

複数台非接触給電を応用した 高圧インバータ向けゲート駆動用絶縁システム

日下 佳祐*, 折川 幸司, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)
森田 一徳, 平尾 邦朗 (株式会社明電舎)

Isolation System with Multiple Wireless Power Transfer System for Gate Driver Supplies of a High-voltage Inverter
Keisuke Kusaka, Koji Orikiawa, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)
Kazunori Morita, Kuniaki Hirao (Meidensha Corporation)

1. はじめに

近年, 大容量の産業用電動機の駆動用に, 出力電圧が 3.3 kV や 6.6 kV といった高圧インバータの普及が進んでいる。高圧インバータでは IGBT のゲートを駆動するため, 高い絶縁性能を有し, かつ低コストな絶縁電源が必要となる。これまで低コスト化を目的としてプリント基板で構成可能な絶縁システムが提案されているが⁽¹⁾, 文献(1)では各ゲート駆動回路(以下「GDU」)に対して 1 つの絶縁システムが必要となるため, 小形化が十分でない。

そこで本論文では, 簡易な構成で 6 つの GDU に電力の供給が可能な絶縁システムを開発したので報告する。提案システムは複数台同時非接触給電技術を応用することにより, プリント基板のみで絶縁システムを構成できることから, システムの小型化および低コスト化が可能である。

2. 絶縁システムの構成

<2.1> 提案システム

図 1 に提案する絶縁システムの概略図を示す。提案システムは送電側基板(300 mm × 150 mm)1 枚と受電側基板(50 mm × 60mm)6 枚により構成する。それぞれ, 送電側基板は伝送コイルとインバータ, 受電側基板には伝送コイルと整流器を実装する。本システムでは, 磁界共振結合方式による非接触給電を用いて, 送電側基板から 6 枚の受電側基板に電力を供給する。この伝送コイルはプリント基板のパターンを用いて構成される平面スパイラルコイルである。したがって, プリント基板以外の巻線やコア等を必要としない。受電側基板は受電電力を整流後, 高圧インバータのゲート駆動回路(以下, 「GDU」)に, 電力を供給する。このように本提案システムは 7 枚のプリント基板によってのみ構成されるため, 従来のコアを用いたトランスを有する絶縁電源と比べて小形化と低コスト化が可能となる。

図 2 に送電側基板と受電側基板の配置図を示す。送電側基板を挟むよう, 上下に受電側基板を 3 枚ずつ配置する。なお, これらの送電側基板と受電側基板間は全て絶縁距離 50 mm をあけて配置する。これにより, 高圧インバータの

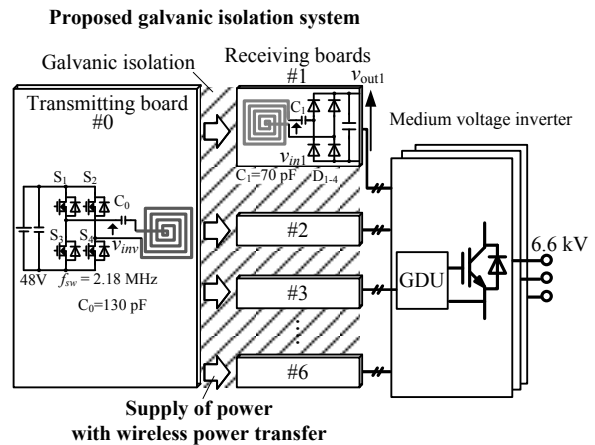


図 1 高圧インバータのゲート駆動回路向け絶縁システム
Fig. 1. Proposed galvanic isolation system for gate drivers of a medium voltage inverter.

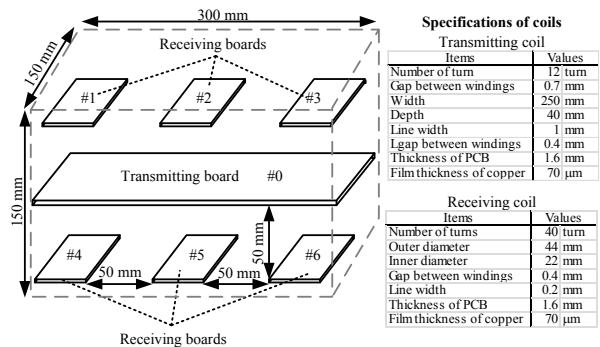


図 2 送電側・受電側基板の配置図
Fig. 2. Placement of each boards of the proposed system.

出力電圧が 6.6 kV の場合にも, IEC の絶縁距離に関する規定を十分満足する⁽²⁾。

<2.2> 非接触給電部の等価回路

図 3 に提案システムに用いられる非接触給電部の等価回路を示す。本システムの非接触給電部はコアレストランスとして扱うことが可能であり⁽³⁾, 図中において $L_{(n)}$ は各伝送

コイルの自己インダクタンス, $k_{(n)}$ は結合係数, $r_{(n)}$ は伝送コイルの交流抵抗値, $C_{(n)}$ は伝送コイルに対して直列に挿入する共振コンデンサである。ここで n は受電側基板の番号である。本システムでは, 受電側基板間の磁気結合が充分小さいため, 受電側基板間の電力伝送は無視できる。

等価回路内のパラメータは, Agilent 社 Advanced Design System (ADS)において提案システムの 3次元モデルを構築し, モーメント法を用いたシミュレーション結果から抽出する。なお, これらのパラメータは全て共振周波数である 2.18 MHzにて抽出する。

