

交流励磁併用方式新型ステッピングモータの基礎特性

小山 純*, 樋口 剛*
相知 政司**, 山田 英二*The fundamental characteristics of
AC-excited new type stepping motor

by

Jun OYAMA* Tsuyoshi HIGUCHI*
Masashi OHCHI** and Eiji YAMADA*

A novel stepping motor, AC-excited type stepping motor, is proposed and the fundamental characteristics is described. The new type stepping motor is a VR type and the airgap region between the iron tooth is filled with copper plates. Although the weight of the new type motor is increased by 38 %, the settling time decreases by 22 % in comparison with the VR type because of the eddy current induced in the copper plates. Furthermore the torque of the new motor increase in low speed.

1. まえがき

近年パワーエレクトロニクスの発達はめざましく、任意の波形の電圧、電流を自由に発生することが可能になり、さらにこのような状況を背景に新しいタイプのモータ実現の可能性が生まれている。また OA, FA 分野の発展に応じてサーボモータの需要が増大し、特に従来主流を占めていた DC サーボモータに代わってブラシなしの AC サーボモータが要求されるようになっていく。

AC サーボモータのうち、ステッピングモータは、(1) オープンループ制御が可能で、入力パルス数と回転角度が比例する、(2) 自己保持力がある、などの特長を持ちデジタル制御に適したモータであるが、(1) 大きさの割にトルクが小さい、(2) 消費電力が大きいなどの問題点がある。

本論文では励磁に交流励磁方式⁽¹⁾を取り入れ通常の VR 型ステッピングモータの回転子歯間に銅板を埋め込み等価的に磁気抵抗の差を大きくしかつ銅板に流れる渦電流を利用してトルクやダンピング効果の増大を図ることを目的とした「交流励磁併用方式新型ステッピングモータ」⁽²⁾を提案し、その特性を実験により明ら

かにしている。

2. 交流励磁併用方式新型ステッピングモータの動作原理

Fig. 1 に交流励磁併用方式新型ステッピングモータの概略図を示す。固定子には巻線を施した歯が 8 枚、回転子には 6 枚の歯があり、図回転子歯間の空隙には銅板が埋め込まれている。いま A 相巻線に図の方向に直流電流を流すと固定子 a は N 極に、固定子 e は S 極に磁化され、それぞれ吸引力が働き歯 1 と歯 4 を引き寄せ図のような位置で安定となり停止する。次に励磁を B 相に切り替えると固定子 b と固定子 f が磁化され磁気抵抗の差により一番近い歯 2 と歯 5 が引き寄せられ回転子は反時計方向に 15 度回転する。これを歩進と呼びステッピングモータの基本動作である。

次に巻線に流す電流が直流でなく Fig. 2 に示すように脈動しているとする。すると磁束も常に変化し、それにもなって銅板には渦電流が流れることになる。ここで Fig. 3 に示すように固定子と回転子が安定点からずれている場合を考える。(a) 図の銅板が無い場合は漏れ磁束はかなり存在する。しかし銅板がある(b) 図

昭和63年9月30日受理

*電気情報工学科 (Department of Electrical Engineering and Computer Science)

**電気工学専攻 (Graduate Student, Electrical Engineering)

では漏れ磁束が減り固定子と回転子のギャップ磁束が密になりトルクが増える。さらに銅板には磁束を打ち消すような渦電流が流れ、この渦電流と磁束との間にフレミングの左手の法則から図に示すような方向に力 F が発生し、VR 型ステッピングモータよりトルク、ダンピング効果ともに上昇することになる。

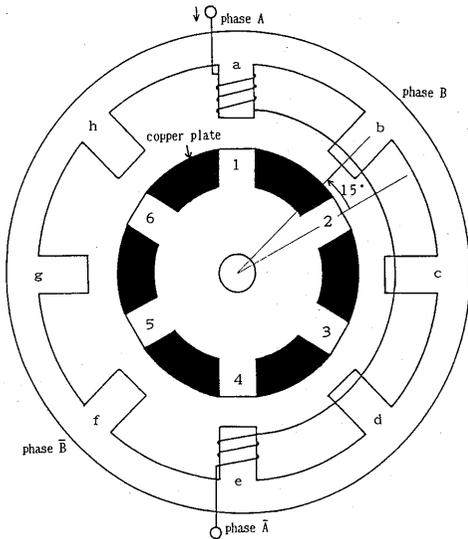


Fig. 1 Elementary AC-excited new type stepping motor.

