

別刷

計測自動制御学会 論文集

年 第 卷 第 号

(P. ~P.)



社団法人 計測自動制御学会

2パラメータPWM制御による超音波モータの機能拡大†

金子 真*・西原 敏晴*・辻 敏夫*

Ability Enlargement of Ultrasonic Motor Utilizing Two-Parameters-PWM Control

Makoto KANEKO*, Toshiharu NISHIHARA* and Toshio TSUJI*

Ultrasonic Motor (USM) has the capability of maintaining the torque continuously against an environment even under the switch-off. This characteristic is well-known as self-sustaining one and, thus, USM can produce "lock state". "free state" can be also generated by switching CW and CCW commands periodically with the same time interval. In this paper, we newly propose Two-Parameters-PWM Control, in which OFF period is included between CW and CCW commands. This control contributes to changing the apparent friction between rotor and stator. For example, setting a large OFF period makes the friction increase, and as a result, the rotor becomes difficult to slip against an external torque. As an extreme case, the lock state can be generated.

Key Words: ultrasonic motor, lock state, free state, Two-Parameters-PWM control

1. ま え が き

超音波モータ(Ultra Sonic Motor: USM)は圧電素子による超音波振動を利用した摩擦駆動型のモータである¹⁾。USMの開発の歴史を振り返ると、大きくクサビ型USM以前²⁾、クサビ型USM³⁾、および進行波型USM⁴⁾にそれぞれ大別することができる。指田が発明したクサビ型USMはクサビ効果を利用して振動片とロータとのすべりを減らしたもので、それまでのUSMの性能を画期的に向上させたといわれている¹⁾。その後、圧電素子でステータを変形させて進行波を作り、ステータ上のロータを摩擦トルクによって駆動する進行波型USMが開発され、研究開発の流れは進行波型へと移行してきた。本論文で対象にするモータもこの進行波型USM(以下、単にUSMと呼ぶ)である。

さて、USMは、ステータとロータが強く密着させられているために、電源を切った状態でも外界に対して力(ま

たはトルク)を作用させ続けることができる。つまりアクチュエータ自身がブレーキ機能を有している。しかも一般に、USMのロータはイナーシャが小さいため応答性にも優れている。このような自己保持特性(Lock機能)や高応答性といった特徴を生かして、最近カメラの自動焦点調節機構や窓の自動ロールスクリーンなどメカトロ機器のアクチュエータ部にUSMが積極的に採用され始めている。また、多自由度マニピュレータへの応用を意図した研究⁵⁾も進められている。

つぎに、USMの制御に目を向けてみよう。USMは、分極配置された圧電体に位相が互いに $\pi/2$ ずれた2種類の正弦波(またはパルス)電圧を印加し、弾性体表面に進行波を作ることによって駆動される。回転方向は、2種類の電圧間の位相を $\pi/2$ 進めたり、遅らせたりすることにより変えることができる。この印加電圧の周波数は圧電体の共振周波数と一致させる必要がある。実際には多少変えることはできるが効率は極端に悪くなってしまう。このようにUSMを制御する上で本質的に変えることができない部分がある中で、筆者らが特に興味をもった点は先の自己保持特性を緩和できないか、という点である。つまり静止保持トルク⁽⁶⁾をUSM特有のLock状態から、Free状態まで制御によって連続的に変えることができず、という点である。もし、USMにこのよう

† 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会で発表(1994・7)

* 広島大学工学部 東広島市鏡山1-4-1

* Faculty of Engineering, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima
(Received March 10, 1994)
(Revised October 3, 1994)

な機能が付加できたとしたら、自己保持特性、高応答性で代表される USM の従来のイメージに新たに“柔らかさ”を追加することができ、USM の機能的特徴に幅をもたせることができる。さて、この問題を考える上で、西堀らが提案した PWM 制御⁹⁾は、一つの重要なヒントを提供してくれる。この PWM 制御というのは、ある制御時間単位(ここでは周期と呼ぶ)を定義し、この周期を正転時間と逆転時間に分け、その周期に対する正転の時間割合(デューティ比)を変えることにより USM の速度を制御するというアイデアである。西堀らは、このデューティ比を変えることにより、USM の回転速度を自由に制御することに成功している。さらにデューティ比を変えた場合の負荷トルクと回転数との関係についても詳細に調べている。この PWM 制御で、たとえばデューティ比 0.5 を設定すると、1 周期内での正転と逆転の割合が等しくなる。このとき USM は静止しているが、実は外部からのトルクに対して簡単に動ける状態、つまり Free 状態が実現されている。本論文では、西堀らが提案した PWM 制御にさらに OFF 時間を導入することにより、ロータとステータ間の摩擦を能動的に制御する方法を提案する。本論文では、この OFF 時間を導入した PWM 制御を特に 2 パラメータ PWM 制御と呼び、この制御方式を採用することにより、静止保持トルク特性を含め、USM の制御特性が格段に上げられることを示す。

