

# フライングキャパシタ形線形増幅回路を適用した ワイヤレス給電システムの漏えい磁界評価

野本 俊作\*, 日下 佳祐 (長岡技術科学大学)

Evaluation of Radiation Noise on the Wireless Power Transfer System with Flying-capacitor Linear Amplifier  
Shunsaku Nomoto, Keisuke Kusaka (Nagaoka University of Technology)

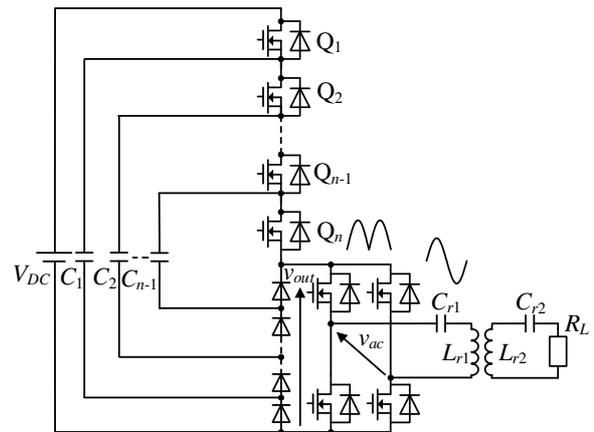
## 1. はじめに

ワイヤレス給電(WPT)システムでは、一般的に一次側電源として矩形波電圧を出力するインバータが用いられる。そのため、伝送コイルに通流する電流に低次高調波が含まれ、これに起因した漏えい磁界が周辺に生じる課題がある。そこで、筆者らはフライングキャパシタ形線形増幅回路(FCLA)を用いた漏えい磁界の高調波成分低減手法を提案してきた。しかしながらこれまで、3段以上のFCLAを駆動するための絶縁機能を有するゲートドライバを開発できず、段数2段での原理検証に留まっていた<sup>(1)</sup>。本論文では12段FCLAを用いたWPTシステムのフルモデルでの漏えい磁界を評価した結果について報告する。

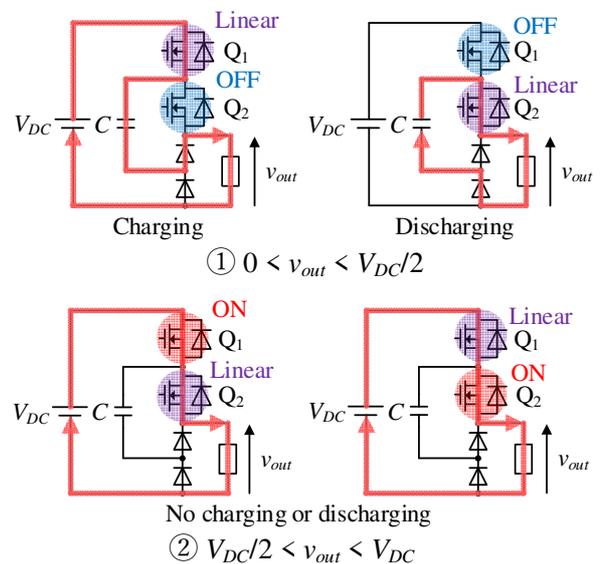
## 2. FCLA を適用した WPT システム

<2・1>システム構成 図1にFCLAを用いたWPTシステムを示す<sup>(2)</sup>。一次側電源として用いるFCLAは $n$ 個の $n$ 型MOSFETとダイオード、 $n-1$ 個のフライングキャパシタおよび極性切り替え回路により構成される。一般的な電力変換器と異なり、FCLAでは図1(b)に示すように直列接続したMOSFETのうち一つを線形動作させることにより、高調波成分を含まない連続的な電圧を出力することができる。一般的にMOSFETを線形動作させた場合、導通損失は印加されるドレインソース(D-S)電圧と通流電流の積となるため低効率となる。しかし、FCLAを構成するMOSFETの段数を増加することにより、線形動作するMOSFETのD-S電圧を低減させることができ、変換効率が改善される。

<2・2>FCLAの駆動法 図2にFCLA内の各MOSFETを駆動するためのゲートドライバ構成を示す。本ゲートドライバは、ドレインゲート(D-G)間にゲートドライバを接続し、MOSFETを駆動する<sup>(3)</sup>。FCLA内の各MOSFETはソースフォロワとして動作するため、ソース電位はゲート電位に追従する。この原理を利用して文献(3)では、MOSFETのD-G電圧を調整することで間接的にD-S電圧の制御を行っていた。しかし、MOSFETにはしきい値電圧、チャンネル長変調効果等の非線形特性を有するため、所望のD-S電圧と等しいD-G電圧を印加するだけでは、高周波で低ひずみな出力を得ることは困難である。また、ソースフォロワにお



(a) Circuit configuration.



(b) Current paths in case of 2-series FCLA.

Fig. 1. The WPT system with a FCLA.

