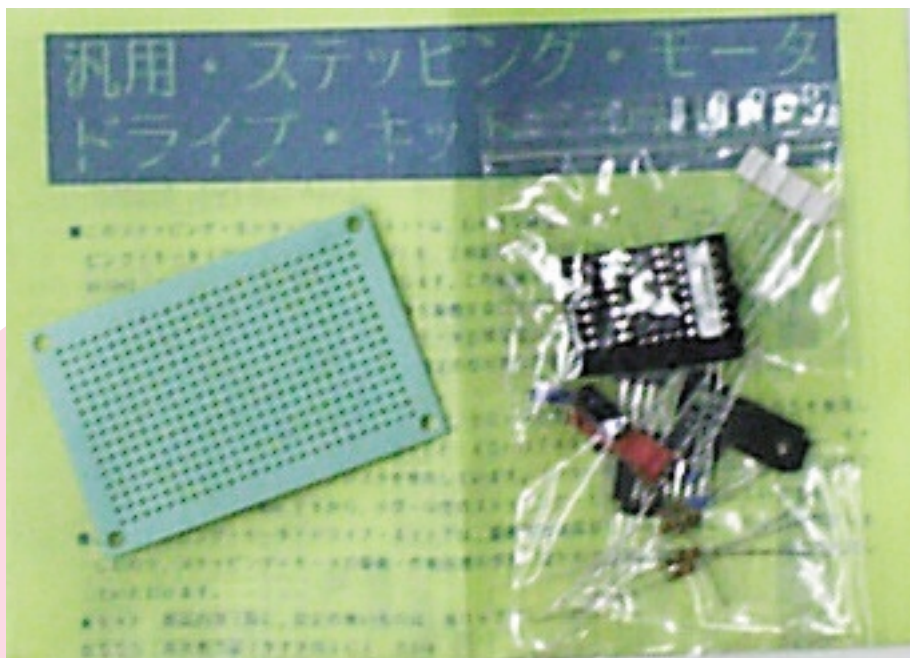


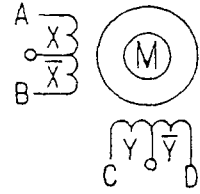
ステッピングモータドライブキット

市販のほとんど全てのステッピング・モータを駆動することができます。



汎用・ステッピング・モータ ドライブ・キット 2相励磁

■このステッピング・モータ・ドライブ・キットは、右の様な構造のステッピング・モータ（コイル電圧2V～24V）を、2相励磁(2-Phase Excitation)、ユニポーラ駆動(Unipolar Drive)します。この励磁・駆動方式は、市販のほとんど全てのステッピング・モータを駆動することができます。



■ステッピング・モータは、一般のAC/DCモータと異なり、ただ電源に接続しただけでは回転せず、駆動コイルに、特定の信号電流が加えられるたびに、定まった角度だけ回転するモータです。

■このステッピング・モータ・ドライブ・キットは、クロックの発振回路にタイマ用IC：555を使用し2相励磁回路にC-MOS Dual D-FF：40H074を使用し、ユニポーラ駆動回路に、4ヶのパワー・ダーリントン型トランジスタを使用しています。（ステッピング・モータの各コイルに供給できる最大電流は、2A max ですから、小型・中型のステッピング・モータの駆動に適しています）

■このステッピング・モータ・ドライブ・キットでは、駆動回路構成がなるべく簡略になるように設計しましたので、ステッピング・モータの駆動・作動原理の学習、諸トルク特性の評価用として、十分に活用していただけます。

★キット 部品内容（特に、指定の無いものは、各1ヶです）

☆555：各社相当品（タイマ用IC） 8pin

☆40H074：各社相当品（Dual D-FF） 14pin （又は、74HC74：各社相当品）

☆8Pin 14Pin ICソケット（上記IC用です）

☆78L05：各社相当品（100mA・5V出力 3端子レギュレタIC）

☆TR1～TR4：詳しくは、本文を参照して下さい

☆W03B（又は、10D1×4）：100V 1Aシリコン・ダイオード

☆3.3KΩ（1/4W）×6；だいたい・だいたい・赤・金

☆1～10KΩ（1/4W） ☆10K～100KΩ（半固定抵抗）

☆68Ω（1/2W）キットには入っていません（ジャンパー線で代用）

☆10μF～470μF（25V以上）；電解コンデンサ（回路全体のバイパス・コンデンサ）

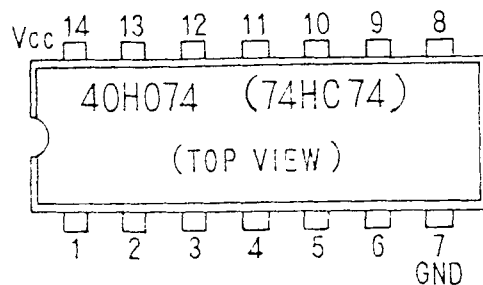
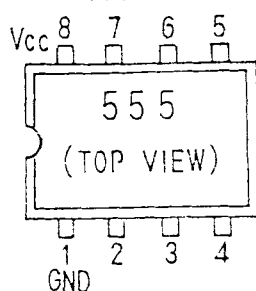
☆0.01μF～0.1μF（12V以上）；セラミック・コンデンサ（3端子レギュレタの発振防止用）

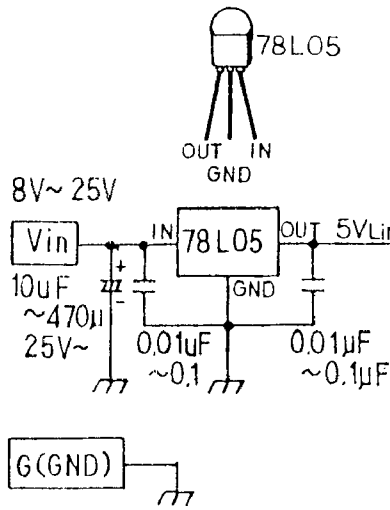
☆0.1μF～100μF（6V以上）；タンタル又は、電解コンデンサ（555のクロック発振用）

