最大電流 I_{max} は一意に決定し、それに対する許容リップル率 $x(0\sim 1)$ を決定することにより(4)式にてバッファリアクトルのインダクタンス L_b を一意に決定できる。

$$L_b = \frac{V_{dc}}{n^2 f_c x I_{max}} \quad \dots(4)$$

5. まとめ

MMC の半導体損失の理論式はシミュレーションと比較し、誤差率 3.4%により妥当性が確認できた。また、バッファリアクトルのインダクタンスを一意に決定する設計法を提案した。今後は、MMC の半導体素子の損失の理論式の妥当性を実機実験によって確認する予定である。

文献

(1) 萩原, 赤木 : 電学論 D, Vol. 128, No. 7, (2008)