

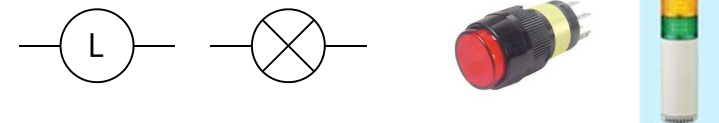
2.2 各種負荷装置

41

表示用機器

1) ランプ

定格電圧をかけると動作する。かける電圧を調節することにより明るさを変化させることはできるが、機械制御ではこのような制御は行わない。



2) 発光ダイオード(LED)

電流制限抵抗を接続し、+から-に定められた電流を流すと点灯する。電源電圧およびLEDの順方向電圧から抵抗値を決める。



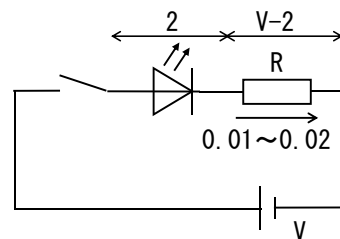
42

発光ダイオードの駆動

発光ダイオード (LED) に順方向電圧 V_f をかけ、順方向電流 I_f が流れると発光する

V_f 、 I_f はLEDによって定められており、一般的には
 V_f : 2V (赤、橙、緑など)、3.5V (青、白)、
 1.4V (赤外線)
 I_f : 約10~20mA

発光ダイオードに V_f がかかり、その時に I_f が流れるようにする。そのために、電流制限抵抗を用いる
 $R = (V - V_f) / I_f$

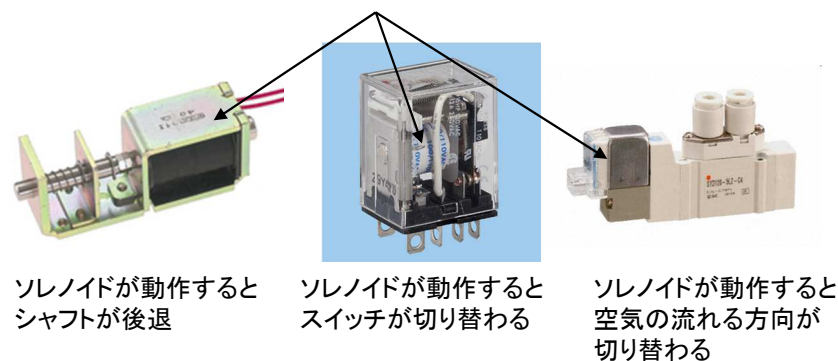


43

ソレノイド(コイル、電磁石)

鉄心にエナメル線を巻いて電磁石にしたもの。直動アクチュエータ、電磁弁、リレーコイルなどで使われる。

ソレノイド(電磁石)



ソレノイドが動作するとシャフトが後退

ソレノイドが動作するとスイッチが切り替わる

ソレノイドが動作すると空気の流れる方向が切り替わる

44

ソレノイドの制御

3)ソレノイド(電磁石、コイル)

鉄心にエナメル線を巻いて電磁石にしたもの。

直動アクチュエータ、電磁弁、リレーコイルなどで使われる。

ソレノイドは、ON/OFF制御がほとんど。

定格電圧をかけると動作する。かける電圧を調節することにより強さや変位などを調節することができる。

直動ソレノイドや電磁弁などでは、電圧を変化させることによって変位やバルブ開閉度を制御することができる。

この制御方法の一つとして、駆動信号としてパルス信号を送り、デューティ比で変位や開閉度を制御する(PWM)



45

油空圧機器

制御装置(自動化装置)には様々な油空圧機器が使われる。

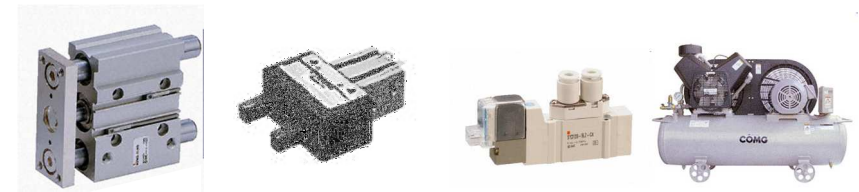
・・・制御が簡単、容易に扱える

油圧 : 大きな力を出せる(10t以上も可能)