→標準としては、1μF～10μFです

☆専用基板 ボードNo.AE-386 サイズ：47×72mm

★両ICのピン配置とも、上から見たときの図です（TOP VIEW）。

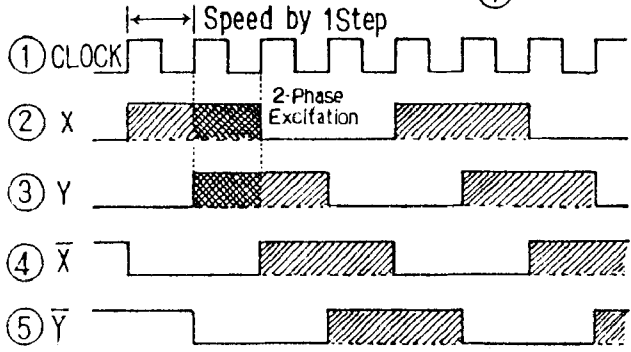
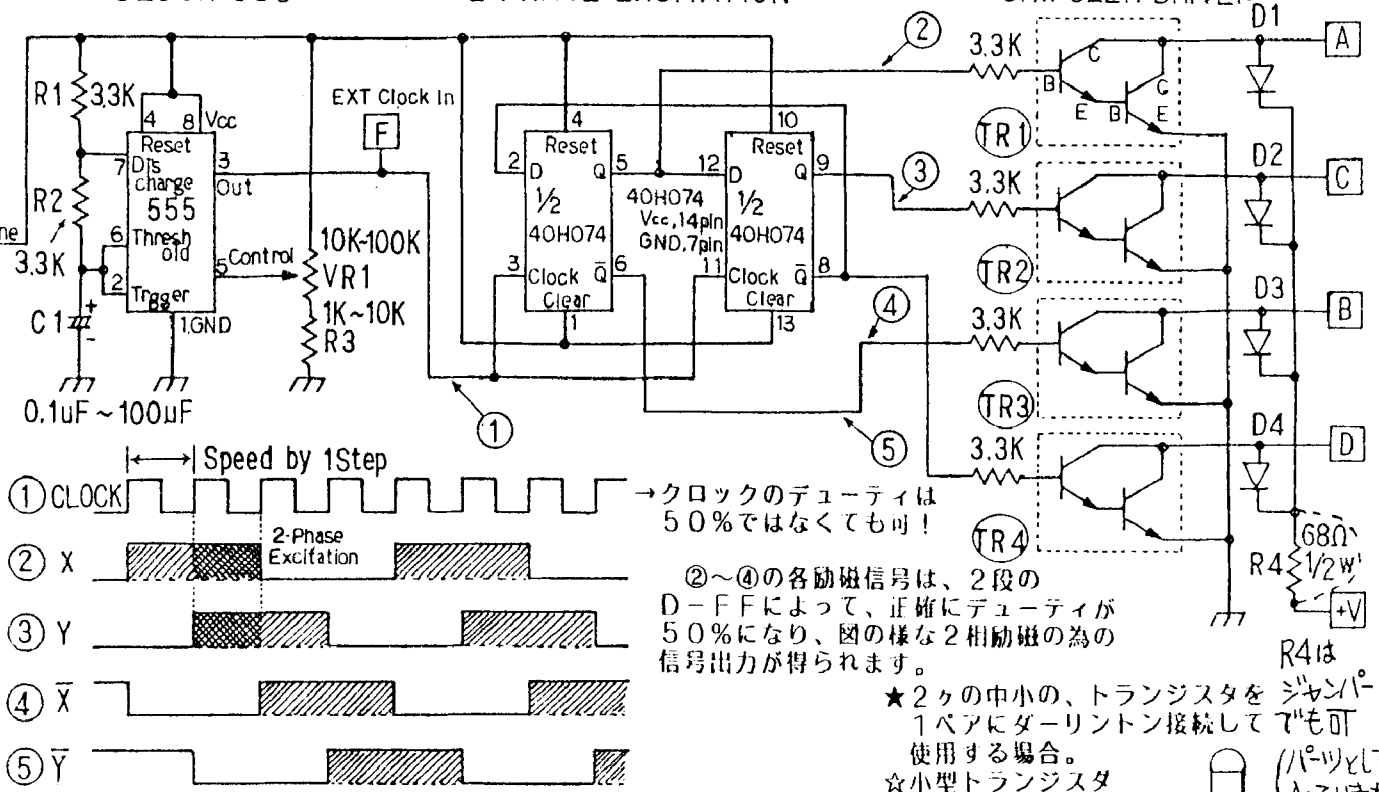




CLOCK OSC

2-PHASE EXCITATION

UNIPOLAR DRIVER



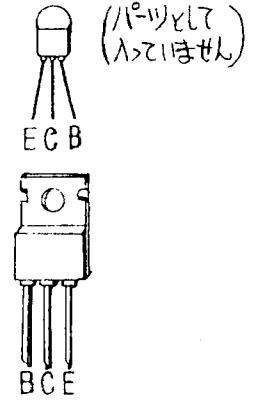
→クロックのデューティは50%ではなくても可!

②~④の各励磁信号は、2段のD-FFによって、正確にデューティが50%になり、図の様な2相励磁の為の信号出力が得られます。

R4は

★2ヶの中小の、トランジスタをジャンパー1ペアにダーリントン接続してアモク使用する場合。

- ☆小型トランジスタ
2SC, 2SD型
[NPN]タイプ
VCBO : 50V以上
Ic : 100mA以上
Pc : 500mW以上
hfe : 50以上
- ☆中型トランジスタ
2SC, 2SD型
[NPN]タイプ
VCBO : 50V以上
Ic : 2A以上
Pc : 30W以上
hfe : 50以上



[回路の説明]

