

M-17

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

○大島綾太¹, 齋藤大珠², 彦坂忠利³, 塩野光弘⁴, 高野忠⁵, 高橋芳浩⁵*Ryota Oshima¹, Daiju Saito², Tadatoshi Hikosaka³Mitsuhiro Shiono⁴, Tadashi Takano⁵, Yosiro Takahashi⁵

Abstract: A rotatable capacitor was manufactured to realize the electric field-coupled non-contact slip ring system. As a result of experiment, it was confirmed that the electrical power could be transmitted by non-contact slip ring system with very high efficiency. We also discuss about miniaturization of the system.

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. 一般にこのような回転体間の電力伝送は, 金属製リングと摺動電極 (ブラシ) との接触を用いたスリップリングが使用される. しかし, 摩擦による劣化や破損, 摩擦により発生した摩耗粉による接触不良などのため, 定期的な保守が必要になる. そのため, 非接触化 (ブラシレス化) が求められる. そこで本研究では非接触型の電界結合型スリップリングについて検討を行った.

Fig.1(a), (b)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, LC直列回路の共振周波数を用いることにより, 負荷に高効率で電力を伝送することを考えている. 本研究では交流電源と抵抗負荷を用いることとして, 電界結合型スリップリングの実現に最適な周波数, 送信電圧, 各素子定数について検討を行った. これまで簡単化のために固定の (回転しない) コンデンサを試作し電力伝送について検討してきた. 今回, 回転できるコンデンサ (非接触スリップリング) の試作を行い電力伝送実験を行った結果, 良好な伝送を確認した. また小型化のために必要となる, 高周波での電力伝送についても検討を行ったので以下に報告する.

2. コンデンサの試作

これまでに Fig. 1 の回路において, 入力電圧 40Vrms , 周波数 $f_0=100\text{kHz}$, 電力 100W (負荷抵抗 $R=18\Omega$) での電力伝送が安定して行えるための条件として, $C_1=C_2=64\text{nF}$, $L_1=L_2=40\mu\text{H}$ を試算により得た.

本計算結果に対し, まずは第1歩として1対のLC回路 ($C=32\text{nF}$, $L=80\mu\text{H}$) について実験的検討を行うため, 回転機構を持たない 32nF のコンデンサ (Fig. 2) を試作し, 伝送実験を行ってきた. Table. 1 にコンデンサの各寸法を示す. 本コンデンサは, Cu製の大形・小形の円形電極を交互に計60枚重ねた構造であり, その

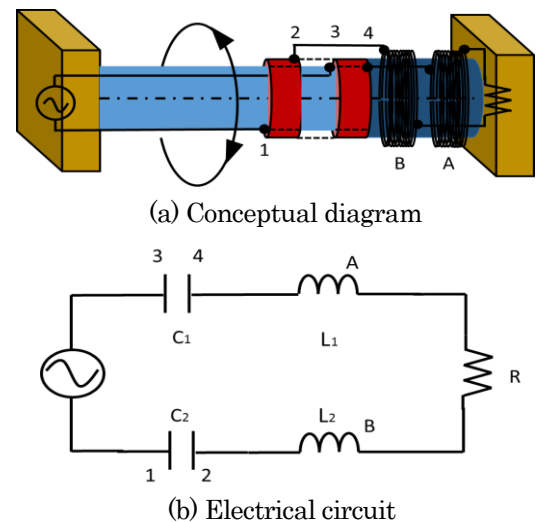


Figure 1. Electric field coupling noncontact slip ring



Figure 2. Manufactured fixed capacitor (32nF)

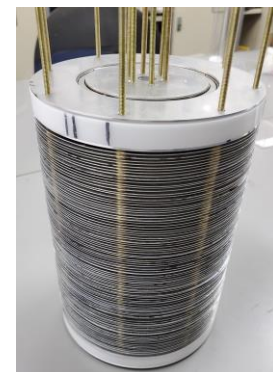


Figure 3. Manufactured rotatable capacitor (63nF)

間隔は 0.4mm である。なお、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。本構造において大小各電極の支持を機械的に分離できれば、同軸回転が実現できる。

