

高速ステップモータについて

大島 康次郎・江川 巖・有川 正一

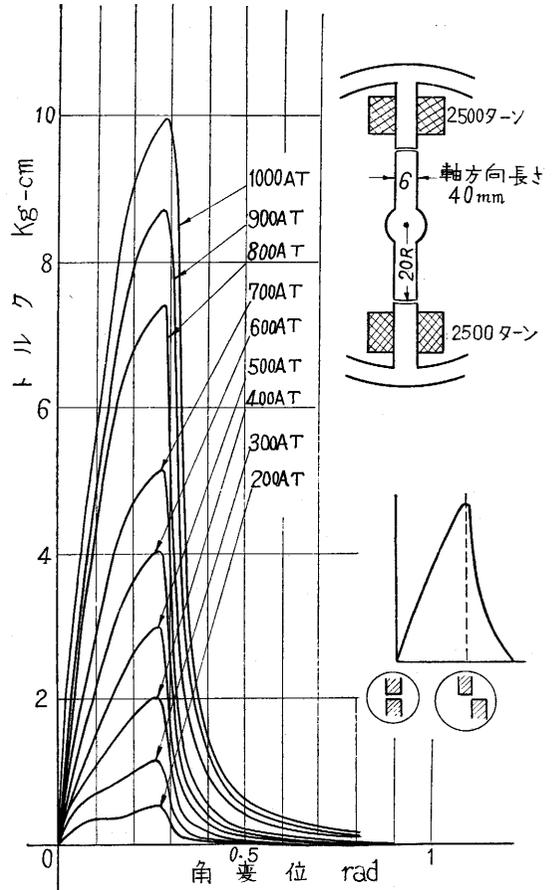
まえがき

ステップモータは駆動パルスの到来ごとに1ステップずつ回転するモータである。したがって入力パルスの出しかたによってその回転が規正できるのであって、デジタル的なパルスの数をアナログ的な角変位に変換する一種の D-A 変換器と見なすことができる。このようなステップモータは工作機数値制御のようなデジタル制御への応用、D-A 変換器やパルスカウンタとしてデジタル計測やデジタルテレメタリングへの応用などデジタルオートメーションに広い応用範囲をもち、オートメーションのデジタル化の傾向とあいまって今後ますます活用されるものと思われる。従来もこの種モータは存在したのであるが、その応答速度は遅く上記のような目的に対してはまったく不適當であった。そこで新たに高速ステップモータを開発することが要望されたのである。このような高速ステップモータでなおかつ十分なパワーをもったものが実現できれば理想的であるが、とりあえずパワーの問題はステップモータに適當な増力装置を付加することによって解決することとし、ステップモータ自体をできるだけ高速化することを目的として、筆者らはその独自の駆動方式を開発し、その特性実験によって、この方式が十分実用に供しうることを確かめたので報告することにする。

1. ステップモータの動作原理

ステップモータはそれぞれ適當数の磁極をもった固定子と回転子とから構成される。固定子磁極は励磁巻線を持ち、これらを入力パルスの到来ごとに適當な順序で励磁することによって、回転子磁極に対するその磁氣的吸引力で、回転子を回転させるのである。固定子磁極と回転子磁極との間に働らく磁氣的吸引力はたとえば等しい幅をもった固定、回転それぞれ二つ一對の磁極について回転する磁極に作用するトルクによって測定される。その測定結果の1例を第1図に示す。これより分かるように、固定子磁極と回転子磁極とが完全に重なって向かい合った中立位置においては磁氣的吸引力は零であり、この重なりが外れた位置では中立位置へ戻そうとする向きに磁氣的吸引力が生ずる。しかもその大きさは重なりが外れれば外れるほど大きくなり、固定子磁極の一方の側

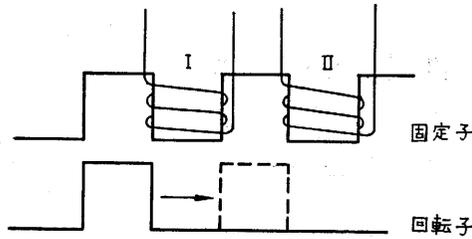
面が回転子磁極の他方の側面と一致する位置において極大に達する。そしてこの位置より外れて、固定子磁極と



第1図 磁氣的吸引力

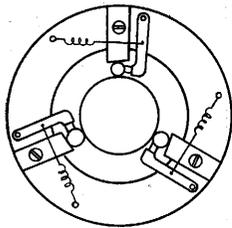
回転子磁極との間にギャップが生ずるようになると磁氣的吸引力は急激に減少する。

さてステップモータはこのような磁氣的吸引力によって回転するのであるが、ステップモータにおいて特に重要な問題は回転子が静止するまでの乱調をいかにして防止するかということである。回転子磁極が第2図の実線で示すような位置にあったとしたとき、固定子磁極Iを励磁すると磁氣的吸引力によって回転子磁極は回転し、固定子磁極と向かい合った中立位置に達して磁氣的吸引力は零になるが、慣性によってその位置を行き過ぎ、逆向きの磁氣的吸引力を受けて減速され、ついに速度が零に



