

4相PMステップモータにおける 速度変動への励磁方式の影響について

Effect of Switching Sequences on Velocity Perturbations
in Four-Phase Permanent Magnet Step Motors

樋口 俊郎*・大島 康次郎*・渡辺 和俊**
Toshiro HIGUCHI, Yasujiro OSHIMA and Kazutoshi WATANABE

1. まえがき

入力パルスに同期した回転が広範囲のパルス周波数にわたって得られることにより、ステップモータは位置決め制御に利用されることのほかに、開ループによる速度制御にも広く利用されている。ステップモータの角速度は、その平均値においては入力パルスの周波数に比例するが、刻々の値は一定ではなく、変動を伴う。この変動は好ましいものではなく、なるべく小さくしたいという要求がある。この変動を小さくするための対策を得るには、角速度変動への諸因子の影響を調べなければならない。ここでは、4相PMステップモータについて、その励磁方式による角速度の変動への影響を検討した結果を報告する。

2. 4相PMステップモータの励磁方式

4相PMステップモータは、ロータに永久磁石を組み込んだ構造のモータであり、4相ハイブリッド型ステップモータとも呼ばれるものである。このモータの各1相および隣り合う各2相を励磁した時のロータ角とトルクとの関係を図1に例示する。ある励磁状態においては、その安定点に向かう方向にトルクが働くので、励磁する相を入力パルス毎に順次切り換えることによって、ロータが同期して回転するのである。4相ステップモータの励磁方式には、表1にその励磁相の切り換えの順を示したように、1相励磁、2相励磁、1-2相励磁の3種類のものがある。1-2相励磁では、ステップ角が1相励

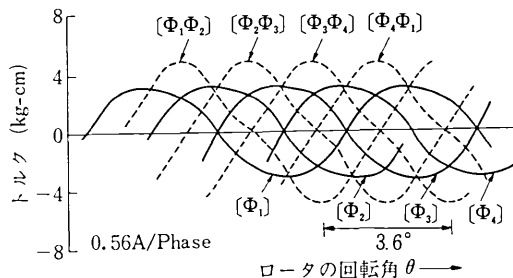


図1 4相PMモータの静トルク特性

磁と2相励磁のそれぞれの1/2に細分化できるので、速度変動が小さくなることが推測できるが、一方では、1相を励磁した状態と2相を励磁した状態とを交互に取ることに起因する速度変動を生じる恐れが考えられる。これらについて実験によって調べてみるのが本研究の目的である。

3. タンデム化による改善の試み

1-2相励磁において、励磁の相数がステップごとに变化するが、このことによる角速度変動への影響を明らかにするには、ステップ角は1-2相励磁に等しいが励磁の状態がステップごとに变化しないようにして駆動した場合との比較をする必要がある。このような駆動は、同じ特性のステップモータを2個用いて、ロータとステータの歯の位置関係が両者で1-2相励磁の1ステップ分だけずれるように互いのロータ動を結合し、表2に示す順に従って各相を励磁することによって実現できるこ

表1 4相ステップモータの励磁方式

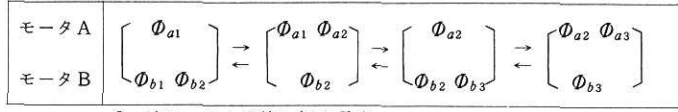
励磁方式	励磁のシーケンス
1相励磁	$\Phi_1 \rightleftarrows \Phi_2 \rightleftarrows \Phi_3 \rightleftarrows \Phi_4 \rightleftarrows \Phi_1 \rightleftarrows$
2相励磁	$\Phi_1\Phi_2 \rightleftarrows \Phi_2\Phi_3 \rightleftarrows \Phi_3\Phi_4 \rightleftarrows \Phi_4\Phi_1 \rightleftarrows \Phi_1\Phi_2 \rightleftarrows$
1-2相励磁	$\Phi_1 \rightleftarrows \Phi_1\Phi_2 \rightleftarrows \Phi_2 \rightleftarrows \Phi_2\Phi_3 \rightleftarrows \Phi_3 \rightleftarrows \Phi_3\Phi_4 \rightleftarrows$

