

ステッピングモータ駆動用 PWM 形スイッチングシーケンスの改善

Improvement of PWM-Type Switching Sequence for a Stepping Motor Drive

○野村幸作*, 三浦 武*, 谷口敏幸*

○Kousaku Nomura *, Takeshi Miura *, Toshiyuki Taniguchi*

*秋田大学

* Akita University

キーワード : ステッピングモータ (stepping motor), スwitching シーケンス (switching sequence)
PWM (pulse width modulation)

連絡先 : 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学工学資源学部 電気電子工学科
三浦 武, TEL : (018)889-2329, FAX : (018)837-0406, E-mail : miura@ipc.akita-u.ac.jp

1. はじめに

ステッピングモータは回転角が入力パルス数に、回転速度が入力パルス周波数に比例し、回転角 (位置) と回転速度の両方の制御が容易にできるモータである¹⁾。また、システムを開ループで構築することができるので、工作機器などの FA 機器やファクシミリ、プリンタなどの OA 機器をはじめ、制御系に幅広く用いられている³⁾。

ステッピングモータを駆動させた場合、パルス列指令により各相の励磁の切換が行われ、回転子が基本ステップ角ずつ回転する。励磁の切換の度にステップ状にトルク平衡点の位置が変化するので、回転子の慣性の影響により安定点付近で振動してしまう問題がある。また、入力パルス周波数の値によってはモータを駆動する際に共振現象がおこり、位置決め制御に大きな影響を及ぼしてしまう。

このような現状を考慮し、振動を抑制する方法として低域通過フィルタと PWM を併用した方法⁴⁾やより簡易的な PWM のみを適用した方法⁵⁾などが報告されている。通常これらの方法においては、目標角度波形がフルス

テップ駆動時のトルク平衡点の位置を横切るたびに搬送波を基本ステップ角ずつシフトさせるという手法を用いているが、この瞬間の搬送波の位相については検討がなされていなかった。そこで本研究ではこの時の位相の変化に関して他の方法を用いた場合の振動抑制効果に関して検討を行った。その詳細を以下で報告する。

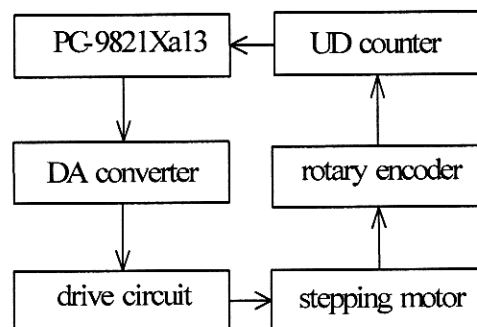


図 1 実験システム
Fig.1 Experimental system

表1 ステッピングモータの仕様
Table1. Specification of the stepping motor

model	PX244-02B
moment of inertia rotor	3.5×10^{-6} [kg·m ²]
rated current	0.8 [A]
rated voltage	6.0 [V]
winding resistance	7.5[Ω/相]
tooth number of rotor	50
fundamental step angle	1.8 [deg]

2. 実験装置

本研究で用いた実験装置を図1で示す。駆動回路は電流制御形を用いる。パーソナルコンピュータ(NEC PC-9821Xa13)から出力される励磁指令信号がDA変換ボードを介して駆動回路に入力されステッピングモータが回転する。回転子の角度は光学式ロータリーエンコーダ(6000パルス/1回転, 出力2相)によって検出され, 検出された信号をUDカウンタボードで4逓倍して24000パルス/1回転の信号としてパーソナルコンピュータに入力される。本研究で用いたステッピングモータは, オリエンタルモーター社製, 2相ハイブリット形, バイファイラ巻線を持つ。ステッピングモータの仕様を表1に示す。本システムのサンプリング時間は0.05[msec]である。