3. 実験装置

3.1 チョップパ駆動装置⁽³⁾

Fig. 4 (a)に通常用いられる駆動回路を示す。ただし、本回路では交流励磁電流波形を作るために電流検出を行っている。同図(b)にそのときの電流指令波形、同図(c)に電流実測波形を示す。ステッピングモータでは固定子巻線の巻数が多いためインダクタンスが大きく、電流は指令波形にうまく追従できないことがわかる。この電流波形の追従応答性は巻線に抵抗を入れ回路時定数を減少することで改善することができるが、本論文では交流励磁併用方式の効果をより大きくするためにチョップパ駆動方式を採用した。

Fig. 5 は実験で用いたチョップパ駆動方式の基本回路である。簡単のため1相分だけ示す。FET がオンの時にはモータコイルに電源電圧がかかり電流は増加する。

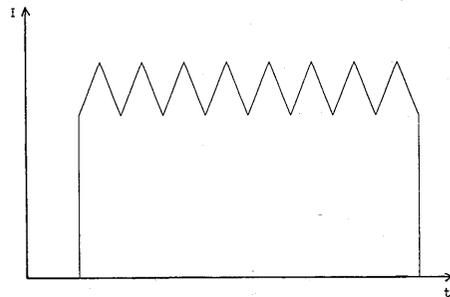


Fig. 2 Current wave form.

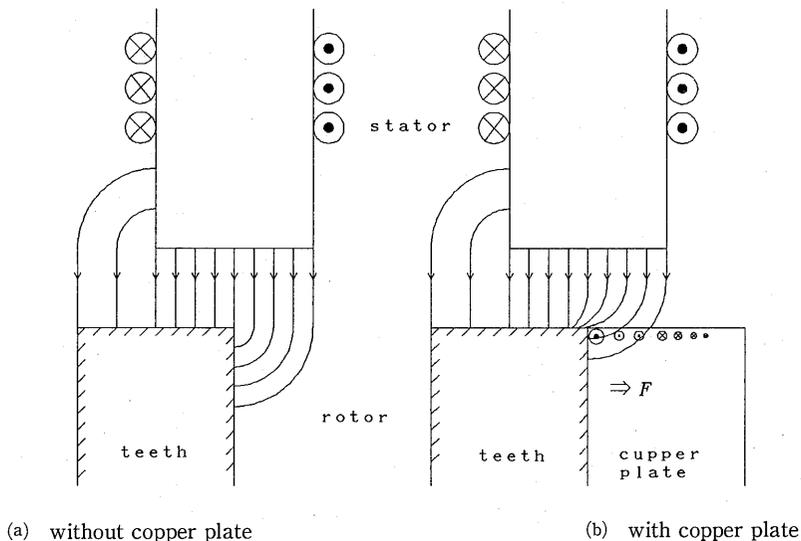
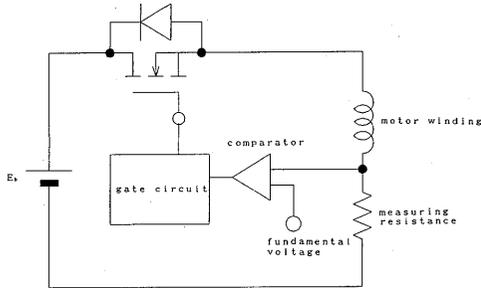


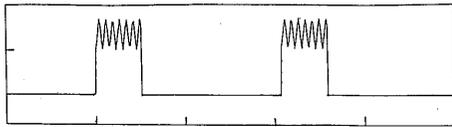
Fig. 3 Eddy current and force.

FET がオフの時には選流ダイオードに循環電流が流れ電流はモータコイルの抵抗分により消費され減少する。したがって電流は脈動することになる。ここで、チョップ駆動方式の入力電力 $P_1^{(4)}$ は

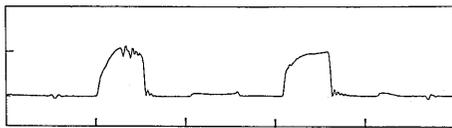
$$P_1 = \frac{1}{T} \int_0^T ei \, dt \quad (1)$$



(a) drive circuit of measuring current type



(b) command current



(c) measured current

Fig. 4 Drive circuit and current wave form.