図 4 に入出力電圧ゲインの比較結果を示す。ここでは, 等価回路の妥当性を検証するため回路シミュレータである Plexim 社 PLECS 上で構築した等価回路と, ADS 上の 3次元モデル間で, 提案システムの F パラメータを比較する。ただし, ADS では回路の特性は S 行列として出力されるため, (1)式に則って S パラメータから F パラメータへの変換を行う。ここで S パラメータ S_{ij} は, ポート j からポート i へ伝達される電力の割合の平方根を意味する。パラメータ A, B, C, D の添字も同様である。

$$\begin{pmatrix} \dot{V}_1 \\ \dot{I}_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{V}_2 \\ \dot{I}_2 \end{pmatrix} = \frac{1}{2S_{21}} \begin{pmatrix} (1+S_{11})(1-S_{22})+S_{21}S_{12} \\ \{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{21}S_{12}\} \frac{1}{Z_1} \\ \{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{21}S_{12}\} \frac{Z_2}{Z_1} \\ \{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{21}S_{12}\} \frac{Z_2}{Z_1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{V}_2 \\ \dot{I}_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

図 4 より, 誤差を有するものの, 3D モデルと等価回路の F パラメータは同様の傾向を示していることから, 等価回路の妥当性を確認した。誤差の原因は, 等価回路上では一定値として与えている伝送コイルの自己インダクタンス $L_{(n)}$ と等価直列抵抗 $r_{(n)}$ が, 実際には周波数依存性をもつためである。

3. 実験結果

図 5 に提案システムの動作波形を示す。ここでは, 簡単のため GDU の代わりに抵抗負荷 107 Ω を全ての受電側基板に接続して実験を行った。実験結果より, 受電側整流器の出力として直流電圧が得られており, 絶縁距離 50 mm を確保しつつ受電側へ電力が供給可能であることを確認した。また, 本論文では紙面の都合により波形は示さないが, 6枚全ての受電側基板で同様に直流出力が得られることを確認した。

4. まとめ

本論文では, 複数台非接触給電を応用し, 6つの高圧インバータ用 GDU に電力を供給する絶縁システムを提案し, 基本動作を確認した。本システムはプリント基板のみで構成可能であるため, 従来の絶縁トランスを用いたシステムと比較して小形化と低コスト化が可能である。今後は, 実際の

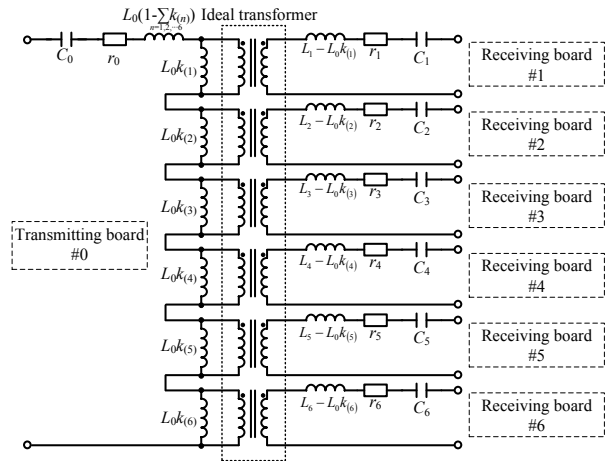


図 3 非接触給電部の等価回路
Fig. 3. Equivalent circuit of the wireless power transfer.

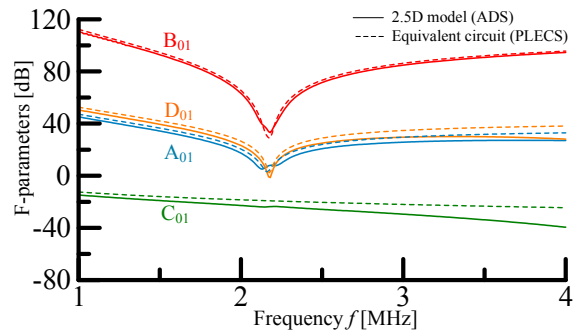


図 4 非接触給電部の F パラメータ
Fig. 4. F-parameters of the wireless power transfer.

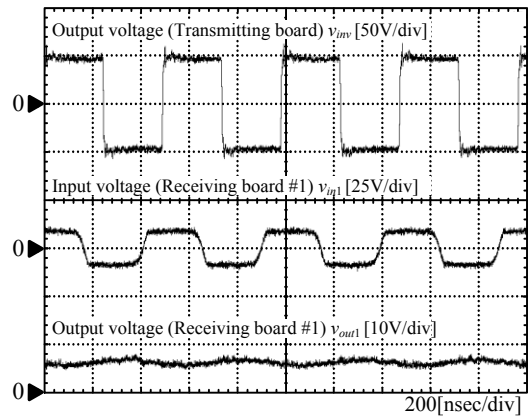


図 5 動作波形
Fig. 5. Operation waveforms.

GDU を接続し, 動作検証を行う予定である。

文献

- (1) C. Marxgut, et al. APEC 2010, pp. 1865-1870 (2010)
- (2) IEC, IEC61800-5-1 (2007)
- (3) 居村 他: 電学論 D, Vol. 131, No. 12, pp. 1373-1382 (2010)