汚れる、扱いが困難

空気圧 : 扱いが簡単、きれい、容易に圧縮空気を作る

大きな力を出せない(おおよそ1000kgf以下)



46

空気圧機器の動作

コンプレッサ : 圧縮空気を作る

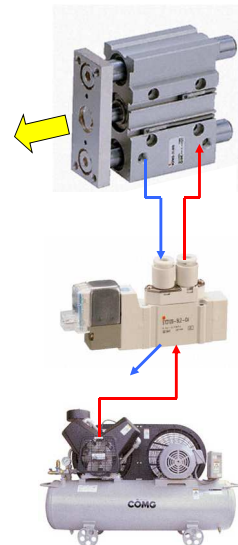
方向制御弁 : 空気の流る方向を切り替える

シリンダ : 圧縮空気によりロッドが前進後退する

コンプレッサで作られた圧縮空気が方向制御弁によりシリンダの後方から入る



シリンダ前進



47

空気圧機器の動作

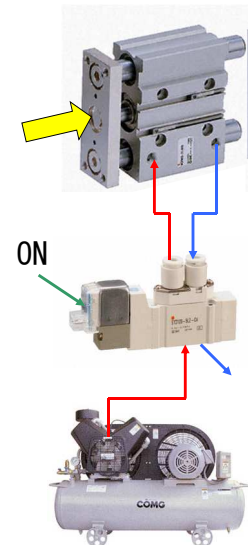
方向制御弁を動作させると空気の流る方向が切り替わる

ソレノイド、ON

コンプレッサで作られた圧縮空気が方向制御弁によりシリンダの前方から入る



シリンダ後退



48

モータ(電動機)

モータの回転原理として電磁力（フレミング左手の法則）を使ったものと、磁力（引力、斥力）を使ったものがある。

電磁力を使ったもの：交流誘導モータ
磁力を使ったもの：直流モータ、ステッピングモータ
ブラシレスモータ・・・

回転する部分を回転子（ロータ）
回転しない部分を固定子（ステータ）



49

モータの種類

交流モータ

三相交流電動機

かご型誘導電動機：年間生産台数の4割

巻線型誘導電動機

単相交流モータ

誘導モータ（インダクションモータ）：生産台数の半分

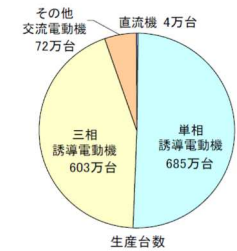
同期モータ（シンクロナスモータ）

直流モータ

ブラシモータ

ブラシレスモータ

整流子モータ



http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/more/pdf/h21_houkokusho.pdf 50

モータの種類

[特に制御用]

ステッピングモータ

2相ステッピングモータ（ユニポーラ式、バイポーラ式）

5相ステッピングモータ

サーボモータ

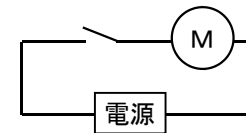
ACサーボモータ

DCサーボモータ

モータの駆動

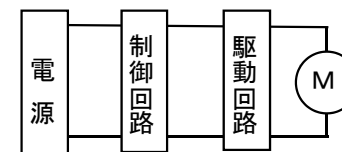
モータの種類（機種）によって駆動方法が異なる

電源に接続するもの：直流モータ、交流誘導モータなど



スイッチの代わりに駆動部品（接触器、リレー、トランジスタ、など）を使うこともある

専用装置を使うもの：ステッピングモータ、ブラシレスモータ、サーボモータなど



51

52

モータの制御

モータの制御としてON/OFF制御の他に、**回転方向**、**回転速度**、**回転角**がある。

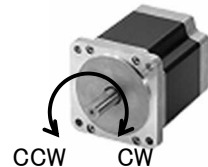
これらの制御は使用するモータによって制御方法が異なる。

回転方向の制御：正転/逆転 (CW/CCW)

回転速度の制御：単位時間当たりの回転数 (回転角)
単位としてrpm (rev/min)、Hz、s⁻¹、rad/sなど

回転角の制御：基準点からの回転角
単位としてrad、deg、rot (rev、cy…)