3. PWM形スイッチングシーケンス⁶⁾

ステッピングモータを駆動する場合, ステップが切り換る度に回転子に固有振動が発生してしまう。振動を抑制する方法として, 逆相励磁ダンピング法や遅延ダンピング法などパルス幅を調整する方法がある²⁾。今回は搬送波と目標角度波形の比較によってパルス幅を調整するPWM形のスイッチングシーケンスの生成法を適用する⁵⁾。これはパワーエレクトロニクス分野で用いられるPWMを応用したものである。

ここで, 搬送波が制御対象の動作に影響を及ぼさなくなるためにはその周波数の値を適切なものとしなければならない。よってその値を決定するために周波数特性を考慮する。

文献(3)によれば, 外部より任意の値を与える事のできる量であるトルク平衡点を入力, 回転子角度を出力とみなした場合, 次式のような2次系の近似モデルを得る事ができる。

$$P_l(s) = \frac{c/J}{s^2 + (D/J)s + c/J}, c = \frac{K_T I_m}{\pi/(2N_r)} \quad (1)$$

ここで, K_T : トルク定数, I_m : 定格電流, J : 回転子の慣性モーメント, D : 制動係数, N_r : 回転子の歯数。

下記の値を代入して, 図2に制御対象のゲイン特性 $|P_l(s)|$ を示す。

$$J = 3.5 \times 10^{-6} [\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2 / \text{rad}],$$

$$K_T = 0.14 [\text{N} \cdot \text{m} / \text{A}],$$

$$N_r = 50, I_m = 0.8 [\text{A}],$$

$$D = 0.0005 [\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s} / \text{rad}]$$

これにより, ゲインが十分に低い値となっている。1.25[kHz]を搬送波の周波数とした。搬送波の振幅のpeak to peak値は基本ステップ角とした。

スイッチングシーケンスは, 正転指令と逆転指令のタイミングを決定するために目標波形と搬送波の大小を比較し, 目標波形が搬送波を下回っていれば逆転指令のパルスを出力し, 搬送波より目標波形が上回っていれば正転指令のパルスを出力するものである。

本研究において提案する手法と従来の手法の概略図を図3, 図4および図5に示す。

従来の手法は目標波形が基本ステップ角進む毎に, 搬送波を1.8[deg]ずつシフトさせた波形とし, 励磁相を次の相に切換えてスイッチングシーケンスを構築していた。今回提案された手法は目標波形が1.8[deg]進む毎に搬送波の開始位置を0[deg]と1.8[deg]に設定したものである。

