

電界結合型非接触スリップリングの高周波化に向けた検討
 A study for downsizing of electric field coupling type non-contact slip ring

○曾我勇斗¹, 大澤亮太², 高野忠³, 高橋芳浩³

*Hayato Soga¹, Ryota Ozawa², Tadashi Takano³, Yoshihiro Takahashi³

Abstract: Impedance - Frequency characteristics of field-coupled non-contact slip ring were investigated. It is found that the self-resonance is caused by parasitic inductance, and the inductance can be decreased by arrangement of wiring.

1. 背景

現在、風力発電機、レーダアンテナ、ロボットアームなどの回転運動を有する機器では、静止体-回転体間の電力伝送が不可欠になる。一般にこのような電力伝送には金属製のリングに摺動電極を接触させたスリップリングが用いられる。しかし、長期使用あたり摩擦による接触不良や摩耗粉の影響で伝送効率低下に繋がるため、定期的な保守が必要である。特に宇宙空間においては、保守が困難なため非接触化が強く求められる。我々はこれまでに回転部の内外同体間の空隙をコンデンサとすることで非接触化を図る手法について検討を行ってきた。その結果、スリップリングとして同軸回転可能な多層 Fin 形コンデンサを用いて Fig.1 に示すようなシステムを構成し、装荷インダクタンスとの共振周波数を用いて伝送を行うことにより、100kHz において伝送効率約 90% の非接触電力伝送を実証した。現在、スリップリングの小型化を目的に伝送周波数の高周波数化について検討している。本研究では、特にスリップリングの寄生インダクタンスなどが高周波数化に及ぼす影響について検討した。

2. 実験方法

Fig.2 に本研究で検討しているスリップリング (同軸回転可能な多層 Fin 形コンデンサ) の写真を示す。Cu 製の大型・小型の円形電極を交互に重ね合わせた構造であり、貫通ネジにより各電極の共通電極を形成し、ナットをスペーサとして電極間距離を固定化している。回転のためにはベアリングを用いるが、今回の実験では省略している。本構造において、電極間隔や配線方法がインピーダンス (周波数特性) に及ぼす影響について評価した。

3. 結果および考察

Fig.3 に、直径 17.5cm, 積層数 14 層の条件で作製したスリップリングのインピーダンス測定結果 ($|Z|$ - θ の周波数依存性) を示す。低周波数領域では $1/\omega$ に比例しており、結果から 1.7nF の容量が作成されていることがわかる。一方、6MHz 以上の周波数帯においては周波数と共に増大することが分かった。また、インピーダ

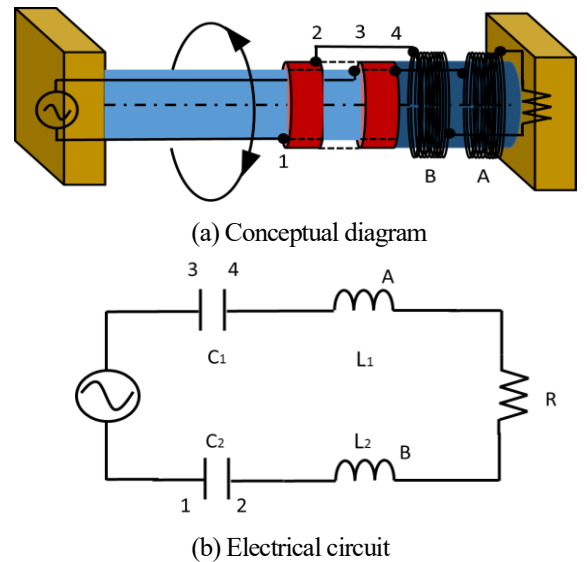


Figure1. Power transmission system using field coupling noncontact slip ring



Figure 2. Photo of manufactured slip ring (Multi fin capacitor)

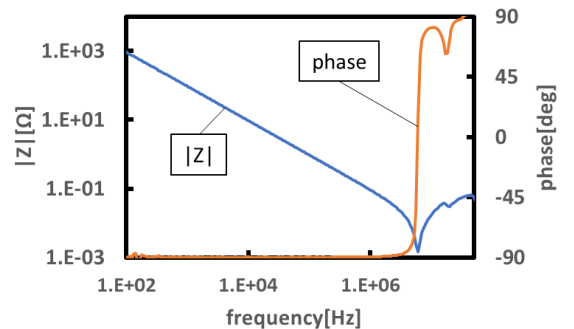


Figure 3. Measured impedance of slip ring (Frequency dependence)

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

ンスの位相は同周波数で -90° から 90° に変化することを確認した。これは、スリップリング内に存在する寄生インダクタンスにより 6 MHz で自己共振していることを示す。これは、本構造を Fig.1 のシステムに適用した場合、6 MHz 以上での伝送ができないことを示しており、システムの高周波数化には自己共振周波数を高くする（寄生インダクタンスを低下する）必要がある。

