

コイル位置ずれ時における スペクトラム拡散による非接触給電システムのノイズ低減

日下 佳祐*, 井上 拳斗, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Noise Reduction using Spread Spectrum for Inductive Power Transfer System with Misalignment of Coils

Keisuke Kusaka, Kent Inoue, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

著者らはこれまでスペクトラム拡散を用いた非接触給電システムのノイズ低減手法を提案している⁽¹⁾。伝送周波数を乱数に基づいて決定する際、伝送周波数を選択する確率分布に一定の偏りを持たせることで、高いノイズ抑制効果が得られることをこれまで示している⁽²⁾。しかしながら、伝送コイルが位置ずれをした時の提案手法の効果はこれまで評価されていない。そこで本論文では 2 種類のスペクトラム拡散手法を非接触給電システムに適用し、位置ずれ発生時の放射ノイズを評価する。

2. 非接触給電システムの入力インピーダンス特性

図 1 に非接触給電システムの回路構成を示す。本論文では 1 次側直列 2 次側直列補償方式を用いる⁽³⁾。この時、1 次側電流は次式で求められる。

$$|\dot{i}_1| = \frac{\sqrt{R_{eq}^2 \omega^4 L_m^4 + |\dot{Z}_{LC}^2| \left(\omega^2 L_m^2 - |\dot{Z}_{LC}^2| - R_{eq}^2 \right)^2}}{\left(\omega^2 L_m^2 - |\dot{Z}_{LC}^2| \right)^2 + R_{eq}^2 |\dot{Z}_{LC}^2|} |\dot{V}_1| \dots \dots (1)$$

ただし、ここで V_1 は 1 次側電圧の基本波成分、 L_m は相互インダクタンス、 ω は伝送角周波数、 R_{eq} は整流器の等価負荷抵抗であり整流器の出力電力 P と出力電圧 V_{2DC} を用いて (2) 式で表される。また、 Z_{LC} は (3) 式であり、1 次側インダクタンスと 2 次側インダクタンスが等しいものとした。

$$R_{eq} = \frac{8}{\pi^2} \frac{V_{2DC}^2}{P} = \frac{8}{\pi^2} R \dots \dots (2)$$

$$\dot{Z}_{LC} = \omega L - \frac{1}{\omega C} \dots \dots (3)$$

(1) 式より、非接触給電部の入力インピーダンス $|Z_{in}|$ は (4) 式で求まる。

$$|\dot{Z}_{in}| = \frac{\left(\omega^2 L_m^2 - |\dot{Z}_{LC}^2| \right)^2 + R^2 |\dot{Z}_{LC}^2|}{\sqrt{R^2 \omega^4 L_m^4 + |\dot{Z}_{LC}^2| \left(\omega^2 L_m^2 - |\dot{Z}_{LC}^2| - R^2 \right)^2}} \dots \dots (4)$$

1 次側コンデンサ及び 2 次側コンデンサが伝送周波数において共振するように設計すると、(3) 式のインピーダンスがゼロとなり、1 次側電源からみた力率が 1 となる。しかし

ながら、伝送コイルに位置ずれが生じた場合、インダクタンス及び結合係数が変化するため、入力インピーダンスが変化する。

文献(2)で提案しているスペクトラム拡散を用いたノイズ低減手法では、(3) 式で示した伝送コイル及び共振コンデンサの合成インピーダンスに比例するよう伝送周波数を選択するための確率分布を決定している⁽²⁾。一方、本論文では新たに (4) 式で求まる入力インピーダンス $|Z_{in}|$ に比例するよう確率分布を決定する手法を提案する。

図 2 に入力インピーダンスを示す。非接触給電システムの入力インピーダンスは周波数依存性を持ち、共振周波数の両側にインピーダンスが最小となる点が存在する。本特性に比例するよう伝送周波数選択用の確率分布を決定する。なお、標準化の動向を考慮し、伝送周波数の可変範囲は 80 kHz から 90 kHz とした。