$$= (E_b t / T) I_a \quad (2)$$

$$= E_d I_a \quad (3)$$

T ; 繰り返し周期

t ; FET が ON の時間

e ; 瞬時電圧

i ; 瞬時電流

E_d ; 平均電圧

I_a ; 平均電流

E_b ; 電源電圧

で表される。

3. 2 システム構成

Fig. 6 にシステム構成図を示す。16ビット CPU V20 はモニター用パソコンから入力される周波数指令値 f^* (pps) に従ってシステムバスに接続された8255に1相励磁、2相励磁などの励磁パターンを出力する。一方三角波と直流基準電圧を比較することにより任意のデューティ比 d ($d = T_{on}/T$; T_{on} は1周期の中で三

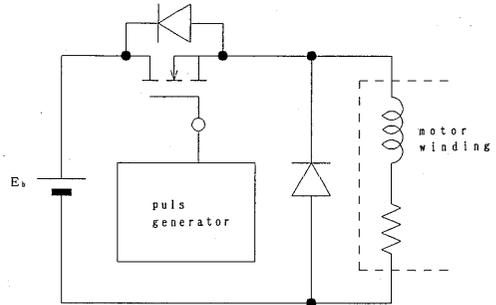


Fig. 5 Elementary chopper circuit.

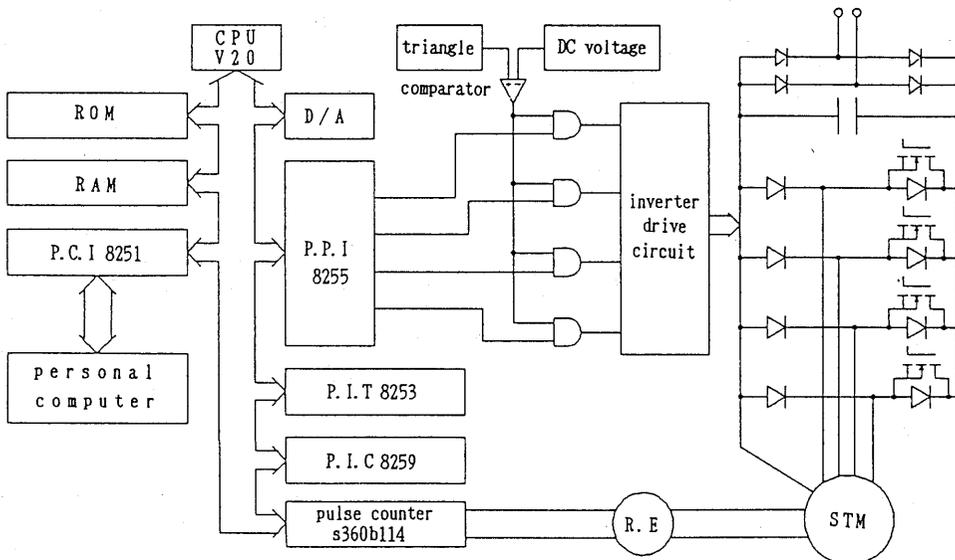


Fig. 6 System configuration.

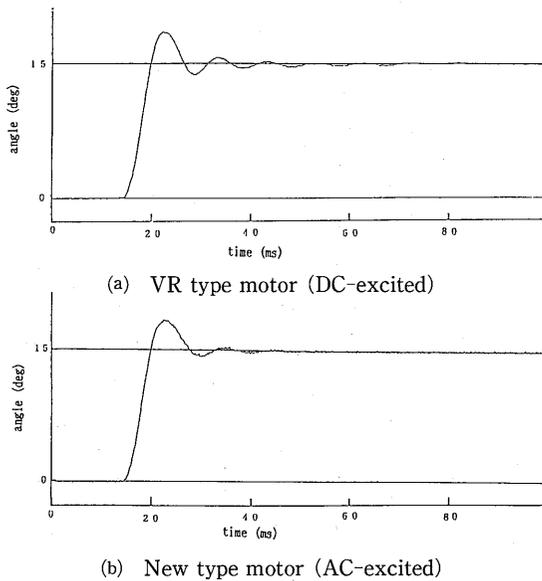


Fig. 7 Step response.