Fig.4 に極板間隔 2mm および 4mm の条件で、極板の積層数を変化させた場合の容量値（測定周波数 100kHz）を示す。容量値は積層数と比例し、極板間隔と反比例することを確認した。なお、測定周波数を 1MHz としても容量は変化しないことも確認している。上記の各構造における自己共振周波数および容量値から寄生インダクタンスを計算した。Fig.5 に容量値に対する寄生インダクタンスを示す。結果より、電極間隔および積層数によらず寄生インダクタンスはほぼ一定の値（ $0.4\sim 0.5\mu\text{H}$ ）を示すことがわかった。以上の結果より、寄生インダクタンスは容量の構造に依存しないことがわかった。

そこで、次に配線について検討した。表皮効果抑制のため、スリップリングの接続には直径 4mm 程度のリッツ線を使用しているが、1 ターンの配線によりインダクタンスが発生する。直径 130mm の 1 ターンによるインダクタンス（計算値）は測定値とほぼ同等の $0.47\mu\text{H}$ であり、配線が作る面積が寄生インダクタンスの原因ではないかと考えた。そこで、配線をツイストさせて極力配線間の面積を縮小させた。Fig.6 に電極間隔 2mm の構造において、通常配線の場合およびツイストさせた場合の寄生インダクタンス測定結果を、Fig.7 には自己共振周波数を各々示す。結果より、配線をツイストさせることにより寄生インダクタンスは $0.3\mu\text{H}$ 程度に低下し、自己共振周波数を高くすることが可能となることを確認した。

4. まとめ

電界結合型非接触スリップリングのインピーダンスが伝送周波数の高周波数化に及ぼす影響について検討した。その結果、寄生インダクタンスにより最高周波数が制限を受けることを確認した。また、寄生インダクタンスの原因は配線が作る面積に依存することも確認した。

今後は、本研究結果を踏まえて高周波数伝送に適用可能なスリップリングの作製、高周波インバータの作製を行い、数 MHz での電力伝送を目指す。

参考文献

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

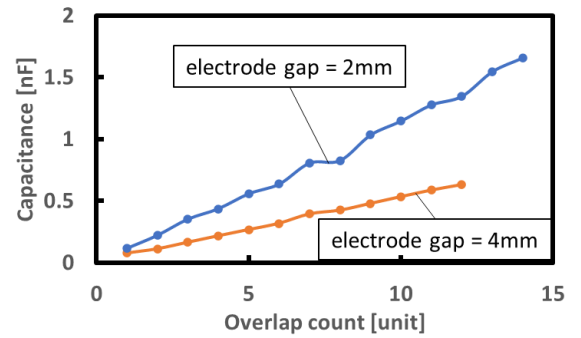


Figure 4. Measured capacitance of slip ring

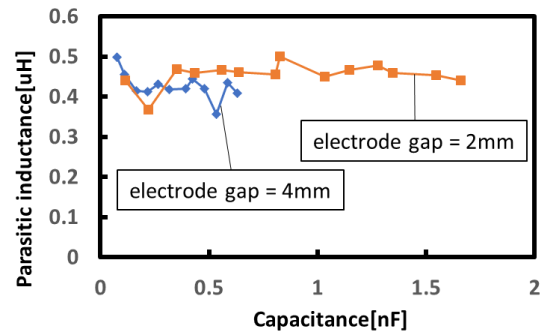


Figure 5. Parasitic inductance of slip ring

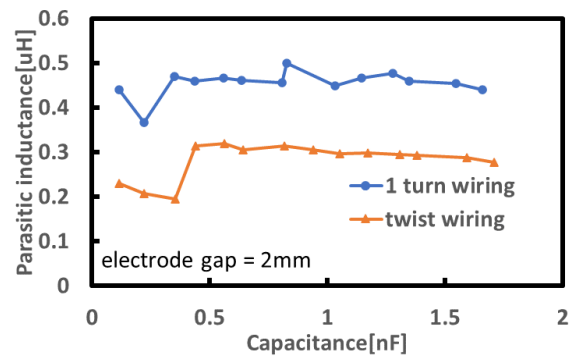


Figure6. Change of parasitic inductance of slip ring by arrangement of wiring

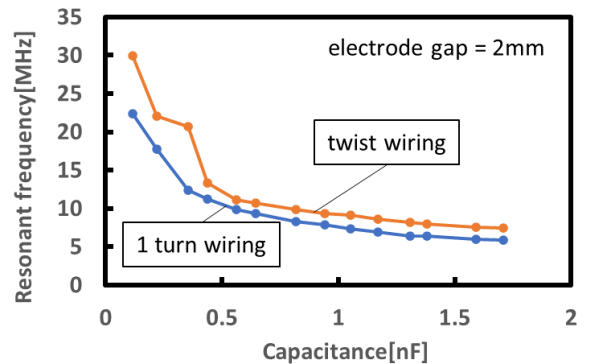


Figure 7. Change of self-resonant frequency of Slip Ring by arrangement of wiring