3. 実験結果

図 3 及び図 4 にノミナル位置における非接触給電システムの動作波形と放射ノイズ測定結果を示す。本測定では磁界プローブ (Electro-metrics, EM-6993) を伝送コイルから 50 cm の距離に設置し、オシロスコープ (Tektronix, MDO4000)

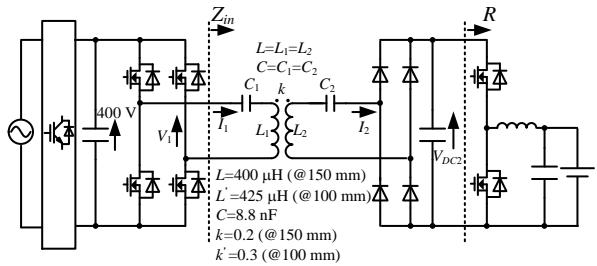


Fig. 1. Inductive power transfer system.

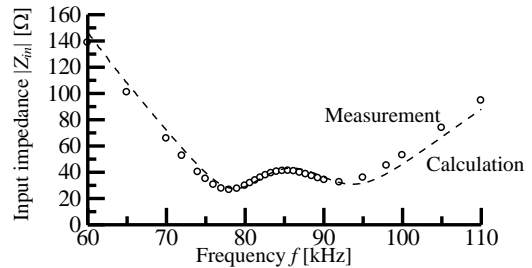


Fig. 2. Input impedance.

にて測定した。図 3(a)が周波数一定で駆動した場合、図 3(b)が自己インダクタンス L と共振コンデンサ C の合成インピーダンスに基づいて確率分布を決定した場合、図 3(c)が入力インピーダンスに基づいて確率分布を決定した場合の動作波形である。

駆動方法によって入力電圧から出力電圧のゲインが変化するため、本論文では入力電圧(400 V)と出力電力(3 kW)を共通条件としてこれらの比較を行った。実験波形より、スペクトラム拡散適用時にも正常に電力を伝送可能であることを確認した。周波数を一定として駆動した場合には、基本波周波数(85 kHz)において急峻なスペクトラムが現れており、52.9 dB μ A のノイズが観測された。一方、スペクトラム拡散を用いた(b)及び(c)では基本波周波数付近の最大値はそれぞれ 42.1 dB μ A、39.5 dB μ A であり、システムの入力インピーダンスに比例した確率分布を用いることで、LC のインピーダンスに比例するよう確率分布を決定する手法よりも大きなノイズ抑制効果が得られる。

図 5 に伝送距離を 150 mm から 100 mm に変化させた場合の放射ノイズ測定結果を示す。伝送距離の変化により、各伝送コイルの自己インダクタンスが 400 μ H から 425 μ H に、結合係数が 0.2 から 0.3 に変化する。これに伴い供給可能な伝送電力が最大 1.9 kW に制限される。周波数一定で駆動す

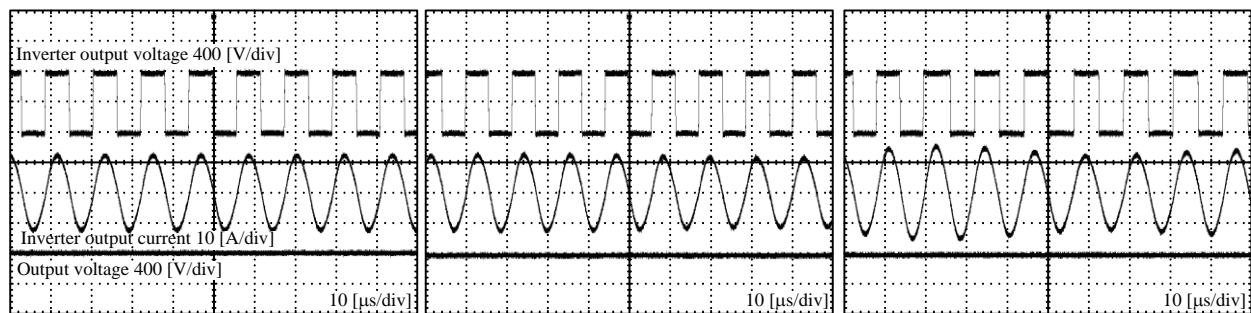
る場合には放射ノイズの最大値は 49.0 dB μ A であるが、提案手法を用いることで基本波周波数近傍の放射ノイズはそれぞれ 42.3 dB μ A、42.0 dB μ A まで抑制可能である。伝送コイルに位置ずれが生じた場合においても、スペクトラム拡散手法を適用することでノイズの抑制が可能であることを実験により検証した。なお、LC の合成インピーダンスに基づいて確率分布を決定する手法と入力インピーダンスに基づいて確率分布を決定する手法では、位置ずれ発生時にはほぼ同等のノイズ低減効果が得られる。