ほかにもトルク制御などがある



53

よく使われるモータ

モータ種類	電源	駆動	制御	用途
三相かご型誘導電動機	三相200	電源直結	回転方向	単純回転
単相誘導モータ (インダクションモータ)	単相100 200	電源直結 (簡単な回路)	回転方向	単純回転
単相同期モータ (シンクロナスモータ)	単相100 200	電源直結 (簡単な回路)	回転方向	単純回転
直流ブラシモータ	直流	電源直結 専用IC	回転方向、速度	単純回転 粗い制御
ステッピングモータ ユニポーラ式2相	直流	専用駆動回路 オープンループ	回転方向、速度 回転角	精密な制御 ずれる可能性
サーボモータ ACサーボモータ DCサーボモータ	交流 (交流) (直流)	専用駆動回路 クローズドループ	回転方向、速度 回転角	精密な制御

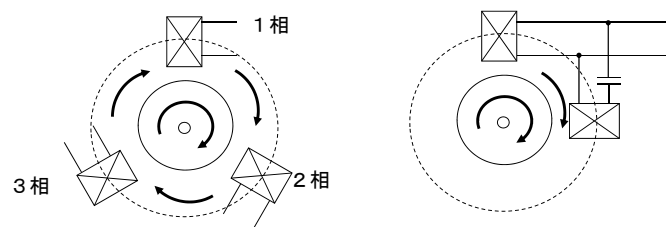
54

交流モータ

交流モータは、交流電源でステータに**回転磁界**をつくり、その磁界でロータを回転させる。

動作原理により、**誘導型**と**同期型**がある。

三相交流電源では容易に回転磁界を作れるが単相電源では回転磁界を作れない。そこで、始動用コイルを設け、コンデンサで位相をずらした電圧をかけることにより、ロータを回転させることができる。



55

交流モータの回転速度

交流モータの回転速度nrは、回転磁界の回転速度で定まる。回転磁界の回転速度nsは電源周波数とコイル極数 (コイルの数) で決まり、次式で表される。

$$ns = \frac{120f}{p} \quad [\text{rpm}]$$

f: 電源周波数 (北海道電力は50Hz)
p: 極数 (2、4、6… モータ固有)

同期型モータ (シンクロナスモータ) のロータは回転磁界と完全に同期して回転する

$$nr = ns = \frac{120f}{p}$$

誘導型モータ (インダクションモータ) のロータは回転磁界よりわずかに遅れて回転する。

$$nr = (1-s) ns = (1-s) \frac{120f}{p}$$

s: すべり

・・・すべりが生じる

56

交流モータの回転速度

交流モータの回転速度を変える方法として、
ギヤを使って減速する、
印可電圧を下げて減速する、
電源周波数を変える速度を変化させる
などの方法などがある。

電源周波数は専用装置（インバータ）を
使って変化させることができる
・・・インバータ制御



単相モータでは、専用回路を使って
調整できるモータもある
（スピードコントロールモータ）。



57

三相交流誘導電動機

大きな動力が必要なところでは、**三相交流かご型誘導電動機**
を使う。（大型のモータは「電動機」と呼ぶことが多い）
目安として、0.2W~55kW 55kW≒73PS
卓上ボール盤は200~400W、旋盤モータは10kW程度

電動機のON/OFFは**電磁開閉器**で行う

電磁開閉器・・・**電磁接触器**（大電流をON/OFF）
+
サーマルリレー（過電流（過負荷）の保護）



58

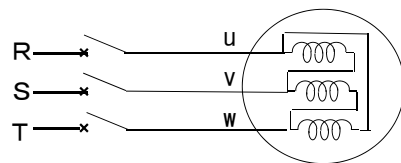
三相交流誘導電動機

「モータ」ではなく「電動機」という言葉が使われる。

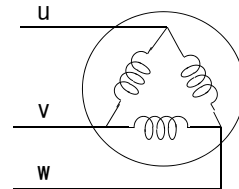
内部に3個のコイルがあり、それぞれに電圧（一般的に、三相
AC200V）がかかるようにする。

小型の電動機（目安として5.5kW未満）は内部でコイルの3本の
線の配線がなされ、電動機からは3本の線（u、v、w）が出
ている。ここに電源（R、S、T）を接続する。

