

M-17

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
 Characteristics of High-Frequency Inverters for Field-Coupled Power Transmission System

○土佐佳己¹, 高橋芳浩²

* Katsuki Tosa¹, Yoshihiro Takahashi²

Abstract: We investigated the electric characteristics of an inverter for a field-coupled contactless power transmission system. We found that high-frequency switching exceeding 1 MHz is possible by using an inverter using GaN FETs. This indicates the possibility of further miniaturization of the system.

1. 背景

風力発電機やロボットアーム等, 同軸回転運動を必要とする機器の静止体-回転体間の電力伝送には, 一般にスリップリングが用いられる. ただし, 摩擦による接触不良や摩耗粉の発生が長期的信頼性低下に繋がることから非接触化が強く望まれる. 我々はこれまでに, 回転部の内外導体間の空隙部分をコンデンサとして電界結合させることによる非接触電力伝送について検討してきた. Fig.1 に非接触電力伝送システム概念図および等価回路図を示す. 大容量を有する非接触スリップリングとして, 多層 Fin 型コンデンサを試作し, 伝送周波数 1MHz において伝送効率 90%の電力伝送を可能にした. そこで本研究では, さらなる小型化を目的とし, 高周波インバータの特性を評価した.

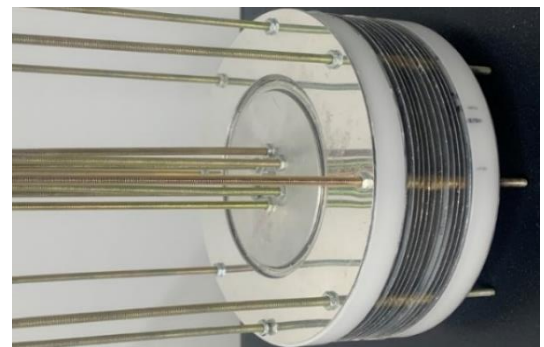


Figure 2. Photo of manufactured slip ring (Multi Fin Capacitor)

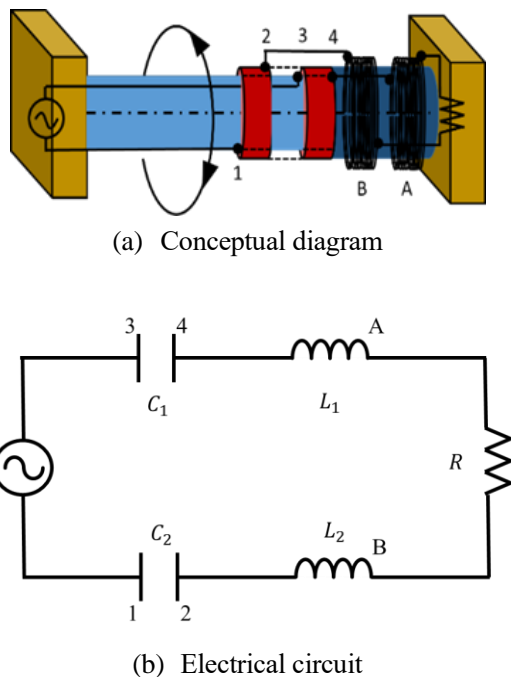


Figure 1. Power transmission system using field coupling non-contact slip ring

2. 電界結合型電力伝送システム

LCR 共振回路において, 周波数帯域幅を広く (Q 値を低く) 設計すれば, 回転させた際の容量変動が共振周波数変化に及ぼす影響は小さくなる. そこで, 容量値が±10%変動しても電力の伝送効率が 90%となるよう Q=3 を用いて設計を行った. Fig.2 に多層 Fin 型コンデンサ (非接触スリップリング) を示す. これは大小の円形 Al 電極を 2mm の等間隔で交互に重ねた構造であり, 貫通ネジにより各電極の共通電極を形成したものである. また, 構造の両端には各電極に対する絶縁性支持体を取り付け, ベアリングを介して接合することにより, 各電極が同軸中心に互いに回転可能な構造となっている.

また, 本システムの電力供給源には GaN 製 FET を用いた高周波インバータを使用した. これまでに 50V の直流電源を 1MHz でスイッチング動作させることにより, 直径 13cm, 厚さ 5cm の多層 Fin 型コンデンサを用いて高効率伝送が可能であることを確認した. ただし, 高周波化, 高電圧化によりスリップリングの更なる小型化を実現できる. そこで本研究では, インバータの高周波化について検討を行った.