第2図 固定子磁極と回転子磁極

なる。この位置は摩擦や渦流による制動力を考えなければ、固定子磁極に対し回転子運動開始位置と対称の関係になる。回転子磁極はこの速度零の位置より逆向きの磁氣的吸引力によって再び運動を開始し、上記のことを繰り返すから、中立位置のまわりの振動を続けることになる。このような乱調を防止するのに、油や渦流によるダンパを付加する方法や以下に述べる機械的逆転止め機構を設ける方法が従来は採用されていた。機械的逆転止め機構は、たとえば第3図に示すように構成される。すなわちステップモータの回転子軸に円筒面を取り付け、



第3図 機械的逆転止め機構

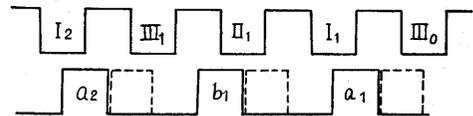
これと固定側の傾斜した端面との間にローラを挟み、スプリングによってローラを傾斜面に押しつけるような構造になっている。図の場合、モータ軸は時計方向には回転できるが、反時計方向にはローラが楔状の空所にくい込んで回転が阻止されるのである。この

ような逆転止め機構を設けると、第2図によって説明したステップモータの基本的動作で、回転子磁極は中立位置を行き過ぎた速度零の位置において静止することになる。なんとすればこの位置において逆向きの磁氣的吸引力を受けるが、その向きには逆転止め機構が回転を阻止するからである。そしてこの位置から次の固定子磁極の励磁によって次のステップの回転に入るのである。このようにして乱調は防止されるのであるが、ダンパにしる逆転止め機構にしる、ステップモータ軸に余計の負荷を負わせることになる。ステップモータを高速化するにはできるだけモータ軸の負荷を軽くすることが要求される。そこで筆者らは固定子磁極の励磁の順序と時期をエレクトロニクに制御することによって乱調を防止する独自の駆動方法を採用した。

3. ステップモータの新しい駆動方法

再び第2図によって、この駆動方法の原理を説明しよう。回転子磁極が図の実線の位置にあったとき、固定子磁極Iを励磁すると、前述のように、中立位置を過ぎ、制動力を無視すると、図の点線で示したような位

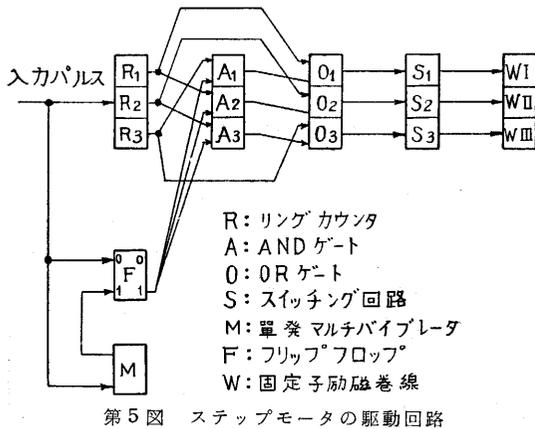
置で速度が零になる。励磁回路の時定数を無視するとして、この速度が零になった瞬間に、固定子磁極IIを新たに励磁すると、回転子磁極は固定子磁極のIとIIの両方から互いに逆向きの磁氣的吸引力を受けることになる。この二つの力が平衡するとすれば、回転子磁極はその位置で静止することになる。ここで固定子磁極Iの励磁を断つと、固定子磁極IIの磁氣的吸引力だけが回転子磁極に作用することになって回転子磁極は回転を始め、上記と同じ動作を繰り返せば、ステップ状の回転が継続されることになる。このように回転時においては固定子励磁巻線の1相を励磁し、静止時には適当な時期に2相の励磁に切り換えることがこの方法の特徴である。原理は上記のとおりであるが、第2図の点線位置における回転子磁極に作用する固定子磁極I、IIの磁氣的吸引力は第1図の測定結果における極大点に相当しており、左右の力が等しくてもその平衡は不安定であるから、実際には、回転子、固定子各磁極は第4図のように配置されている。すなわち固定子磁極は磁極の幅と間隔とが等しくなっており、一方回転子磁極は磁極の幅が固定子のそれと等しくなっているが、間隔はその2倍になっている。したがって回転子磁極の数は固定子のその%になっている。また固定子の励磁巻線はI、II、IIIの3相に分かれている。いま固定子巻線のI、II相が励磁されているとする。回転子磁極のa、bは固定子磁極I、IIによって互いに逆向きで等しい大きさの磁氣的吸引力を受け



第4図 固定子磁極と回転子磁極の配置

て平衡する。この平衡位置は回転子と固定子の磁極がその幅の半分重なった状態であるから、磁氣的吸引力は第1図の測定結果におけるほぼ直線の変化をする部分にあたり、その平衡は安定である。すなわちこの平衡位置より回転子磁極がずれると、もとの位置へ戻す向きの力を受けるのである。このようにI、II相の2相励磁を受けて回転子磁極が平衡しているときI相の励磁を断つてII相だけの1相励磁にすると、回転子磁極bが固定子磁極II相に吸引されて回転し、固定子磁極と向かい合った中立位置を過ぎ、図の実線で示した回転開始位置とほぼ対称(中立位置に対して)の点線で示した位置に達して速度が零になるから、その瞬間にIII相を追加励磁してII、III相の2相励磁に切り換え、その位置で平衡させる。つぎはII相の励磁を断つてIII相の1相励磁とし、I相を追加励磁してIII、I相の2相励磁とする。このようにI、II、IIIの3相のうちから、順次1相、2相を交互に切り換えて、ステップ状回転を行なわせるのである。固定子の励磁巻線の励磁の順序の回転する向きと回転子磁極

