

水中探査機向け非接触給電システムの駆動方式の検討

東京海洋大学 ◎米田 昇平 水野 隆志 木船 弘康

1. はじめに

水中探査機に搭載されたバッテリーの充電方法として、非接触給電システムの適用が検討されている。このとき、非接触給電システムの送受電間では、海流や波の影響により位置ずれが生じやすく、この点を考慮した駆動方式を検討する必要がある。

本論文では、送電側の高周波インバータに位相シフト制御を適用し、非接触給電システムの駆動方式を電圧源駆動と電流源駆動に切り替えることを検討する。その結果、出力電圧の上昇を抑制することが可能となり、システムの安全性の向上が期待できる。以下では、30 V、150 W の非接触給電システムにて、出力電圧を実測し、駆動方式を切り替えることの効果を確認する。

2. 実験回路

図 1 に実験回路の構成を、表 1 に回路定数を示す。回路構成としては、フルブリッジ構成の電圧形高周波インバータとダイオード整流器である。高周波インバータでは、スイッチ $S_1 \sim S_4$ のゲート信号のタイミングに位相シフト角を設けることで、高周波インバータの交流端子電圧 v_{inv} を制御可能となる⁽¹⁾。したがって、インバータ電流 i_{inv} を検出し、その実効値が一定となるようにゲート信号の位相シフト角を制御すれば、非接触給電システムを電流源入力にて駆動することも可能となる。

送受電コイルには同一のコイルを適用しているが、受電側のコイルにのみフェライトコアを敷くことで、送電コイルと受電コイルのインダクタンスを別の値にしている。ただし、送受電間で共振周波数 f_r がほぼ同一となるように直列共振用キャパシタをそれぞれ選定しているため、 f は、

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}} = 17.4 \text{ kHz}$$

である。

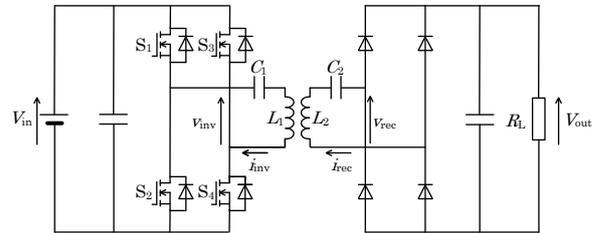


図 1 実験回路

表 1 回路定数

Input dc voltage	V_{in}	30 V
Transmitting coil	L_1	65 μH
Receiving coil	L_2	95 μH
Resonant capacitor	C_1	1.32 μF
Resonant capacitor	C_2	0.88 μF
Resistive load	R_L	5.5 Ω

3. 共振周波数 f における駆動方法

非接触給電システムでは、結合係数や伝送電力(負荷抵抗値)に応じて、複数の共振周波数が存在する。一般的には、コイルのインダクタンスと共振コンデンサのキャパシタンスのみで定まる共振周波数 f で駆動することが多い。このとき、入力側に電圧源を用意すれば出力側は電流源となり、入力側に電流源を用意すれば出力側が電圧源となることが知られている⁽²⁾。基本波であるスイッチング周波数成分のみを抽出して考えれば、共振周波数 f における整流器電流 i_{rec} の基本波実効値 I_{rec} は、

$$I_{rec} = \frac{V_{inv}}{2\pi f_r k \sqrt{L_1 L_2}} \quad (1)$$

と表すことができる⁽²⁾。ただし、 V_{inv} は高周波インバータの交流端子電圧 v_{inv} の基本波実効値であり、 k は送受電コイル間の結合係数である。その結果、このときの整流器交流端子電圧の基本波実効値 V_{rec} とインバータ電流の基本波実効値 I_{inv} は、

$$V_{rec} = \frac{8}{\pi^2} R_L I_{rec} \quad (2)$$

$$I_{inv} = \frac{V_{inv}}{(2\pi f_r k \sqrt{L_1 L_2})^2} \times \frac{8}{\pi^2} R_L \quad (3)$$