2.2 パラメータ PWM 制御の提案

本章では、西堀らの PWM 制御に OFF 時間を導入した 2 パラメータ PWM 制御を提案するとともにその構造について述べる。コンピュータからの指令波形は Fig. 1 に示されるように、正転(CW)、逆転(CCW)と停止(OFF)からなるパルス波形によって構成される。この指令波形が USM 駆動回路(Fig. A. 1)に送られると、駆動回路から位相が $\pi/2$ 異なる信号が USM に供給される。

CW の立ち上がりからつぎの CW の立ち上がりまでを 1 周期とし、その時間を T とする。ここで以下のように三つのデューティ比 α, β, γ を定義する。

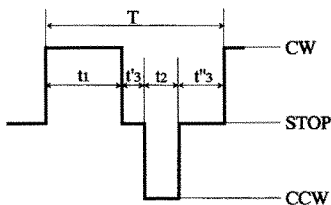


Fig. 1 Definition of parameters

デューティ比 α : 1 周期における CW の含有する割合, $\alpha = t_1/T$

デューティ比 β : 1 周期における CCW の含有する割合, $\beta = t_2/T$

デューティ比 γ : 1 周期における OFF の含有する割合, $\gamma = t_3/T, t_3 = t'_3 + t''_3$

ただし、 α, β, γ は互いに独立ではなく、それらの間に $\alpha + \beta + \gamma = 1$ の関係が成り立つ。したがって、理論上独立なパラメータは 2 となる。この制御を 2 パラメータ PWM と呼ぶ理由もここにある。また、この制御法により CW と OFF だけを組み合わせる制御¹⁰⁾も、CW と CCW を組み合わせる従来の PWM 制御⁹⁾もそれぞれ $\beta = 0, \gamma = 0$ と置くことで、この制御方法の特別な場合として表現できる。

3. 静止保持トルクの変メカニズム

はじめに静止保持トルクが変えられる点について詳細に考察してみよう。2 章でも説明したように西堀らが提案した PWM 制御は $\gamma = 0$ に対応する。この状態で $\alpha = \beta$ とおくと、USM は周期 T のうち $T/2$ は CW 方向に回ろうとし、残りの $T/2$ は CCW 方向に回ろうとする。USM のロータは摩擦を介してステータ(弾性振動体)から回転トルクを受け取るが、両者間での滑りをできるだけ防ぐため、一般に、ロータはばねなどでステータに押しつけられている。電源を切った状態では、ロータがステータに密着し、両者間で大きな摩擦力が生成される。これが自己保持特性が現れる理由である。ここで、 $\gamma = 0, \alpha = \beta$ なる条件を設定すると、スイッチング時間 $T/2$ ごとにステータはロータを CW, CCW の各方向に回転させるような進行波を発生する。もし、周期 T が十分長ければ、物理的に目に見える形で、ロータは CW, CCW 方向の往復運動を繰り返すはずである。この現象についてもう少し詳しく考察してみよう。たとえば、指令値が CW 方向から CCW 方向に変わったとしよう。このとき圧電素子の動きは共振周期の時間オーダーで切り換わると考えられる。圧電素子の動きがステータ表面で進行波を形成するまでに多少の遅れ時間があるかもしれないが、それよりもっと大きな遅れが、ロータが有する慣性効果によってもたらされる。このため、進行波の方向が瞬時に CCW 方向に切り換わった場合、ロータはしばらくの間 CW 方向に回転し続けた後停止し、それから CCW 方向に回転し始める。この指令値が切り換わってから、ロータが停止し、やがて CCW 方向に定常回転するまでの時間を、仮に過渡時定数 T_t と呼ぶことにする。 T_t は USM のサイズに強く依存し、USM のサイズが小さくなればなるほど、 T_t は小さくなる。つぎに周期 T を