の回転する向きとは逆向きになっていることに注意を要する。また1ステップの大きさは磁極の幅に相当する。ところで1相励磁と2相励磁の切替の時期であるが、これは1ステップの運動開始からの遅れ時間によって決定される。なんとすれば負荷の変化が少ないときには運動開始から速度零になるまでの時間がほぼ一定になるからである。運動開始は前述のように入力パルスの到来の瞬間に2相励磁のうちの1相の励磁を断って1相励磁にすることによって与えられる。したがって入力パルスの到来の瞬間から上記の適当な遅れ時間が経過してのち再び2相励磁に切り換えるのである。このようにして1ステップの回転が行なわれることになる。



第 5 図 ステップモータの駆動回路

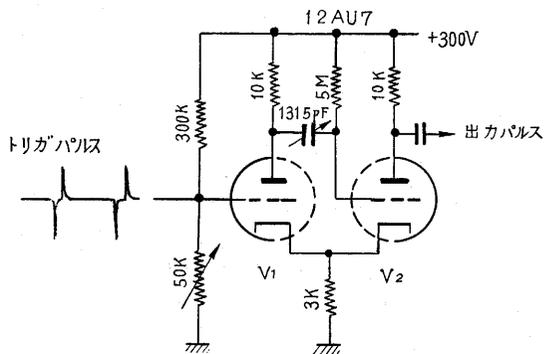
さて上記のような動作を実現する回路は第5図に示すように構成される。入力パルスは3段のフリップフロップからなるリングカウンタRに導かれる。リングカウンタの出力は入力パルスがそれをトリガすることによってR₁, R₂, R₃から交互に取り出される。入力パルスはまたフリップフロップ回路Fおよび単発マルチバイブレータMに導かれている。単発マルチバイブレータは入力パルスが到来してからそのC, Rの時定数によって定まる遅れ時間ののちに出力パルスを発生する。この遅れ時間が、前記の1相励磁から2相励磁への切替え時期に応じて調節される。この単発マルチバイブレータの出力パルスがフリップフロップFをトリガする。一方入力パルスがそれをリセットするのである。そしてフリップフロップがトリガされているとき、それから出力電圧が取り出される。この出力とリングカウンタからの出力とがANDゲートAに入力として導かれている。ANDゲートはそれへの両入力が同時に存在するとき出力電圧を生ずるようになっていいる。この出力とリングカウンタからの出力がORゲートOを介して別個にスイッチング回路Sを動作させステップモータの3相の固定子励磁巻線を励磁させるようになっていいる。

さて上記駆動回路の動作を説明するとつぎのようになる。いま入力パルスがリングカウンタの1段R₁をトリ

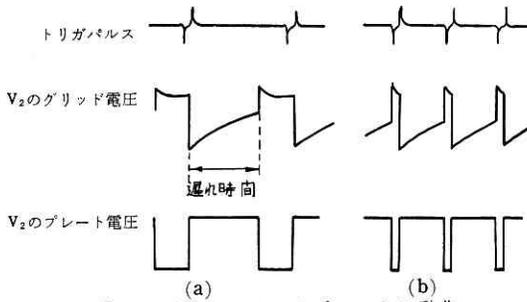
ガしているとしよう。この段からの出力はORゲートO₁を介してスイッチング回路S₁を動作させ固定子励磁巻線のI相を励磁している。この間にステップモータの回転子は運動中である。一方同じ入力パルスはフリップフロップFをリセットし、単発マルチバイブレータMをトリガする。Mからは一定時間遅れて出力パルスが発生するから、これがFをトリガすることになる。トリガされた状態ではFから出力電圧が生ずるから、これがR₁からの出力とともにANDゲートA₂を開いて出力電圧をORゲートO₂を介してスイッチング回路S₂に加えることになり、固定子励磁巻線のII相を励磁することになる。このようにして1相励磁から2相励磁への切替えが行なわれ回転子を停止にもたらし。

ここでつぎの入力パルスが到来したとしよう。このパルスはリングカウンタをトリガしてR₁の代りにR₂を動作させる。これによってI相の励磁は断たれる。R₂からの出力はORゲートO₂を介してS₂を動作させるから、II相の励磁は継続される。この1相励磁によって再び回転子は運動を開始する。これからは上記と同様にしてMからの遅れた出力パルスがIII相の励磁を生じさせる。

入力パルスのパルス間隔が短くなって単発マルチバイブレータの遅れ時間より小さくなると2相励磁は生じえない。この場合は入力パルスの時間間隔が回転子の静止からの1ステップの運動時間より短く、したがって回転子は入力パルスに1ステップずつ運動と静止を繰り返して追従することができない。しかしこの状態においてもステップモータはいわゆる同期回転をすることができる。すなわち入力パルスのパルス周波数を徐々に上げてゆけば、回転子はある周波数から上は静止することなく次第に加速され、パルス周波数に応じた励磁の回転に同期して回転することになる。このような同期回転においては駆動回路はリングカウンタだけによってスイッチング回路を動作させ3相の固定子巻線を1相ずつ順次に励磁してゆかねばならない。このような状態においては駆動回路の単発マルチバイブレータが誤動作を生じてはな



