

超音波スピンドル駆動用ロータリートランスにおける P/S 方式共振回路の設計について

南 明植* 今岡 淳** 庄山 正仁**
 (九州大学大学院 システム情報科学府* システム情報科学研究院**)

1 まえがき

超音波スピンドルは図 1 のような構造を持ち、ツールへ回転力と振動の双方を伝えることで難削材でも綺麗な加工が実現できる工具である。スピンドルは回転するため、これまでブラシを使って電力を振動子に供給していたが、磨耗などの原因から定期的なメンテナンスを必要としていた。この問題に対して、ブラシに代わってロータリートランスを使った手法が提案されている[1]。このロータリートランスは構造上の問題から密結合を実現することが難しく、漏れインダクタンスにより電圧降下が生じるため超音波振動子の駆動に必要な電圧を供給することができない。そこで、LC 相殺を使って漏れインダクタンスを等価的に除去し、入力電圧をそのまま超音波振動子に供給する手法が検討されている。これまでの研究[1]では SP/-方式(並列共振回路の間に直列共振回路, 図 2.a)を提案していたが、本研究では PS/-方式(直列共振回路の間に並列共振回路, 図 2.b)についての設計方法を検討し、双方の回路で等価な動作を実現することが確認されたので報告する。

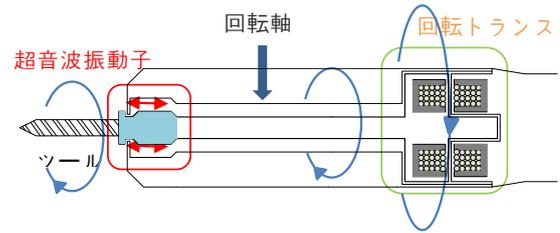


図1 超音波スピンドルの構造

2 SP/-方式とPS/-方式の比較と設計

図 2 のように SP/-方式と PS/-方式はトランス等価回路の漏れ、励磁インダクタンスと、共振コンデンサの位置によって名称が変わる。また、超音波振動子は駆動周波数 f_0 (約 40kHz)で使い、この場合等価的に振動子は 50Ω の抵抗として表現される。SP/-方式を等価回路で表すと図 3.a のようになり、共振条件 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ から

$$C_s = \frac{1}{\omega_0^2 (L_1 - \frac{M^2}{L_2})} \quad \cdots(1), \quad C_p = \frac{1}{\omega_0^2 \frac{M^2}{L_2}} \quad \cdots(2)$$

を満たすことができれば LC 相殺を実現できる。この条件に加え、理想トランス変圧比の条件より $M = L_2$ とすれば出力電圧は入力電圧と等しくなる。同様に、PS/-方式では各キャパシタンス値は次式を満たすことが LC 相殺を実現できる。

$$C_s = \frac{1}{\omega_0^2 L_1 \left(\frac{L_1 L_2}{M^2} - 1 \right)} \quad \cdots(3), \quad C_p = \frac{1}{\omega_0^2 L_1} \quad \cdots(4)$$

また、これに加えて変圧比の条件から $M = L_1$ とすれば出力電圧は入力電圧と等しくなる。

3 シミュレーション結果

図 4 は $k = 0.8, L_1 = 100\mu\text{H}, f_0 = 40\text{kHz}, R_o = 50\Omega$ の条件で動作させた v_i, v_o, i_i, i_o の波形である。結果、全ての波形は一致していた。(但し、結合係数 $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$)

4 まとめ

SP/-方式, PS/-方式に関わらず、共振条件を満たした等価回路では安定的に電圧伝達ができることを確認した。今後はこれらの特徴の違いについて検討する。

参考文献

[1] Yafei Gao, Myoungsik Nam, Masahito Shoyama and Hideaki Fujita, "Application of the Principle of LC Cancellation to Rotary Transformer Used in Ultrasonic Spindle", 平成 27 年電子・情報・システム部門大会, 長崎, 2015 年 8 月

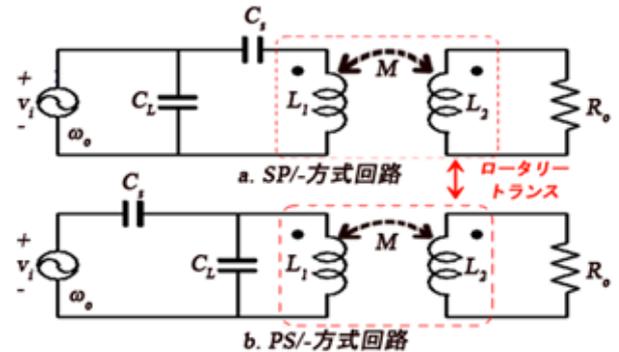


図2 SP/-, PS/-方式共振回路

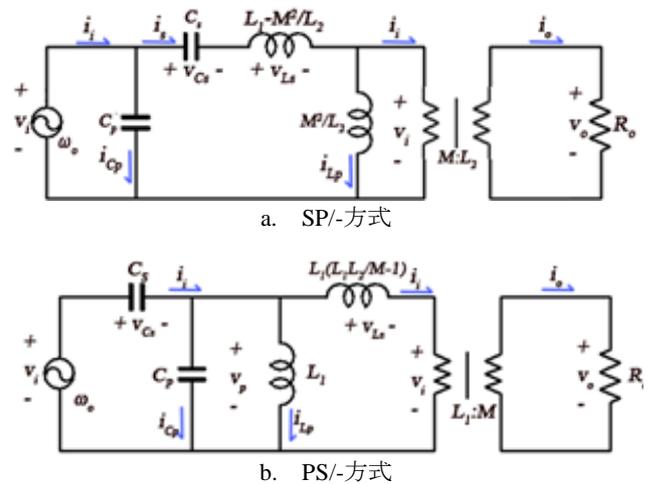


図3 SP/-, PS/-方式共振等価回路

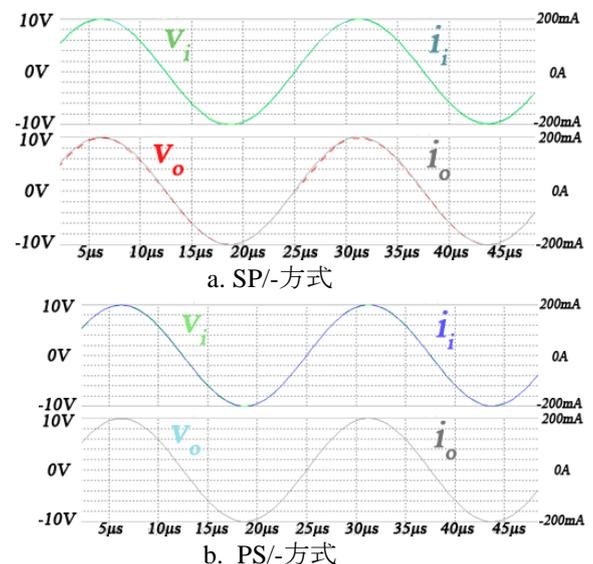


図4 各方式の入出力電圧, 電流波形