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 日本サーボ株式会社

研究速報

表2 モータを2個結合した時の各相の励磁順序



Φ_{a1} はモータ A の第 1 相を示す

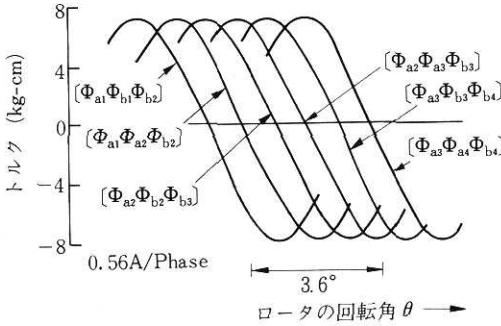


図2 タンデム化駆動におけるロータ角とトルクの関係とが考えられる。実際にこのように結合した場合の、ロータ角とトルクの関係は図2に示すようになっており要求を満たしている。2個のモータをタンデムに結合する駆動方式(以後これをタンデム化駆動と呼ぶことにする)は、1-2相励磁の欠点を改善しようとするのもであり、この効果についても併せて調べた。

4. 実験方法

実験には、ロータの歯数が50個の4相PMステップモータを使用した。このモータの静トルク特性は図1に示したものであり、他の諸元は表3に示す。

1相励磁、2相励磁、1-2相励磁については、1個のモータで試験すれば良いのであるが、タンデム化駆動との比較を同一の試験条件で行うために、これらの励磁方式についても、2個の同一仕様のモータを結合し、両方のモータを同一励磁方式で同時に駆動して試験を行った。2個のモータの結合は、両者の所定の相(たとえば1相励磁ではΦ_{a1}とΦ_{b1})を励磁した状態で、ロータ軸を継手で接続する方法で行った。このようにすれば、1相励磁、2相励磁、1-2相励磁については、ロータの歯とステータの歯の位置関係を2個のモータで一致させることができ、タンデム化駆動では、0.9°だけずらせる

表3 実験に使用したモータの諸元

巻線抵抗	20 Ω / 相
ロータの慣性モーメント	160 gcm ²
巻線方式	バイファイラ結線
ステップ角	2相励磁の時1.8°
型式	日本サーボ製 KP6M2

ことができる。各モータの各相の励磁回路は、図3に示す簡単な方式のものを用い、各相の巻線に外部抵抗として20Ωを直列に付加した。

試験装置の写真を図4に示す。角速度に比例する起電力が得られる速度計をロータ軸に直結し、ロータの角速度の変動を検出した。モータへの付加イナーシャは速度検出器の回転部分と若干の継手のみであり、負荷を加えない状態で試験を行った。

