

セル方式マルチポート EV 充電器の無線通信を用いた電力バランス制御

大島 慶太*, 渡辺 大貴, 伊東 淳一, 日下 佳祐 (長岡技術科学大学)

Power Sharing Control Using Wireless Communication for Multi-port EV charger with Multiple Cells
Keita Ohata, Hiroki Watanabe, Jun-ichi Itoh, Keisuke Kusaka (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、電気自動車(EV)用充電器のマルチポート化および大容量化が求められている。大容量の電力変換回路の構成として、小容量の電力変換器(セル)を直並列に接続し、一つの電力変換器とするマルチセル構成がある。各セルに独立したコントローラを有した場合、検出誤差により並列接続されたセルの電圧制御系間あるいは直列接続されたセルの電流制御系間で制御が干渉し、動作が不安定になる。そこで、電圧や電流のドループ制御が検討されている⁽¹⁾⁽²⁾が、ドループ制御のみでは各セルの電力分担にアンバランスが生じる。しかし、通信線を配置すると拡張性や信頼性が低下する懸念がある。

本論文では、比較的遅い無線通信を用いて、セル間の電力をバランスさせる制御法を提案する。提案法は瞬時値を必要としないため、無線のような遅い通信でも実現できる特徴がある。有用性を実験によって確認したので報告する。

2. システム構成

図 1 に提案する EV 充電器のシステム構成および主回路を示す。各セルは単相 AC-DC コンバータであり、PFC 回路と共振型 DC-DC コンバータで構成されている。PFC 回路は入力電流を正弦波状に電流を制御することで力率改善動作を行う。共振型 DC-DC コンバータはトランスと直列に挿入したインダクタ L_s とコンデンサ C_s の直列共振動作により、ソフトスイッチング条件で動作する。

本回路では 3 つのセルの入力をデルタ結線し、出力を並列接続した主回路とそれらの制御を行うスレーブコントローラを 1 ユニットとする。三相系統に複数ユニットを直並列接続することで、システム定格を容易に拡張できる。

コントローラ構成は、スレーブコントローラを統括するマスターコントローラ(以下、マスター)と、各ユニット内の 3 つのセルを制御するスレーブコントローラ(以下、スレーブ)からなる。マスター-スレーブ間通信には 920 MHz 帯無線モジュールを用いており、100 ms ~ 500 ms 程度の遅延を含んでいる。無線通信を用いることで、信号線が不要となり保守容易化、低コスト化、設計自由度向上を実現できる。本稿では、2 つのユニットを並列接続した条件($N=2$)で評価を行う。

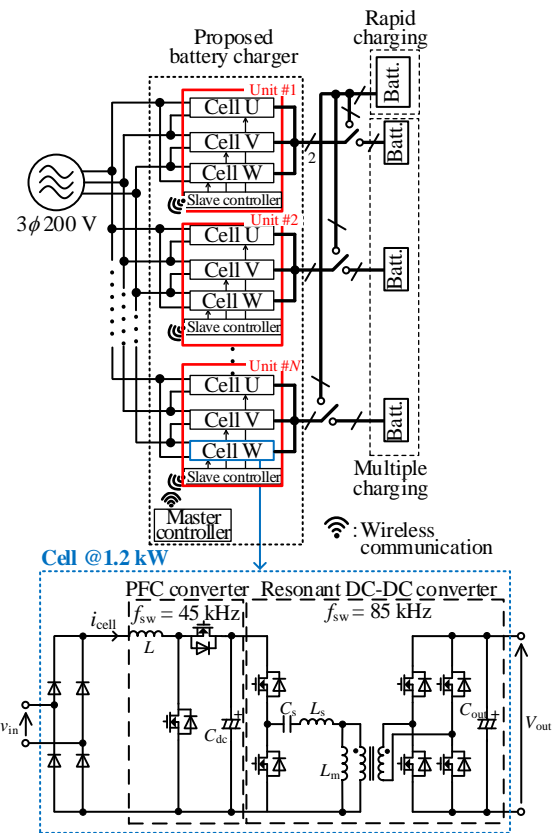


Fig.1 Proposed battery charger for electric vehicle.

3. セル電力バランス制御法

図 2 に提案するセル電力バランス制御法のブロック線図を示す。マスターは、各スレーブから各ユニットの入力電流指令値 I_{unit}^* を受信し、所望の出力電圧 V_{out}^* と各ユニットの入力電流指令平均値 I_{avg}^* を各スレーブへ送信する。スレーブは出力電圧制御器(A)、入力電流制御器(B)、出力電圧ドループ制御(C) および入力電流バランス制御(D) から構成される。

出力電圧制御は、入力電流バランス制御および出力電圧ドループ制御によって補正された出力電圧指令補正值 $V_{out(comp)}^*$ に追従するように出力電圧を制御する。この補正值

には、低速通信に伴う数百 ms のむだ時間が含まれているため、出力電圧制御の帯域を高く設定すると、次回値更新時の偏差が大きくなり、かえってオーバーシュートあるいはアンダーシュートを発生させる。そこで、出力電圧制御系の帯域を通信周期 0.5 s で更新される通信パラメータに対して 15 倍程度の 50 rad/s に設計した。

入力電流制御はダイオードブリッジ後段に接続されたインダクタの電流を制御するため、電源周波数 50 Hz を全波整流した 100 Hz の電流指令値に追従させる。そのため、電流制御系の帯域を 10000 rad/s に設計した。

本システムは複数台充電と急速充電の両方に対応するために、2 つの運転モードを有する。単独充電(マルチポートコンバータとしてユニット毎に負荷接続, Mode 1)は、各ユニットの単独運転のため、電圧制御系間で干渉しない。そのため電流バランス制御および、ドループ制御を行わず、一般的な電圧・電流制御の二重ループ構成で運転する。