第 6 図 単発マルチバイブレータ



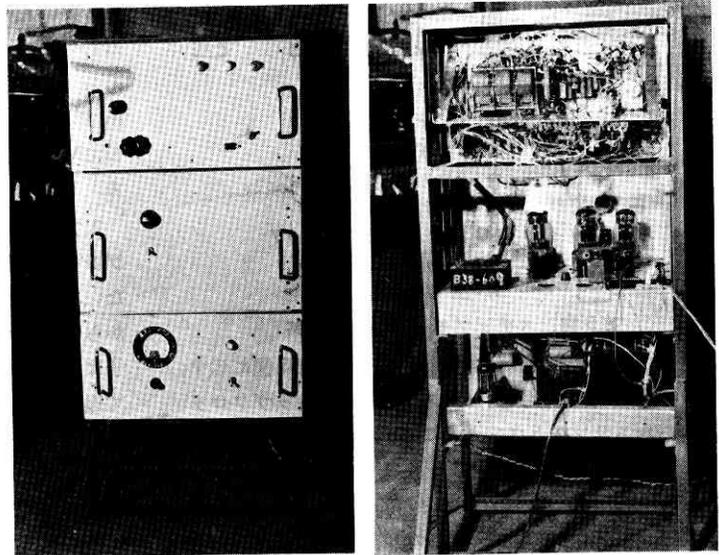
第7図 単発マルチバイブレータの動作

らない。単発マルチバイブレータとしては第6図に示すようなカソード結合形のものを使用しているが、上記誤動作を避けるために、これをトリガするパルスとして、同図に付記したような負と正の複合パルスを用いている。このパルスは一定の幅をもたせた負パルスをコンデンサを通して微分することによって得ている。このような複合パルスによってトリガする場合の単発マルチバイブレータの動作を第7図によって説明する。同図(a)は入力パルスのパルス間隔が単発マルチバイブレータの遅れ時間より長い場合である。この図によると最初真空管 V_2 のグリッド電圧がカットオフ以上になっていて、それが通流しており、したがってそのプレート電圧は下がっているが、入力パルスの到来による複合トリガパルスの正パルスによって真空管 V_1 がトリガされ、それが通流するようになり、そのプレート電圧の低下によって V_2 のグリッド電圧はカットオフ以下となってその通流を阻止する。したがって V_2 のプレート電圧は上昇する。この状態で単発マルチバイブレータのコンデンサ C の電荷が抵抗を通して放電するに依りて V_2 のグリッド電圧は上昇を始め、それがカットオフ電圧に達したとき再び V_2 が通流して V_1 の通流が阻止される。このとき V_2 のプレート電圧は再び低下する。 V_2 のプレートに結合されたコンデンサによって、このプレート電圧の変化を微分して得られた負パルス (V_2 のプレート電圧の低下のときに生ずる) がこの単発マルチバイブレータの出力パルスとして第5図のフリップフロップ F をトリガするのに用いられる。第7図(b)は入力パルスのパルス間隔が単発マルチバイブレータの遅れ時間より短い場合である。この場合は V_1 のグリッド電圧がカットオフまで回復する前に複合トリガパルスの負パルスが V_1 のグリッドに入るため V_1 の通流が阻止されて V_2 が通流するのである。したがってこの場合 V_2 のプレートから取り出される出力パルスは入力パルスと時間的に一致している。これが第5図のフリップフロップ F に導かれ

るのであるが、そのリセットパルスである入力パルスは上記トリガパルスよりパルス幅が広がっているのので、このような状態でフリップフロップが誤ってトリガされることはない。このようにして入力パルスのパルス間隔が単発マルチバイブレータの遅れ時間より短い場合はフリップフロップのトリガは生じないから、2相励磁を生ずることなく、励磁はリングカウンタだけによって支配され、前記の同期回転を可能にするのである。

スイッチング回路としては最大 250 mA のプレート電流を流すことのできる真空管 6A S7 を使用している。駆動回路の実験用セットを前面および裏面から撮った写真を第8図(a)、(b)に掲げる。なお駆動回路のトランジスタ化はほぼ完成しているが、これについては別の機会に改めて報告する。

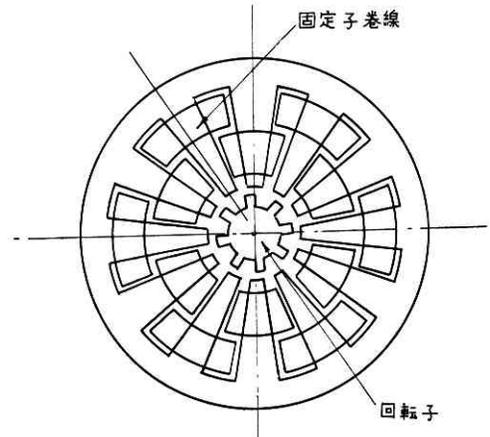
実験に使用したステップモータ本体の構造は第9図に



(a) 前面 (b) 裏面

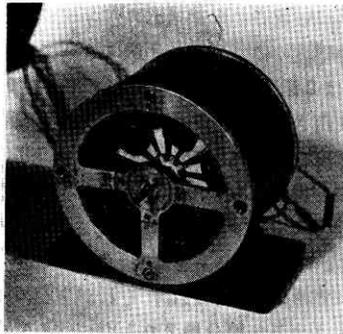
第8図 駆動回路の実験セット

る。



第9図 ステップモータ本体の構造

示される。またその外観の写真を第 10 図に掲げる。この実験用モデルは 12 個の固定子磁極と 8 個の回転子磁極を有し、1 回転を 24 ステップで回転する。各固定子巻線は 0.2mmφ の導線を使用した 1,000 巻のものである。回転子の外径および慣性モーメントは、それぞれ 20mmφ および