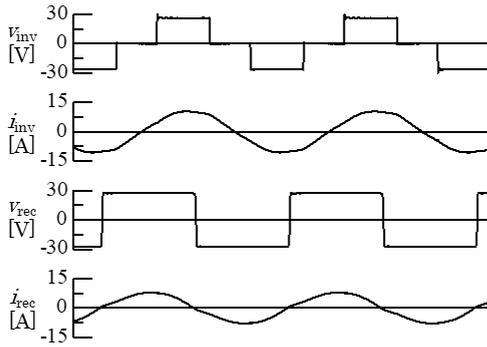


図2 実験波形

と表せるので、 V_{inv} を一定とする電圧源駆動の場合、結合係数が低下するときに受電側に過電圧、送電側に過電流が生じる恐れがある。

そこで、共振周波数 f_r で駆動する際は、高周波インバータのゲート信号の位相シフト角 ϕ を制御することでインバータ電流 i_{inv} を一定に制御して電流源駆動とすれば、結合係数の低下と共に V_{inv} が減少するため、受電側の過電圧や送電側の過電流が生じない。

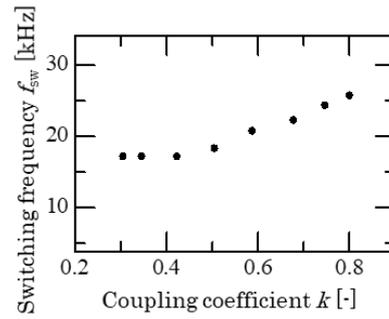
4. 実験結果

図2に実験波形を示す。これは、結合係数 $k=0.5$ とした場合で、スイッチング周波数 $f_{sw}=18.3\text{ kHz}$ 、位相シフト角 $\phi=74$ 度と設定し、電流源駆動としている。

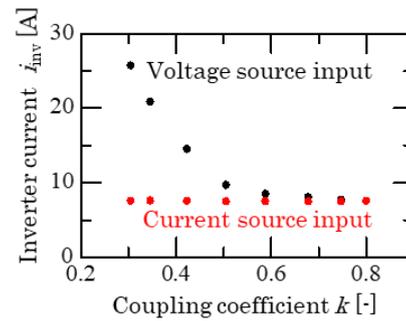
図3に、結合係数ごとのスイッチング周波数、インバータ電流、出力直流電圧の変化を示す。結合係数ごとに最も高い共振周波数で駆動しているため、結合係数が高いときは f_r でない共振周波数で動作している。結合係数が低下すると共振周波数 f_r での動作となるため、電圧源駆動ではインバータ電流および出力直流電圧ともに上昇している。一方で、電流源駆動では、インバータ電流の実効値が 7.5 A 一定となるように位相シフト角 ϕ を $14\sim 149$ 度範囲で変化させている。その結果、インバータ電流は一定値に保たれ、出力直流電圧は上昇ではなく減少している。これは、電流源駆動とすることで、受電側が離れても電圧が上昇せず安全であることを意味する。

5. まとめ

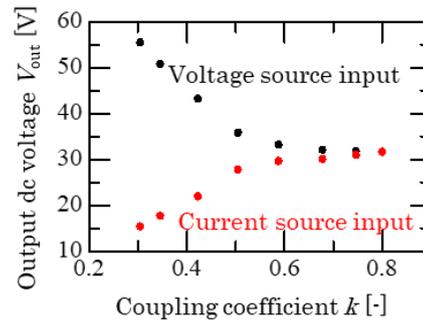
本論文では、送電側の高周波インバータに位相シ



(a) スイッチング周波数



(b) インバータ電流



(c) 出力直流電圧

図3 実験結果

フト制御により、電圧源駆動と電流源駆動に切り替え、受電側の過電圧および送電側の過電流抑制手法を検討し、その効果を確認した。

参考文献

- (1) H. Kifune and Y. Hatanaka, *IEEJ Trans. on Elec. and Electron. Eng.*, 7(S1), pp.S167-S172(2012)
- (2) Y. H. Sohn, *et al, IEEE Trans. On Power Electron.*, vol. 30, no. 11, pp. 6030-6045, Nov. (2015)