(注1) 静止状態にある USM モータに外部からトルクを加えていったとき、USM が動き始める瞬間のトルクをここでは静止保持トルクと呼ぶ。

徐々に小さくしていった場合を想定してみよう。この場合、往復運動の振幅は徐々に減少し、 T_i に比べて T が十分小さく設定されると、やがてロータは見かけ上動かなくなる。これは、圧電素子は $T/2$ ごとに位相の違う進行波を作っているものの、スイッチング時間が短すぎるため、慣性をもったロータを動かすまでには至らない状態である。つまり、ロータとステータとが互いに滑り合っている状態である。これは、丁度高周波のディザ信号を油圧アクチュエータの指令値に重畳させて、シリンダとピストンとの間の摩擦力を軽減させるのときわめてよく似ている。以下、周期 T は $\alpha=\beta$ でアームの動きが現れない程度に十分小さく設定されているものとする。

つぎに、 $\alpha=\beta$ で $\gamma \neq 0$ の場合について考えてみよう。 $\gamma \neq 0$ ということは、周期 T の中に OFF の時間を入れるということの意味している。別の見方をすると、間欠的にディザ信号の入力を止めることに対応する。したがって、 $\alpha=\beta$ で γ を大きくすればするほど、外部からのトルクに対して動きにくくなり、 $\gamma=1$ (このとき 1 次従属性により $\alpha=0, \beta=0$ となる) のとき、静止保持トルクは最大となり、ロータは Lock 状態になる。また $\alpha=\beta$ で $\gamma=0$ のとき静止保持トルクは最少となり、ロータは最も Free 状態に近くなる。ここまでの、整理すると、

- $\alpha=\beta, \gamma=0$ のとき Free 状態
- $\gamma=1$ のとき Lock 状態
- $\alpha=\beta, 0 < \gamma < 1$ のとき 標記 Free 状態と Lock 状態の間の任意静止保持トルクが実現できる

したがって、 γ を導入することにより、静止保持トルクが Free から Lock 状態まで自由に変えられる点に留意されたい。これは、本論文で提案する 2 パラメータ PWM 制御系がもたらす最も重要な効果であり、これまでの USM の制御方式では、原理的に実現できない効果である。

4. 実験

4.1 実験装置

本研究で用いた実験装置を Fig. 2 に示す。この実験装置は、USM (U-PT 0758, ロータ外径 10.0 mm, 共振周波数 280 kHz, (株)セイコー電子工業製), ポテンシオメータ, それを固定するためのコネクタ, ポテンシオメータと USM を接続するアダプタ, USM を固定する土台と 1 リンクアーム (質量: 2.0×10^{-3} [kg], 慣性モーメント: 4.33×10^{-7} [kgm²]), 駆動回路 (発振周波数 280 kHz), トルクセンサ (固有振動数 227 Hz) およびパーソナルコンピュータから構成されている。なお、駆動回路およびコンピュータとのインタフェース回路については

付録参照のこと。

USM が外界に対して発生するトルクは、アルミ板 (厚さ 0.5 mm) に歪ゲージを貼り付けたトルクセンサを、Fig. 3 のように USM のアームに押しあてて測定している。

4.2 静止保持トルクの能動制御

Fig. 4 に $\alpha=\beta$ で γ を変えた場合の静止保持トルクの測定結果を示す。ただし、 γ における OFF 時間の分配は簡単のため、 $t_{on} = t_{off}$ としている。

Fig. 4 より、静止保持トルクは γ が 0 から 0.7 ぐらいまでほぼ一定であるが、0.7 以降急激に増加していることがわかる。一般に、静止保持トルクの減少はロータとステータの間の滑りによってもたらされるが、Fig. 4 の結果は周期 $T=5$ ms 程度であれば、CW, CCW にそれぞれ 0.3 ms 程度割り当てただけで、ロータとステータの間の滑りは十分確保されることを示唆している。なお、