以下では図4の方法を手法1とし, 図5の方法を手法2とする。

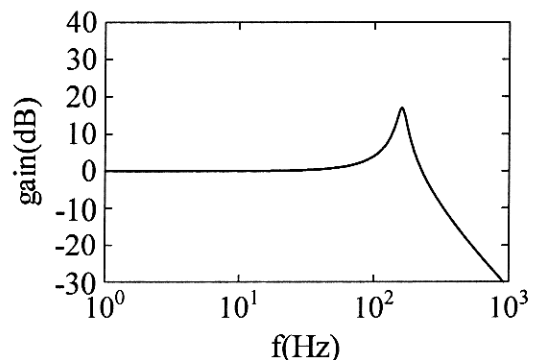


図2 制御対象のゲイン特性
Fig.2 Gain characteristic of the controlled system

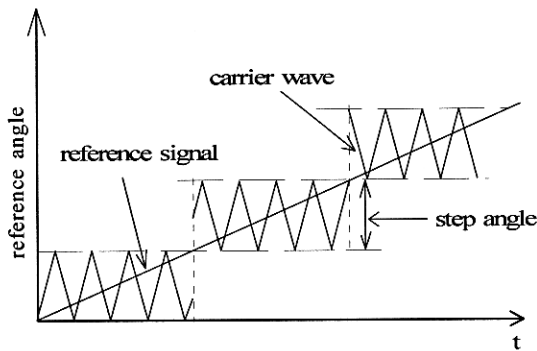


図3 従来の方法
Fig.3 Conventional method

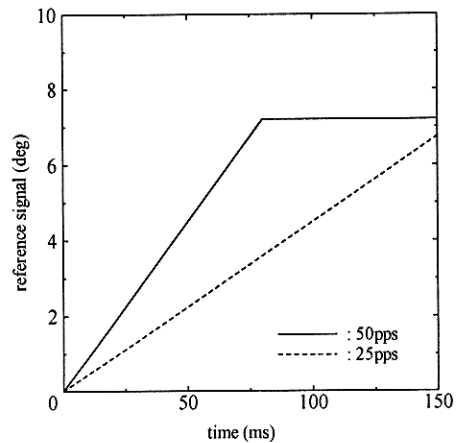


図6 目標波形
Fig.6 Reference waveform

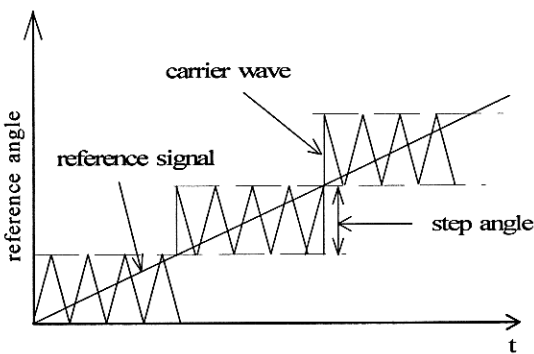


図4 提案手法1 (ステップ変更時の搬送波の開始位置: 1.8[deg])
Fig.4 Proposed method 1 (Starting position of carrier wave at new step: 1.8[deg])

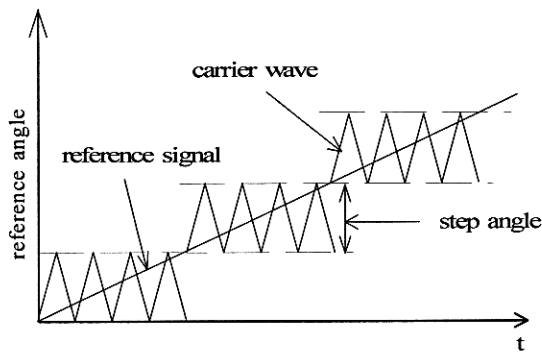


図5 提案手法2 (ステップ変更時の搬送波の開始位置: 0[deg])
Fig.5 Proposed method 1 (Starting position of carrier wave at new step: 0[deg])

5. 実験結果

本研究では前章の方法を用いて、回転速度が異なる目標波形を与えて実験を行った。この時利用した目標波形を図6に示す。比較として、従来の手法を適用した場合のデータも示す。

図7は手法1を用いた場合の角度変化波形であり、図8は手法2を用いた場合の角度変化波形である。いずれも目標波形の回転速度は50[pps]となっている。提案された手法は従来の手法に比べて、あまり振動抑制の効果が表れなかった。

次に移動速度を25[pps]として同様の実験を行った。図9は手法1を用い、図10は手法2を用いている。50ppsの時に比べて基本ステップ角進む毎に搬送波が切替る瞬間に固有振動が多く発生してしまっているが、若干ではあるが従来の手法と比べて振動が抑制されている傾向が見られる。

さらに、従来の取得したデータと今回提案した手法のデータを目標波形と比較し、その角度誤差の時間的変化を得た。

図11は目標波形と図7の角度波形との角度誤差を示しており、図12では目標波形と図8の角度波形との角度誤差を示している。図11は40[msec], 60[msec]の付近において手法1の方が角度誤差は少なくなっている。図12でも20[msec], 40[msec]の付近において図11と同様のことが言える。しかし、他の時間領域においては角度誤差に大きい変化は見られなかった。

図13は目標波形と図9の角度波形の角度誤差で表したものであり、図14は図10の角度波形と目標波形の角度誤差を表したものである。図13は80[msec], 120[msec]の付近において手法1の方が角度誤差が少なくなっていることがわかる。図14においても80[msec], 120[msec]の付近において同様のことが言える。しかし、角度誤差に変化がみられない時間領域もみられた。

