

直接変換型モジュラー・マルチレベル・コンバータに関する基礎検討

◎中西 俊貴, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

大容量の直接変換を実現する手段として, モジュラー・マルチレベル・コンバータ(以下 MMC)が盛んに研究されている⁽¹⁾。しかし, MMC による商用周波数から高周波交流への直接変換は筆者らの知る限り報告されていない。

本稿では, 入力電流制御, キャパシタ電圧一定制御および高周波出力を同時に実現する直接変換型 MMC について基礎検討を行い, その有用性について報告する。

2. 回路方式

図1に基礎検討に用いる直接変換型 MMC の回路図を示す。本回路は三相電圧源を入力とし, バッファリアクトル L_b を介して各セルが A, B 相で結線され, 負荷へと接続される。また, 各セルは図中に示した交流出力が可能なフルブリッジ型で構成される。各セルの制御には 180 度位相をずらした 2 つの三角波キャリアを用いる正弦波 PWM 変調法を採用する⁽²⁾。

3. 制御方式

図2に直接変換型 MMC の制御ブロックを示す。本制御システムを A, B の各相個別に適用することでシステム全体を制御することができる。また, 制御系は, 平均値制御とバランス制御による各セルのキャパシタ電圧一定制御および入力電流制御から成る。

平均値制御ではセルのキャパシタ電圧の平均値 v_{c_ave} と指令値 v_c^* に対して PI 制御により誤差補正を行う。この時, 有効電流 i_d を各セルのキャパシタ電圧制御に用いる。また, 無効電流 i_q は電圧制御に関与しないので零とする。

次に, バランス制御では各セルキャパシタ間における電圧の均一化を行う。ここで, 各キャパシタ電圧と平均値との差 v_{cke} を(1)式に示す。ただし, $k = r, s, t$ とする。

$$v_{cke} = v_{ck} - v_{c_ave} \quad k = r, s, t \dots \dots \dots (1)$$

(1)式から得られた結果を回転座標に変換すると電圧偏差 v_{cde} , v_{cqe} が求められる。キャパシタ電圧は有効電流でのみ制御できることから電圧偏差の有効成分 v_{cde} を零に近づけるように制御する。

入力電流制御ではキャパシタ電圧一定制御から得た i_d を有効電流指令値 i_d^* とし, 無効電流指令値 i_q^* を零とする。

以上から得られた v_d^* , v_q^* を逆変換し, 出力電圧指令値 v_{HF}^* を重畳させることでセルの電圧指令値 v_k^* が得られる。

4. シミュレーション結果

図3に入力電圧および入力電流波形を示す。波形からもわかるように入力電流は入力電圧に対して同相となり, 正弦波に制御できていることがわかる。

図4にキャパシタ電圧波形を示す。波形より指令値である 300[V]にほぼ一定に制御できていることがわかる。また, 高周波出力動作によって電圧が変動するが, キャパシタ電圧一定制御により大きな変動を招くことはない。

図5に出力電圧波形を示す。出力電圧指令値 v_{HF}^* に沿った 250[V], 1[kHz]の波形が得られている。また, 立ち上がり, 立ち下り時の時定数は回路中のインダクタンスと負荷 R によって決定される。特に, 負荷に対して各レグが並列に接続されているため, 負荷からみた等価インダクタンスはバッファリアクトル L_b の 2/3 倍となる。

発生するリップルはセルの出力電圧に起因するものであり, 抑制にはインダクタンス値を大きくすることやキャリア周波数を大きくするなどの方法が挙げられる。

以上より, 直接変換型 MMC は入力電流, キャパシタ電圧一定制御, 高周波出力を同時に実現することができる。

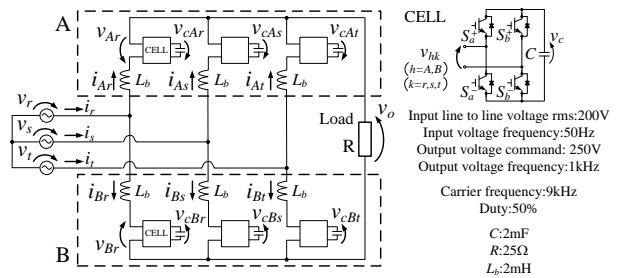


Fig.1. System configuration diagram.

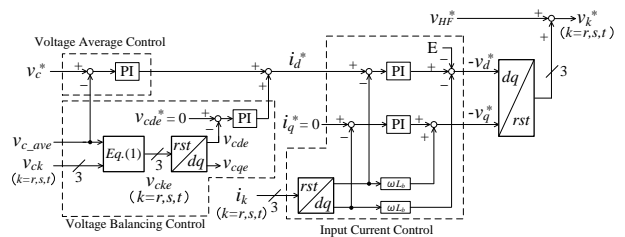


Fig.2. Control block diagram.

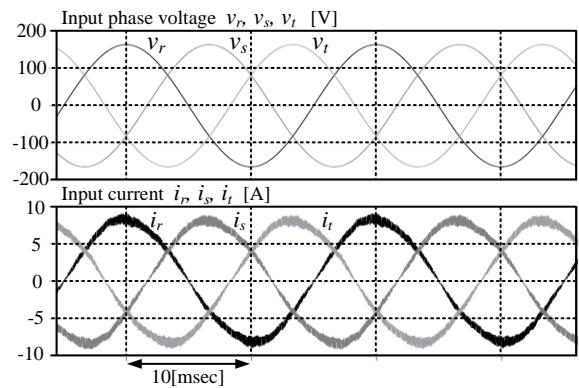


Fig.3. Waveforms of input voltage and current.

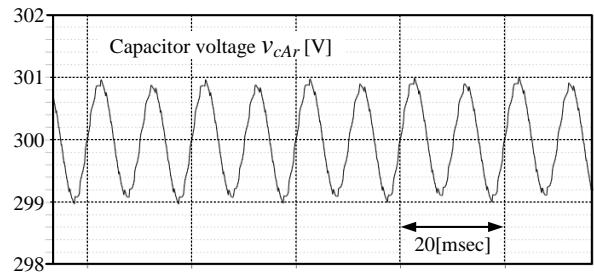


Fig.4. Waveform of capacitor voltage.

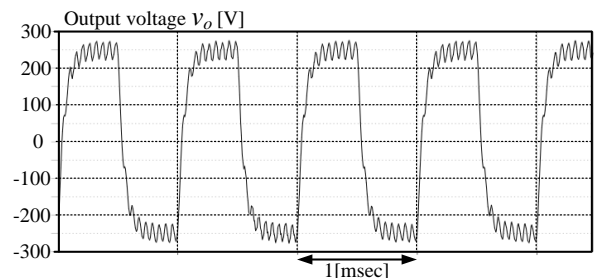


Fig.5. Waveform of output voltage.

参考文献

1. 赤木, 萩原 : H22, 電気学会全国大会, 4-043,
2. 林, 竹下 他 : H24, JIASC, 1-48, I-237-I-240