

M-15

電界結合型非接触電力伝送システムの小型化に関する検討

A study on miniaturization of electric field coupling type contactless power transfer system

○土佐佳己¹, 高橋芳浩²

* Katsuki Tosa¹, Yoshihiro Takahashi²

Abstract: We have previously fabricated contactless slip rings and conducted experiments to achieve miniaturization and high-efficiency power transmission. As a result, we obtained favorable characteristics at 3MHz. Therefore, this time we investigated systemization for actual rotational power transmission.

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. これは金属製リングと摺動電極を接触させた構造であるが, 摩擦による接触不良や摩耗紛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のご概略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 100kHz において伝送効率 80% の高効率な電力伝送を確認した. 更に構造の小型化を目指し, 伝送周波数の高周波数化について検討した結果, 3MHz での電力伝送の可能性を示唆する結果を得た. そこで今回, 2 つのコンデンサを結合させた電界結合非接触スリップリングを作製し, 電力伝送実験を行った.

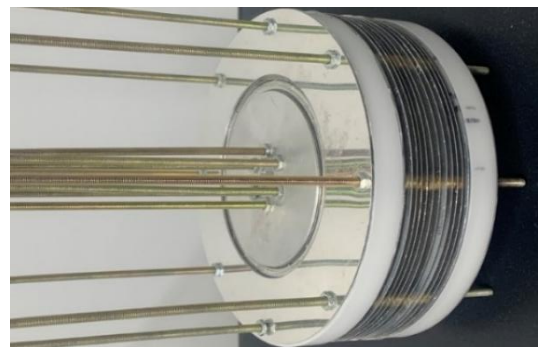
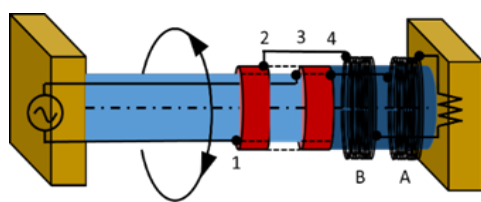
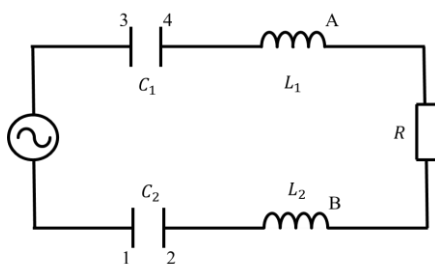


Figure 2. Photo of manufactured slip ring (Multi Fin Capacitor)



(a) Conceptual diagram



(b) Electrical circuit

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

2. 電界結合電力伝送システム

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% となるような Q 値 ($Q = 3$) 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ている. これまでに 100V の直流電源を 3MHz でスイッチング動作させることにより, 約 90% の効率を確保できることを確認している. Fig.1 に示すように, 回転機構を実現するためには, コンデンサを 2 つ作製し結合させる必要があり, 共振周波数 3MHz, 負荷抵抗 50Ω, $Q = 3$ では容量 $C_1 = C_2 = 700\text{pF}$ が必要となる.

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

直径 10cm および 12cm のアルミ円板を 2mm 間隔で積層することにより多層 Fin 型コンデンサを作製した結果、高さ 9.5cm で約 700pF の容量を得た (Fig. 3). Fig. 4 および Fig. 5 に、2つのコンデンサを直列接続したときの容量およびインピーダンスの周波数特性を示す。結果より、容量 380pF、等価直列抵抗 5.4Ω であること、また約 10MHz で自己共振をすることから、0.67μH の等価直列インダクタンスを有することが分かった。これより、3MHz で共振するよう、リッツ線を用いて 6.3μH のコイルを作製し、容量に直列接続した。Fig. 6 に、直流電源電圧 100V、負荷抵抗 50Ω として電力伝送実験を行った際の入出力電力の周波数特性を示す。2.8MHz において出力電力は最大 (144W) となり、その際の電力伝送効率は 83% となった。コンデンサ内部の等価直列抵抗 (5.4Ω) およびインバータの効率を考慮すると、おおむね設計通りの結果である。ただし、回転による容量変動により、電力変換効率が低下することも確認した。今後、より安定した回転機構の構築について再検討する必要がある。