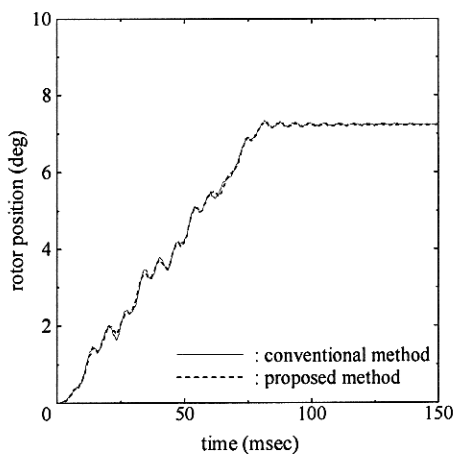


図7 手法1(50pps)を用いた場合の角度変化波形
Fig.7 Temporal variation of rotor angle in the case of the method 1(50pps)

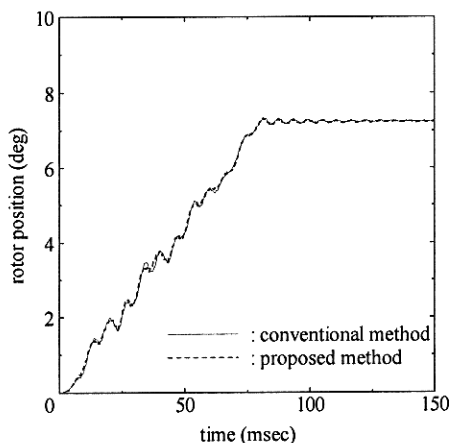


図8 手法2(50pps)を用いた場合の角度変化波形
Fig.8 Temporal variation of rotor angle in the case of the method 2(50pps)

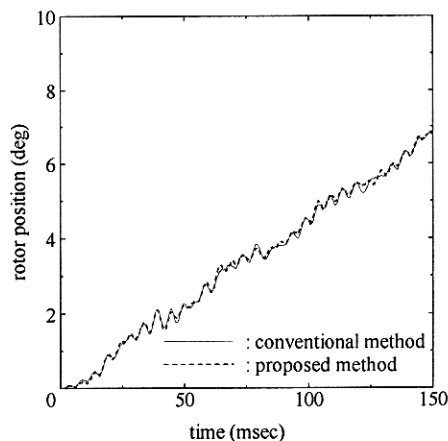


図9 手法1(25pps)を用いた場合の角度変化波形
Fig.9 Temporal variation of rotor angle in the case of the method 1(25pps)

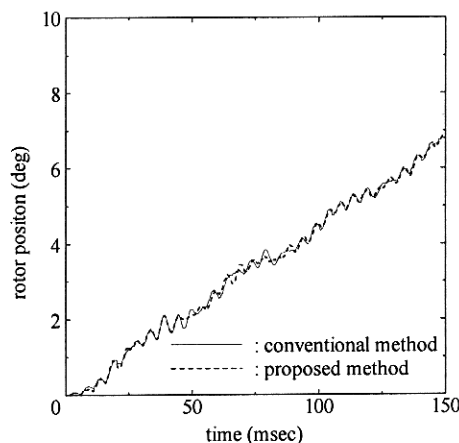


図10 手法2(25pps)を用いた場合の角度変化波形
Fig.10 Temporal variation of rotor angle in the case of the method 2(25pps)

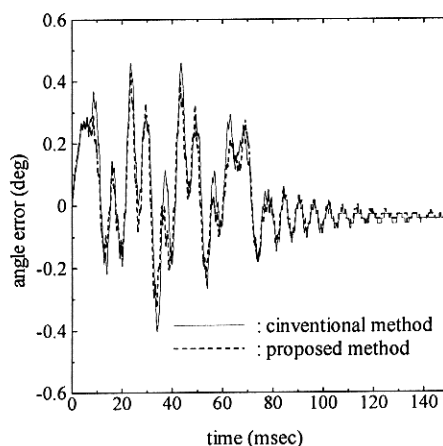


図11 手法1を用いた場合の角度誤差(50pps)
Fig.11 The angle error in the case of the method 1(50pps)