急速充電(各ユニット出力を並列接続, Mode 2)は並列接続により出力を増加させるが、各ユニットの電圧検出誤差により、各ユニット電圧制御系が異なる操作量で制御するため不安定化する。そこで、入力電流バランス制御および出力電圧ドループ制御を付加して各スレーブ制御系の安定化とユニット間の任意の負荷分担を実現する。ドループ制御のドループゲインは定格インピーダンスの 5 % (33.3 Ω) とし、入力電流バランス制御の PI ゲインは限界感度法によって決定した。

3. 実験結果

<3・1> Mode 1: 単独充電動作 図 3 にユニット各々に負荷を接続した場合の実験結果を示す。ユニット 1 の出力電圧指令値 $V_{out1}^* = 400$ V, ユニット 2 の出力電圧指令値 $V_{out2}^* = 300$ V とし、それぞれ 3.6 kW (1.0 p.u. @Cell), 2.4 kW (0.67 p.u. @Cell) を出力している。各々の負荷に対して、所望の出力電圧が出力され、出力電圧に応じた三相平衡入力電流が流れている。また、各入力電流 THD は 5 % 以下であり、良好に制御できている。

<3・2> Mode 2: 急速充電動作 図 4 にユニットの出力端を並列接続し、単一負荷に供給した場合の実験結果を示す。図 4(a) に出力電圧指令値を 350 V とし、バッテリーを模擬した電子負荷で 5.3 kW (0.74 p.u. @System) 負荷とした。本論文ではユニット 1, 2 の負荷分担を同一に設定した場合の実験結果を示す。各セルに同振幅の入力電流が流れ、セル電流が平衡している。(1)式で定義する入力電流アンバランス率にて評価すると、6.5 % 以下となり均一に負荷分担されている。

$$\varepsilon_{\text{current_err}} [\%] = \max \left\{ \left| \frac{I_{\text{cell}1}^* - I_{\text{avg}}^*}{I_{\text{avg}}^*} \right|, \left| \frac{I_{\text{cell}2}^* - I_{\text{avg}}^*}{I_{\text{avg}}^*} \right|, \dots, \left| \frac{I_{\text{cell}N}^* - I_{\text{avg}}^*}{I_{\text{avg}}^*} \right| \right\} \times 100 \quad (1)$$

また、各入力電流 THD は 5 % 以下となり、ひずみの少な

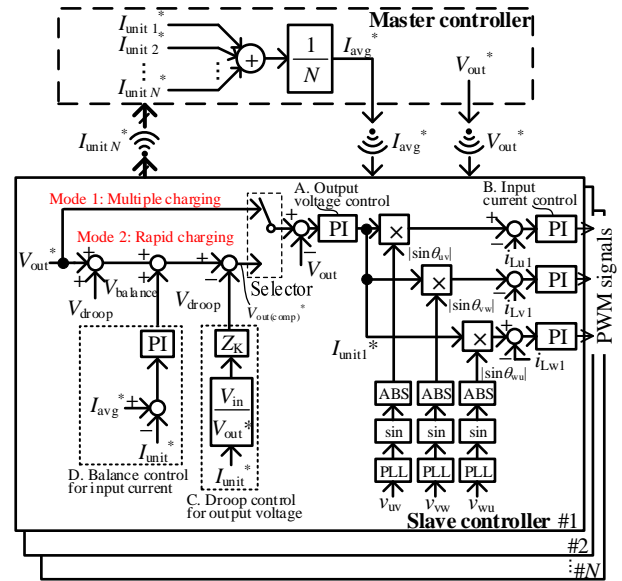


Fig. 2 Proposed decentralized control with wireless communication.

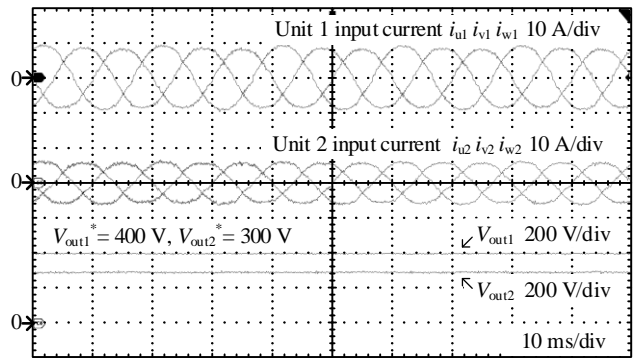


Fig. 3 Waveform of input current and output voltage at multiple charging.

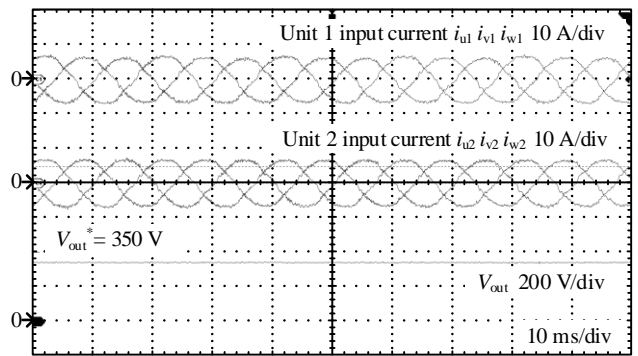


Fig. 4 Waveform of input current and output voltage at rapid charging.

い良好な正弦波が得られていることを確認した。以上の実機検証により、並列接続されたユニット間で信号線を接続することなく電力バランスすることを示した。

文献

- (1) D. Li and C. N. Man Ho, IEEE Trans. on Industry Application, vol. 56, no. 2, pp. 1575-1586 (2020)
- (2) 山ノ口・渡辺・伊東: 第 3 電気学会産業応用部門大会, No.1-77