- 555の発振部(CLOCK OSC) : R1・R2・C1で決定された発振周波数を、VR1で可変します。このVRで、低速から高速まで、ほぼ4倍の速度変化をさせることができます。R3は、VR1をしばらく切った場合に、555のコントロール端子が直接GNDにならないように入れてあります。R3の値は、VR1のはほぼ1/10です。(例、VR1が10KΩなら、R3は1KΩ程度です)
- 2相励磁信号発生回路(2-PHASE EXCITATION) : D-FFを2段使用し、波形①のクロックから、②~⑤の様な、それぞれ90°位相のずれた2相励磁信号を作り出しています。ステッピング・モータが1ステップ進むスピードは、クロックの立上がりから、次の立上がりまでの時間と一致しています。
- ユニポーラ駆動部(UNIPOLAR DRIVER) : 2相励磁信号を受け、ステッピング・モータの各コイルを駆動するための電流を供給します。ここでは、パワー・ダーリントン型トランジスタ、又は、中小のトランジスタ1ずつをダーリントン接続し、電流増幅をします。
各トランジスタのコレクタに接続されているダイオードは、コイルに電流が流れた瞬間に発生する逆起電圧を吸収(フライ・バック)するためのダイオードです。R4は吸収電流制限用として入っています。(この機能は、+V端子をモータの駆動電源のプラス側に接続することによって働きます。忘れずに!)

①ジャンパJ1・J2が有りますので、まず最初に取付けて下さい。特に、J1はICソケットの下なので、後からの取付けはできません。注意して下さい。

②トランジスタ：TR1～TR4について

a：中小2ヶのTRを使用していただく場合は、初段に小型TRを、次段に中型TRを取付けて下さい。

(中小のTRをダーリントン接続して使用します)

b：ダーリントン型TRを使用していただく場合は、初段のTRは不要ですから、初段のTR部分のE-Bをそれぞれジャンパして下さい。※ダーリントン型TRには、中小2ヶのTRが1パッケージに入っています

★C1とクロック発振周波数の関係

(0.1μF：600～2400pps)

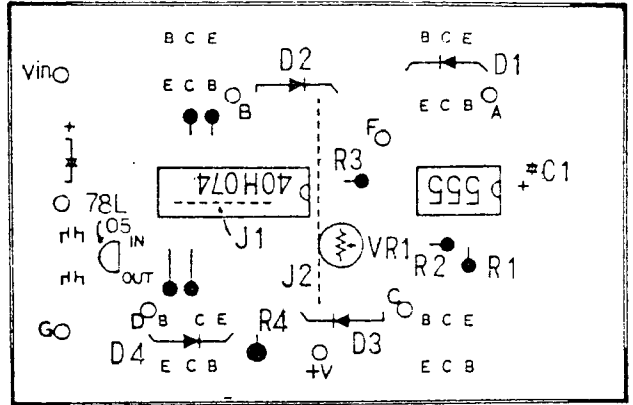
1μF：60～240pps

10μF：6～24pps

(100μF：0.6～2.4pps)

→キットには、この範囲内のコンデンサが1ヶ入っています。

pps (Pulse Per Second)とは、1秒あたりのパルスを示します。



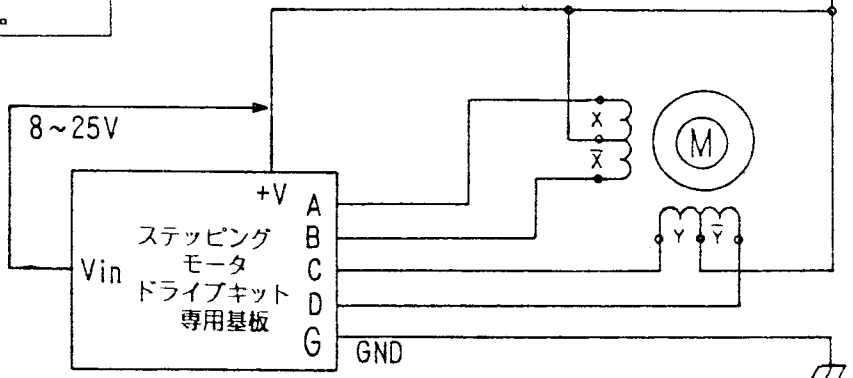
●のシンボル・マークは、立て型の抵抗を意味しています。

※必ず回路図を読みながら(理解しながら)製作して下さい。(油断は禁物です!)

ステッピング・モータ駆動用電源

(使用するステッピング・モータに合わせて下さい)

モータの駆動電圧が、8V～25Vの場合には、ドライブ回路との電源の共用ができます。それ以外の場合は、下記を参照して下さい。



[電源について] 8V～25Vの場合には、回路図どおり3端子レギュレタを使用して下さい。

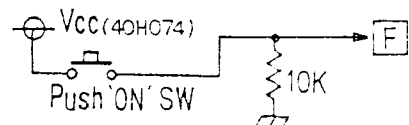
①4.5V～8Vのステッピング・モータを使用し、モータの電源と共用する場合は、3端子レギュレタを使用せず、レギュレタICのOut端子から電源を供給します。この場合、555の発振周波数の安定度が多少悪化しますが、実用上問題にはなりません。

②4.5V以下のステッピング・モータを使用する場合は、ドライブ・キットとの電源の共用ができませんので、別に8V以上の電源(特に、安定化の必要は有りません)を用意して下さい。(尚、4.5V～8Vの安定化電源を利用できる場合は、①のようにして下さい)

[外部からクロックを入力する場合] 555をソケットからはずします。これによって、40H074のクロック入力オープンになります。外部クロックはF端子から入力します。

①C-MOSレベルのクロック入力について：クロック・オシレータ等のクロック源を使用すれば、正確にステッピング・モータの回転速度を制御できます。

②マニュアル・パルス入力について：右図のようにすれば、Push SW を1回押すたびに、1ステップだけ回転します。



[回転方向の切替え] A-B(又はC-D)の接続を逆にすれば、回転方向は逆転します。この切替えには2回路2接点のSWを使用すると便利です。(6PのダブルSW、又はスライドSWなど)

[ステッピング・モータについて]

