

M-11

電界結合型非接触電力伝送システム用高周波インバータの特性評価

Electrical characteristics of high frequency inverter for field-coupled contactless power transmission systems

○彦坂忠利¹, 大澤亮太², 高野忠³, 高橋芳浩³

* Tadatoshi Hikosaka¹, Ryota Ozawa², Tadashi Takano³, Yoshihiro Takahashi³

Abstract: Electrical characteristics of high power, high frequency inverter circuit were investigated for miniaturize the electric field coupling contactless power transmission system. By using GaN HEMT, cut-off frequency of 7MHz can be obtained with high transform efficiency.

1. 背景

静止体一回転体間の電力伝送における非接触化（ブラシレス化）のために、我々はこれまでに、電界結合を用いた非接触化について検討を行ってきた。Fig. 1 に本研究で提案する電界結合型スリップリングの概念図および回路図を示す。内外導体間の空隙をコンデンサとして利用することにより電氣的に電界結合させ、非接触電力伝送を実現するものである。また、別途付加したインダクタンスとの直列共振周波数を用いて伝送することにより、高効率な電力伝送が可能となる。これまでに、70nFの非接触スリップリング（同軸回転可能な積層Fin型容量）を試作し、100kHzの正弦波を入力したところ、電力伝送効率89%で80W程度の伝送が可能であることを確認した[1]。しかし、本スリップリングの寸法は直径12cm、長さ50cm程度と大きいものであり、種々のシステムへの適用を考えると小型化が望まれる。非接触スリップリングの小型化には伝送周波数の高周波数化が必須となる。そこで本研究では、高周波インバータを作製し、電氣的特性について評価した。

2. 高周波インバータ回路

Fig. 2 に一般的なフルブリッジインバータ回路を示す。2つのCMOSインバータを逆相で動作させることにより、負荷に±V_{DD}の矩形波出力が得られる。スリップリングの小型化には振幅>100V_{p-p}、周波数>1MHzが必要となり、一般的なSi Power MOSFETでは実現が困難であり、高耐圧かつ高速動作可能なトランジスタの使用が必要となる。そこで本研究ではInfineon製GaN HEMT（耐圧600V、立上がり/立下がり時間30ns程度のエンハンスメントモードJFET）を用いた。ただしpチャンネル型は存在しないことから、Fig. 3のように全FETに絶縁出力型専用ドライバーICを接続し、(Q1, Q4)と(Q2, Q3)を各々逆相で駆動することによりインバータを動作させた。

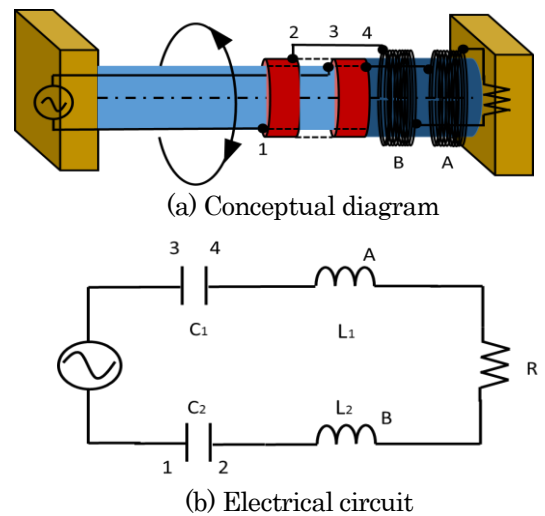


Figure 1. Electric field coupling noncontact slip ring

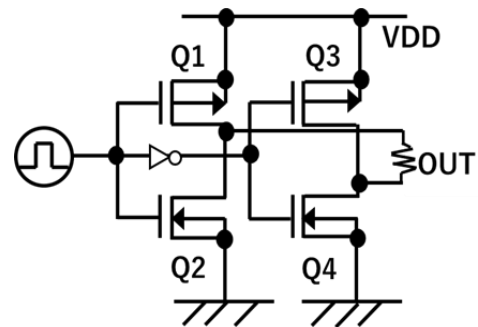


Figure 2. inverter circuit

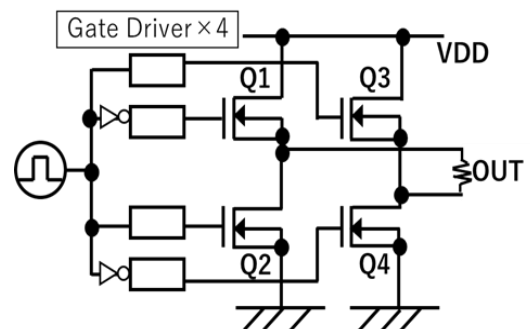


Figure 3. GaN HEMT inverter circuit

1：日本大学理工・院(前)・電子 2：理工・学部・電子 3：理工・教員・電子

3. 出力特性

Fig. 4に $V_{DD}=50V$, 駆動周波数 1MHz における出力電圧波形(無負荷/出力開放)を示す. 結果より, 1MHz においても $\pm 50V$ の矩形波が大きな歪みなく出力されることを確認した. Fig. 5に $V_{DD}=50V$ としたインバータにおける出力電圧の周波数特性を示す. 結果より 4MHz 程度以下ではほぼフラットな特性を有すること. 4MHz を越えると出力は急激に減少し, 3dB 帯域幅は約 7MHz となることを確認した. なお, 5MHz 以上では出力波形は大きく歪むことも確認している. Fig. 6 に負荷特性を示す. 負荷特性は, インバータ出力に 20, 50, 100 Ω の無誘導巻構造メタルクラッド巻線抵抗 (定格 300W) を接続することにより評価し, 出力電流は高周波電流プローブで測定した. 出力電流増大と共に電圧の低下が確認され, 特性の傾きから回路の出力抵抗は 2.7 Ω 程度であることがわかった.

