

論文内容要旨 (和文)

平成20年度入学 大学院博士後期課程

システム情報工学専攻

学生番号 08522304

氏名 山吉 康弘



(英文の場合は、その和訳を()を付して併記すること。)

論文題目 非接触型超音波モータの最適設計と定在波駆動方式による特性改善に関する研究

流体中の強力超音波に伴って生じる音響流を利用すると、流体の直接流動や物体の非接触駆動などの一般には実現が難しい機能をもつ超音波デバイスが実現できる。非接触型超音波モータは、薄い空気のギャップ層内に発生させた進行波音場に伴って生じる音響流を駆動力として、ロータがステータと非接触で回転するモータである。磁界を用いずに非接触回転動作が可能であり、摩擦や発塵がなく、小型化に有利である。また、ステータの振動速度以上の移動速度が実現できるため、高速回転に適しており、従来の摩擦駆動方式の超音波モータとは異なる分野への応用が期待される。これまで、ギャップの共振周波数に着目した設計法が報告されているが、ステータの振動とギャップ内に発生する音場との関係やロータ径、ギャップ長などに深く言及した詳細な設計指針に関する研究はなされていない。また、従来の非接触型超音波モータは、2つの同形縮退振動を利用してステータに屈曲進行波を励振し、ギャップ内に進行波音場を発生させる駆動方式のため、同形縮退振動を有する円形や円筒形の振動体をステータに用いる必要があった。これはステータの励振効率、支持方法、および形状や材料などの設計自由度を限定してしまう欠点がある。

本論文では、薄型で構造が単純な屈曲振動円板を用いた非接触型超音波モータについて、その特長である高速回転の観点から最適構造を得る指針を確立するとともに、従来の非接触型超音波モータの欠点を改善できる新しい駆動方式の非接触型超音波モータを実現することを目的とした。始めに、音圧モードを励起するためのステータの有効面積を表すモード相関変成器と、空気の粘性を考慮したギャップ空間とステータの等価回路を導出し、それを用いた音圧解析から、ギャップ内に強力超音波を発生させるために適した、振動モードと音圧モードの関係、ロータ径、ギャップ長などを明らかにした。ギャップ内に発生する音圧分布とステータの振動分布の相関が高い、音圧モードとロータ径を選定するとギャップ内に強い超音波が励起できる。また、ギャップ長が $500\mu\text{m}$ 程度の比較的広い場合には、ギャップ内の空気の質量効果が支配的になり、空気の共振効果が顕著に現れるため、ステータとギャップの共振周波数を一致させた条件で高い音圧が得られるが、ギャップ長が $50\mu\text{m}$ 以下の比較的狭い場合には、質量効果に代わってギャップ内の空気の粘性効果が支配的になり、広い条件で高い音圧が得られる。続いて、ギャップ空間の等価音響インピーダンスを求める方法を確立し、音響インピーダンスの評価からギャップ外周部の開放端からの音響漏れの影響を明らかにした。ギャップの共振効果を利用した構造の、約 $100\mu\text{m}$ 以上のギャップ長において、音響漏れの影響によってギャップ内の音圧が低下する。以上の結果から、モード相関変成器や空気の粘性に加えて、音響漏れを考慮した等価回路を提案し、それに基づい

て算出した回転速度とトルクの理論値を、実測値と比較した。両者は比較的良く一致し、本論文で提案した等価回路を用いた設計指針の妥当性が検証された。50 μm 以下の極小ギャップ長とした構造では、比較的広い条件で高いトルクが得られる可能性があるが、ロータの抗力係数が増大するため高速回転は期待できない。従って、高速回転を得るためには、ギャップ長を約200 μm とし、ギャップの共振効果を利用した構造が最適であることを示した。本論文で得られた最適構造の非接触超音波モータを用いて、駆動電圧14.5Vで、2500rpm以上の非接触高速回転を実現した。