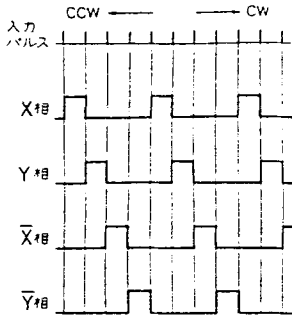
ステッピング・モータは、一般にステッパー・モータ、又はパルス・モータという名称が有りますが、このモータの最大の特徴は、パルスによってデジタル的に制御が出来るという点に有ります。これはフィードバック無しで、決められた角度を回転し、高精度で停止することが出来るからです。また停止時に於いても他のモータと異なり、大きな保持（静止トルク；ホールディング・トルク）を持っています。

具体的な特徴を列記すると、

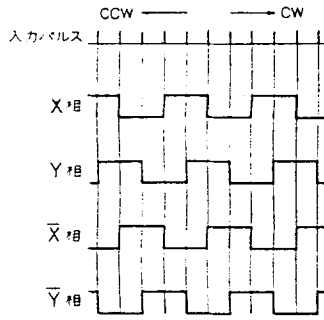
- ①モータの総回転角は、入力パルスの総数に、正確に比例します。
- ②モータの回転速度は、1秒間当りの入力パルス数（パルス・レート）に、正確に比例します。この単位としてpps (Pulse Per Second)を用います。他のモータのように、単位時間当りの回転数は使いません。
- ③回転角誤差は、各ステップ毎に蓄積されません。

★励磁方法

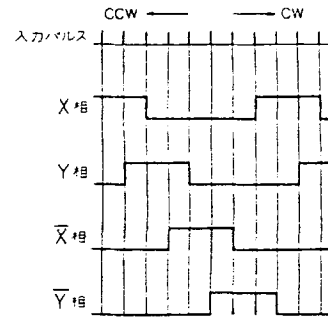
- ①1相励磁(Single Phase Excitation)；1相のみを励磁し、消費電力が少ない。得られるトルクは少ない
- ②2相励磁(2 Phase Excitation)；2相を同時に励磁し、消費電力は多いが、大トルクを得られる。
- ③1-2相励磁(Half-step Excitation)；ステップ角は、1/2 になるため、なめらかな回転が得られる。



① 1相励磁方式



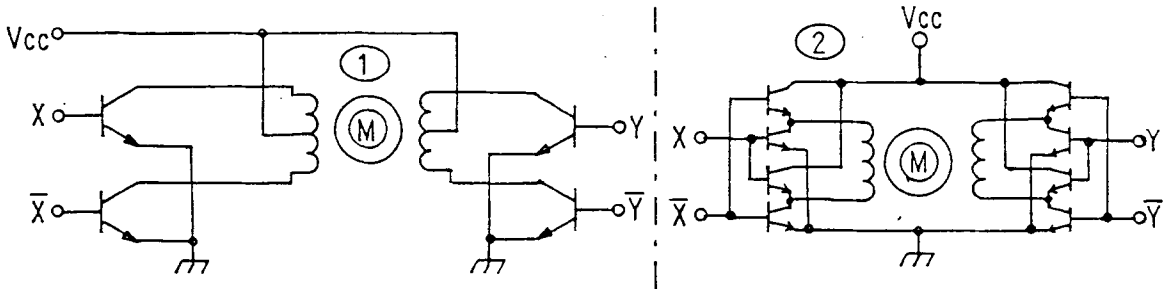
② 2相励磁方式



③ 1-2相励磁方式

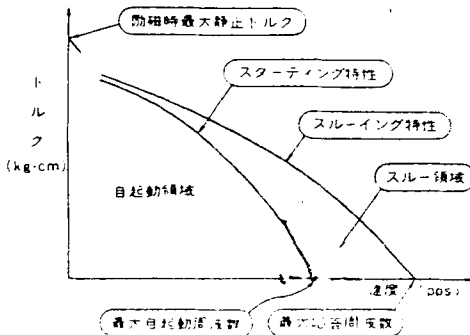
★駆動方法

- ①ユニポーラ・駆動(Unipolar Drive)；駆動回路が簡単のため広く用いられている。
- ②バイポーラ・駆動(Bipolar Drive)；駆動回路が複雑になるが、モータ巻線が有効に利用され、大トルクが得られる。



★ステッピング・モータに関する用語

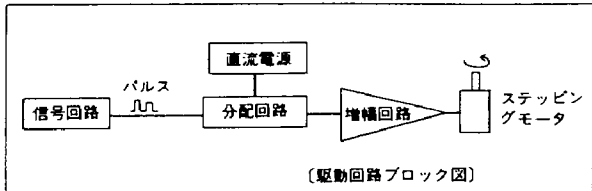
- ①CW(Clock Wise)；時計方向回り CCW(Counter Clock Wise)；反時計方向回り
- ②ステップ角；度(DEG) / Phase で示します。1パルス当りの回転角度を意味します。
- ③最大起動（出力）トルク；一般には、10ppsで励磁した時に得られるトルク（単位；g・cm）
- ④静止（保持）トルク；いずれかの相を、静的にDC駆動している時に得られるトルク（単位；g・cm）
- ⑤この他に、様々な特性を示す用語が有るので、下記のグラフを御覧下さい。



★ステッピング・モータの参考データとして、みじかなものにトランジスタ技術1986年5月号があります

■ステッピングモータの駆動回路

ステッピングモータは、通常のインダクションモータ、直流機等の様に交流又は直流電源を直接用いて駆動させることが出来ません。これを駆動させるためには、モータ巻線の励磁電流を順次切換える等のためのドライバが必要となります。ドライバは、周波数の可変、起動、停止、正逆回転のためのパルスを出力させる信号回路、相又は励磁方式により、相励磁電流を切換える分配回路、モータを駆動するのに必要な電流を増幅する増幅回路をして、モータ及び回路駆動用電源より構成されます。したがってステッピングモータの特性は、励磁方式ならびに増幅回路の回路条件により大きく影響を受けますので回路の検討もモータ以上に注意する必要があります。次項に一般的な駆動方法及び駆動回路を紹介致します。



●駆動方法とその特徴

モータ巻線の励磁する相の状態によって次のように分類されます。

(1)ユニ・ポラ駆動(Uni-Polar Drive)

モータ巻線に流れる電流の方向が常に一定で、巻線は励磁される相数分必要となり、もっとも一般的な方法です。

(2)バイ・ポラ駆動(Bi-Polar Drive)