今回、これまで試作してきた構造を基に、回転機構を有する 64nF のコンデンサ(非接触スリップリング)の設計・試作を行った。Table. 1 に示すとおり、極板間隔を 0.35mm とし、大形電極の外径も 120mm とすることにより小型化を図った。なお電極間の導通を防ぐために、大形電極両面に絶縁テープを張ることとした。この大形・小形の円形電極を交互に計 200 枚重ねることにより 64nF が得られると試算された。また、電極材質を Al にすることにより軽量化も図った。回転機構は、コンデンサ両端における大形・小形の円形電極支持体を分割し、ベアリングを挿入することにより構成した。Fig. 4 に試作した非接触スリップリングの測定容量値(周波数依存性)を示す。結果より、周波数によらずほぼ一定の容量値を示すことが確認され、100kHz において 63.0nF を観測した。また、回転による容量値の変化はほぼ確認されなかった。

3. 伝送結果

非接触電力伝送のためには 2 台の非接触スリップリングが必要になるが、現在のところ試作が完成しているのは 1 台のみである。そこで 40 μ H のコイルを試作し、1 対の LC 共振回路を作製し、入力電圧 42.4Vrms、 $R=50\Omega$ の条件下で伝送実験を行った。負荷電力の周波数特性を Fig. 5 に示す。共振周波数 100kHz において、負荷電力は入力電力の 99.4% となることを確認した。また、回転させて測定を行ったが、特性の変化は見られなかった。

4. 小型化に向けた検討

今回、積層間隔の狭小化により非接触スリップリングの小型化を図ったものの、2 台の使用を考えると直径 17cm、長さ 50cm 以上の大きさが必要であることがわかった。多用途への適用を考えると、更なる小型化が必要である。これまでの検討は、市販されている最大帯域である 200kHz のパワーアンプを用いてきた。一方、本システムへの入力(電力伝送システムとしてはインバータ出力)として必要なのは単一周波数の正弦波のみである。そこで E 級アンプに着目した。E 級アンプは比較的単純な回路構造(Fig. 6)で大電力の正弦波が低損失で発振可能な回路である。今回シミュレーションにて検討を行った結果、7MHz、200W の出力を確認した。今後、回路を試作し、システムの更なる小型化を目指す。

4. まとめ

非接触スリップリングを作製し、伝送実験を行った結果、良好な電力伝送を確認した。今後、更なるシステムの小型化を目指し、高周波電力伝送について検討を行う。

Table 1. Structural parameters of each multilayer capacitor

	前回 [mm]	今回 [mm]
大形電極外径	170	120
大形電極内径	30	30
小型電極外径	150	100
小型電極内径	10	10
電極厚さ	0.4	0.3
電極間距離	0.4	0.35

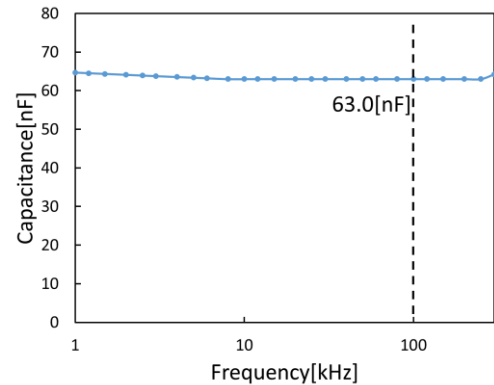


Figure 4. Frequency dependence of measured capacitance of rotatable multilayer capacitor

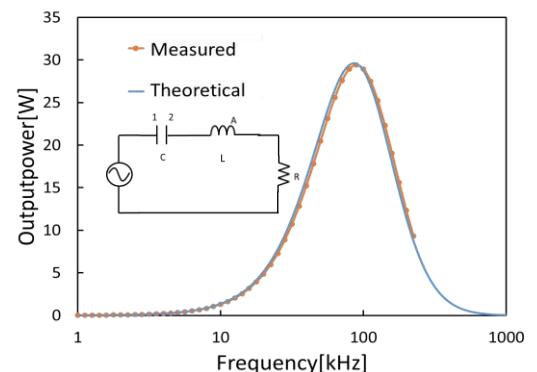


Figure 5. Frequency dependence of transmitted electrical power

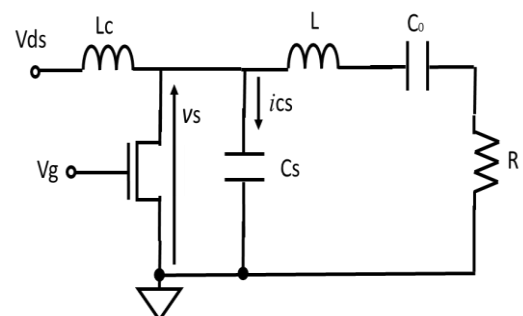


Figure 6. Conceptual circuit diagram of class-E amplifier

謝辞: 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP18K04109 の助成を受けたものです。