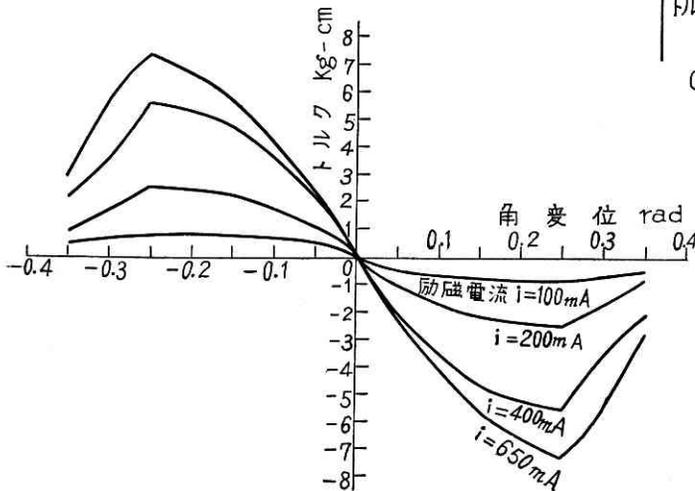
23 gr cm² である。回転子は軟鋼棒から磁極を削り出したものであるが、良質の磁性材料を用いた成層構造のものが望ましい。

第 10 図 ステップモータ本体

4. ステップモータの動作特性

ステップモータの重要な静特性は回転子の角変位に対する磁氣的吸引力の関係である。実験用モデルについてひずみゲージトルクメータを利用して測定した結果を第 11 図に示す。これは固定子励磁巻線の 1 相に図に付記したような電流を流し、その相の固定子磁極に対して回転子の対応する数の磁極が向かい合って重なった位置を角変位の原点にとって、それから角変位に対する磁氣的吸引力のトルクを示したものである。これは固定子磁極の各相につきそれぞれ適当数の回転子磁極の組合わせを選択して測定したデータをすべて平均化して示している。電流の大きさとしては巻線用導線の安全電流をはるかに越えた場合についても測定してある。この場合の磁氣的吸引力の極大点も第 1 図の場合のそれと同じような磁極相対位置において生じている。

さてステップモータの重要な動特性の一つは前述した



第 11 図 各励磁電流におけるトルク-角変位特性

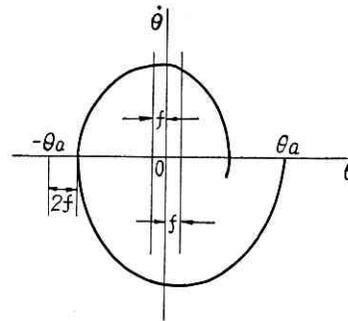
ように停止時における乱調に関するものである。これについて以下に簡単に解析する。簡単のため、静的トルクが回転子角変位に比例するとし、励磁回路の時定数を無視するとする。この場合 1 相励磁に対する運動方程式は

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -a\theta \pm F \dots \dots \dots (1)$$

によって与えられる。ここで θ, I, a, F はそれぞれ中立位置よりの角変位、回転子の慣性モーメント、トルクのプロ係数および摩擦トルクである。(1) 式を変形して

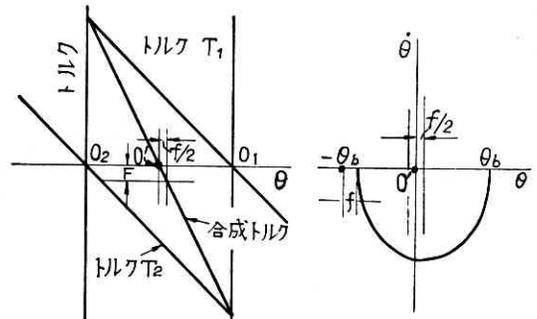
$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{a}{I} (\theta \mp f) \dots \dots \dots (2)$$

ただし $f = F/a$



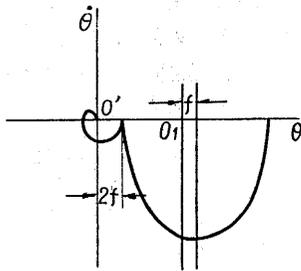
第 12 図 1 相励磁に対する位相面

が得られる。(2) 式の関係は位相面を利用して第 12 図のように示される。すなわち振動振幅は各半サイクルで $2f$ ずつ減衰する。2 相励磁においては 2 群の固定子磁極の磁氣的吸引力が同時に作用することにな



第 13 図 2 相励磁

る。第 13 図 (a) はそれらのトルクとその合成トルクを示している。ここで $0_1, 0_2$ および $0'$ はこの各トルクに対する静止位置を示している。この場合の合成トルクは 1 相励磁の場合の 2 倍であるから、(2) 式の f の代わりに $f/2$ をとらなければならない。したがってこの場合の振動の減衰は第 13 図 (b) のように半サイクルについて f である。1 相励磁と 2 相励磁の切換えが行なわれる場合の位相面表示は、上記二つの場合のそれを組み合わせて第