モータ巻線に流れる電流の方向が両方向となりますので、巻線は、励磁される相数の半分で済み、ユニ・ポラより、コイル利用率が高い、但しVRタイプステッピングモータには使用されません。

(3)1相励磁方式(1Phase Exciting Method)

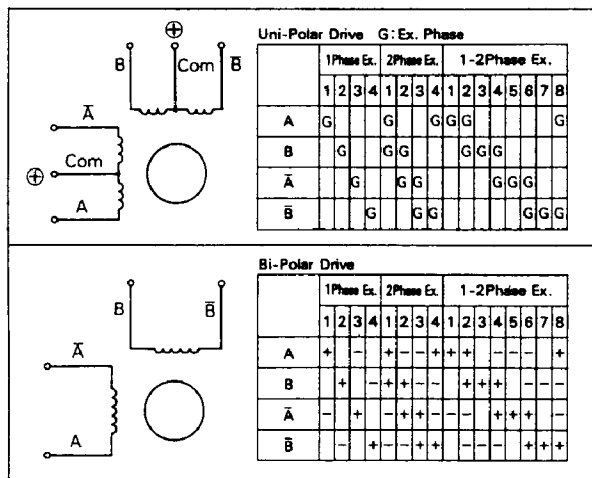
励磁されるべき相について、常に1つの相だけ順次励磁も切換えていく方式で入力に対するトルクは大きく、角度精度に優れている反面ダンピング(減衰振動)が大きく、セtringタイム・振動・騒音は比較的大きい。

(4)2相励磁方式(2Phase Exciting Method)

常に2つの相について、励磁を切換えていく方式で、入力は、1相時の倍となるが、ダンピングに優れており、その制動効果により、セtringタイム・振動・騒音は比較的小さい。

(5)1-2相励磁方式(1-2Phase Exciting Method)

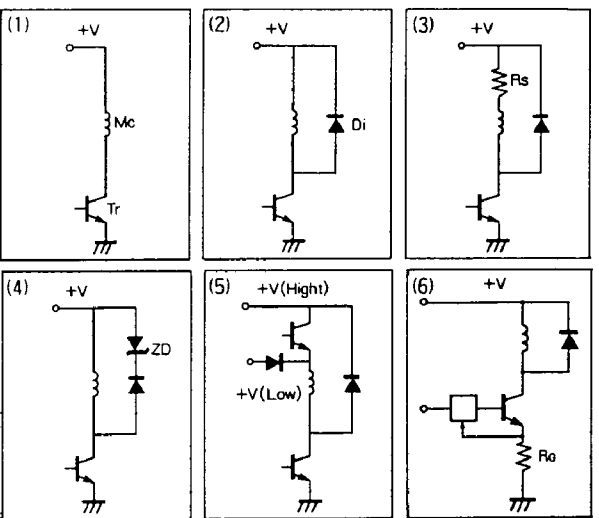
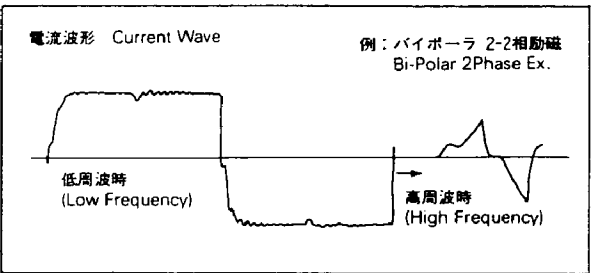
1相及び2相励磁を組合せた方式で、入力は、その中間値となり、又、1相と2相の磁気的安定性の違いからステップ角度は1相又は、2相励磁の半分で、応答周波数は倍となります。



●駆動回路の基本形

ここでは、ステッピングモータに電力を供給するパワー部の出力手段をいいます。モータの発生トルクは、巻線巻回数と電流との積の二乗に比例し、モータが決まれば、後はいかに効率よく巻線に励磁電流を流すかによって、性能は大きく変わります。つまり励磁電流は、駆動時の電流の立ち上がり、巻線インダクタンスの遅れにより、抵抗とインダクタンスにのった鋸切歯状の

電流となり、又、ある周波数以上になると、励磁電流が定常値になる前に切れると共に高周波におけるインダクタンスによる内部インピーダンスの増加が実効電流の減少を来し、磁束密度が低くなり、トルクが減少する。このことから、回路手段によっては、モータの入力電流の改善となり、ひいては、モータの性能を改善することが可能となります。



Mc: モータコイル(Motor Coil)
Tr: トランジスタ(Transister)
Di: バックダイオード(Diode)
ZD: ツェナーダイオード(Zener Diode)
Rs: 外部直列抵抗(External Resistance)
Ra: 電流検出抵抗(Current Detecting Resistance)

(1)回路1

固定子巻線に発生する逆起電力を吸収できず、トランジスタが破壊されます。したがって、高耐圧のトランジスタを使うか、応答性を犠牲にして駆動パルスを傾斜のゆるやかな波形とする必要があります。この方法は通常使われません。

(2)回路2(バックダイオード方式)

固定子巻線に発生する逆起電力はダイオードを通し巻線内を循環することにより吸収され、トランジスタは保護されますが、この循環電流による制動効果により、応答性が悪くなりますがダンピング特性は改善されます。

(3)回路3(外部直列抵抗方式)

これは、固定子巻線と直列に外部抵抗を挿入し、電気的時定数でL/R(電流の立ち上り)を改善し、より多くの電流を流そうというものです。電源容量の増大及び抵抗による消費は、効率の低下と発熱の原因となります。

(4)回路4(ツェナーダイオード方式)

トランジスタの許容されるコレクタ逆耐電圧より微か下のツェナーダイオードの電圧を設定します。これにより、トランジスタを破壊するような大きい逆起電圧は、Di, ZDを通し、巻線を循環し吸収されます。それ以下の逆起電圧は循環しませんが電流の流れが良くなり、応答性が改善されます。

(5)回路5(2電圧電源方式)

