室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

回路シミュレータによる超音波アクチュエータの等価回路解析(1)-振動片型の等価回路モデルと解析-

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本音響学会 公開日: 2012-10-01 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 瀬野, 耕一, 青柳, 学, 高野, 剛浩, 田村, 英樹, 広瀬, 精二, 富川, 義朗 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1680

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

回路シミュレータによる超音波アクチュエータの等価回路解析(1)-振動片型の等価回路モデルと解析-

その他（別言語等）のタイトル	Equivalent circuit simulation of an ultrasonic actuator by a commercial circuit simulator(1) -In the case of vibrating piece type ultrasonic actuator-
著者	瀬野　耕一，青柳　学，高野　剛浩，田村　英樹，広瀬　精二，富川　義朗
雑誌名	日本音響学会研究発表会講演論文集
巻	2009年春季
ページ	1335-1336
発行年	2009-03
URL	http://hdl.handle.net/10258/1680

回路シミュレータによる超音波アクチュエータの等価回路解析(1)
-振動片型の等価回路モデルと解析-*

◎瀬野 耕一，青柳 学(室蘭工大)，高野 剛浩(東北工大)
田村 英樹，広瀬 精二，富川 義朗(山形大・工)

1 はじめに

超音波アクチュエータの解析方法の一つに電気機械等価回路を用いる方法がある[1-4]。振動子の解析，設計で広く利用されているが[3]，超音波アクチュエータの場合，非線形素子を含むため，解析用プログラムを個別に作成し解析する必要があるため，必ずしも利用しやすいとは言えない。本報では超音波アクチュエータを汎用の回路シミュレータで解析可能な電子回路を含む等価回路モデルを提案し，振動片型超音波アクチュエータについて等価回路モデルおよび解析結果例を報告する。

2 超音波アクチュエータの構成

Fig.1 に解析に用いた振動片型の一種である L 字形超音波アクチュエータの構成を示す。

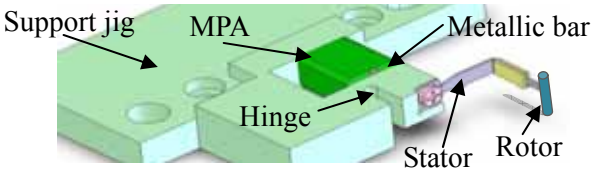


Fig.1 Construction of an L-shaped ultrasonic actuator with preload control MPA.

先端に振動片が設けてあるステータ振動子は，ジグにビス止めされ，ジグはステージ上に配置されており，マイクロメータでロータへの予圧力・接触位置を調整できる。ステータ振動子は自身の弾性を利用した予圧バネを内蔵している。

3 電気機械等価回路

考案した振動片形超音波アクチュエータの等価回路モデルを Fig.2 に示す。本モデルでは振動子の発生力を次のように分けて考える。

- f[N]: 振動子発生力
- f_V[N]: ロータの中心方向成分
- f_H[N]: ロータの接線方向成分

また，圧接力 Fc に比例した摩擦力を電圧制御電圧源(VCVS)で表し，ダイオードと構成されるリミット回路でロータに伝わる搬送力が摩擦力を超えない事を表現している。回路中のロータ部を流れる電流(外周速度)と電圧（外周力）をロータの回転速度 N[rps]とトルクに換算し，機械出力として把握できる。

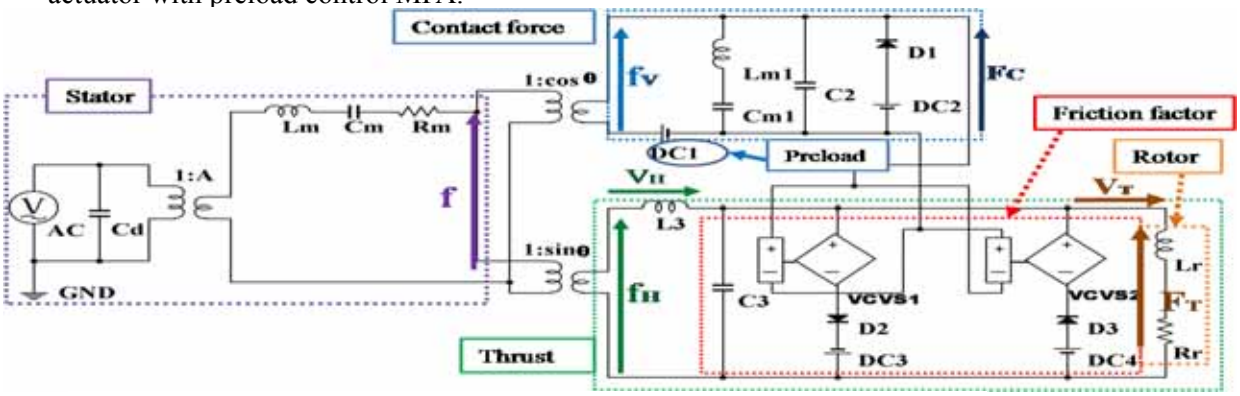


Fig.2 Electromechanical analogy equivalent circuit of ultrasonic actuator.

A:力係数 F_T:ロータ外周搬送力 F_C:圧接力
θ:振動子とロータの接触角 DC1:予圧力
V_T:ロータ周速度 C2:予圧バネのコンプライアンス
L1,C1,L3,C3:振動片の伸縮方向および曲げ方向の等価質量と等価コンプライアンス

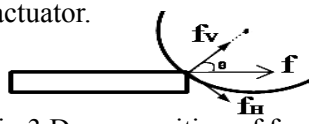


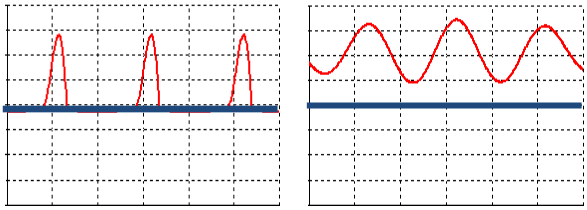
Fig.3 Decomposition of force.

