

電流パルスによる圧電アクチュエータの高分解能駆動

Driving Method of Piezoelectric Actuator by Current Pulse for High Resolution Displacement

○古谷克司(豊田工大)

飯田克彦(ナノコントロール)

Katsushi FURUTANI, Toyota Technological Institute, furutani@toyota-ti.ac.jp
Katsuhiko Iida, Nano Control

Piezoelectric actuators have a potential for high displacement resolution. However, in the case of driving through a D/A converter, its resolution restricts the ratio of the deformable range to the resolution of the piezoelectric actuator. This study aims at the displacement control with the high resolution throughout the deformable range by driving with a series of current pulses. In this report, a driving method with the intention of applying to the pulse density modulation (PDM) control is introduced and the results of the displacement control of a stacked piezoelectric actuator by PDM are described.

Key Words: Piezoelectric Actuator, Positioning, Resolution, Pulse Density Modulation, Current Pulse

1. はじめに

積層型圧電アクチュエータは、変位が最大でも数十 μm 程度であるが、分解能はナノメートルオーダー以下である。通常、圧電アクチュエータの変位は、印加電圧を変化させることで制御される[1]。変位センサにリニアエンコーダなどを用いることで、変位の測定のダイナミックレンジは大きくとることができる。しかし、駆動側はD/A変換器の分解能によりダイナミックレンジが制限を受ける。また、アンプ出力電圧にノイズが含まれると、それにもなう電流が流れるため、微小変位を安定させることが困難である。一方、圧電アクチュエータに流す連続的な電流を制御することで、充電される電荷量を制御し、ヒステリシスなしに変位を変化させる方法が提案されている[2]。この場合も、電流値を与えるためにはD/A変換器が必要になるため、電圧源と同様の問題がある。電磁アクチュエータに関しては、入力に $\Delta\Sigma$ 変換によるA/D変換を用い、出力にパルス密度変調を適用することで、簡単な構成で高精度に制御することが提案されている[3]。

本研究では、電流パルスで駆動することで一つの圧電素子でサブナノメートルオーダーの分解能とフルストロークの可動範囲を得る駆動法を開発することを目的とする。本報では、原理の提案とプロトタイプによるオープンループ駆動例について述べる。

2. 駆動原理

電流パルスを用いた圧電アクチュエータの駆動回路の構成を図

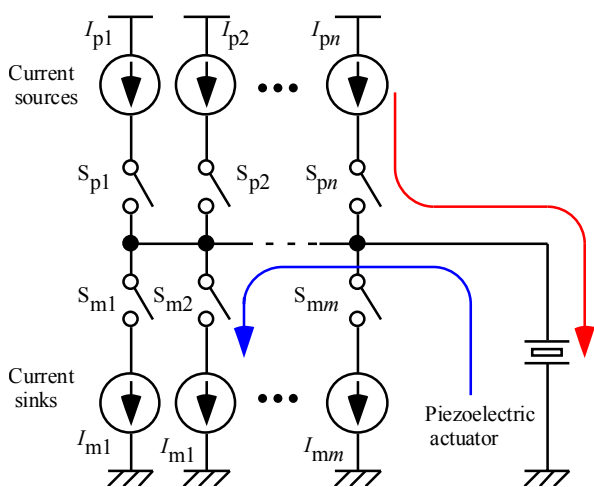


Fig. 1 Principle of driving method by using current pulse

1に示す。n個の供給用電流源(カレント・ソース) $I_{p1} > I_{p2} > \dots > I_{pn}$ とm個の吸い込み用電流源(カレント・シンク) $I_{m1} > I_{m2} > \dots > I_{mm}$ をそれぞれ並列に接続する。m, n=1, 2, ...である。それらを切り替えスイッチ $S_{p1}, S_{p2}, \dots, S_{pn}, S_{m1}, S_{m2}, \dots, S_{mm}$ を介して接続する。それぞれのスイッチは、オン時間 $T_{p1}, T_{p2}, \dots, T_{pn}, T_{m1}, T_{m2}, \dots, T_{mm}$ だけ導通される以外は、切り離されている。そして、デジタル量として入力される電流値選択信号に基づき、駆動アンプはパルス状の電流 $I_{p1}, I_{p2}, \dots, I_{pn}, I_{m1}, I_{m2}, \dots, I_{mm}$ で圧電素子を駆動する。したがって、電荷量による変位制御となる。