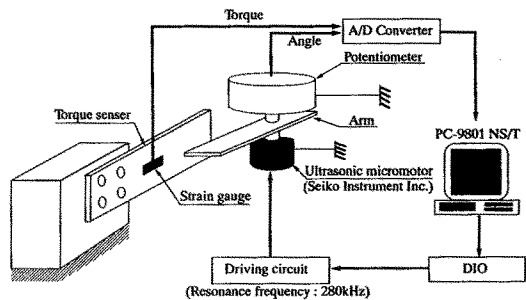


Fig. 2 Overview of the experimental system

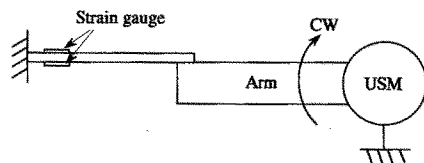


Fig. 3 The drive torque measurement system

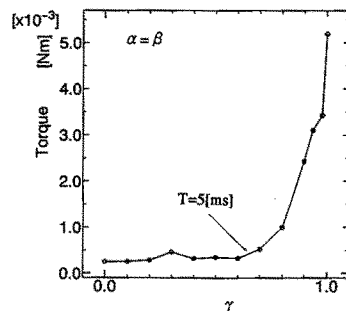


Fig. 4 Maximum torques capable of resisting against the external ones

0.3 ms というのはパルス数に換算すると、84 パルス数に相当する。Fig. 4 より、 γ を導入することにより、静止保持トルクが変えられることが実験的に確認できたことになる。2パラメータ PWM 制御で $\gamma=0$ というのは回転方向が CW から CCW (又は逆) へ $T/2$ ごとにスイッチングされている状態であるため、USM にとっては大変過酷な状態で運転されていることになる。ところが Fig. 4 からわかるように、 $T=5$ ms の場合、 γ が 0 から 0.7 程度まで Free 状態とみなすことができるため、 γ を 0.7 から 1.0 まで変化させることで実質的に Free 状態から Lock 状態まで実現できることになる。これは USM にとっては過酷な運転状態を避けるという意味において非常に都合がよいことになる。

4.3 トルクのオープンループ制御

2パラメータ PWM 制御を導入することにより、静止保持トルクの制御だけでなく USM の制御全体に幅をもたせることができる。ここでは、 α 、 β 、 γ および T を変えることにより、オープンループでどの程度のトルク(また力)制御が実現できるかといった点について実験的に調べてみよう。

Fig. 5 (a), (b), (c) は、 α 、 β 、 γ および T を変化させたときに、アームが環境に対して発生するトルクを調べたものである。2章で説明したように、 α 、 β 、 γ のうち独立なパラメータは二つだけである。Fig. 5 では α 、 γ を独立なパラメータに選んで、出力トルクを整理している。 α と γ が決まると、 β は $\beta=1-(\alpha+\gamma)$ により自動的に決まる。なお、 $\beta > \alpha$ のとき、USM が発生するトルクはマイナスとなるが、実質的には対称性によりマイナス側の出力トルク特性は予想できるため、本研究では簡単のため、 $\alpha > \beta$ の場合(CW 方向の出力トルク)に限定している。Fig. 5 より、 α 、 β 、 γ および T を変えた場合、出力トルクは以下のような傾向を示す。

- 同じ α 、 β 、 γ の組合せであっても、 T が大きいほど、全体的にトルクは大きくなる。
- $\alpha=1-\gamma$ から $\alpha=\beta$ まで α を減らしていった場合、トルクは単調に減少する。

T が小さいほど、出力トルクが小さくなる理由は、十分な定常トルクに落ち着く前に OFF 動作や CCW 方向の指令が入ることにより、トルクの増加が妨げられるためと推察する。また α が大きいほど、大きな出力トルクが得られるのは、一周期における CW 方向の波の数が増えるため、これもごく自然な結果といえよう。

つぎに α を階段状に変化させた場合の出力トルクの挙動について調べてみよう。 α を階段状に変えるということは、トルクの指令値を階段状に変えることと等価である。はじめに、 $\beta=0$ (CCW を入れない) の場合を考え