4. まとめ

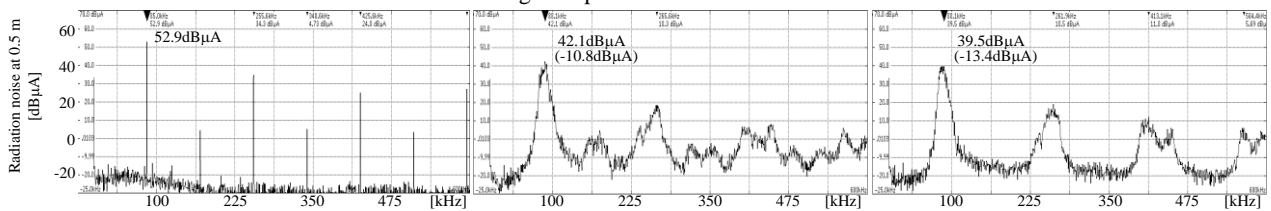
本論文では、伝送コイルの位置ずれ時における、スペクトラム拡散を用いた非接触給電システムのノイズ低減効果を評価した。伝送周波数を選択する確率分布に一定の偏りを持たせることで、伝送コイルに位置ずれが生じている場合においても、従来の周波数一定で駆動するシステムに対して放射ノイズを抑制可能であることを実験により確認した。

文献

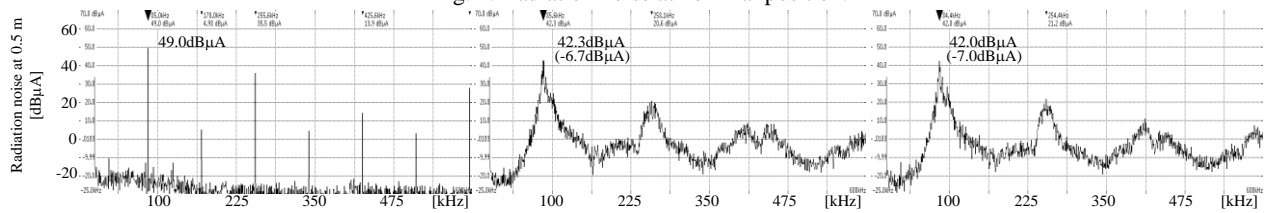
- (1) K. Kusaka, K. Inoue, J. Itoh, EVTeC2016 & APE Japan, No. 20169063 (2016)
- (2) K. Inoue, K. Kusaka, J. Itoh, ECCE2016, No. EC-308 (2016)
- (3) Y. H. Sohn, B. H. Choi, E. S. Lee, G. C. Lim, G. Cho, C. T. Rim, IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 30, No. 11, pp. 6030-6045 (2015)



(a) Constant frequency (b) Spread spectrum (in proportion to $|Z_{LC}|$) (c) Spread spectrum (in proportion to $|Z_{in}|$)
Fig. 3. Operation waveforms.



(a) Constant frequency (b) Spread spectrum (in proportion to $|Z_{LC}|$) (c) Spread spectrum (in proportion to $|Z_{in}|$)
Fig. 4. Radiation noise at nominal position.



(a) Constant frequency (b) Spread spectrum (in proportion to $|Z_{LC}|$) (c) Spread spectrum (in proportion to $|Z_{in}|$)
Fig. 5. Radiation noise with misalignment.