これは、直列抵抗方式の抵抗の代わりにトランジスタ Tr を挿入し、入力パルスの立ち上がり時このトランジスタをONして、高電圧を供給して、電流の立ち上りを改善したもので、やはり、応答性を良くします。スタート時は、相切換え用トランジスタのいずれか1つのペー

スと同時に信号を供給して起動し、起動後適当な時間において、TrをOFFとし、高電圧より低電圧に切換え、発熱を防ぎます。

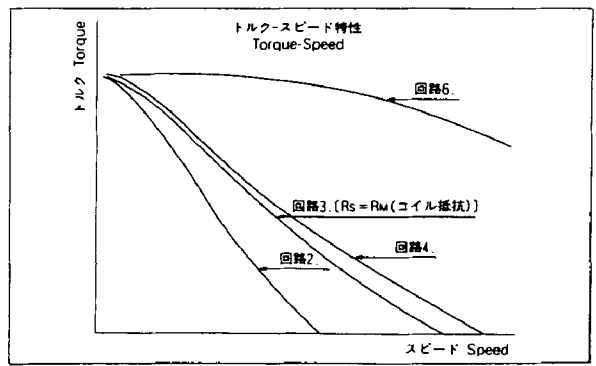
(6)回路6 (定電流チョップ方式)

これは、直流電圧を非常に速い周期でトランジスタをON-OFFさせ、最初に流れ込んだ電流を常に定電流になるように保持させる方式で高効率・高トルク・スピード特性が得られます。

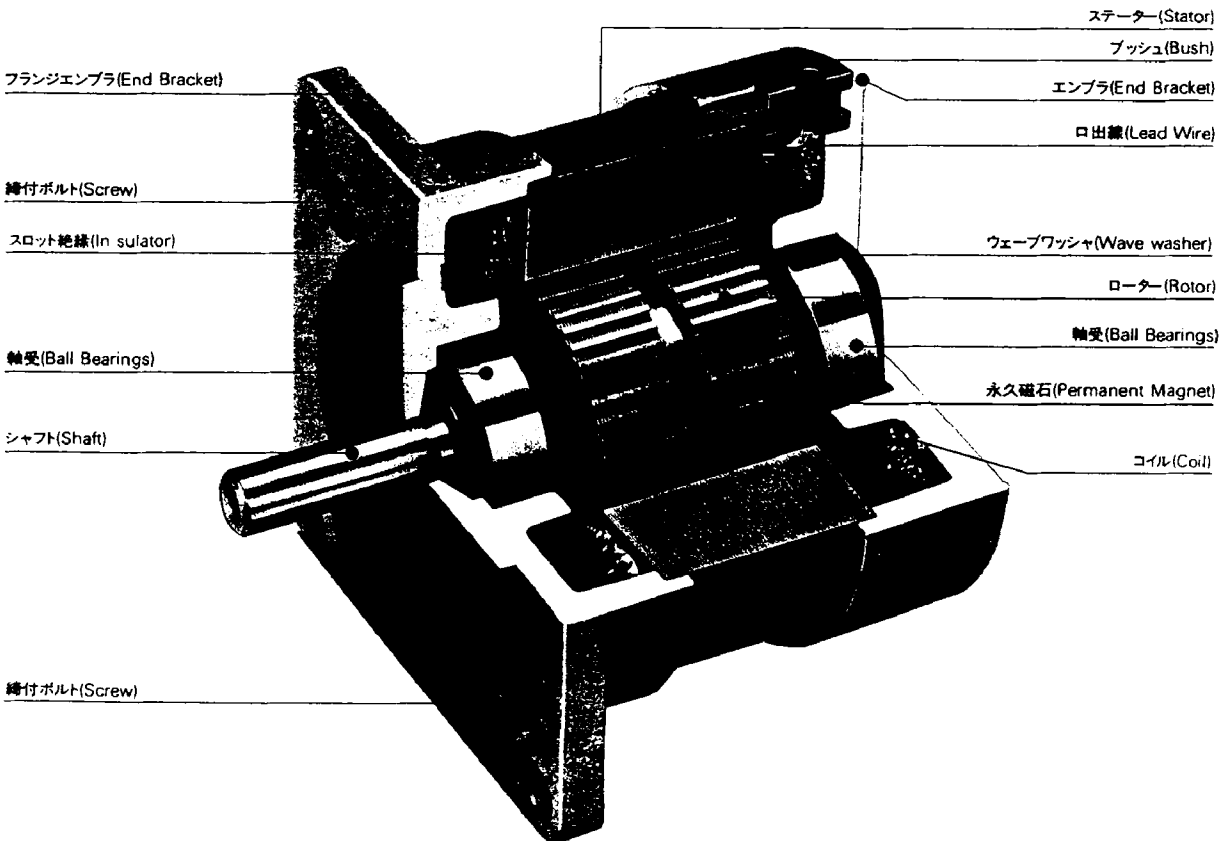
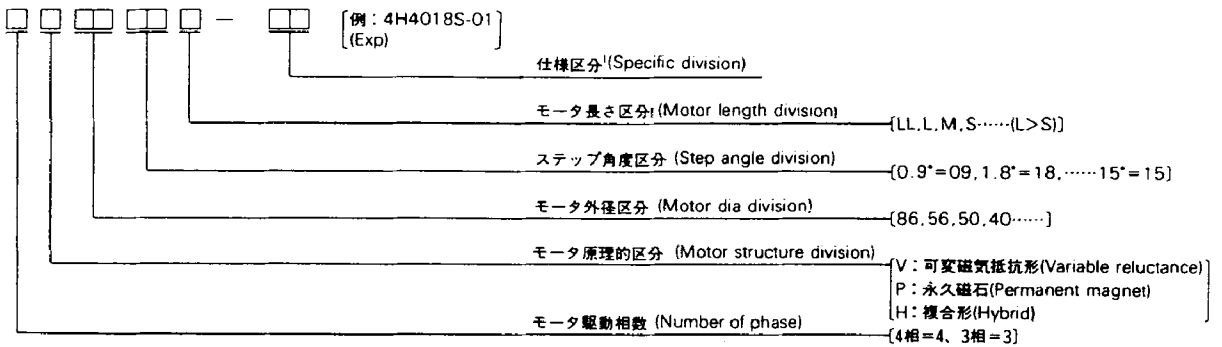
但し、チョッピング周波数が駆動周波数域内であると、トルクが不安定となり、チョッピング周波数付近で落ち込みを生ずることがあるので、チョッピング周波数は、駆動周波数より大きくする必要があります。