第14図 1相励磁と2相励磁の切換えの場合の位相面

14 図のようになる。これは1相励磁で速度が零になった瞬間に2相励磁に切り換わるとしている。このような大ざっぱな解析によっても、1相励磁と2相励磁の切換えの乱調防止に対する効果が理解されよう。

さて解析をより正確

にするため、微分解析機の利用により、次のような運動方程式を解くこととした。すなわち1相励磁に対しては

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_1(\theta, i_m) - F \frac{\dot{\theta}}{|\dot{\theta}|} \dots\dots\dots (3)$$

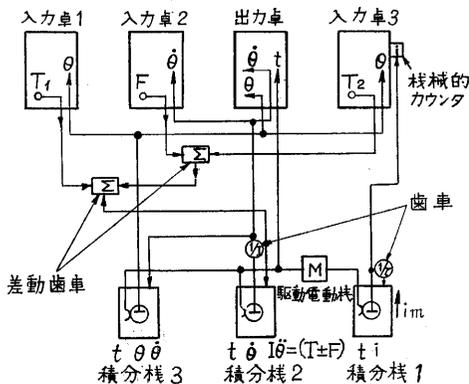
2相励磁に対しては

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_1(\theta, i_m) + T_2(\theta, i) - F \frac{\dot{\theta}}{|\dot{\theta}|} \dots\dots\dots (4)$$

および

$$\tau \frac{di}{dt} + i = i_m \dots\dots\dots (5)$$

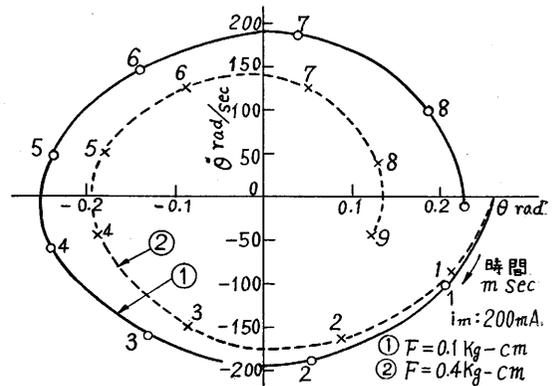
である。ここで T_1 および T_2 は一定の励磁電流 i_m および変化する励磁電流 i に対するトルクであり、 τ は励磁回路の時定数である。これらの方程式は1相励磁においてはそれまでの2相励磁のうちの1相の励磁が瞬間的に断たれ、残りの1相の定常状態にある励磁電流 i_m によるトルクで回転子の運動が生ずることを表わし、2相励磁においては、切換えの瞬間から追加励磁された相の電流が(5)式に示すような指数関数状の変化をすることで、それによるトルクを加えた運動を表わしている。これらのトルク T_1 および T_2 に対しては第11図に示した静的トルク特性の各電流に対する値が用いられる。このような方程式を解くときの微分解析機の結合図は第15図のように示される。入力卓1においては励磁電流 i_m のときのトルク-角変位曲線が、入力卓2においては角速度 $\dot{\theta}$ の正負に応じて $\mp F$ をとる摩擦トルク特性が



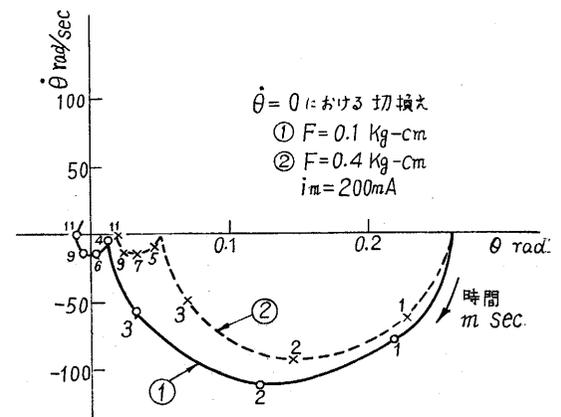
第15図 微分解析機の結合図

光電的曲線追跡装置によって自動的に追跡される。入力卓3においては種々の励磁電流に対するトルク-角変位曲線群がこの入力卓に付置された機械的カウンタに指示される変化する励磁電流の値に応じて手動によって追跡される。入力卓3は2相励磁の場合に対して使用される。積分機は3台使用され、それらの摩擦円盤は駆動電動機によって一定速度で回転される。この回転が時間の尺度を規定する。積分機1においては、その出力が $1/\tau$ の歯車列を介してその入力にフィードバックされており、(5)式のような1次遅れの系を構成している。したがってその出力は電流変化を表わし、それが上記の機械的カウンタに指示される。積分機2の入力には入力卓1~3からの $T_1 + T_2 \pm F$ の信号すなわち(4)式によって $I\ddot{\theta}$ の信号が加えられているから、その出力を $1/I$ の歯車列を通すことによって $\ddot{\theta}$ の信号が得られる。これが積分機3の入力となり、そこで積分されて θ が得られる。これらの θ および $\dot{\theta}$ は各入力および出力卓に加えられている。