Fig. 7 に負荷抵抗 20 Ω における電力変換効率を示す. 電源電圧, およびゲートドライバ駆動回路用電源 (5V) の電圧, 電流から入力電力を, 負荷電圧, 電流の積から出力電力を求め, 出力電力/入力電力により効率を評価した. 結果より, 1MHz 以下では 90%以上の効率となるものの, 1MHz 以上では低下することがわかった. なお, 1MHz での変換効率は 80%程度であった.

4. まとめ

GaN HEMT を使用した高周波インバータ回路を作製し, 特性を評価した. その結果, 1MHz 程度以下であれば高効率で動作可能であることを確認した. 1MHz で電力伝送した場合, $Q=3$ (100kHz でのシステム試作時と同じ) とした場合, スリッピングは数 nF 程度の容量を有する回転可能コンデンサにより実現できる. これは 100kHz 伝送時 (70nF) の約 1/30 であり, システムの小型化が期待される.

5. 参考文献

[1]大島綾太, 他:「電界結合型非接触スリッピングの検討」, 2021年電子情報通信学会総合大会, B-20-1, 2021. 3. 9

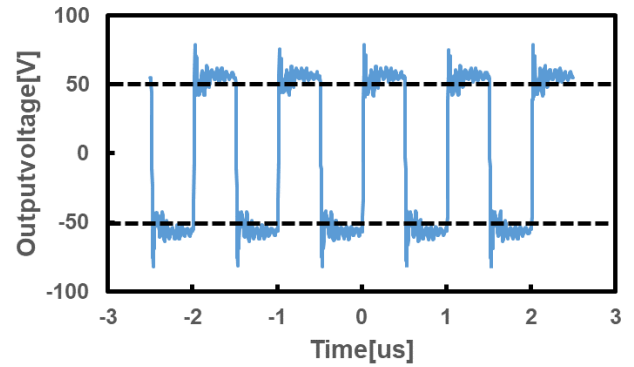


Figure 4. Output voltage waveform of 1MHz

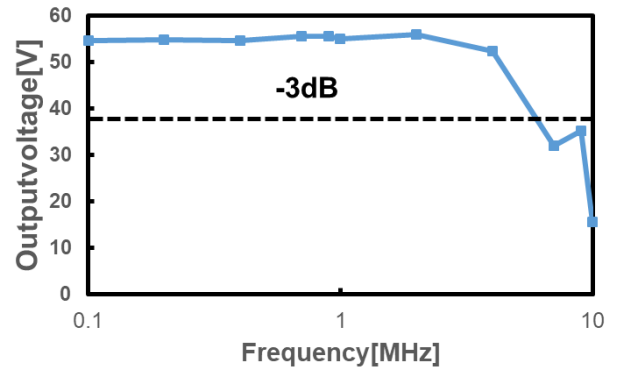


Figure 5. Frequency dependence of output voltage

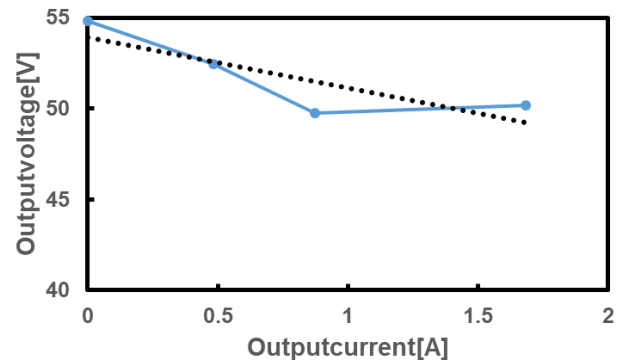


Figure 6. Load Characteristics

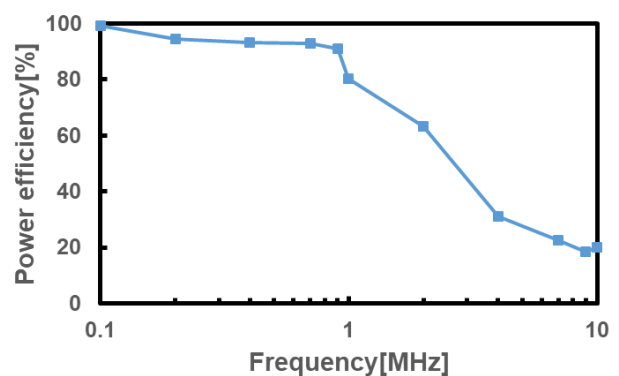


Figure 7. Frequency dependence of power efficiency