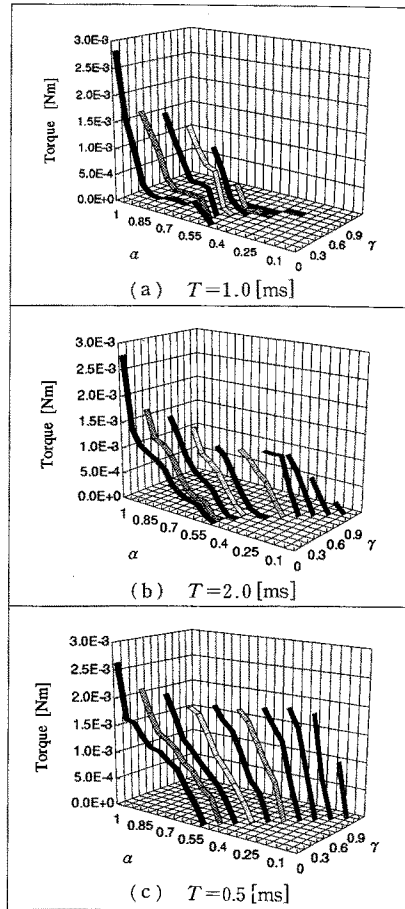


Fig. 5 Generated torques

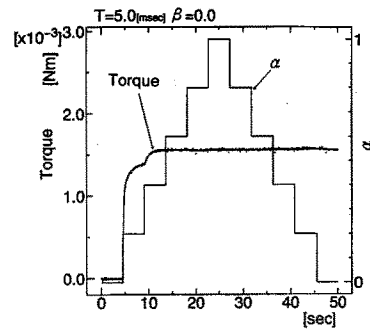


Fig. 6 Experimental result under $\beta=0$

てみよう。つまり、CW と OFF だけで制御する場合である。Fig. 6 は α を 0.0 \rightarrow 1.0 \rightarrow 0.0 と 0.2 ずつ変化させ

たときにアームが環境に対して発生するトルクを調べたものである。Fig. 6において注目すべき結果は、 $\alpha=0.2$ から0.4まではトルクが増加するが、その後、 α を変えてもトルクは一定値を保持している点である。まず、 α を0.6, 0.8, 1.0と増やしたときにトルクが増加しない理由について考察してみよう。Fig. 5(c)からもわかるように、 $\alpha=0.4$ ($\gamma=0.6$)の場合よりも、 $\alpha=0.6$ ($\gamma=0.4$)、さらに $\alpha=0.8$ ($\gamma=0.2$)、 $\alpha=1.0$ ($\gamma=0.0$)と α を増やしたほうが、出力トルクは大きくなるはずである。ところが、 α を階段状に変化させた場合、 $\alpha=0.0$ から $\alpha=0.2$ にする場合を除き、ロータとステータの間で滑りが発生している点に注意されたい。このようにロータとステータの間で滑りが発生すると、トルクの伝達能力は著しく低下してしまう。したがって、 α を0.4から0.6, 0.8, 1.0と増加させてもすでに滑りが発生している状態であるため、新たなトルク増加が起こらないものと推察される。これに対して、たとえば停止状態から $\alpha=1.0$ に設定する場合、初期状態で滑りが発生しているわけではないので、ステータからロータへのトルク伝達が効率よく行われる。その結果、最終的に到達トルクも大きくなるものと思われる。一方、 α を減らして、トルクを下げようすると、今度は超音波モータ特有の自動 Lock 機能によって、

トルクが保持されてしまう。

つぎに、 $\gamma=0$ (OFFを入れない)で、 $\beta \neq 0$ (CCWを入れる)の場合について考えてみよう。Fig. 7は α を0.5 \rightarrow 1.0 \rightarrow 0.5と0.1ずつ変えたとき、アームが環境に対して発生するトルクを調べたものである。この場合、CCWの位相で絶えず Lock 機構が解除されるため、Fig. 6の場合のような連続的な Lock 状態は発生せず、指令値の変化に応じて階段状に変化する。さらに、Fig. 8は Fig.