(7)駆動回路による特性の違い

モータの特性は、前述回路の方式により図のように変わって参ります。



■形式・指定名称と構造名称



■ステッピングモータについて

ステッピングモータは、駆動回路に入力されたパルス信号によって固定子巻線への励磁電流を切換えることによりモータで決まる所定の回転角度で回転するモータです。又最近の自動化・省力化と相まってエレクトロニクス技術の進歩に伴いデジタル量で簡単に制御できます。ステッピングモータの制御の容易性、確実性により動力源として、電算機周辺端末機器をはじめ工作機械等一般産業用として、さまざまな分野に広く使用されております。

■ステッピングモータの特徴

- (1)入力パルス周波数に比例した回転角度及び速度が得られます。
- (2)入力パルスに対する応答性がよく、回転角度、速度、正逆回転、起動停止がデジタル量で正確・迅速なおかつ簡単にオープンループ制御が出来ます。
- (3)高精度・高保持力が得られ位置制御が容易となります。又、角度精度は、累積されません。
- (4)部品点数が少なく寿命は軸受けだけで決まるので、保守の必要がなく、高信頼性が得られます。

■ステッピングモータの用途

ステッピングモータは、その特徴を活用した位置決め、回転角度、回転速度、追従制御等により、次のような用途に役立っています。

- (1)電算機周辺機器として
 - フロッピーディスク及び固定ディスク装置のヘッド送り。
 - プリンターのキャリッジ及び紙送り
 - タイプライターのキャリッジ、紙送り及び印字選択用。
 - ファクシミリのスキャニング及び紙送り。
- (2)各種産業機器として
 - XYプロッター／(図形出力のX・Y軸駆動)
 - XYテーブル／工作機械のX・Y軸駆動、精密測定器の割り出し、放電加工機の電極昇降、工業用ミシンの裁断、縫製
 - 工業計器／バルブ開閉
記録計
積算計
表示装置

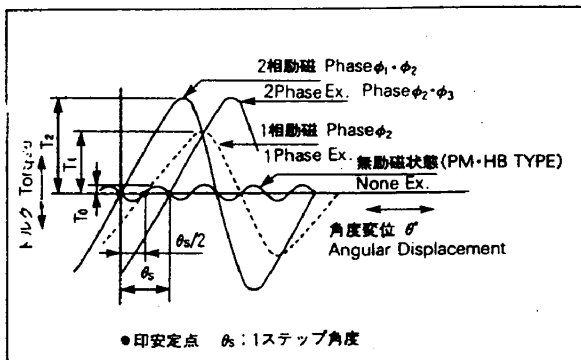
■ステッピングモータの用語説明

●原理的分類 (Operating Principle)

- (1)VR TYPE：可変磁気抵抗形 (Variable Reluctance Type)
電磁軟鋼で作られた突極部(歯部)を有する回転子(ロータ)と巻線を有する固定子(ステータ)との電磁吸引力(ロータが、磁路のリラクタンスの最少となる位置に回転するトルク)を応用したモータをいいます。
- (2)PM TYPE：永久磁石形 (Permanent Magnet Type)
径方向に極(N極、S極)を配列させた、永久磁石ロータと巻線を有する固定子間の反発・吸引力を応用したモータをいい、無励磁状態でも保持トルクを有しています。
- (3)HB TYPE：複合形 (Hybrid Type)
上記VR及びPM形を複合させた構造で、軸方向に着磁される永久磁石とこれをハサミ込む形で径方向に突極部を有するロータと巻線を有するステータとの電磁力による反発・吸引力を応用したモータをいいPM形と同様保持トルクを有しています。

●静特性 (Static Characteristics)

静止状態で時間に無関係な特性をいいます。



(1)角度-トルク特性 (Step Angle-Torque Characteristics)

これは、固定子巻線の励磁状態において、回転子中心に外部トルクを加えたとき変位する回転角度とそのトルクの間を言います。PM及びHB形の場合、永久磁石による保持力があるので、無励磁状態においても同様の関係があります。

外力を取り去ったとき、角度変位が零の点(安定点)に戻りますが、この安定点に戻ろうとする復元力と変位との変化率が、いわゆる動特性、静止位置精度、ダンピング特性に大きく影響致します。

又、図中に示すように、2相及び1相励磁状態における、磁気的安定点が1ステップ角度の半分の位置となり、1-2相励磁におけるハーフステップ駆動の成るがゆえんです。

(2)静止最大トルク (Holding Torque)

固定子巻線の励磁状態において、出力軸に発生するトルクで角度変位をさせる外部トルクに耐えうる最大のトルクをいい図中T1(1相励磁状態)及びT2(2相励磁状態)で示す。

(3)ディテントトルク (Detent Torque)

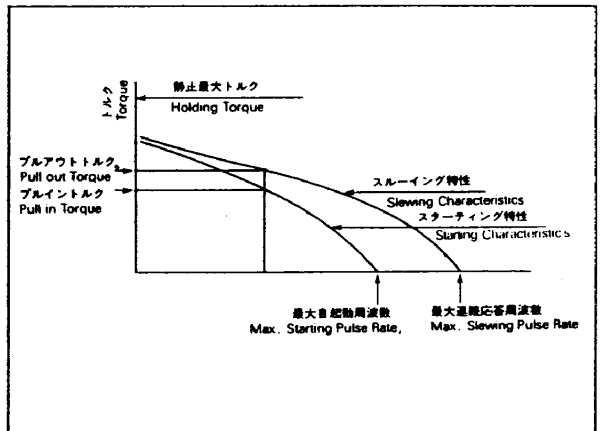
PM及びHB形のように回転子に永久磁石が使用されているモータについて、無励磁状態で出力軸に発生するトルクをいい図中T0で示される。