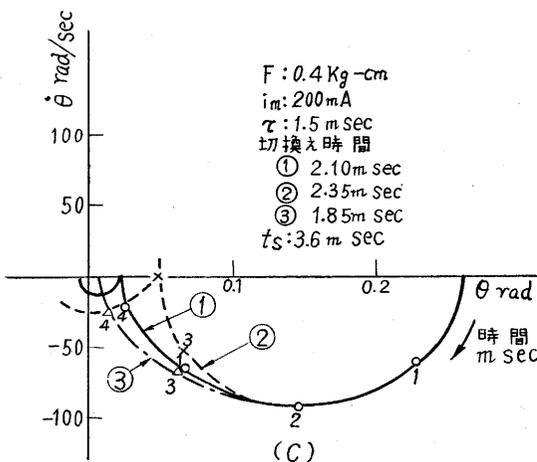
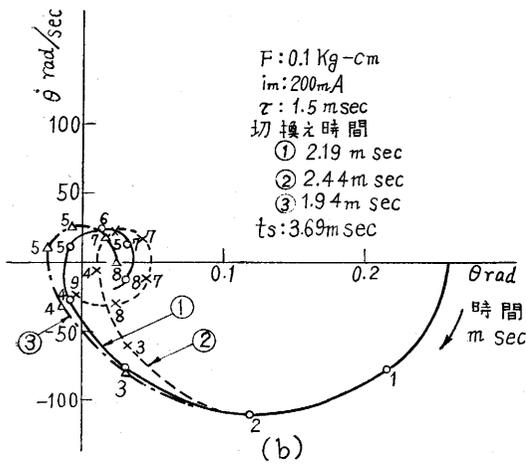
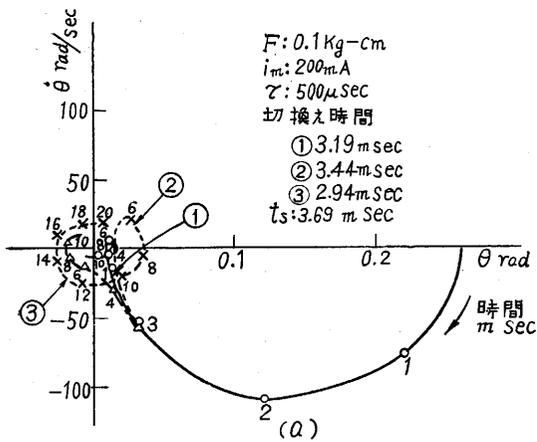
以上のような微分解析機の結合による解析結果は第16~20図に示される。第16図は1相励磁の場合の位相面を示している。これは回転子磁極が固定子磁極のある相に対して1ステップずれた位置から起動するときの経



第16図 1相励磁の場合の位相面



第17図 1相励磁と2相励磁の切換えの場合の位相面 (励磁回路の時定数を無視)

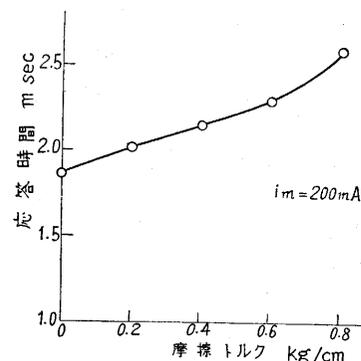


第 18 図 1 相励磁と 2 相励磁の切換えの場合の位相面 (励磁回路の時定数を考慮)

過である。実線と点線は摩擦トルクの異なった場合を示す。いずれの場合も、中立位置のまわりに行過ぎを繰り返すことが分かる。第 17 図は 1 相励磁と 2 相励磁を切り換える場合であるが、励磁回路の時定数を無視して、1 相励磁の角速度が零の瞬間に切換えが行なわれると

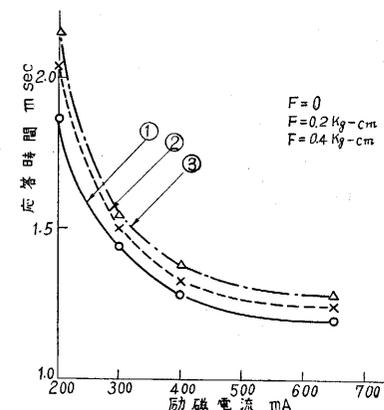
している。これは第 14 図に示した大ざっぱな解析結果とはほぼ同様の経過を示している。ただしこの場合は第 15 図の場合と異なり、回転子磁極が固定子磁極のある相に対して半ステップずれた位置より起動し、その固定子磁極に対し半ステップ行き過ぎた位置で静止することに注意を要する。第 18 図 (a)~(c) は 1 相励磁と 2 相励磁を切り換える場合で、励磁回路の時定数を考慮したときの各種条件における経過を示している。切換え時間としては、1 相励磁で運動開始から速度零になるまでの時間を t_s 、励磁回路の時定数を τ として、 $m \text{ sec}$ 単位で運動開始から $t_s - \tau$ および $t_s - \tau \pm 0.25$ の 3 種類を選んでいる。これらの経過より分かるように、励磁回路の時定数を考慮すると、中立位置のまわりに微小振動を生ずるが、いずれの場合にも切換え時間としては $t_s - \tau$ がだいたい良好な結果を与えている。切換え時間のこの近傍における変化はそれほど顕著な影響を与えないから、その調整にはそれほど厳密さを必要としないといえる。