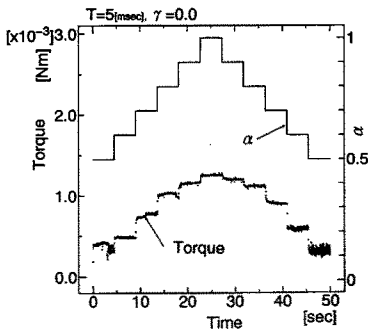


Fig. 7 Experimental result under $\gamma=0$

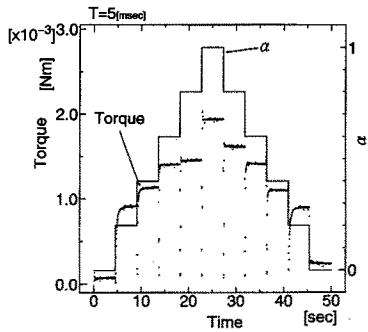
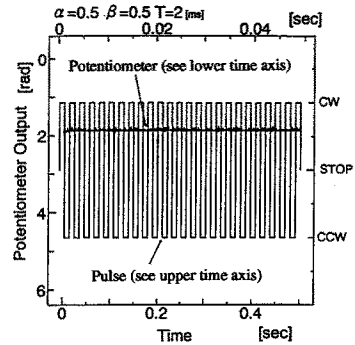
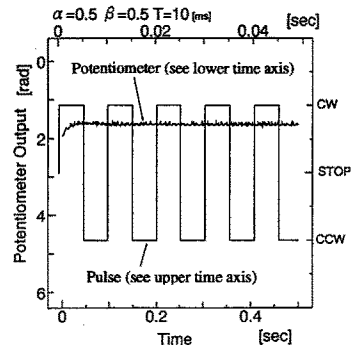


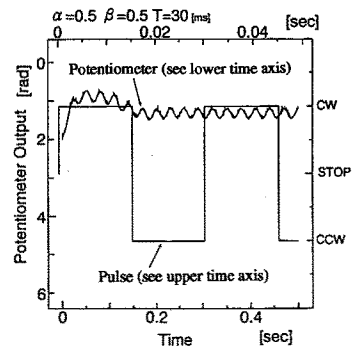
Fig. 8 Experimental result with free phase



(a) $T=2.0$ [ms]



(b) $T=10.0$ [ms]



(c) $T=30.0$ [ms]

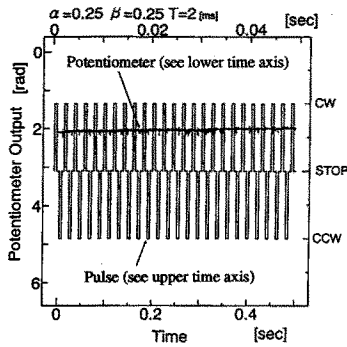
Fig. 9 Experimental results ($\alpha/\beta=1.0$, $\gamma=0.0$)

6と同じ実験であるが、 α を切り換える直前に $\alpha=\beta$ の位相を短時間挿入したものである。この $\alpha=\beta$ の位相も、Lock機能を解除する効果があり、Fig. 8のようにトルクは指令値の変化に応じて階段状に変化する。

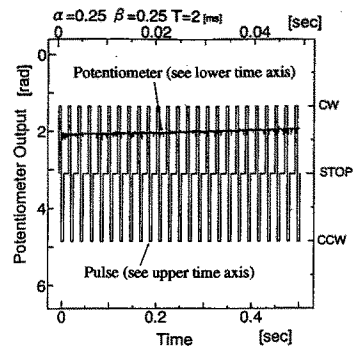
4.4 OFF時間の挿入場所および T についての検討

4.2, 4.3節の実験では簡単のため、OFF時間は均等に配分($t_s^1=t_s^2$)したが、ここでは、このOFF時間の挿入場

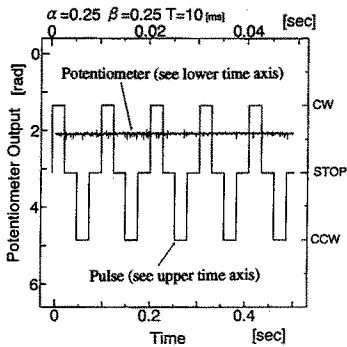
所や周期 T がどのような影響をもたらすかといった点について実験的に調べる。Fig. 9, 10, 11に $\alpha=\beta$ として、周期 T と γ を変えた場合の実験結果について示す。ただし、ポテンシオメータの時間軸は下に、駆動パルス信号の時間軸は上に示されている。Fig. 9, 10は $t_s^1=t_s^2$ とした場合の結果であり、Fig. 11は $t_s^1=0.0$, $t_s^2=t_s$ とした場合の結果である。Fig. 9(a), (b), (c)より、周期が



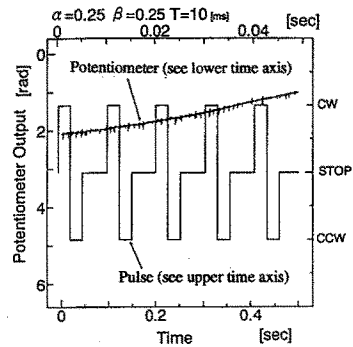
(a) $T=2.0$ [ms]



