

磁界共振結合による非接触給電用高周波電源に適用する スイッチング整合回路の基礎検討

◎日下 佳祐 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

1. はじめに

近年、磁界共振結合方式による非接触給電が盛んに研究されている⁽¹⁾。本方式で伝送に用いる共振周波数は伝送距離等の条件により変化するため、伝送効率を維持するために駆動用インバータの出力周波数を共振周波数に追従させなければならない。駆動用インバータの出力周波数を変化させた場合、インバータの出力インピーダンスが変化し、反射電力による損失が発生する。そこで、本論文では出力周波数によらず電源の出力インピーダンスを制御するスイッチング整合回路(以下、「SMC」)の基礎検討を行ったので報告する。

2. 提案回路

図1に提案する SMC を示す。SMC はインダクタンス L_0 とキャパシタンス C_0 による低域通過フィルタ(LPF)を元に設計され、MOS-FET のスイッチングにより方形波出力インバータの出力インピーダンスを制御する。LPF のパラメータを(1)、(2)式に従って設計することで、インバータの出力インピーダンスを、虚部がゼロである任意のインピーダンス $Z_0 = \text{Re}[Z_0] + j0$ に整合を図ることが可能である⁽²⁾。

$$L_0 = \sqrt{\frac{r_d^2 \omega^2 \text{Re}[Z_0]}{\omega^2 \omega_c^4 - (\omega_c^2 - \omega^2)^2 \text{Re}[Z_0]}} \dots\dots\dots (1)$$

$$C_0 = \frac{\text{Re}[Z_0] - r_d}{\omega^2 L_0 \text{Re}[Z_0]} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 ω はインバータの出力角周波数、 ω_c は LPF のカットオフ角周波数、 r_d はデッドタイムによる電圧降下模擬抵抗である。

図2に制御ブロック図を示す。SMC は S_1 から S_4 のオンデューティと位相を制御し、インバータの出力周波数に同期してスイッチング周波数 f_{sw} でスイッチングを行う。本制御は伝送距離の変動を補償することを目的としているため、出力周波数と比較して高い周波数応答を必要としない。スイッチ S_2 及び S_3 はインバータ出力電圧極性に対して位相シフト指令 θ から位相シフト制御を行う。一方、 S_1 及び S_4 は S_2 、 S_3 に対して 180° 位相をシフトしたキャリア信号によりスイッチングを行う。また、 S_1 から S_4 は 1 つの Duty 信号 D_m によりオンデューティを決定する。

3. シミュレーション結果

図3に周波数を一定としてデューティ D_m 及び位相シフト指令 θ を変化させた場合の出力インピーダンスの変動を示す。ここで、出力インピーダンスの検出法として電流注入法を用いた。位相シフト指令を -90° から 0° へ増加させた場合、図3(a)より出力インピーダンスの実部が増加することがわかる。この時、位相シフト指令は出力インピーダンスの虚部に影響しないため、図3(b)に示されるように θ によらず一定値をとる。一方、デューティ D_m を増加させた場合、出力インピーダンスの実部は増加し、虚部が減少するという特性をもつ。 D_m により出力インピーダンスの実部及び虚部の両者が変動するため、制御パラメータ θ と D_m において実部と虚部を独立に制御することができない。出力インピーダンスの整合を図るためには、実部と虚部の両者を独立に制御する必要があるため、実部と虚部の非干渉制御を適用する必要がある。

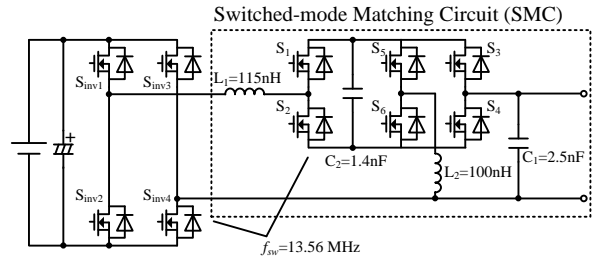


Fig. 1. Proposed switched-mode matching circuit.

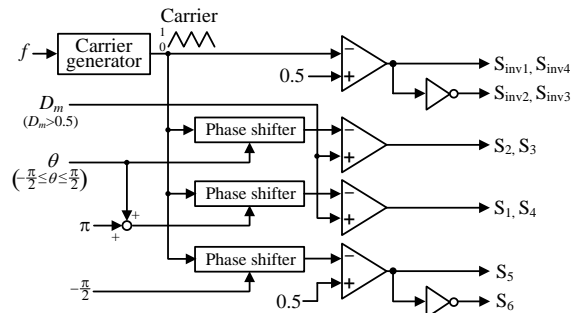
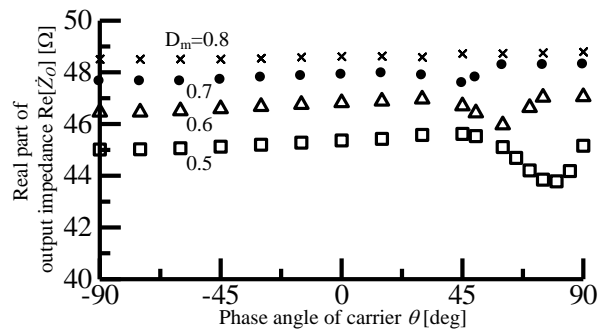
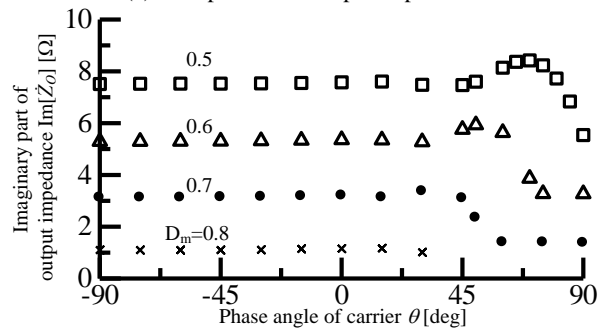


Fig. 2. Control block diagram for SMC.



(a) Real part of the output impedance.



今後は実部と虚部の非干渉化及び、SMC 設計法の明確化を行う予定である。

参考文献

- (1) Karalis, et al., Annals of Physics, Vol. 323, No. 1, pp. 34-48 (2008)
- (2) 日下 佳祐, 伊東 淳一, 平成 23 年度電気学会産業応用部門大会, 1-108-I, pp. 507-510 (2011)