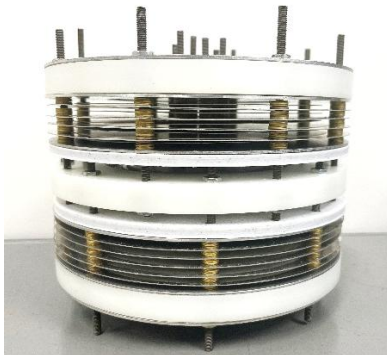


Figure 3. Photo of combined manufactured slip ring (Multi Fin Capacitor)

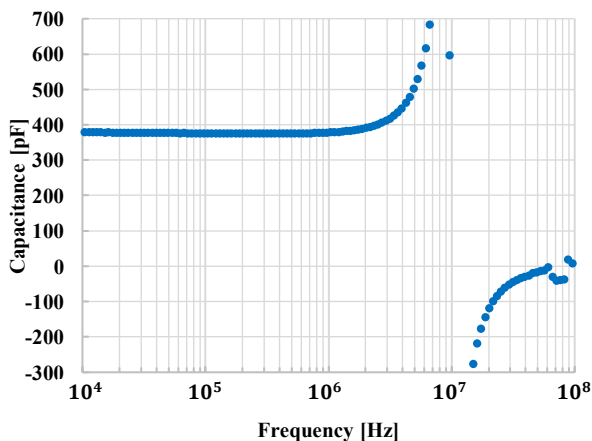


Figure 4. Frequency characteristics of capacitance of multi-layer fin type capacitor

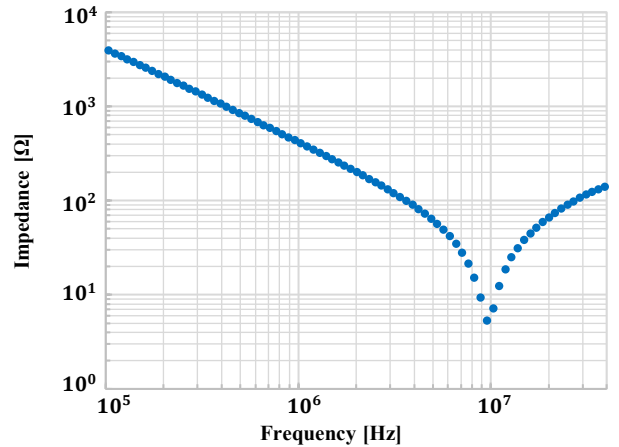


Figure 5. Frequency characteristics of impedance of multi-layer fin type capacitor

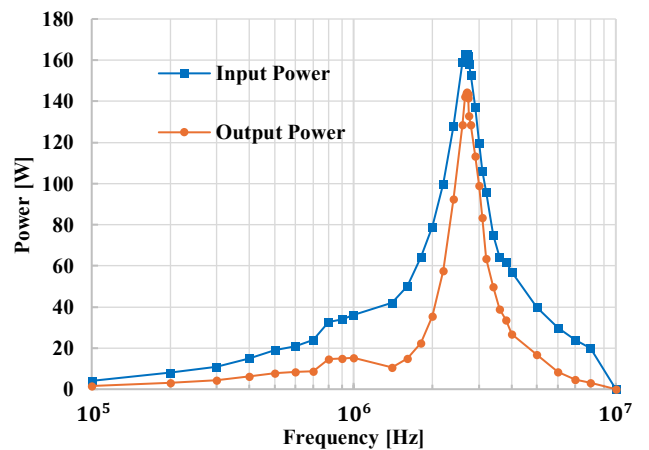


Figure 6. Frequency characteristics of using multi-layer fin type capacitor

4. まとめ

電界結合型非接触スリップリングの小型化を目指し、伝送周波数の高周波数化について検討した。その結果、小型化したスリップリングを用いて、伝送周波数 2.8MHz で変換効率 83%となる非接触伝送システムを実現できることを確認した。ただし、回転による容量変動の低減が今後の課題である。

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] 曾我勇斗 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予稿集, M-15, pp.704-705, 2023 年