→直入れ始動法（全電圧始動）



小型電動機



一般的なモデル図

59

三相交流誘導電動機

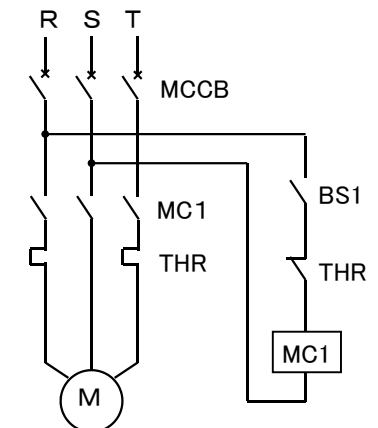
三相交流電動機の駆動には電磁開閉器（マグネットスイッチ、
MS）が使われる。

マグネットスイッチはマグネットコンタ
クタとサーマルリレーを組み合わせたもの。

コンタクタは大型のリレーで、コイルが
動作すると、スイッチが動作する。

コイルとして定格電圧としてAC200Vが多
く使われる。電動機用の電源からコイル
の電源を取る（R-S、またはT-S）

押しボタンスイッチBS1を操作するとMC1
のコイルが動作し、MC1のスイッチが動
作し、モータに電流が流れ、回転する。



60

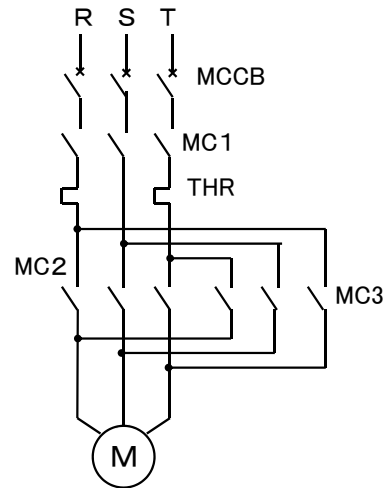
回転方向の制御

電源の任意の二本(通常はRとT)を入れ替えることにより、回転方向を変えることができる。

MC1は電動機のON/OFF用、
MC2はCW回転用、
MC3はCCW回転用

MC2をONにしてMC1をONにすると、
電動機はCW回転する。

MC3をONにしてMC1をONにすると、
電動機はCCW回転する。



61

三相交流誘導電動機

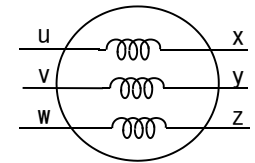
大型の電動機(目安として5.5kW以上、直径約300mm以上)の場合、直入れ始動すると、始動時に過剰な電流が流れ、悪影響をおよぼす(電圧低下、ブレーカー遮断)

これを防ぐために、始動時には大きな電流が流れないような回路を組む。

スターデルタ始動法、コンドルファ始動法など

スターデルタ始動法 (Y-Δ始動法)

各コイルの線がモータから出されており、始動時には2つのコイルを直列に接続して流れる電流を小さくする(コイルが2個のため、抵抗が大きくなる)。ある程度回転し、惰性が付いたら各コイルに電流を流す。



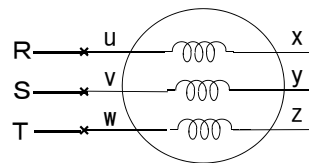
62

スター・デルタ始動法

始動時はスター結線して、大きな電流が流れないようにする

スター結線

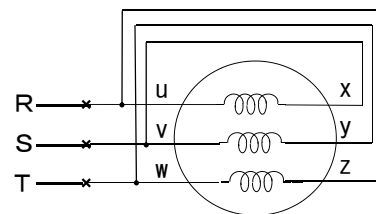
x、y、zを接続し、u、v、wをR、S、Tに接続。
電流は2つのコイルを流れ、内部抵抗が大きくなるため、流れる電流は小さくなる
(電流は1/3、トルクも1/3)



ある程度惰性がついたらデルタ結線に切り替える

デルタ結線

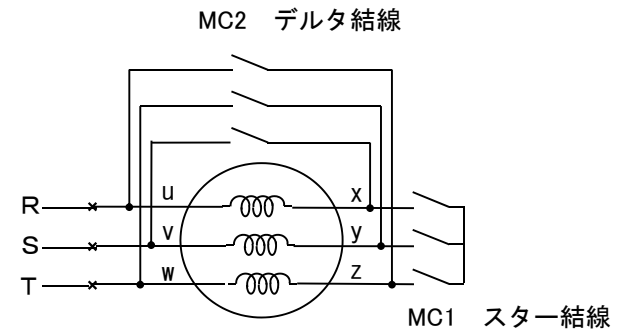
xとv、yとw、zとuを接続し、u、v、wをR、S、Tに接続
電流は1つのコイルを流れ、本来の電流(大きな電流)が流れる



