

第4章 電圧比に着目した設計と検証

実験研究 電源としてのワイヤレス給電システム

畑 勝裕 Katsuhiko Hata

磁界共振結合WPTでは、給電効率や受電電力といった特性が送受電器の回路パラメータや負荷によって決定されるため、高効率かつ安定した電力伝送を実現するためには適切なシステム設計および制御実装が重要です。

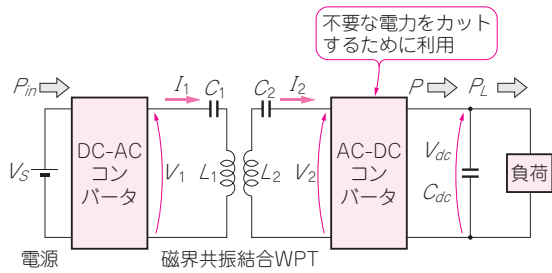
本章では、送電側および受電側の電圧比に着目した関係式を導出し、それに基づく設計指針を示します。このとき、各電圧が設計可能あるいは制御可能であるか否かに応じて、システム構成を分類して設計指針を示します。また、要求される負荷電力の大きさによって条件をさらに細分化し、WPTの最大効率動作を実現できる領域と、給電効率を犠牲にして電力供給を優先すべき領域に分けて設計を行います。さらに、負荷の電力要求あるいはシステムの効率制約によって実現できない動作領域についても明らかにし、再設計が必要となる条件を示します⁽¹⁾。

● システム電圧比に注目する理由

従来の等価抵抗を用いた解析手法では、送電側および受電側のシステム電圧を直接的に設計できません。まず、電圧と電流の関係を等価的な負荷抵抗値に変換したうえで給電効率および受電電力の特性を確認し、所望の仕様を満たすように等価抵抗値ならびに各パラメータを調整するといった過程を経て、ようやく各電圧を設計することができます。

このように、回路動作のふるまいを把握するために、わざわざ等価負荷抵抗に変換して解析を行うことはとても煩雑であり、実用的な設計手法として適していませんでした。一方で、システム電圧を直接設計できる手法を考案できれば、送電側および受電側の回路設計やデバイス選定にも役立てることができ、非常に有用であると筆者は考えています。

本章では、図1に示すS/S方式の磁界共振結合WPTシステムを対象として、送電側と受電側のシステム電圧比に基づく給電効率と受電電力の特性を示し、等価的な負荷抵抗値を介することなく、より直感的にシステム電圧を設計できる手法を示します。



- 送電側電圧 V_1 および受電側電圧 V_2 が設計できるか否かによって分類
- 最大効率時の給電電力 $P_{m,max}$ に対する負荷電力 P_L の大小関係に応じて細分化
- 設計要求を満たさない場合は再設計

図1 設計対象とするS/S方式の磁界共振結合WPTシステムの構成

最大効率動作における関係式の導出

WPTの最大効率を得られる条件を明確にするため、関係式を整理しながらできる限り簡略化した数式で表現することを目指します。煩雑な数式は設計時に計算ミス誘発することもあるため、なるべく簡単な式で書けることが望ましいでしょう。

● 設計目標と前提条件

図1のシステム構成を対象として設計を行います。送電側と受電側の電力変換回路(インバータおよび整流回路など)はその回路構成と制御手法が数多く提案されているため、ここでは電力伝送に寄与する交流側の送電側電圧 V_1 、および受電側電圧 V_2 の設計法を検討します。そのため、直流側の各電圧は各アプリケーションおよび個々の電力変換回路の動作を考慮して間接的に設計することにします。

また、S/S方式の磁界共振結合WPTでは送電側および受電側の共振条件を満たすように設計を行うため、送電側の電力変換回路による動作角周波数 ω_0 は、