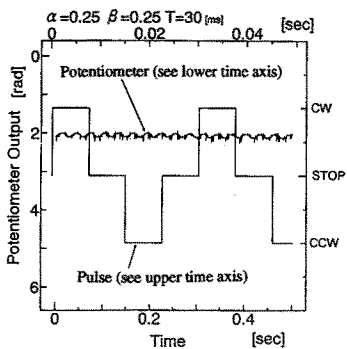
(a) $T=2.0$ [ms]



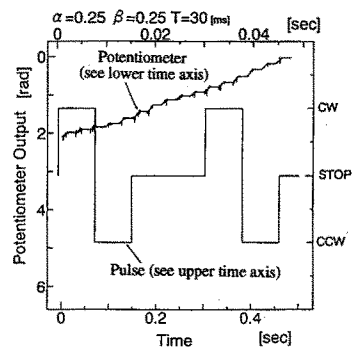
(b) $T=10.0$ [ms]



(b) $T=10.0$ [ms]



(c) $T=30.0$ [ms]



(c) $T=30.0$ [ms]

Fig. 10 Experimental results ($\alpha/\beta=1.0$, $\gamma=0.5$, $t_s^1=t_s^2=t_s/2$)

Fig. 11 Experimental results ($\alpha/\beta=1.0$, $\gamma=0.5$, $t_s^1=0.0$, $t_s^2=t_s$)

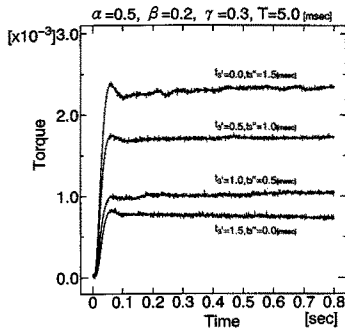


Fig. 12 Time history of the generated torque for various combination of t_b and t_b'

大きくなるにつれてアームの変位が T の周期で振動している様子がわかる。この理由は先に説明した過渡時定数 T_t に対して T が十分大きくなったためである。Fig. 10 も、周期が大きくなると振動も大きくなっているが、Fig. 9 よりも振動は減少している。これは、CW と CCW の間に OFF 時間を入れているため、CW (または CCW) における平均的な駆動トルクが小さくなったためと考えられる。さらに OFF 時間を長くすると、振動はほとんど見られなくなる (図省略)。これらのことから、周期はあまり大きくしないほうがよいことがわかる。

つぎに、Fig. 11 からわかるように、OFF 時間を CCW の直後に集中させて入れると、USM は停止しないで CW 方向に回転し始める。これは、CW 方向へは STOP 状態から自然に切り換わるが、CCW 方向へは CW 状態から急激に切り換わるため、平均的に見た場合、CW 方向のトルクのほうが CCW のトルクより大きくなってしまいうためと推察する。この点について詳細に調べるため、 γ を一定にした状態で t_b と t_b' を分割し分配して実験を行ってみた。Fig. 12 に、 $\gamma=0.3$ (一定) で t_b と t_b' を変えた場合の実験結果を示す。ただし、この実験では $\alpha=0.5$,

$\beta=0.2$ としているため、あらかじめ CW 方向へバイアストルクがかかっている。これより γ を一定にして t_b , t_b' を変化させたとき、 t_b' が長くなるほど駆動トルクが大きくなっている様子がわかる。

したがって、たとえ $\alpha=\beta$ に設定してあったとしても、 t_b と t_b' の振り分けによっては USM には回転トルクが発生してしまうため、USM を停止させるためには、OFF 時間は CW と CCW の間に均等に入れなければならないことがわかる。別の見方をすると、 t_b と t_b' の振り分けによって制御にさらに幅をもたせることができると考えることもできよう。

5. あとがき

本論文では、USM の制御法として西堀らが提案した PWM 制御に OFF 時間を導入した 2 パラメータ PWM 制御法を提案し、この制御系の基本的な特徴を明らかにした。本研究を通じて得られた主な結果は以下のとおりである。