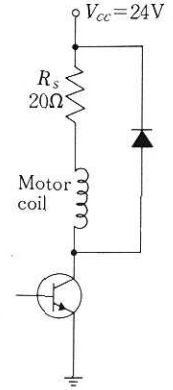


図3 励磁回路

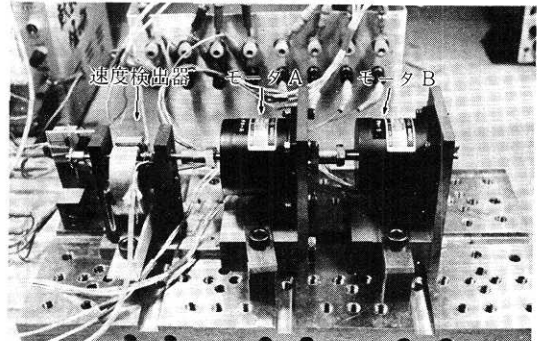


図4 試験装置

5. 実験結果および考察

図5に2相励磁についての角速度の測定結果の1部を示す。これから、ロータの角速度の変動の形態は、入力パルスの周波数に伴って、変遷している様子が分かる。

各励磁方式についてのこのような記録の角速度の最大値と最小値を示すことによって角速度の変動の幅を各入力パルスの周波数について表したものを図6に示す。

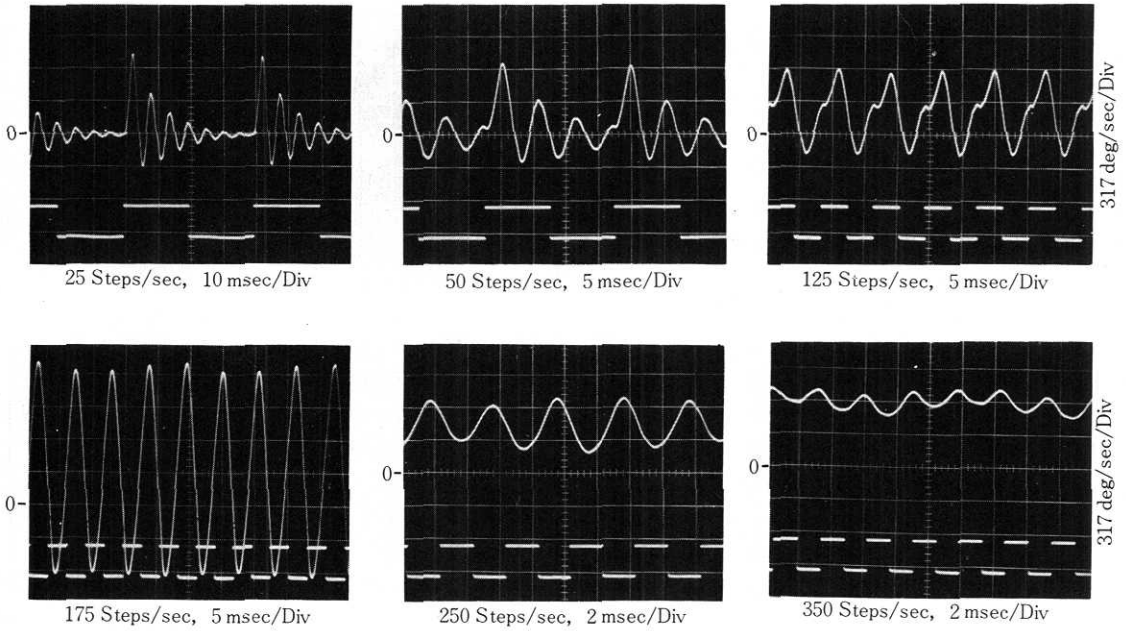


図5 2相励磁におけるロータ角速度の測定例

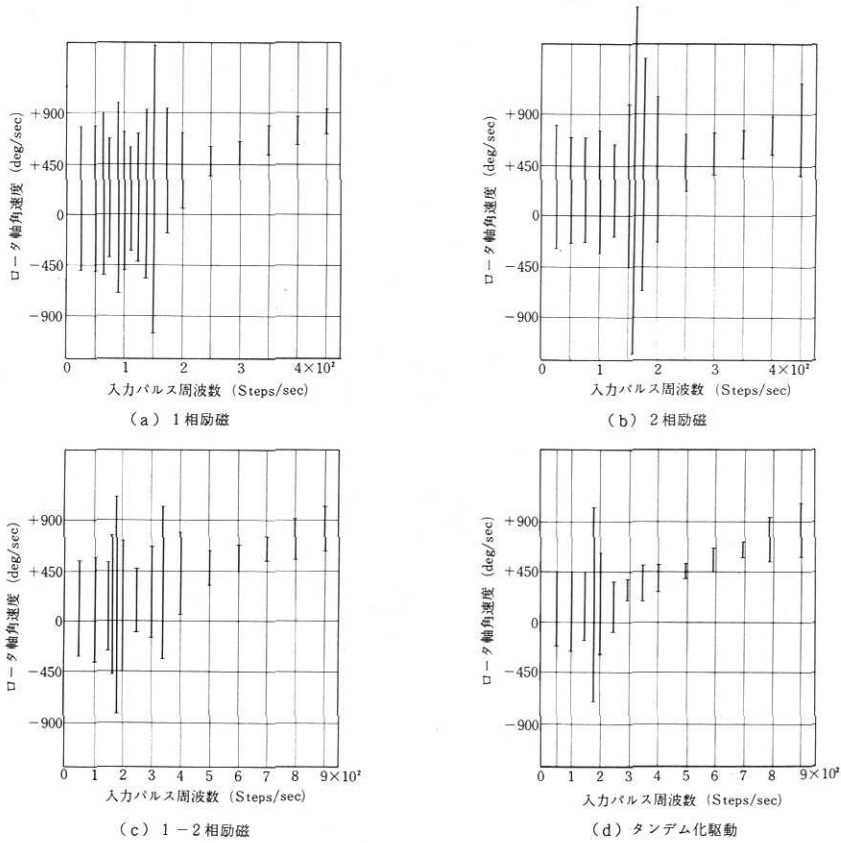


図6 速度変動と入力パルス周波数の関係

研究速報

これによると、いずれの励磁方式においても、150～200 Hz の間に、非常に大きな変動を伴って回転する入力パルスの周波数があることが分かる。この周波数は、それぞれの励磁方式のシングルステップにおける速度変動の周波数とはほぼ一致している。このことから、この変動が大きくなる原因は、励磁によって作られる安定点への復元トルクの弾性と回転部のイナーシャによって定まる回転系の固有振動数に、入力パルスの周波数が一致したことによる共振現象であると言える。

この共振における速度の変動および比較的低いパルス周波数での速度変動の幅は、1-2相励磁とタンデム化駆動が1相励磁と2相励磁に比べて小さく、ステップ角を小さくすることの効果が確かめられる。