63

スター・デルタ始動法

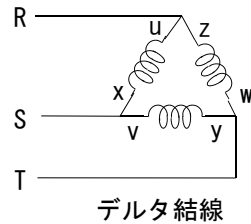
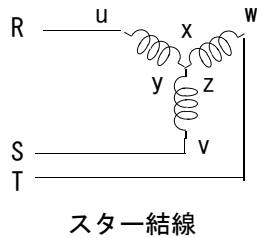
駆動回路図



64

スター・デルタ始動法

配線図の書き方を変えると以下のようになることから、スター結線（Y結線）、デルタ結線（△結線）と呼ばれる

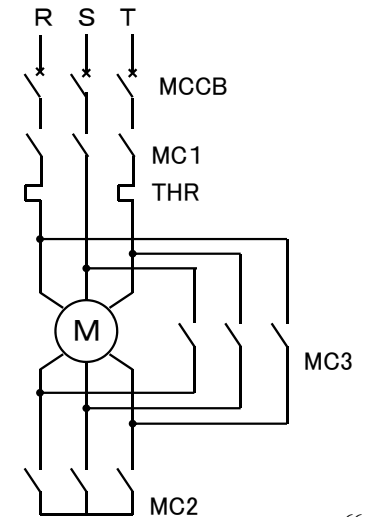


65

スター・デルタ始動法

MC1は電動機の電源ON/OFF用、
MC2はスター結線用、
MC3はデルタ結線用

MC2をONにしてMC1をONにすると、
電動機はスター結線になり、
徐々に回転し始める。
ある程度の時間が経過して一定速度になったならば、MC2をOFF、
MC3をONにするとデルタ結線になり、
定格の速度で回転する。



66

単相交流モータ

単相交流電源（AC100V、AC200V）で駆動
その種類として ・ 誘導電動機（インダクションモータ）
・ 同期電動機（シンクロナスマータ）

制御装置用としては150W以下のタイプが多い
（1kgの重りを1sで1m引き上げる動力が10W）
寸法の目安として90×90×200（150W）

単相交流モータはコンデンサを使って駆動するものが多い。



67

単相交流モータの制御

単相交流モータの制御は機種によって様々である。
基本的にはON/OFF制御と回転方向制御である。

ON/OFF : 電流を投入、遮断する
回転方向 : 配線を切り替える

回転速度は専用のギヤヘッドを使って減速するか、
専用回路を使って調整する程度
（スピードコントロールモータ）

インバータを使って電源周波数を変える方法もある



スピードコントロールモータ

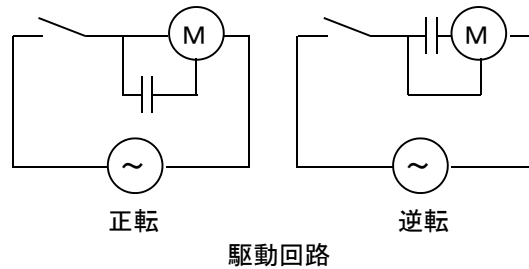
68

単相交流モータの駆動

様々な種類のモータがある。一般的に、モータから3本もしくは4本の線が出ていて、コンデンサを使った回路を組むものが多い。

コンデンサの配線を変えることにより、回転方向を変えることができる。

回転方向制御の配線は機種によって異なるので、取り扱い説明書などを見ながら回路を組む



69

単相交流モータの正逆転回路

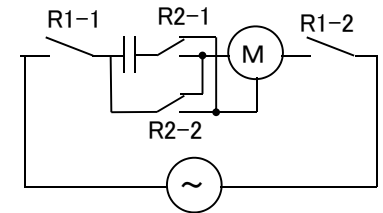
2個のリレー（DPDT）で単相ACモータの駆動にはリレーを使用する。

駆動用リレーとしてR1を使う。

リレースイッチは1個でもよいが、この場合、一方は電源に接続されていることになる。電源側（L）が接続されていると感電の恐れがあるので、安全性を考慮し、2個のスイッチを使用して両切りにするのが望ましい。