1: 日大理工・院・電子 2: 日大理工・教員・電子

3. 結果および考察

4つのn-ch GaN FETを用いたフルブリッジインバータを用いて、入力直流電圧100V、負荷抵抗50Ωの条件でスイッチング周波数特性を測定した。結果をFig. 3に示す。結果において、入力電力は直流電源の出力電圧および電流から、出力電力は抵抗両端の電圧および電流から評価し、電力変換効率は出力電力/入力電力と定義した。なお、負荷抵抗には無誘導性メタルクラッド巻線抵抗を用い、各部の電圧、電流、実効電力は高周波用差動電圧プローブおよび電流プローブを介してオシロスコープにより測定した。結果より、低周波領域において出力電力はほぼ200W、電力変換効率98%以上であるが、100kHzを超えると変換効率は低下し始め、1MHzでは91%、3MHzでは84%となった。変換効率の緩やかな低下はFETの発熱によるもの、急激な低下はFETの性能限界によるものと考えられる。

Fig. 4およびFig. 5にスイッチング周波数1MHzおよび3MHzにおける負荷抵抗の両端電圧波形をそれぞれ示す。1MHz時には矩形波がほぼ出力できているのに対し、3MHz時には歪が大きくなるのがわかる。これは高周波数成分の低減によるものであり、これが高周波領域における出力電力低下の原因である。ただし、電界結合型電力伝送システムへの適用を考えた場合、共振周波数成分のみが負荷抵抗に供給されることからスイッチング周波数3MHzのような歪を含むインバータ出力でも十分使用可能と考えることができる。今後、3MHzでの電力伝送システムの構築を行い、高周波数化による小型化と電力伝送効率との関係について検討を行う必要がある。

4. まとめ

電界結合型非接触スリップリング用インバータの高周波化について検討した結果、スイッチング周波数3MHzとすると出力に歪が発生し、電力変換効率は84%になることを確認した。ただし、本システムへの適用は可能であると考えられることもでき、今後、実際にシステムを構築し確認する予定である。

参考文献

- [1] 高橋芳浩 他:「電界結合型非接触スリップリングの設計及び試作」, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J105-B, No. 3, pp. 375-378, 2022年
- [2] 曾我勇人 他:「電界結合型非接触スリップリングの安定化に向けた検討」, 日本大学理工学部学術講演会予稿集, M-15. Pp. 704-705, 2023年

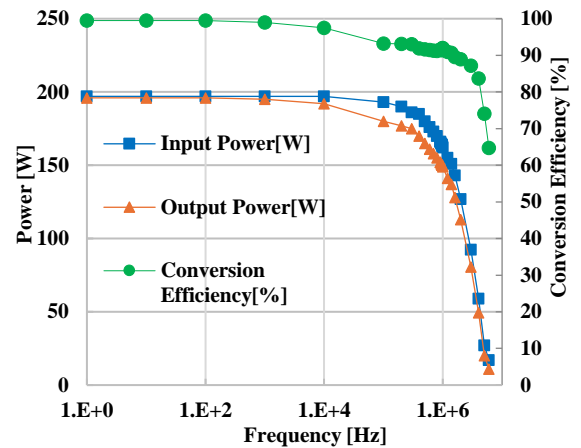


Figure 3. Frequency characteristics of input and output power of GaN full bridge inverter

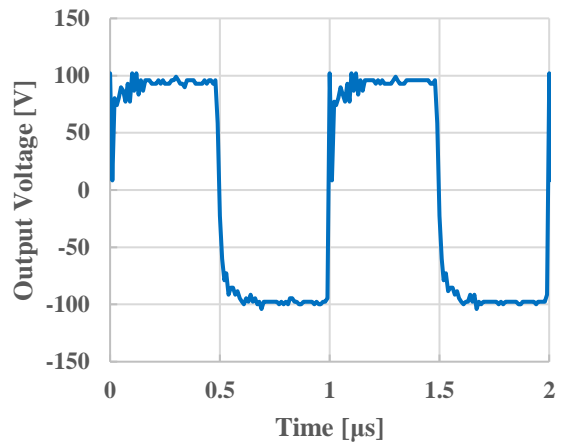


Figure 4. Output voltage waveform of GaN full bridge inverter ($f = 1\text{MHz}$)

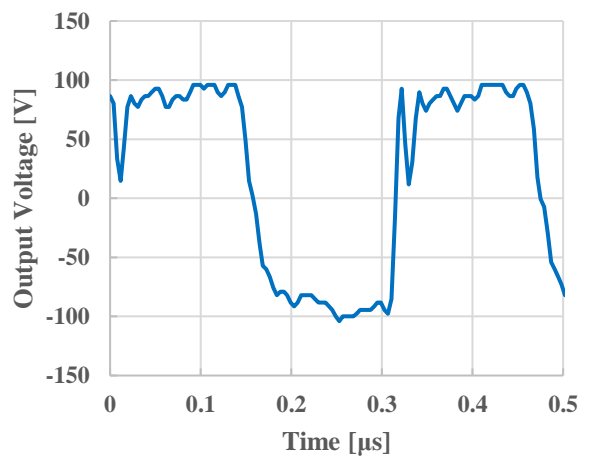


Figure 5. Output voltage waveform of GaN full bridge inverter ($f = 3\text{MHz}$)