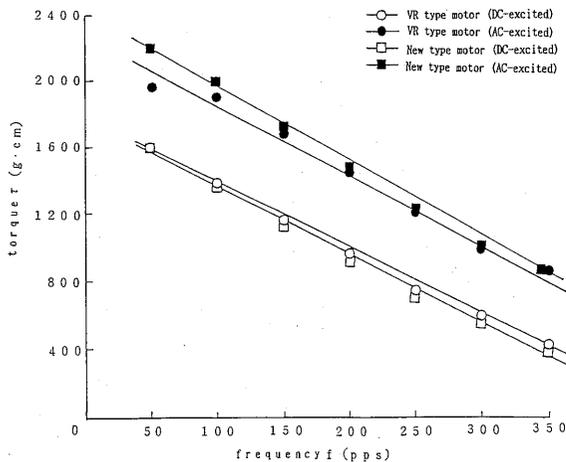


Fig. 8 Characteristics of frequency-torque.

角波の方が基準電圧より大きくなっている時間、 T は1周期の時間)を持つ矩形波が作成される。ゲート信号は励磁パターンと矩形波の論理積をとることにより作られる。ロータリーエンコーダはインクリメンタル型でパルスカウンタ (s 360 b 114) を使用することにより1回転を8192分割でき、ステップ応答測定の際位

置情報を得るために利用されている。位置情報はD/Aコンバーターに電圧として出力される。

4. 実験結果

4.1 ステップ応答

Fig. 7 (a)にVR型モータを定格直流電圧28Vで、同図(b)に新型モータをインバータ電圧56V($d=50\%$, 実効電圧 $V_{rms} = V_{ac} d = 28V$)で駆動したときのステップ応答を示す。新型モータはVR型モータより回転子重量比で134%と大きくなっているが、銅板に流れる渦電流のダンピング効果によりセトリングタイムは77.8%に減少している。

4.2 トルク周波数特性

Fig. 8に周波数トルク特性を示す。トルクは脱出トルクであり、VR型モータ、新型モータについてそれぞれ直流2相励磁、交流2相励磁($d=50\%$)で駆動している。各周波数におけるインバータ電流は一定である。新型モータは交流励磁併用方式で周波数が比較的低い範囲でトルクが増大している。

4.3 トルク入力比

Fig. 9にトルク入力比を示す。トルク入力比は周波数が低いときには直流励磁の方が大きい、これは交流励磁併用方式は周波数が低いときにはインバータ電圧が大きくなるがその分だけトルクの増加が得られないためである。周波数が120pps以上になると交流励磁併用方式がトルク入力比が大きくなるのがわかる。

5. むすび

以上、交流励磁併用方式新型ステッピングモータを提案し、さらに普通のVR型モータ、新型モータをそれぞれ直流励磁、交流励磁で駆動したときの基礎特性を明らかにした。新型モータは重量比で134%に増加しているが、交流励磁併用にすることでステップ応答、周波数トルク特性、トルク入力比の全ての特性

が向上することを確認した。新型モータは銅板によって磁気抵抗の差を作るため、従来のステッピングモータのように回転子鉄心歯部を高くする必要がなく回転子構造をスリーブロータ状のうすい円筒形状にすることができ低慣性でしかも軽量、小型、高トルクのサーボモータが実現できると考えられる。

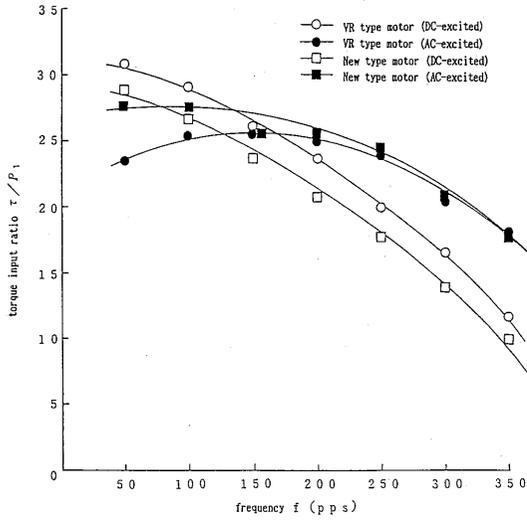


Fig. 9 Torque input ratio.

参 考 文 献

- (1) 小山, 樋口, 辻, 山田: "AC-Excited Brushless Synchronous Motor" Proc. of ICEM 1,333 (1984)
- (2) 小山, 樋口, 相知, 山田: "交流励磁併用方式新型ステッピングモータの試作" 昭62電気学会九州支部連大 No525
- (3) 海老原, 岩佐: "ステッピングモータ活用技術" 工業調査会 昭59
- (4) 野中, 岡田, 小山, 伊藤: "パワーエレクトロニクス演習" 朝倉書店 1985