回転方向切り替え用としてR2を使う。リレーのON/OFFでコンデンサの配線を切り替えることによって回転方向を制御することができる。

回転中に回転方向を切り替えると過電流が流れるので、一旦電源を切ってから回転方向を切り替える必要がある。



70

直流モータ

直流電源（DC24V、DC12V、DC5Vなど）で駆動。

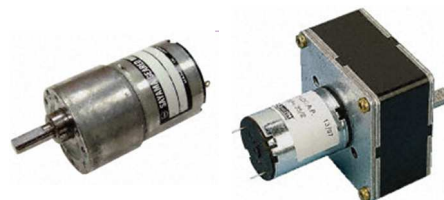
制御装置用としては50W以下のタイプが多い
寸法の目安として60×60×100（26W）

速度制御、回転方向の制御が容易

回転方向：極性（プラス、マイナス）を入れ替える。

回転速度：電圧を変える。ギヤを使う。

回転方向を切り替える回路としてHブリッジ回路が使われる。

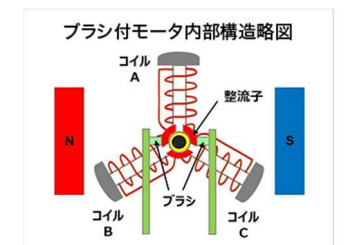


71

直流モータ

動作原理として、ブラシと整流子を使って、コイル（ロータ）に流れる電流の方向を入れ替える。

ブラシと整流子は摺動しているため、定期的なメンテナンスが必要

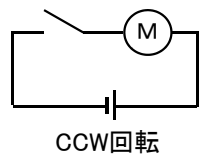
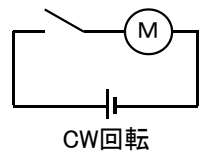


72

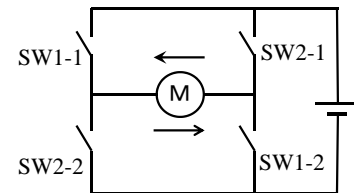
直流モータの駆動と制御

ON/OFF制御、回転方向の制御が可能。リレーやトランジスタを使って駆動する。

回転方向は電源の極性(+、-)を切り替える。その回路としてHブリッジ回路が使われる。



SW1-1、SW1-2をONにするとCW回転、
SW2-1、SW2-2をONにするとCCW回転、

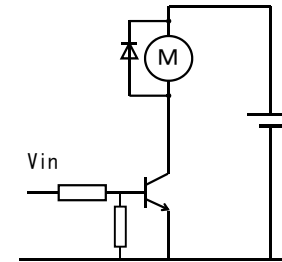


73

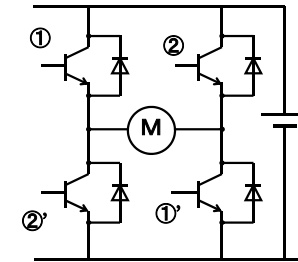
直流モータの駆動回路

トランジスタを使った駆動回路、回転方向制御回路

サージ電流によってトランジスタが破損するのを防ぐための保護用ダイオードが必要になる



正転の駆動回路



正逆転の駆動回路

①、①' をON
... 正転

②、②' をON
... 逆転

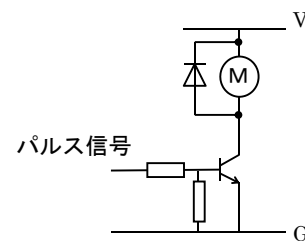
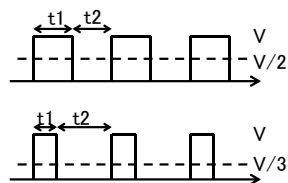
74

直流モータの回転速度制御

回転速度は、モータにかける電圧を変えて制御する
アナログ式の速度制御

モータにかける電圧を高速でON/OFFさせ、ON時間とOFF時間の比率を変えることによって、平均的な電圧を変える
デジタル式の速度制御 (PWM制御)

周期に対するON時間の比をデューティ比 $\frac{t1}{t1+t2}$

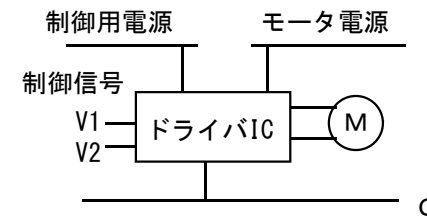


75

直流モータの駆動用ドライバ

トランジスタを使ってHブリッジ回路を組むのは困難なので、一般的にはHブリッジ回路が組み込まれた専用ICを使う。

TA7291、TA8428など



V1、V2のH/Lで
正転、逆転、停止、ブレーキの制御が可能



76

ステッピングモータ

一定角度ずつ回転するモータ。
分解能200pls/rotの場合、1.8ずつ回転する。

モータ内部にいくつかの電磁石があり、それを順番にONにすることによりロータが回転する。

3相モータ、4相(2相)モータ、5相モータなどがある。

回転速度、回転角の制御が簡単。
(オープンループ制御)