第 19 図は応答時間が摩擦トルクによってどのように変わるかを微分解析機による解析結果から求めたもので



第 19 図 応答時間と摩擦トルクとの関係

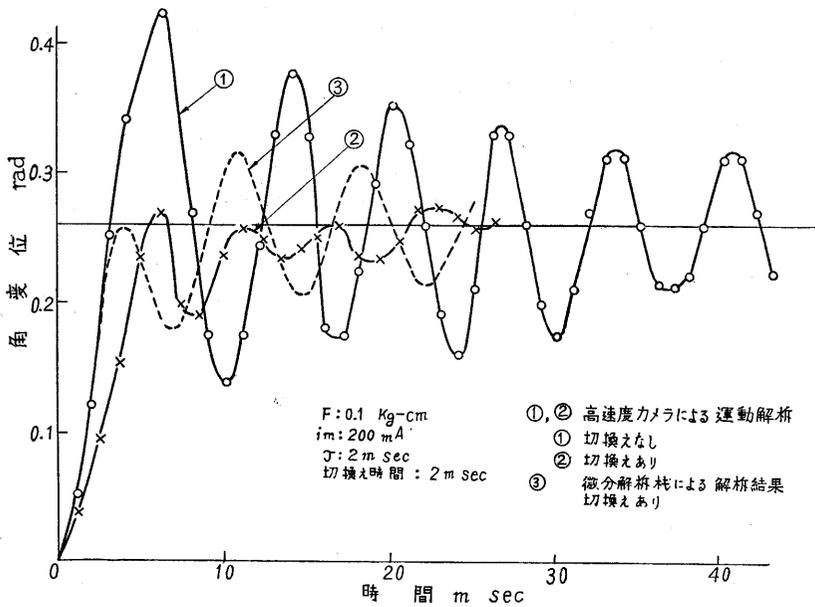
ある。この応答時間というのは 2 相励磁で平衡している位置から、1 相励磁となって回転子が半ステップ運動するに要する時間をそのように呼ぶこととしたのである。この時間の逆数はステップモータが自起動して追従できる入力パルスのパルス周波



第 20 図 応答時間と励磁電流との関係

数の一つの目安になる。第 19 図は予想どおり摩擦トルクが応答を悪くすることを示している。

第 20 図は応答時間と励磁電流との関係を示している。励磁電流の増加による応答の改善は磁気的な飽和によって限定され



第 21 図 高速度カメラによる運動解析

ることが分かる。

以上微分解析機による解析結果を述べたが、実験用モデルによる実際の挙動を求め、微分解析機による解析結果をそれと比較するため、ファスタックス高速度カメラによる運動解析を行なった。第 21 図にその結果を示す。これは一つの入力パルスによる 1 ステップの運動をしらべたもので、図の①は 1 相励磁の場合を、②は 1 相励磁と 2 相励磁の切換えを行なった場合を示す。③は微分解析機による解析結果を比較のために示してある。解析結果と実際の挙動はある程度相違するが、これは解析において渦流によるダンピング（特にこの実験用モデルは回転子を成層構造にしていなから、その影響は大きいと思われる）を考慮しなかった（この項を解析に入れることは容易である）ことが大きな原因と考えられる。このような若干の相違はあるが微分解析機による解析でだいたいの挙動は推定できるということがいえる。そして切換えを伴った駆動方法が乱調防止に有効なことはこの結果からも明らかである。

実験用モデルによる実際の試験においては、突然に加えた 400 pps の入力パルスに自起動し、同期回転においては 1,500 pps まで追従する性能を示している。

信頼度の試験においては、入力パルスの周波数を

200 pps から 1,500 pps まで連続的に変化し、回転子角変位をパルスカウンタの読みと比較したが、ぜんぜん誤差を示さなかった。

む す び

一般に、ステップモータの応答を改善するには、負荷を考慮しなければ、回転子外径をなるべく小さくして、しかも 1 回転のステップ数をできるだけ大きくすることである。励磁電流については磁気回路の飽和を生ずる程度までに大きくすることが望ましい。また励磁回路の時定数を小さくし、回転子を成層構造にすることも有効である。もちろん工作精度の高いこ

とは絶対に必要である。これらの点が考慮されたならば、ここに述べた新しい駆動方法によって、極めて高速なステップモータが実現することが期待される。

終わりに微分解析機の使用に便宜を与えられ積極的な協力を賜った当所渡辺勝助教授および高速度撮影で全面的な援助を受けた同じく植村恒義助教授に深甚の謝意を表す。

(1960. 3. 4)

文 献

- 1) 大島康次郎, 江川 巖, 精機学会昭和 35 年春季大会前刷。
- 2) 大島康次郎, 江川 巖, 第 1 回自動制御連合講演会前刷, No. 213.
- 3) 大島康次郎, 江川 巖, 有川正一, 第 2 回自動制御連合講演会前刷, No. 258.
- 4) 池辺 潤, 金崎尹昭, 自動制御, Vol 6-No. 4, p. 2.
- 5) 池辺 潤, 佐藤拓宋, 自動制御, Vol 6-No. 6, p. 2.
- 6) 岩井鱗三, 岩野 博, Fuji 10 巻 3 号, p. 72.
- 7) 岩井鱗三, 岩野博, 佐藤忠一, Fuji 10 巻 6 号, p. 35.
- 8) A. G. Thomas, Fred, J. Fleischauer, Control Engineering, Jan., 1957, p. 74.