

**Title:** Simultaneous galvanic insulation and gate voltage transfer for high-voltage power semiconductor operation using resonant inductive wireless power transfer

(共鳴誘導ワイヤレス電力伝送を用いた高電圧パワー半導体の同時ガルバニック絶縁とゲート電圧伝送)

**Authors:** Ning Li, Yuki Okada, Baokang Zhang, Haruto Yamamoto, Takeshi Shinkai

(李 寧 (東京工科大 助教)、岡田 友風貴 (東京工科大 大学院生)、張宝康 (浙江工業大学 大学院生)、山本 晴登 (東京電力)、新海 健 (東京工科大 教授))

**Journal:** IEICE Electronics Express

**掲載年月:** 2025 年 11 月

**研究概要:** 本論文では、共振誘導型無線電力伝送を用いて、高電圧パワー半導体に対するガルバニック絶縁とゲート電圧伝送を同時に実現するための設計手法について述べる。提案方式では、磁気結合コイルを介して、制御信号と電力信号の双方を同時に伝送することが可能である。まず、高電圧動作における絶縁要件を考慮し、電磁界シミュレーションにより、十分な絶縁を確保するために必要なコイル間の最小分離距離を評価する。次に、提案するゲートドライブ回路を用いて、さまざまなコイル形状およびサイズを対象に解析を行う。同一振幅の制御信号および高周波パワー信号を与えた条件下で、パワー側 SiC MOSFET に必要なゲート電圧を安定的に達成できる最大伝送距離を検討し、その条件を明らかにする。さらに、巻線方式、ターン数、物理寸法などのコイル形状がシステム性能に与える影響を評価し、結合効率を最適化し損失を低減できる構成を明らかにする。

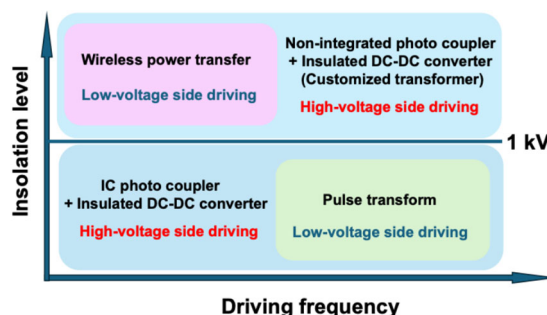


図1 高電圧ゲート駆動回路における様々な絶縁および電力伝送方法の評価。

**研究背景:** 高電圧パワー半導体（特に SiC MOSFET）を安全に駆動するためには、制御信号とゲート駆動電力を高絶縁で分離したまま伝送する必要がある。しかし、フォトカプラ+絶縁 DC-DC など従来方式は、高電圧領域では絶縁破壊・EMI・設計自由度の制約などの問題がある。そのため、近年はワイヤレス電力伝送を駆動絶縁に用いる手法が注目されている。

**研究成果:** 本研究では、誘導結合型の共振 WPT を用いて、制御信号と電力を同時に伝送する高電圧ゲートドライブの設計指針を示した。電界 FEM シミュレーションにより、7.2 kV クラスの装置に対して必要な絶縁距離を評価し、100 mm 以上の離隔で設計基準値 (1.4 kV/mm 以下) を満足できることを明らかにした。さらに、複数のコイル形状 ( $\alpha$  巻線、スパイラル) を比較し、結合係数および損失を考慮したシステムレベルの駆動シミュレーションにより、スパイラル型の方が長距離伝送に有利であることを示した。

**社会的・学術的なポイント:** 本研究の成果は、ゲートドライブ回路の安全性や信頼性が向上すること、ゲートドライブ回路を低電圧側に移動させ、大型産業用モータや DC 電力送電用コンバータに使用される高電圧インバータへの適用が期待される。

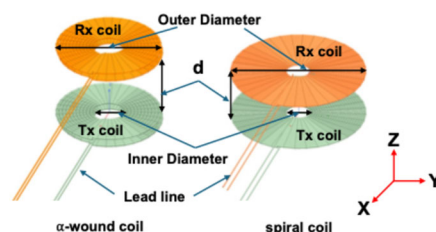


図2 電磁界シミュレーションで使用される $\alpha$ 巻きコイルとスパイラルコイルの構造。

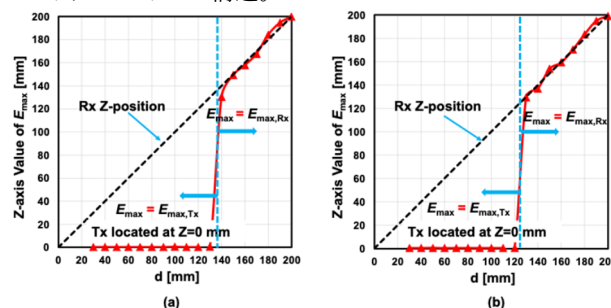


図3 コイル間距離  $d$  に対する  $E_{\max}$  の Z 軸位置のシミュレーション結果。シミュレーション中、送信コイルの Z 位置は  $Z=0\text{mm}$  に固定され、受信コイルの Z 位置は  $Z=d$  に固定されます。ここで、 $E_{\max, \text{Tx}}$  と  $E_{\max, \text{Rx}}$  は、それぞれ送信コイルと受信コイルにおけるシミュレーション結果の最大電界強度です。(a) 22 ターンのコイル。(b) 22 ターンのスパイラルコイル。

#### 用語解説：

**高電圧インバータ（High Voltage Inverter）**：数キロボルト（kV）以上の電圧で動作する電力変換装置であり、大型産業用モータや直流送電コンバータなど、電力要求の高いシステムで使用されます。その主な役割は、直流電力（DC）を交流電力（AC）に変換し、モータやその他の負荷に供給することです。

**誘導型ワイヤレス伝送（IWPT：Inductive Wireless Power Transfer）**：送電側と受電側の間に電磁結合を利用して電力を非接触で伝送する技術です。

**ガルバニック絶縁（Galvanic Insulation）**：高電圧と低電圧を電氣的に切り離れたまま、信号・電力だけを伝えるための電流を直接通さない接続方法です。

**高電圧パワー半導体（High-voltage Power Semiconductor）**：パワーエレクトロニクスで広く使用される半導体素子です。主に高電圧・高電流の制御を行うために使われます。