1-2相励磁とタンデム化駆動を比較すると、1-2相励磁では、先に述べた共振現象の他に、340 Hz 付近の入力パルス周波数においても共振を生じていることが分かる。この場合の速度変動の周波数は図7から分かるように入力パルスの周波数の1/2であり、この周波数

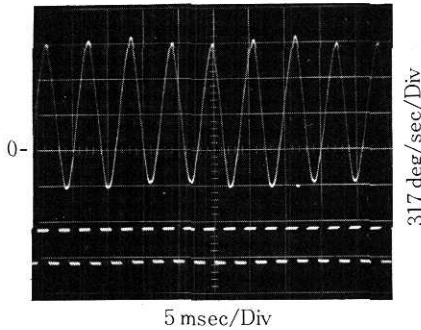


図7 1-2相励磁, 340 Steps/sec におけるロータの速度

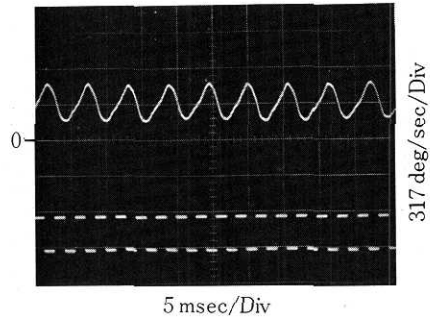


図8 タンデム化駆動, 350 Steps/sec におけるロータの速度は先に述べた固有振動数とはほぼ一致する。

1-2相励磁では、1相励磁の状態と次に続く2相励磁の状態を1組にして考えてみれば、これが入力パルスの周波数の1/2の周波数成分を持っており、このことが共振を起こす原因であると考えられる。タンデム化駆動によればステップごとに励磁状態が変化しないので、図8に示すように、1-2相励磁でみられるような共振現象は顕著には生じておらず、1-2相励磁よりも優れていると言える。

6. ま と め

4相PMステップモータにおけるロータの角速度変動を、1相励磁、2相励磁、1-2相励磁の励磁方式と2個のモータを結合する駆動方式について調べた結果、ステップ角を細分化することは共振点等において速度変動を小さくすることに効果があるが、1-2相励磁では励磁状態の変化に伴う共振を生じることが明らかになった。
(1978年10月27日受理)