1パルスあたりの変位量が一定となるため、パルス数を計数することで変位を推定することができる。また、ヒステリシスの少ない変位を得ることが期待できる。目標値に対して偏差が大きい場合には、電流値の大きい電流源 I_{p1}, I_{m1} で駆動し、高速な伸縮を得る。偏差が小さい場合には I_{pn}, I_{mm} で駆動する。偏差が変位センサで検出できる分解能以下の場合には、アンプは切り離された状態のままである。これにより、分解能の高い伸縮量を得ることができる。電流値にノイズが含まれる場合にも電流が積分された電荷により圧電素子が制御されるため、ノイズによる伸縮量の誤差は電圧源で駆動するより小さくなることを期待できる。本方法は、パルス値の段階的な切り替えとパルス密度変調を組み合わせた駆動法であると言える。そのため、通常のD/A変換器を用いるより段階数が少ないにもかかわらず、高い分解能を得ることができる。

3. 実験装置

実験装置の構成を図2に示す。積層型圧電素子 NEC/TOKIN 製 AE0505D16(静電容量 1.4 μF)の変位を拡大機構で拡大した。変位量は100V印加時で70 μm 、ヒステリシスは14%であった。固有振動数は770Hzである。変位はうず電流センサ(分解能は

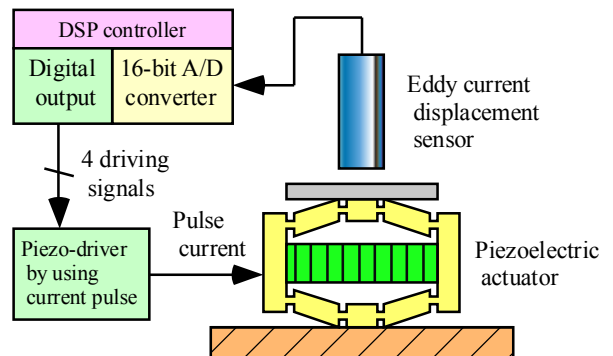


Fig. 2 Configuration of control system

Table 1 Peak and duration of current pulse

Coarse/ Fine	Source/ Sink	Current mA	Pulse duration μ s
Coarse	Source	220	8.6
	Sink	164	17.0
Fine	Source	3.2	9.7
	Sink	0.8	40.8

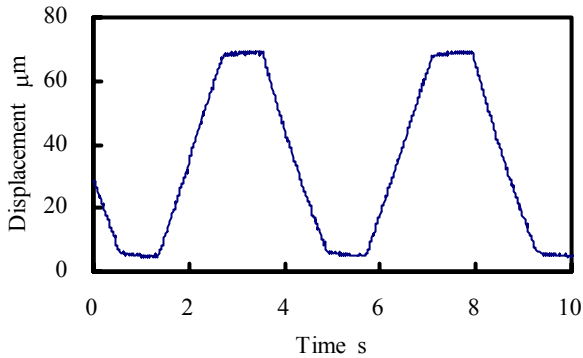


Fig. 3 Displacement driven with fine-resolution circuit

0.4 μ m, 応答周波数 1kHz)で測定した。パルス状駆動信号は DSP で発生させ、並列に接続した粗動と微動 2 種類の定電流回路を製作したが、今回は主に微動回路を用いた。

4. 駆動実験

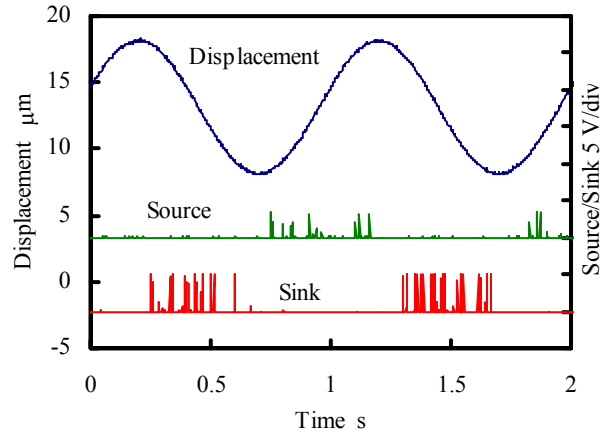
オープンループ制御により圧電素子を駆動することで、ソースとシンクで 1 パルスあたりの伸縮量が等しくなるように、パルス幅を設定した。調整後のパルス幅を表 1 に示す。また、休止時間を調整することで、ソース・シンクの 1 周期の時間を粗動では 640 μ s、微動では 160 μ s に合わせた。微動回路のみを用いた駆動結果を図 3 に示す。計算上では、拡大機構の変位が 7.1nm/パルスである。となった。圧電素子変位の直線性はソース側で 2%、シンク側で 3%であった。粗動回路では 0.51 μ m/パルス、変位の直線性はソース側で 3%、シンク側で 8%となった。これらの値は、駆動回路の出力電流の直線性の値とほぼ同じであった。

