フィードバック制御による圧電バイモルフの共振周波数制御

学生員 藤田 孝之 (姫路工業大学)

正員 水野 卓也 (日本特殊陶業株式会社)

正員 前中 一介 (姫路工業大学)

非会員 前田 宗雄 (姫路工業大学)

Electrical Control of Resonance Frequency for Piezo Bimorph

Takayuki Fujita, Student Member (Himeji Institute of Technology)

Takuya Mizuno, Member (NGK SPARK PLUG CO., LTD.)

Kazusuke Maenaka, Member (Himeji Institute of Technology)

Muneo Maeda, Non Member (Himeji Institute of Technology)

キーワード：圧電素子、フィードバック制御、共振、圧電ジャイロ스코ープ

1. はじめに

圧電素子は構造体自身の共振点において大きな振幅が得られ、駆動が容易であるなどの利点から振動型デバイス、例えば圧電振動型ジャイロ스코ープ¹⁾等の振動体の駆動や検出に幅広く用いられている。圧電ジャイロの場合、振動体の双共振を用いて音叉振動駆動を行う場合や、また駆動時に大きな力が必要であったり非直線的な回転振動等が必要な場合に複数の圧電素子を組み合わせる方法がよく用いられている²⁾。このような場合、各圧電素子の共振周波数を調整することが必須であった³⁾。しかしながらこれまでの圧電素子の共振周波数の調整はセラミック素子の物理的なトリミングに頼っており、組み付け後の精密な共振周波数調整は困難であった。

本稿では圧電素子としてバイモルフを取り上げ、これに複数の電極を設け電氣的にフィードバック制御を行うことにより共振周波数を制御する方法を提案し、その実験結果について報告する。

2. 動作理論

圧電バイモルフの運動は図1のような1自由度質点系モデルで近似することができる³⁾。その運動方程式は

$$m\ddot{x} + \lambda\dot{x} + kx = F_1$$

で表される。減衰係数 λ とバネ定数 k は、系の機械的Q値と共振周波数 ω_0 によって

$$\lambda = m\frac{\omega_0}{Q}, \quad k = m\omega_0^2$$

で表すことができる。このため変位 x に比例した力

$$\alpha x = F_2$$

を F_1 に加えることにより

$$m\ddot{x} + \lambda\dot{x} + (k - \alpha)x = F_1$$

となつてバネ定数項が変化し、この項の平方根に比例する共振周波数が変化する。したがって、比例定数 α を変化さ

せることによりバイモルフの機械的構造を変化させずに共振周波数を任意に設定可能である。なお、共振周波数 ω_0 が変化しても機械系の減衰項は変化しないと考えると、共振周波数の変化に比例して機械的Q値も変化する。

図1 動作原理

Fig. 1. Principle.

3. 実験装置および方法

図2に圧電バイモルフおよび制御回路を示す。金属板の両面に圧電セラミックスを張り合わせたパラレル型圧電バイモルフの片面を切削し、電氣的に独立した3対の圧電セラミックス素子を形成する。本実験では裏側の1対の素子を検出用に使い、表側3対の素子の両端2対を駆動用、中央を制御用として用いているが、大きな振幅が必要な場合は駆動素子の面積を大きくし、大きな周波数変化量が必要な場合は制御素子の面積を大きくするなど、要求に応じた設

図2 圧電バイモルフと制御回路

Fig. 2. Piezo bimorph and control circuit.

定が可能である。駆動用素子によりバイモルフに振動が与えられると変位量に比例した電圧が検出用電極から出力される。この検出電圧を可変ゲインアンプにより増幅し、制御用素子に印加することによって系に $F_2(=\alpha x)$ を印加し共振周波数の制御を行う。

4. 実験結果

図3にフィードバックゲインをパラメータとしたバイモルフの共振特性の測定結果を示す。フィードバックのゲインを調整することにより共振周波数が大幅に変化していることがわかる。駆動電圧と変位位相の関係はどの場合でも通常の二次系の振幅、位相の関係を保っている。運動理論式通りに負帰還に対しては共振周波数が高くなり、正帰還に対しては低くなる。運動理論式の減衰係数項の値が変化しないと考えると、 ω_0 に比例したQ値の変化が見られるはずだが、 $\alpha > 0$ である程度以上の帰還ゲインを与えた場合、 ω_0 に比例したQ値の変化は得られず、帰還によって内部摩擦などの粘性抵抗変化があることが示唆される。

図4はフィードバックゲインをパラメータとしたときの ω_0 で規格化した共振周波数の変化を2乗した値を示す。ゲインの変化の平方根に比例した共振周波数変化が得られていることがわかる。また、本実験で行われた周波数範囲では、ほぼゲインに対しリニアな共振周波数制御となっている。フィードバックゲインの倍率変化に対して共振周波数変化はほぼ3.75%/(V/V)であった。なお、同一駆動電圧に対す

図3 共振特性

Fig. 3. Resonance characteristic of bimorph.

図4 共振周波数変化

Fig. 4. Normalized resonance frequency vs. feedback gain.

るバイモルフの変位量は素子の面積に比例し、変位に対して生じる逆起電圧は面積には比例せず一定の値を示すため、検出用素子を小さく、制御用素子を大きくとれば、小さなゲインで共振周波数制御が可能である。

5. おわりに

電氣的フィードバック制御を行うことにより、これまで物理的トリミングに頼っていた圧電バイモルフの共振周波数を、任意に制御することが可能であることを示した。バイモルフ等の共振体の共振周波数は温度変化等により変化するが、電氣的に制御を行うことにより常に共振点で駆動するようなシステムを構成することができ、共振周波数の温度ドリフト等に影響されない高安定度な共振型センサの実現が可能である。

(平成8年9月3日受付)

文献

- (1) 工藤すばる: "角速度センサ用圧電振動ジャイロスコープの研究" 石巻専修大学・博士学位論文, p.59-90 (1995) .
- (2) T.Fujita, Y.Konishi, R.Kenny, K.Maenaka and M.Maeda, "Proposed bi-axial Silicon Angular Rate Sensor", Tech Dig of the 14th Sensor Sym. (1996) 43-46.
- (3) Y.Konishi, T.Fujita, K.Maenaka and M.Maeda, "Sensitivity and stability of micromachined gyroscope", Tech Dig of the 13th Sensor Sym. (1995) 189-192.

藤田 孝之 (学生員)

1995年姫路工業大学工学部電子工学科卒業。同年、同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻修士課程入学、マイクロマシニングによるマイクロセンサの研究に従事、現在に至る。

水野 卓也 (正員)

1995年岐阜大学大学院電子情報工学専攻前期博士課程修了。同年、日本特殊陶業(株)入社、マイクロセンサに関する研究に従事、現在に至る。

前中 一介 (正員)

1984年豊橋技術科学大学大学院情報工学専攻修了。同年、豊橋技術科学大学電気・電子工学系デバイス大講座教務職員。89年より神戸市立工業高等専門学校電子工学科講師。93年より姫路工業大学工学部電子工学科助教授、現在に至る。工学博士。電子情報通信学会、IEEE各会員。

前田 宗雄 (非会員)

1957年神戸大学工学部電気工学科卒業。同年、神戸工業株式会社入社。68年富士通株式会社との合併により(株)富士通研究所勤務となる。76年より姫路工業大学工学部電子工学科教授、現在に至る。工学博士。電子情報通信学会、IEEE各会員。