いてソース電位はゲート電位と完全に等しい値とならないため、D-G電圧 $v_{DG}$ とD-S電圧 $v_{DS}$ の間には(1)式に示すようにゲートソース(G-S)電圧 $v_{GS}$ 分の誤差が生じる。

$$v_{DS} = v_{DG} + v_{GS} \quad (1)$$

したがって、本ゲートドライバは指令値と出力の誤差の要因である G-S 電圧を直接フィードフォワードすることによって、非線形特性を補償する。

### 3. 実験結果

表 1 に実験条件を示す。本実験では漏えい磁界の低減効果を示すため、FCLA を用いた WPT システムと矩形波電圧を出力するインバータを用いた WPT システムの比較を行った。なお、伝送電力を等しくするために FCLA を適用したシステムと従来システムで異なる直流電圧を採用した。

図 3 に FCLA を適用した WPT システムの動作波形を示す。一次側、二次側ともに共振しており、正常に電力伝送していることが確認できる。また、FCLA によって一次側電圧波形は正弦波状となっているため、伝送コイルに矩形波電圧を印加する従来システムと比較して、一次側コイルの電流高調波を低減できる。

図 4 に各システムの漏えい磁界を測定した結果を示す。漏えい磁界の評価はループアンテナ(EM-6992, 6 cm H-field)を用いて行い、ループアンテナは伝送コイルの中心から 60 cm 離れた位置に設置した。図 4 より、WPT システムに FCLA を適用することによって、漏えい磁界の奇数次高調波成分を低減できることが確認できる。特に 3 次高調波成分は 19.2 dB 低減した。しかし、FCLA を適用することで偶数次高調波成分が増大しており、奇数次高調波成分も残存している。これは、極性切り替え時や MOSFET の動作状態の切り換わり時に生じる波形ひずみによるものである。

### 4. まとめ

本論文では WPT システムの一次側電源として FCLA を適用し、高調波漏えい磁界の低減効果について検証した。従来の WPT システムと比較して、FCLA を用いた場合は漏えい磁界の奇数次高調波成分を低減することができ、3 次高調波成分は 19.2 dB 低減した。しかし、極性切り替えおよび MOSFET の動作状態切り替わりによる波形ひずみによる漏えい磁界高調波成分が残存しており、改善する余地がある。したがって、今後はこの波形ひずみの抑制手法について検討し、より低ノイズな WPT システムの実現を目指す。

#### 文献

- (1) S. Nomoto, R. Kusui, and K. Kusaka, "A High-Frequency Flying-capacitor Linear Amplifier for Wireless Power Transfer Systems," 2024 13th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, pp. 965–970 (2024)
- (2) R. Kusui, K. Kusaka, and J. Itoh, 2021 23rd European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'21 ECCE Europe), pp. P.1–P.9 (2021)
- (3) H. Obara and K. Matsushima, 2021 IEEE International Future Energy Electronics Conference (IFEEC), pp. 1–5 (2021)

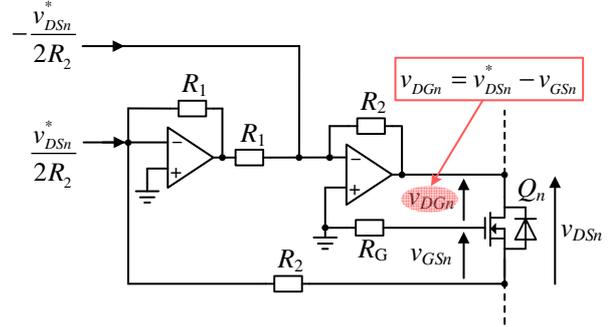
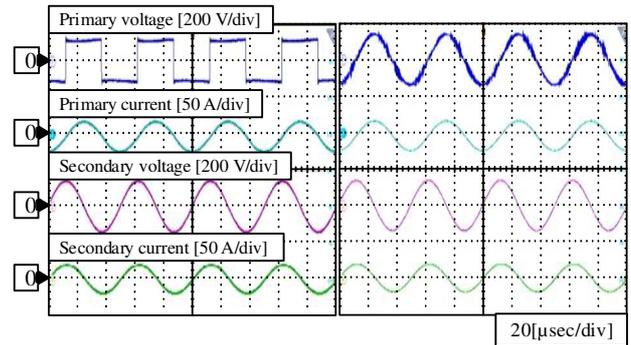


Fig. 2. Proposed gate drive circuit.

Table 1. Experimental conditions.

|                                    |                  |               |
|------------------------------------|------------------|---------------|
| Output power                       | $P$              | 1.3 kW        |
| DC voltage of FCLA                 | $V_{DCFLA}$      | 144 V         |
| DC voltage of full-bridge inverter | $V_{DCFB}$       | 113.1 V       |
| Frequency                          | $f$              | 20 kHz        |
| Resistance of load                 | $R_L$            | 7.2 $\Omega$  |
| Inductance of the primary coil     | $L_{r1}$         | 409.7 $\mu$ H |
| Inductance of the secondary coil   | $L_{r2}$         | 406.6 $\mu$ H |
| Coupling coefficient               | $k$              | 0.132         |
| Capacitance of resonant capacitors | $C_{r1}, C_{r2}$ | 156 nF        |
| Number of MOSFETs for FCLA         | $n$              | 12            |



(a) With an inverter. (b) With a 12-series FCLA.

Fig. 3. Operation waveforms of the WPT systems.

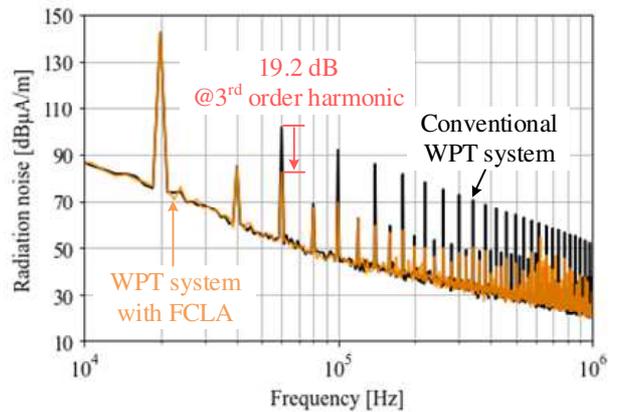


Fig. 4. Harmonic analysis of radiation noise.