* Equivalent circuit simulation of an ultrasonic actuator by a commercial circuit simulator(1)
-In the case of vibrating piece type ultrasonic actuator-, by SENO, Koichi and AOYAGI, Manabu (Muroran Institute of Technology) and TAKANO, Takehiro (Tohoku Institute of Technology) and TAMURA, Hideki and HIROSE, Seiji and TOMIKAWA, Yoshiro (Yamagata University)

4　解析結果

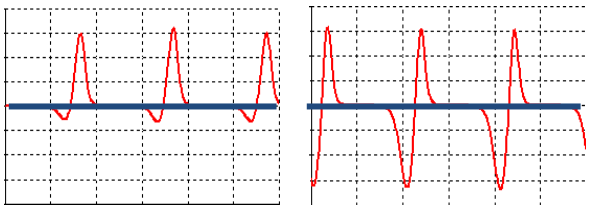
4-1 予圧変化による圧接力と搬送力

Fig.2 中の圧接力表現部において予圧力 DC1 の値を変化させて解析を行った結果を Fig.4(a)(b)と Fig.5(a)(b)に示す。



(a) F_C(Low preload)　(b) F_C(High preload)

Fig.4 Simulated result of F_C.



(a) F_T(Low preload)　(b) F_T(High preload)

Fig.5 Simulated result of F_T.

Fig.4 および Fig.5 はそれぞれ圧接力，搬送力波形を表す。Fig.4(a)は振動子の非接触状態があることが表現されているが，同図(b)では，予圧が振動子の発生力を上回ったことにより常に振動子とロータが接触している状態を示している。Fig.5(a)の搬送力の平均値は正の値であるため，電流に対応する速度が正に出る。また，ロータが回転時に振動子が接触した際にロータ減速的な力が加わっていることがわかる。Fig.5(b)では平均値が 0 に近いためロータは回転しないことがわかる。

4-2 予圧制御による立ち上がり時間の改善

Fig.6 に積層圧電アクチュエータ(MPA)による予圧制御の動作原理を示す。

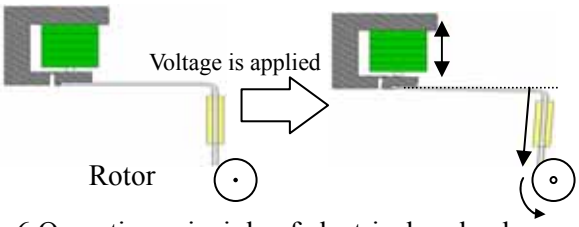


Fig.6 Operating principle of electrical preload control.

MPA を用いて予圧しておき駆動開始から 92 ms 後に MPA による予圧を取り除くと Fig.7 に示すように立ち上がり特性が改善されることが実験結果から得られている[6]。予圧制御を効果的に行うことで立ち上がり時間を予圧制御なしの時に比べて 37.6 %短縮された。この条件と同様の条件で行ったシミュレーション結果を Fig.7 に示す。

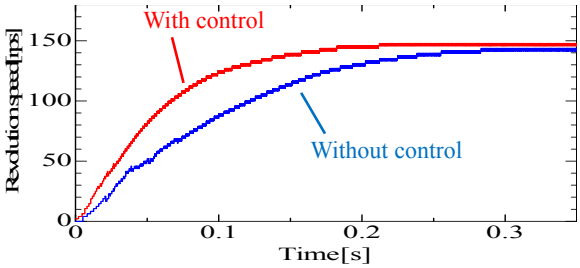


Fig.7 Measured transient response of revolution speed by presence of preload control.

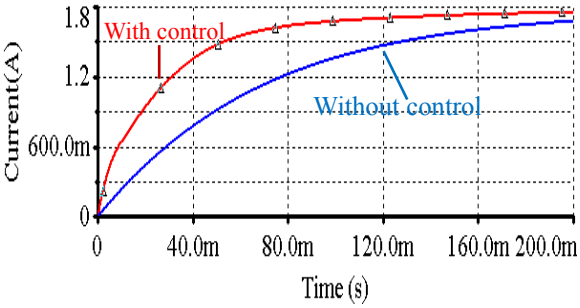


Fig.8 Preload control simulation.

Fig.8 に回路中のロータ部に流れる電流（速度）のシミュレーション結果を示す。実験結果と同様に予圧を制御することで立ち上がり特性が改善される結果が得られた。

5　おわりに

超音波アクチュエータの性能を市販の回路シミュレータで容易に評価可能な等価回路を考案し，予圧制御による立ち上がり特性について，実験と同様の解析結果が得られた。今後は各回路定数の理論的な同定を進めるとともに，考案した等価回路を用いて様々な解析を行い，設計および評価に応用したい。

参考文献

[1]Y.Tomikawa, M.Yaginuma, S.Hirose and T.Takano: Jpn. Jour. Appl. Phys. 31 (1991) 2398.

[2]K.Nakamura, M.Kurosawa and S.Ueha: IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, 38 (1991) 188.

[3]H.Hirata and S.Ueha: IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, 40 (1993) 402.

[4]M.Aoyagi and Y.Tomikawa : Jpn. Jour. of Appl. Phys, 34,(1995)pp.2752-2755.

[5]ダイナミカルアナロジー-回路と類推-
：近野　正　コロナ社.

[6]関, 青柳, 高野, 田村, 音講論（春）, 2-Q-25, pp.1351-1352，2008.