論文の後半では、新しい駆動方式の非接触型超音波モータを提案した。2つのステータを円周方向にずらして配置し、位相の異なる電圧で定在波駆動することにより、ステータの間に位置するロータの非接触回転に成功した。この定在波駆動方式の非接触型超音波モータは、縮退振動を必要としないため、屈曲進行波を利用した非接触型超音波モータの欠点を改善できる。2つのステータの位置角度差や駆動電圧の位相差、ギャップ長に対する回転速度特性の実測結果から、約3Vの駆動電圧で、0.5~1.2 mmの広いギャップ長範囲で、2000rpmの高速回転が得られること、また位置角度差や電圧の位相差の反転によって容易に逆回転動作が可能であることを明らかにした。従来の屈曲進行波を利用した方式と比較して、約1/3以下の低い電圧で、約1.3倍の回転速度と約1.8倍のトルクおよび約2倍の効率が得られ、大幅な特性の向上を達成した。また、その動作機構を明らかにするために、圧電体と構造体および音響要素の間の相互作用を考慮した有限要素法を用いて、ギャップ内の音場解析を行った。1つのステータを単独で定在波駆動した場合、ロータの上下の2つのギャップ内に互いに逆位相の定在波音場が発生し、2つのステータを振動モードの1/4周期分の円周方向にずらして配置し、位相差90°の電圧で駆動した場合、2つのギャップ内に同じ方向の進行波音場が発生した。進行波音場の進行方向は、実測で観測されたロータの回転方向と一致した。定在波駆動方式の非接触型超音波モータは、ギャップの音響結合が重要な働きをしていることを明らかにした。

本研究では、非磁性でかつ非接触で物体を回転させるという一般には実現が難しい機能をもつ非接触型超音波モータについて、モード相関変成器、空気の粘性、および音響漏れを考慮した等価回路を提案し、それによる最適設計を可能にした。また、定在波駆動方式の非接触型超音波モータを実現し、モータ特性を大幅に向上させた。これらの研究成果によって、工学の発展に大いに貢献できた。

(10pt 2,000 字程度 2 頁以内)

論文内容要旨 (英文)

平成20年度入学 大学院博士後期課程

システム情報工学専攻

学生番号 08522304

氏名 山吉 康弘



論文題目 Study on Optimum Design for Noncontact Ultrasonic Motor and Performance Improvement by Drive System Utilizing Standing Wave Vibrations

The ultrasonic devices utilizing the acoustic streaming caused by the intense ultrasonic waves in a fluid resolve several problems in contact actuators, such as performance deterioration by abrasion and the generation of grating noise and scraped dust. The noncontact ultrasonic motors, whose rotor located above the flexural vibrating stator, are rotated by the acoustic streaming induced in the gap between the stator and the rotor, promise long-life, high-speed, and small motors because they do not use the friction force. However, the research for improving the performance of a noncontact ultrasonic motor has not been performed in detail.

In this study, the optimum design for high speed rotation of the noncontact ultrasonic motor with a flexurally vibrating disk was investigated by the experiment and the equivalent circuit analysis which took account of the viscosity of air, the correlation between the vibration and the sound pressure, and the acoustic leak. The viscosity of the air and the acoustic leak to the outside of the air gap strongly affect at the narrower gap than 50 μm and at the wider gap than 100 μm , respectively. The rotor diameter, the gap distance, and the combination with the vibration mode and the sound pressure mode for the high speed rotation were clarified. The higher revolution speed than 2500 rpm was obtained at the driving voltage of 14.5 V.

Moreover, to improve the performance, a new noncontact ultrasonic motor driven by two flexural standing wave vibration disks was proposed. In the motor with the drive system utilizing the standing wave vibrations, the disk rotor sandwiched between two pairs of an air gap and a disk stator was rotated without making contact with stators by the standing wave vibrations of the stators whose temporal phase and spatial position differed. In this motor, the revolution speed of 2000 rpm was obtained in the wide range of the gap distance from about 0.5 to 1.2 mm at the very low driving voltage of about 3 V. The 1.3 times revolution speed, 1.8 times torque, and 2 times efficiency compared with the traveling wave vibration type motor were achieved.

(12pt シングルスペース 300 語程度)