目標値を正弦波としてパソコン内で参照信号を発生し、変位を推定しながら微動回路のみを用いて駆動した結果を図 4(a)に示す。周波数は 1.0Hz、両振幅は 10.0 μ m-p-p とした。1 周期をさらに短くし 42.4 μ s とした。この場合の最大駆動速度は 220 μ m/s であるため、1Hz の場合に出力可能な最大振幅は約 30 μ m となる。周波数成分を同図(b)に示す。駆動パルス信号には正弦波の基本周波数成分のほかに、高周波成分が含まれるが、変位にはほとんど含まれなかった。ひずみ率は 0.04%であった。駆動回路の線形性の影響を受けていると考えられる。リニアアンプを用いて同様の駆動をした場合のひずみ率は 0.01%であり、同様のレベルとなった。振幅の指令値を変化させた場合の結果を図 5 に示す。振幅は設定値通りになった。

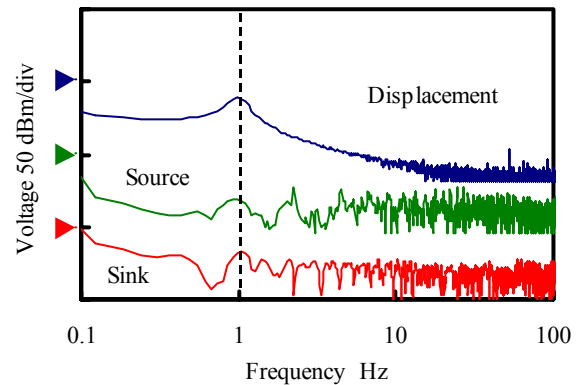
5. まとめ

本報では電流パルスを用いた圧電素子の駆動法を提案するとともに、それにより駆動した結果について伸べた。今後は、アザラシ型機構の微動モード駆動[4]への適用および LC フィルタを用いた高周波ノイズの低減を検討する予定である。

実験の遂行にあたりナノコントロール・宗片陸夫氏、古田淳氏、森浩一氏にご協力いただきました。本研究の一部には科研費特



(a) Time domain



(b) Frequency domain

Fig. 4 Displacement control of piezoelectric actuator

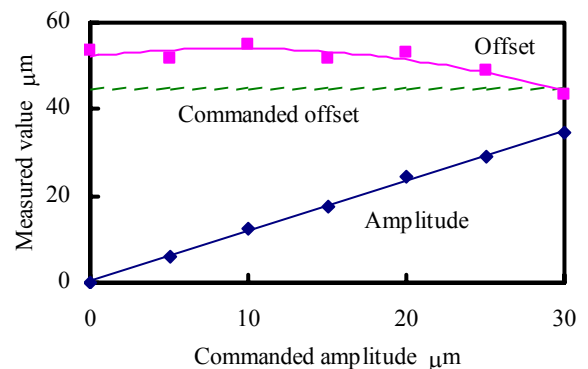


Fig. 5 Amplitude and offset driven by PDM

定領域「アクチュエータ」(課題番号 16078214)を用いました。記して感謝いたします。

文献

- [1] 岡崎祐一: 圧電素子を用いた微小変位工具台, 精密工学会誌, 54, 7 (1988) 1375.
- [2] C. V. Newcomb, I. Flinn: Improving The Linearity of Piezoelectric Ceramic Actuators, Electron. Lett., 18, (1982) 442.
- [3] 東条啓一郎, 黒沢実, 岡宏一, 樋口俊郎: 1 ビットデジタル信号処理を用いた制御の分解能と情報量についてのシミュレーション, 電学論, 118-D, 5 (1998) 623.
- [4] K. Furutani et al.: Coarse and Fine Positioning Performance of L-shaped Seal Mechanism with 3 Degrees of Freedom, Meas. Sci. Technol., 15, 1 (2004) 103.