77

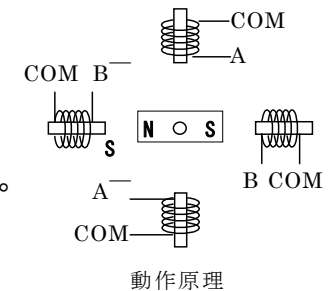
動作原理

一般的な2相ステッピングモータ(分解能4pls/rot)の原理

永久磁石で作られたロータと、それを取り囲む4つの電磁石(A, B, \bar{A} , \bar{B})で構成されている。

各電磁石はONにするとロータ側がS極になるようにコイルが巻かれている。

4つの電磁石を順番にONにすると、ロータは電磁石に引き寄せられ、回転する。



電磁石のON/OFFを切り替える速度を早くしすぎるとロータが追従できなくなる(脱調)。

78

励磁方法

4つの電磁石を励磁する方法として

1相励磁 : 消費電力が少ない、トルクが小さい

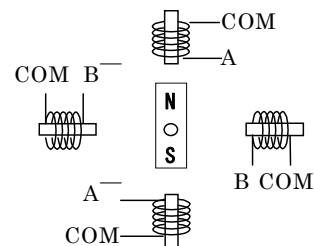
$A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B}$

2相励磁 : トルクが大きい

$AB \rightarrow \bar{B}\bar{A} \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow \bar{B}A$

1-2相励磁 : 位置精度が細かい(ハーフステップ)

$A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow \bar{B}\bar{A} \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{A}\bar{B} \rightarrow \bar{B} \rightarrow \bar{B}A$



79

ステッピングモータの制御

ステッピングモータの制御は

回転方向 : 励磁する順番を逆にする

正転 $A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B} \rightarrow \dots$

逆転 $\bar{B} \rightarrow \bar{A} \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow \bar{B} \rightarrow \bar{A} \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow \dots$

回転速度 : 励磁するタイミングを変える

高速 $A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \bar{B} \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow \bar{A} \rightarrow \dots$

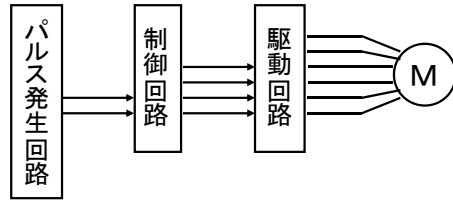
低速 $A \rightarrow \rightarrow B \rightarrow \rightarrow \bar{A} \rightarrow \rightarrow \bar{B} \rightarrow \rightarrow A \rightarrow \rightarrow \dots$

* 1相励磁の場合

80

ステッピングモータの駆動

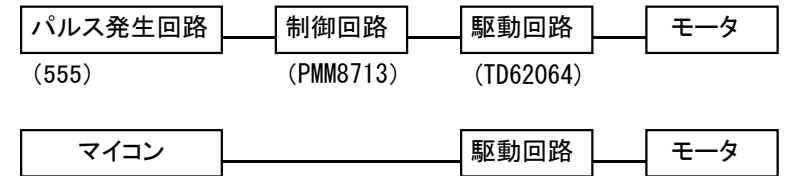
ステッピングモータを駆動する場合、4個の電磁石を順番に励磁する必要がある。
 駆動するための専用の回路が必要



