

並列非接触給電システムの結合インダクタを用いた電流バランス手法

長田 大芽・楠居 琳太郎・渡辺 大貴・伊東 淳一（長岡技術科学大学）

1. はじめに

電気自動車向けの大容量かつ軽量の MHz 帯非接触給電システムとしてインバータの並列駆動が提案されている⁽¹⁾。しかし、各インバータの動作タイミングが一致しないことで電流アンバランスが発生する。これにより回路が熱的に不平衡し、破壊する恐れがある。そのため、厳密な制御が不要なトランスのみを用いた絶縁型バランスが提案されている⁽²⁾。従来のバランスはコア内の磁束が大きく、大型化する課題がある。そこで本論文では、結合インダクタを用いた小型な絶縁型バランスを提案し、シミュレーションにより動作を検証する。

2. 提案システム

図 1 に提案システムの回路図を示す。本システムでは共振コンデンサを伝送コイルと直列に接続する直列-直列補償を適用する。また、共振コンデンサは 2 つに分割し、変換器の各出力にそれぞれ接続する。結合インダクタは、変換器の差動接続となるように接続する。本提案法において直流部の接続方法として直並列は問わないが、本稿では直列に接続することで各変換器の中性点電圧が異なる場合の動作を確認する。

各変換器の出力電流が等しい場合、各巻線で発生する磁束は等しく、差動接続により打ち消し合うためコア内の磁束はゼロとなる。一方、アンバランス時は各巻線で発生する磁束が一致せず、打ち消されずにコアに生じる磁束により誘起電圧が発生する。この電圧がインバータ出力電圧の差を打ち消し、バランス後段では各インバータ電圧の平均値が出力される。これにより電流のアンバランス分を抑制し、電流バランスを実現する。

中性点電圧の異なる変換器を絶縁せずに並列接続すると、変換器間に短絡電流が流れる。提案システムでは 2 つに分割したキャパシタにより中性点電位差の直流成分と低周波成分を、結合インダクタのインピーダンスにより高周波成分をそれぞれ絶縁する。これにより並列接続した変換器間を絶縁する。

3. シミュレーション結果

図 2 に Inv.2 が 20 度遅れて動作している場合の、バランスの有無で比較した波形を示す。シミュレーションは一次側二次側の直流電圧 V_{DC1} , V_{DC2} を 400 V、定格電力 P を 2 kW、伝送コイルの結合係数 k を 0.2、伝送周波数 f を 6.78 MHz とした。図 2(a) より、絶縁機能を持つバランスが未接続のときには、インバータ間の中性点電圧差により短絡電流が流通する。また、短絡電流により各インバータの出力電力がアンバランスし、それぞれの直流コンデンサ電圧にも大きな差が生じる。一方、図 2(b) より、提案バランスの適用により短絡電流は流れず、各インバータの出力電流は一致する。伝送コイル電流については一次側と二次側の位相差が 90 度である。したがって、提案バランスは共振に影響を与えていない。

図 3 に Inv.2 が 20 度遅れて動作しているときの従来システムと提案システムのバランス電圧、その電圧時間積

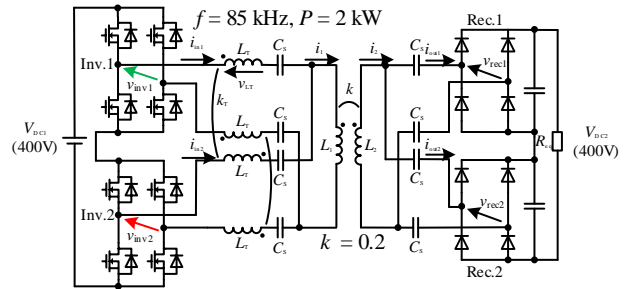
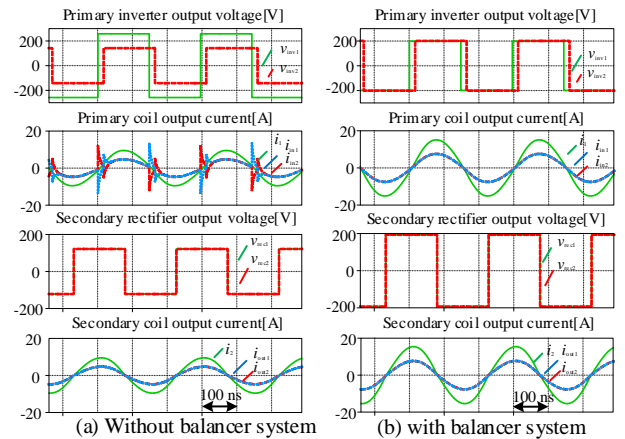


Fig.1 Multi-parallel WPT systems for coupled inductors.



(a) Without balancer system (b) with balancer system (And additional 10 Ω current limit resistor)

Fig.2 Simulation waveforms of proposed system.

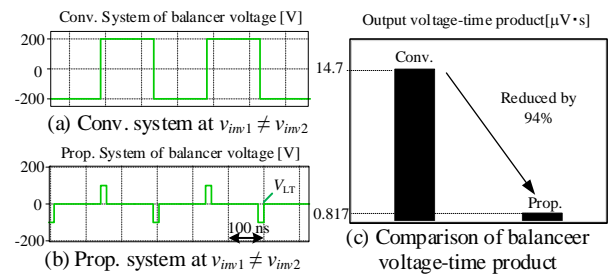


Fig.3 Balancer voltage of conventional and proposed system.

を示す。従来システムではトランスにインバータ出力電圧がすべて印加されている。一方、提案システムではバランスに各インバータ電圧の差分のみが印加される。結合インダクタの磁束は印加される電圧時間積によって決まり、体積は磁束により決まる。したがって、バランスの電圧時間積からバランスの体積について考察できる。図 3(c) より、提案システムは電圧時間積を従来法と比べて 94.4%低減した。結合インダクタの磁束密度を同等として設計した場合、コアの断面積を磁束と同等に低減できる。したがって、磁路長が等しければバランスの体積も 94.4%低減可能である。今後は実機実験により、提案システムの有用性を検証する。

文 献

- (1) J. Shi, L. Zhou and X. He.: IEEE Transactions on Power Electronics, VOL. 27, No. 7, pp. 3277-3291.(2011)
 (2) 山口, 日下, 伊東: ECCEurope, VOL. 1, No. 0295, pp. 1-9 (2022)