(4)角度精度 (Step Angular Accuracy)

後段に記載とします。

●動特性 (Dynamic Characteristics)

ステッピングモータは、(入力信号パルス)によって、起動・停止及び連続的に駆動されるが、このときの特性をいいます。



(1)自起動又はスターティング特性 (Starting Characteristics)

入力周波数に同期して起動出来るモータの発生トルクとその入力周波数との関係をいいます。

(2)最大自起動周波数 (Max. Starting Pulse Rate)

自起動特性において無負荷時自起動出来得る最大の周波数をいいます。

(3)プルイントルク (Pull-in Torque)

自起動特性のある入力周波数に同期回転し、起動出来るモータの最大の発生トルクをいいます。

(4)連続又は、スルーイング特性 (Slewing Characteristics)

自起動はできないが、自起動特性範囲内で起動し同期回転にあるモータの入力周波数を漸増していったときに同期をはずれるまでの範囲のトルクと周波数との関係をいいます。

(5)最大連続応答周波数 (Max. Slewing Pulse Rate)

連続特性において、無負荷時同期回転でき得る最大の周波数をいいます。

(6)プルアウトトルク (Pull-out Torque)

連続特性のある入力周波数に同期回転できるモータの最大の発生トルクをいいます。

(7)ダンピング特性又は1ステップ応答 (Damping Characteristics or 1step Responce)

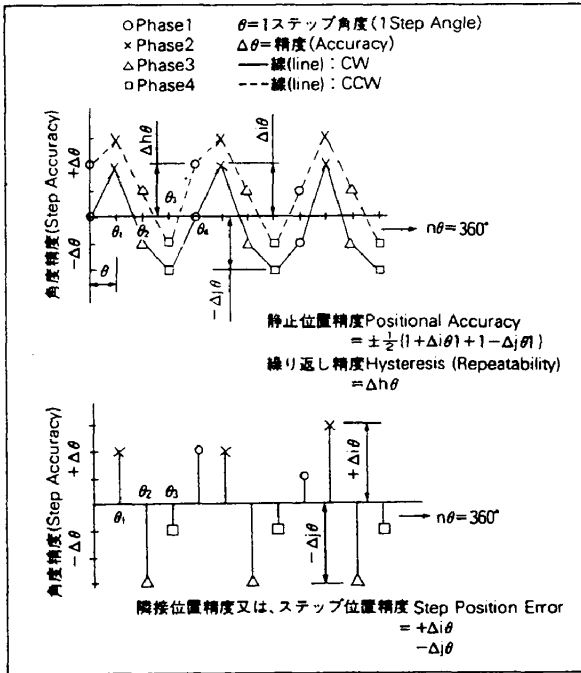
後段に記載とします。

(8)共振周波数 (Resonant Frequency)

ステッピングモータの動作は過渡現象(減衰振動)の連続で、回転子の固有振動数とある入力周波数において共振する場合があります。このとき振動が大きくなったり同期逸脱によるハンチング及び停止の状態となります。一般的に低周波数域に起り易く又、慣性負荷の増大に伴い、低い周波数の方に移動します。

●角度精度(Step Angular Accuracy)

角度について、材料・工作上等から少なからず誤差を生じこれが角度精度の原因となり、次のように一般的に定義されております。



(1) 静止位置精度 (Positional Accuracy)

これは、モータの軸において、任意の位置より360度の範囲で1ステップずつ送ったときに、理論的な位置と実際の位置の差の最大中での、この1/2で表わされる。又、累積のないことを特徴としています。

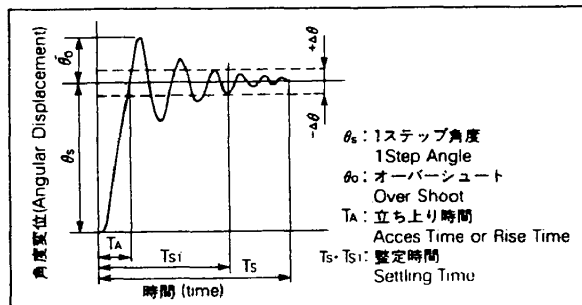
(2) 隣接位置精度 (Step Position Error)

これは、モータの軸において、任意の位置より360度の範囲で1ステップずつ送ったとき、実際の隣接するステップ毎の位置と設定されたステップ位置(角度:たとえば1.8° or 3.6°)との差で表わされます。

(3) 繰り返し精度 (Hysteresis)

これは、上記静止位置精度における、往きと帰りの最大のズレ量を言います。

●ダンピング特性又は1ステップ応答(Damping Characteristics or 1 Step Response)
 ステッピングモータが停止する場合直ぐには停止せず自身又は、負荷によるイナーシャのため減衰振動を伴いながら停止に到ります。



(1) オーバーシュート θ_0 (Over Shoot)

これは、停止時、慣性により行き過ぎる変化量を言います。

(2) 立ち上がり時間 T_A (Access Time or Rise Time)

これは、次ステップ(1ステップ分)移動に要する時間を言います。

(3) 整定時間 T_s, Ts_1 (Settling Time)

これは、減衰振動が終息する時間をいい、完全に終息した状態(T_s)及びある有効範囲(+ $\Delta\theta, -\Delta\theta$)迄に終息した状態(Ts_1)で表わします。 いずれも負荷条件(慣性・摩擦等) 駆動方法合めた入力条件などで、大きく影響されます。

ダンピング特性は、駆動回路・方法などを含めた入力条件及び慣性などの負荷条件により大きく変わり、これが動特性・振動・共振など諸特性に影響を与えます。図はそれぞれの条件におけるダンピングの状態を示します。

(イ)基本モデル:ユニポーラ2相励磁、ツェナーダイオード回路(駆動回路基本形による)(ロ)バックダイオード回路 (イ)過電圧 (ニ)不足電圧 (ホ)1相励磁 (ヘ)慣性負荷 (ト)摩擦負荷(低負荷) (チ)摩擦負荷(高負荷) (リ)機械的ダンパー(マグネットダンパー・オイルダンパー) (ス)電子的ダンパー (ル)共振周波数域における2ステップ応答のダンピング波形