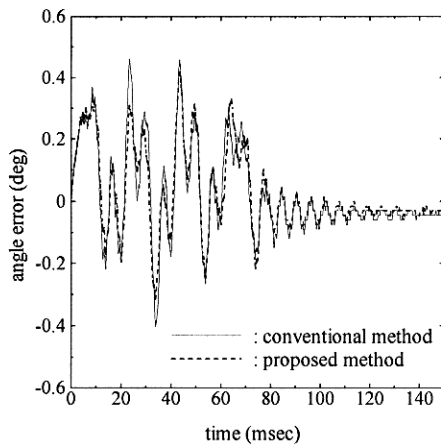


図 12 手法 2 を用いた場合の角度誤差(50pps)
Fig.12 The angle error in the case
of the method 2(50pps)

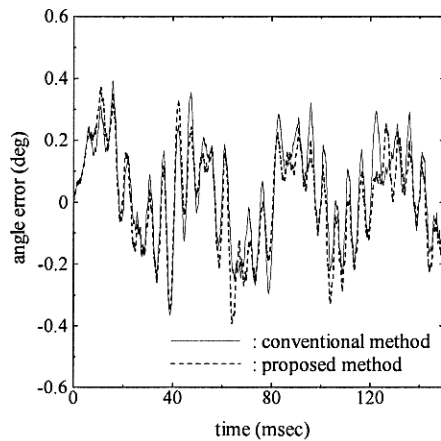


図 13 手法 1 を用いた場合の角度誤差(25pps)
Fig.13 The angle error in the case
of the method 1(25pps)

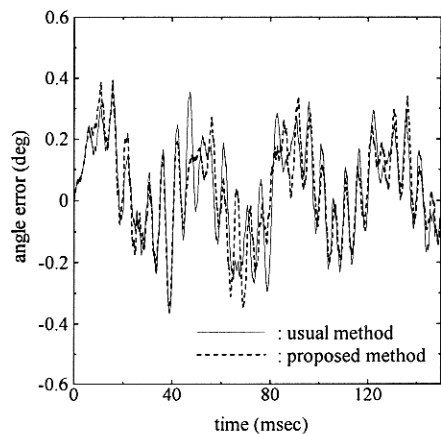


図 14 手法 2 を用いた場合の角度誤差(25pps)
Fig.14 The angle error in the case
of the method 2(25pps)

6. おわりに

今回提案された手法における振動抑制の効果は目標角度の回転速度 25[pps]の場合には若干表れたが 50[pps]では不十分であった。しかし、50[pps]の目標波形と比較した場合の角度誤差の波形を見ると提案された手法において角度誤差が減少している時間領域も見られたので今後、本手法の修正によってさらなる振動抑制の改善につながる可能性がある。

参考文献

- 1) 百目鬼英雄：ステッピングモータの使い方，12/13，126/128 工業調査会(1993)
- 2) 同 126/128
- 3) 見城尚志・菅原晟：ステッピング・モータとマイコン制御，293/313，総合電子出版社(1994)
- 4) 三浦 武・谷口敏幸・百目鬼英雄：前置補償要素の適用によるステッピングモータのマイクロステップ駆動時の回転振動抑制，電学論 D120，12，1462/1470(2000)
- 5) 三浦 武・蝶野純也・秋山宜万・谷口敏幸：パルス列指令の調整によるステッピングモータの駆動特性の改善，電気学会回転研究会，RM-02-55，19/22(2002)
- 6) 三浦 武・谷口敏幸：PWM 形スイッチングシーケンスを用いたステッピングモータの回転振動抑制，電学論 D，121，10，1093/1094(2001)