

Double-side LCC 補償を適用した非接触給電システムにおける 伝送電力に着目した等価回路に基づくパラメータ決定法

廣池 将伍・楠居 琳太郎・伊東 淳一（長岡技術科学大学）

1. はじめに

電気自動車向け非接触給電システムの一方式として、位置ずれ時の電流増加を抑制可能な Double-side LCC 補償方式が注目されている。本方式における伝送電力は各キャパシタや伝送コイルの各インダクタンスに依存するが、設計自由度が高く拘束条件が明確でないため、所望の電力を伝送するための設計法については十分検討されていない。本稿ではノトンの定理と合成インピーダンスに着目し、従来の S-S 補償方式^[1]を応用した回路設計法を提案する。また、シミュレーション結果より提案設計法の妥当性を確認したので報告する。

2. パラメータ導出

図 1 に Double-side LCC 補償を適用した非接触給電システムにおける共振系等価回路を示す。共振条件下ではリアクタンス成分が相殺され、基本波力率をほぼ 1 とみなせる。そのため本条件下で最大伝送電力を議論する。本構成における共振条件を(1)式に示す^[2]。

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_{s1}C_{p1}}} = \frac{1}{\sqrt{(L_1-L_{s1})C_{s1}}} = \frac{1}{\sqrt{L_{s2}C_{p2}}} = \frac{1}{\sqrt{(L_2-L_{s2})C_{s2}}} \quad (1)$$

(1)式より、各インダクタンスが設計できればキャパシタンスが設計可能であるため、本稿では伝送コイルと直列インダクタの自己インダクタンスを導出する。

図 2 に一次側をノトンの定理、二次側をインピーダンスの合成により S-S 補償と同様の形に置換した Double-side LCC 補償の等価回路を示す。ここで変換後の入力アドミタンスは(1)式の共振条件を満たすことで 0 としてみなすことができる。また、二次側は合成インピーダンスの実部を出力抵抗 R_L' 、虚部を出力リアクタンス X_{out} とした。これにより、伝送コイルの自己インダクタンス L_1, L_2 は文献^[1]の設計式より(2),(3)式で導出される。

$$L_2 = \frac{P_{out} \omega L_{s2}^2}{V_{out}^2 k} \quad (2)$$

$$L_1 = \frac{P_{out} \omega L_{s2}^2}{V_{out}^2 k} \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} \right)^2 \quad (3)$$

次に直列インダクタンスを設計するため、拘束条件として伝送コイルの位置ずれ発生時の最大電流を決定する。伝送コイルの形状により巻線太さは変動し、それに伴い伝送コイルに流せる最大電流は変動するため、一般化することは難しい。そこで今回は簡単化のため、 C_p に流れる電流が負荷電流に対して十分小さいと仮定し、電源電流 I_{in} と一次側コイル電流 I_{L1} 、負荷電流 I_{out} と二次側コイル電流 I_{L2} をそれぞれ等しいと仮定する。このとき、それぞれの伝送コイル電流式から直列インダクタ L_{s2}, L_{s1} は(4),(5)式で設計される。

$$L_{s2} = \frac{R}{\omega} \quad (4)$$

$$L_{s1} = \frac{R}{\omega} \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} \right)^2 \quad (5)$$

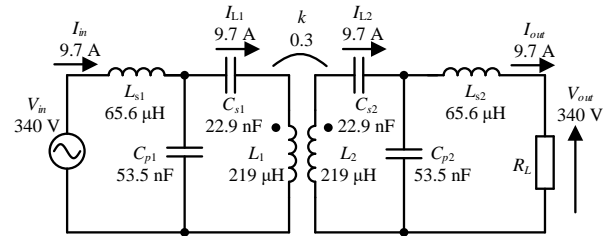


Fig. 1. Equivalent circuit configuration of a wireless power transfer system with double-side LCC compensation.

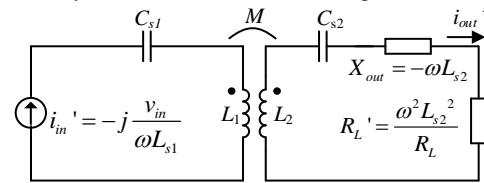


Fig. 2. Circuit configuration of double-side LCC WPT system converted by Norton's theorem.

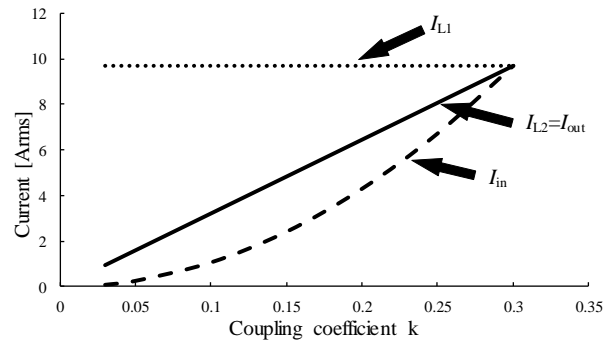


Fig. 3. Current characteristics versus coupling coefficient

3. パラメータの導出結果

図 3 に提案した設計式により導出した値を用いたシミュレーション結果を示す。本検討では、入力電圧 V_{in} を 340 V、出力電圧 V_{out} を 340 V、定格電力 P_{out} を 3.3 kW、結合係数 k を 0.3 として伝送周波数 f を 85 kHz とした。

図 3 より、提案した設計法により定格電圧印加時に共振条件を満たしつつ定格電力 3.3 kW を伝送できていることを確認した。また、結合係数 k の低下に伴い、 I_{in} 、 I_{L2} 及び I_{out} の電流実効値がそれぞれ低下している。したがって、設計時の電流の条件を満たしつつ、位置ずれ時に電流が低下する Double-side LCC 補償方式の動作を確認した。S-S 補償方式では位置ずれ時に I_{in} が増加するのに対して、LCC 補償方式は I_{in} の増加を抑制できる。

以上より、提案した設計法により、所望の伝送特性を有する Double-side LCC 補償を適用した非接触給電システムが設計できることを確認した。今後は実機試験により、提案設計手法で所望の電力を伝送できることを検証する。

文 献

- (1) R.Bosshard, et al : IEEE J. Emerging Sel. Top. Power Electron, Vol.3, No.1, pp. 50-64, (2015)
- (2) J.Li et al : IEEE TPEL, Vol.38, No.1, pp.1301-1313, (2023)