

カスケードチョップセルを用いたマルチポートコンバータの アーム内での負荷分担の制御法

◎安田 匠, 熊谷 崇宏, 宮下 充, 日下 佳祐, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年, 複数の蓄電デバイスを同時に充電可能な大容量充電器として, カスケードチョップセルを利用したマルチポートコンバータが提案されている⁽¹⁾. このマルチポートコンバータは, アームやセル間で電力の授受を行い, 負荷がアンバランスな状態でも平衡三相電流を得ることができる⁽²⁾. しかし, アーム内のセル間の負荷分担の制御方法について明かでない.

本論文では, アーム内における各セルの負荷の比を用いてセルの電圧指令値を分圧することで, アーム内のセル間の負荷分担の制御法を提案する. シミュレーションにより, 提案制御が所望の負荷分担を実現できることを確認したので報告する.

2. マルチポートコンバータの回路構成

図 1 にカスケードチョップセルを用いたマルチポートコンバータを示す. 本回路ではカスケード接続されたチョップセルにそれぞれ負荷を接続している. 本論文では, アーム当たりのセル数を 2 としている.

図 2 にマルチポートコンバータの制御ブロック図を示す. 制御系は, 3つの電圧制御と 2つの電流制御で構成される. 平均電圧制御は, コンバータ全体の負荷より入力電流指令値を生成する. レグ電圧バランス制御およびアーム電圧バランス制御は, 各アーム間で所望の電力の授受を行うために挿入される. 各電圧制御によって得られた電流指令値は, システム電流制御と循環電流制御に入力され, アーム電圧指令値が得られる. アーム電圧は, チョップセルに起因する直流電圧 V_{dc} と系統相電圧に等しい基本周波数成分の電圧 V_g で構成されると近似でき, (1)式に示される⁽²⁾.

$$v_{arm} = V_{dc} + \sqrt{2}V_g \sin \omega t \quad (1)$$

提案制御のアーム内電圧バランス制御では, アーム電圧 v_{arm} をアーム内の各セルの負荷に応じて分配することによって, 各セルへ入力される電力を調整する. そのため, アーム内電圧バランス制御には動作範囲が存在する. アーム内のセル電圧指令値は, アーム電圧指令値をアーム内 2セルの電力の比 $P_{cell1}:P_{cell2}$ で分圧することによって得られる. 各セルのセル電圧指令値を(2), (3)式に示す.

$$v_{cell1} = \frac{P_{cell1}}{P_{cell1} + P_{cell2}} v_{arm} = k v_{arm} \quad (2)$$

$$v_{cell2} = \frac{P_{cell2}}{P_{cell1} + P_{cell2}} v_{arm} = (1-k) v_{arm} \quad (3)$$

ただし, k はアームの負荷 $P_{cell1}+P_{cell2}$ に対するセル 1 の負荷 P_{cell1} の比を示している. (2), (3)式で求めたセル電圧 v_{cell1} と v_{cell2} の最大値はセルの直流電圧 V_{dc} 以下である必要がある. 提案法の動作範囲を(4)式に示す.

$$\frac{\sqrt{2}V_g}{V_{dc} + \sqrt{2}V_g} \leq k \leq \frac{V_{dc}}{V_{dc} + \sqrt{2}V_g} \quad (4)$$

(4)式を満足する場合, 提案する制御法により所望の電力分配を実現できる. セルの直流電圧 V_{dc} が増加すると, (4)式を満たす電力の範囲が拡大する.

3. 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. なお, 動作条件は図 1 に記載の通りであり(4)式を満たしている. 各セルに不平衡負荷を接続しても入力電流は入力電圧に

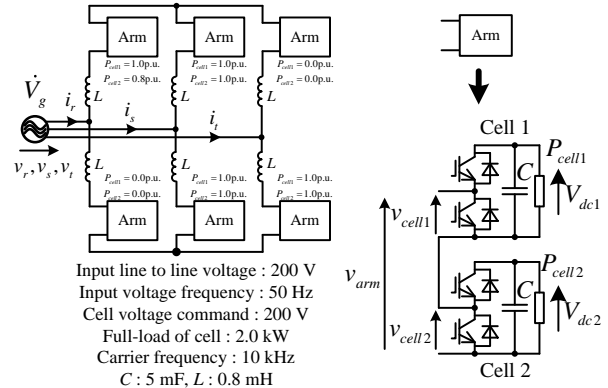


Fig. 1. Multiport converter with cascade chopper-cells.

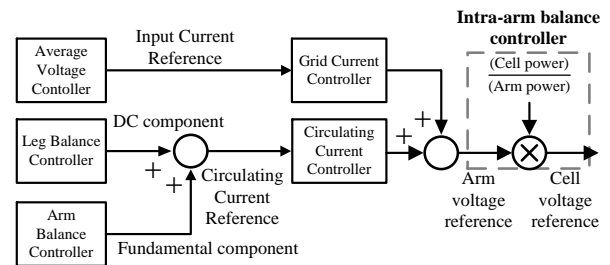


Fig. 2. Control block diagram.

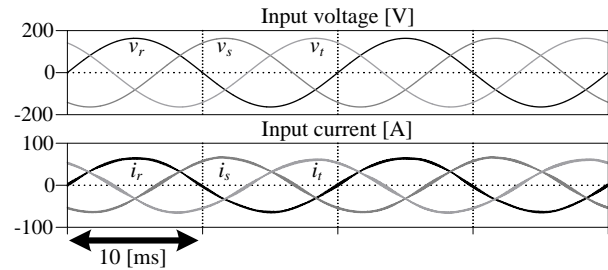


Fig.3. Waveform of input voltage and current.

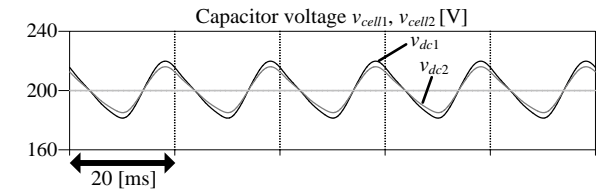


Fig.4. Waveform of capacitor voltage.

対して同相となり, 力率 1 かつ平衡三相の正弦波に制御できている.

図 4 にアーム内 2セルのキャパシタ電圧波形を示す. 各セルの直流電圧平均値は, 指令値である 200 V に一致している. つまり, 提案する制御法によってアーム内の各セルの負荷に応じた電力を入力し, セルの直流電圧のバランスを維持している.

以上より, カスケードチョップセルを用いたマルチポートコンバータは, 提案する制御手法によって, 負荷アンバランスを補償することができる.

参考文献

1. M. Quraan, et al. : IEEE Trans. Power Electron., Vol.31, No.1 pp. 507-517 (2016)
2. G. Guidi, et al.: ICPE 2019-ECCE Asia, pp.2059-2066 (2019)