- (1) CW および CCW 方向の指令値の間に OFF 時間を導入することにより、Lock 状態から Free 状態まで静止保持トルクが自由に変えられることを示した。
- (2) トルクの目標値をステップ状に変化させた場合、モータの初期状態 (ロータとステータとの間の滑りの有無) によって到達できるトルクが変わってくることを示した。
- (3) 周期 T を大きく設定すると、出力軸が周期 T で振動し始めること、および OFF 時間を均等に配分しないと、たとえ CW および CCW 方向の時間が等しくても USM は回転トルクを生成してしまうことを示した。

USM は小形化していった場合、同一大きさの電磁型モータに比べて、大トルクが得られるといわれている。

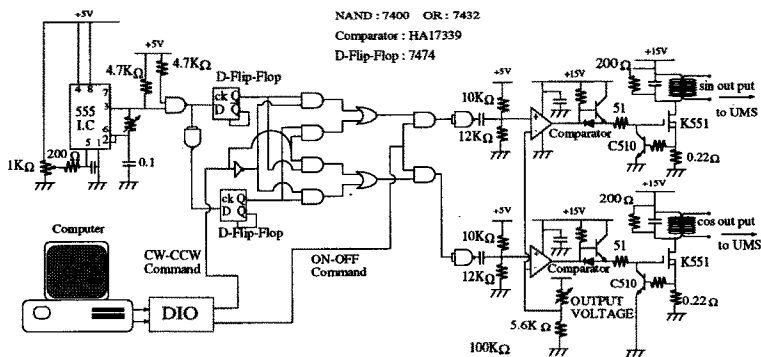


Fig. A.1 Driving and interface circuits

もちろん USM の寿命は電磁型モータに比べて1桁から2桁短いという欠点はあるものの、静止保持トルクが自由に制御できるという特性は、今後、様々な分野で利用できる可能性を秘めている、と筆者らは考えている。今後は、今回得られた基本特性を踏まえた上で、USM の位置制御、力制御へと発展させていく予定である。

最後に、本研究を遂行する上で、超音波モータの提供を始め貴重な御助言をいただいたセイコー電子工業(株)の大多和修二部長、春日政雄主任、並びに佐藤隆主任に心より感謝の意を表します。また、実験に協力していただいた卒研学生の井上信二郎君にも心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 見城, 指田: 超音波モータ入門, 総合電子出版社 (1990)
- 2) たとえば, H. V. Barth: Ultrasonic Driven Motor, IBM Tech. Disclosure Bull., 16-7, p 2263 (1973)
- 3) 指田年生: 超音波モータの試作(原理の理論および実験的検証), 応用物理, 51-6-6, 713/720 (1982)
- 4) たとえば, M. Kasuga, T. Sato, J. Hirotsu and M. Kawata: Development of Ultrasonic Motor and Application to Silent Alarm Analog Quartz Watch, Proc. of 4th CEC at Lausanne, 53/56 (1992)
- 5) 遠山, 波多江, 野中: 超音波モータを用いたロボットマニピュレータ用アクチュエータの開発, 日本ロボット学会誌, 10-6, 77/86 (1982)
- 6) 西堀, 大熊, 江龍, 杉本: ロボット用超音波モータの正逆転パルス幅変調による速度制御, '91 日本機械学会論文集(C編), 57-538, 166/170 (1991)
- 7) 戸川由紀夫: ミニチュア能動触角の開発, 九州工業大学情報工学部機械システム工学科卒業論文 (1992)

《付 録》

Fig. A.1 に 280 kHz の発振部, 位相変調部, トランス

部を含む USM 駆動回路とコンピュータとのインタフェース回路を示す。

[著者紹介]

金子 真 (正会員)



1981年, 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年通産省工業技術院機械技術研究所入所。90年九州工業大学情報工学部機械システム工学科助教授。93年広島大学工学部第2類(電気系)教授。ロボティクスやセンサの研究に従事(工学博士)。

西原 敏 晴



1992年, 九州工業大学情報工学部機械システム工学科卒業。94年同大学大学院情報工学研究科情報システム専攻修士課程修了。同年三菱重工業(株)長崎造船所入社。現在に至る。在学中, 6軸力覚センサの研究や超音波モータの制御に関する研究に従事。

辻 敏 夫 (正会員)



1985年, 広島大学大学院工学研究科博士課程前期修了。同年同大学工学部助手。94年同大学助教授。92年イタリア国ジェノバ大学客員研究員。人間とロボットの運動制御, ニューラルネット, マン・マシンシステムなどの研究に従事。電気学会, 日本ロボット学会, IEEEなどの会員(工学博士)。