駆動回路：電磁石を励磁する回路
 制御回路：どの電磁石を励磁させるかを決定する回路
 パルス発生回路：電磁石の励磁のタイミングを決定する回路

実際のステッピングモータの駆動

実際のステッピングモータの駆動には
 駆動回路では、トランジスタ（もしくはドライバIC）
 制御回路では、専用ICまたはマイコン

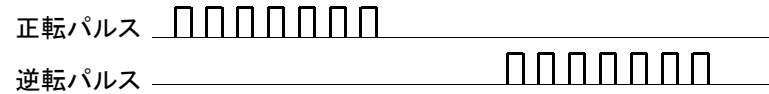


市販のものでは、駆動回路と制御回路を一体化したドライバを使うものが多い。
 この場合、外部からパルス信号を入力すると、その信号に同期してモータが回転する。

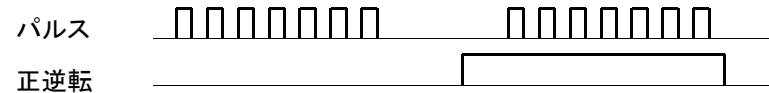
実際のステッピングモータの制御

制御回路に制御信号を入力して、モータを制御する。
 回転方向の制御方法として、

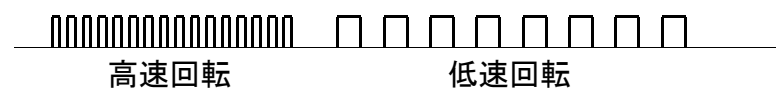
2 パルス方式：正転パルス信号と逆転パルス信号



1 パルス方式：パルス信号と正逆転信号



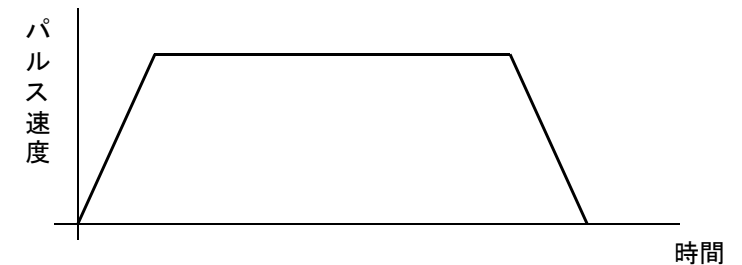
回転速度の制御方法として、パルス速度を変える



ステッピングモータの台形制御

ステッピングモータを駆動する場合、始動時、停止時に大きなトルクが働き、脱調することがある。
 これを防ぐために、徐々に加減速を行う。

→**台形制御**



サーボモータ

制御用に作られたモータ。正確かつ細かい速度制御、回転角制御（位置制御）が可能。

モータに回転角を検出するセンサがついており、外部から指示されたとおりに回転するように自動で修正する。

複雑な制御回路が必要なため、高価なものが多い。

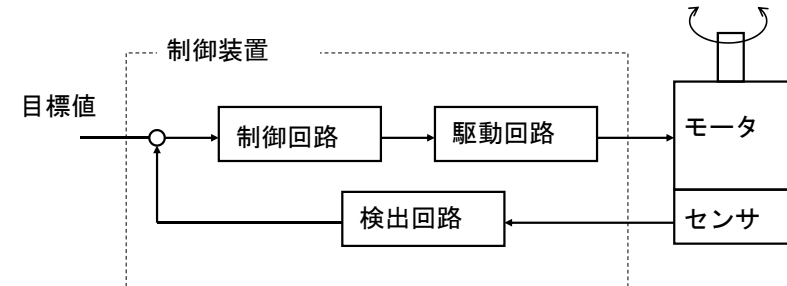
安価な模型用RCサーボも原理は同じ。



85

サーボモータのブロック図

モータ、センサ、制御装置を組合せたサーボモータシステム（ユニット）として使われる。



外部から目標値（回転角、回転速度）を入力すると、それと一致するようにモータが回転する。

・・・フィードバック制御（クローズドループ制御）

86

サーボモータシステムの制御

実際のサーボモータは、サーボモータとコントローラ（制御装置）を組み合わせたシステムとして使用することがほとんどである。



サーボモータシステム

制御装置からは制御信号としてパルス信号を入力する。ステッピングモータと同様、1パルスあたりの回転角（分解能）が決まっています。モータの回転角はパルス数で、モータの速度はパルス速度で制御する。

87

モータの種類

モータとして、DCモータを用いたもの・・・DCサーボモータ
ACモータを用いたもの・・・ACサーボモータ

DCサーボモータ

供給電圧を変化させることにより回転速度が変化する
もしくは、PWM制御により回転速度が変化する

ACサーボモータ

駆動回路で作られた3相交流電源の周波数を変化させることにより回転速度が変化。

今は、ACサーボモータが主流

88

その他の負荷

制御装置（自動化機器）ではその他にも様々な負荷が使われているが、そのほとんどがON/OFF制御である。

ブザー、ポンプ、・・・

駆動するときは、決められた定格電圧をON/OFFし、負荷をON/OFFする。

