

コンピュータ制御で モータを回す

仙台市地域連携フェロー

熊谷 正 朗

kumagai@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

東北学院大学工学部
ロボット開発工学研究室 RDE

今回の目的

○ モータを回す

テーマ1:モータを回すための予備知識

- ・モータとその特徴（第8回より）
- ・コイル/電流/スイッチング

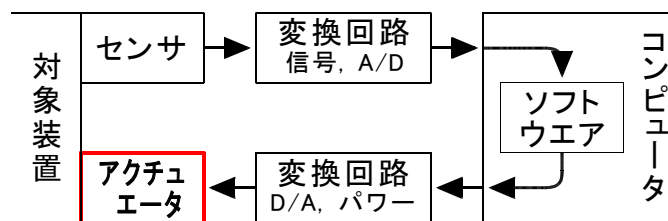
テーマ2:モータの回し方

- ・直流モータの回し方
- ・ステッピングモータの回し方
- ・3相モータの回し方
- ・実例と注意点

モータの役割

○ アクチュエータ≡モータ

- ・コンピュータの指示で動きを生み出す要素。
- ・**アクチュエータ**には多くの種類があるが、多くの場合は**電磁式のモータ**。



モータの役割

○ アクチュエータ≡モータ



◇ モータの一般的特徴（後に詳述）

- ・**電力**を与えると軸が回転する。
※油圧、空気圧を与える物などもある
※直線運動するものもある(リニアモータ)
- ・**電磁石**をもとにした原理で動く。
※その他様々な原理のものがある
- ・出せるトルク(力)と速度に上限がある。
※独立した制限or密に関連した制限

モータの種類

○ 与えるエネルギーによる分類

◇ 電力（電圧&電流）

- ・ **電磁式モータ** （主流、電流主体or電圧主体）
- ・ 超音波モータ （電圧主体）
- ・ 静電気力モータ （電圧主体）

◇ 流体圧力（圧力&流量）

- ・ 油圧モータ （※建機の走行部分）
- ・ 空気圧モータ（※歯科のドリル）

モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ 直流モータ

- ・ **直流の電力**で回転するモータ。
- ・ **ステータ**(固定子): 永久磁石が多い
ロータ(回転子): 電磁石
- ・ 電磁石の磁極を適切に切り替えるための**ブラシと整流子**がある。
- ・ 一般的に配線は2本(+アース1本)。

モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ 直流モータ（汎用）



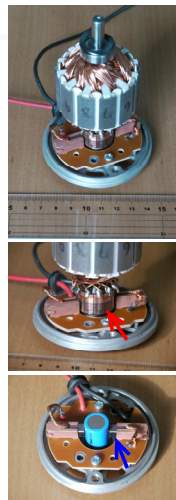
外 観



ステータ



ロータ



ブラシと整流子

モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ 直流モータ

- ・ **直流電流**を流すと**トルク**(回転する力)が生じる。
※直流電圧をかけると回る、は副次的
- ・ 利点: 制御方法、回路が比較的簡単
- ・ 欠点: ブラシの寿命、ノイズ
- ・ 代表例: 模型用小型モータ、
自動車機器用モータ

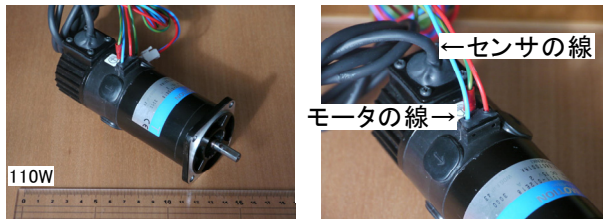
モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ 直流(DC)サーボモータ

- ・サーボ制御に使うことを念頭にしたモータ。
- ・なめらかに回る/センサ付が多い。

※ロータリーエンコーダ等



山洋電気製

C16 コンピュータ制御でモータを回す Page. 9 基礎からのメカトロニクスセミナー

モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ 交流モータ

- ・交流電力で回転するモータ。

・同期型交流モータ

周波数に連動した回転速度

非同期型交流モータ

周波数に連動しない回転速度

※周波数の影響を強く受ける、は多い

- ・一般に直流モータより簡単・コンパクト。

C16 コンピュータ制御でモータを回す Page. 10 基礎からのメカトロニクスセミナー

モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ 同期交流モータ

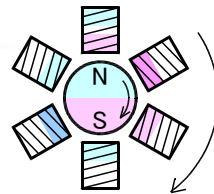
- ・ロータが磁極固定の磁石、ステータの電磁石で回転する磁界が生じて、それにつられて回る。

- ・周波数に比例した速度で回転する。

※比例係数は構造で決定される

- ・回転速度を変えるには周波数を変える必要がある(インバータ装置)。

※スイッチオンで回らない可能性がある



C16 コンピュータ制御でモータを回す Page. 11 基礎からのメカトロニクスセミナー

モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ 交流(AC)サーボモータ

- ・制御用に作られた永久磁石式同期モータ。
- ・専用のサーボアンプ(制御インバータ)によって、回転が精密に制御される。



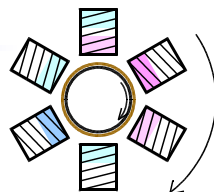
山洋製 モータ+センサ サーボアンプ 配線の例
C16 コンピュータ制御でモータを回す Page. 12 基礎からのメカトロニクスセミナー

モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ 誘導モータ（非同期型）

- ・ロータが銅と鉄のみで、**磁石を持たない**。
- ・**回転する交流磁界**で銅に**誘導電流**生じる。
→誘導電流と回転する磁界の相互作用でロータが回転する。
- ・構造が簡単で低コスト・堅牢。
- ・ある程度、**回転磁界に遅れて**回る。
→磁界の回転速度＝**周波数に依存**



モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ DCブラシレスモータ

- ・同期型の**交流モータ**に交流電流を流すための**回路(インバータ)をセット**にしたもの。
- ・**外見では直流電力で回るモータ**。
(直流モータはブラシ付が基本→「ブラシレス」)
- ・パソコンなどのファンなど。
- ・商品名が「DCブラシレス」な交流モータもある。

モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ ステッピングモータ（パルスM～、ステツパM）

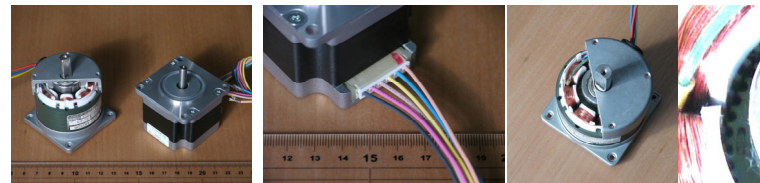
- ・電流を流しただけでは回らず、**電流を切り替える**ことで**一定角度ずつ回転**するモータ。
- ・切り替えの回数・順序・タイミングのみで、**指定角度、速度で回す**ことができるため、メカトロで多用されている。

モータの種類

○ 電磁モータの種類

◇ ステッピングモータ

- ・ステータが複数の電磁石で構成される。
- ・電磁石ごとにON/OFFする→配線が多い。



ステッピングモータ

配線：一般に多い

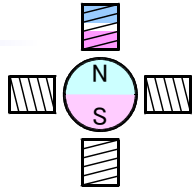
内部の拡大図

日本電産サーボ他

2個とも1.8度単位(1回転200分割)で回転

モータの種類

○ 電磁モータの種類



◇ ステッピングモータ

- ・同期モータと原理に近いが、連続回転が主体の交流モータに対して、ステッピングモータは1ステップずつの回転を重視。
- ・別途センサを用意することなく、思い通りの回転をさせることができる。
- ・「脱調」すると回転が停止する。

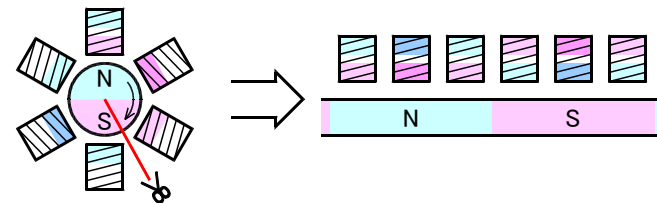
脱調＝電磁石の切り替えについて行けなくなる現象

モータの種類

○ リニアモータ

- ◇ 直線的に動くモータ（元となる方式は多数）
- ・回転式の(交流/ステッピング)モータを切り開いて、直線的に動くようにしたもの。

例)



モータを回すために

○ 供給すべき「電気」（≡電力、電圧、電流）

◇ 適切な電流

- ・直流電流 / パルス切り替え電流
- ・三相交流電流
- ・時間応答性のよい供給（力のレスポンス）

◇ 適切な周波数

- ・パルスの切替速度、三相交流周波数

◇ 十分な電圧

- ・起電力、抵抗、インダクタンス に対応

モータ＝電磁石＝コイル

○ コイル(インダクタ)としての性質

◇ コイルの性質

- ・《インダクタンス[H]》×
《電流時間変化[A/s]》 = 両端の電圧[V]
(電流変化＝電圧÷インダクタンス)

全ての根幹の
重要式

◇ 三つの解釈

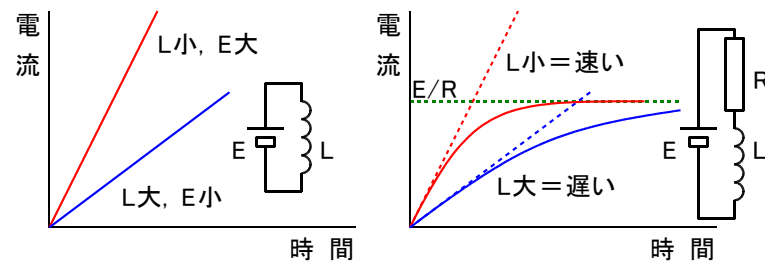
- ・急に電流を流すには一時的に高い電圧必要
- ・急なOFFは高電圧発生
- ・断続スイッチ → 連続電流

コイルの電流応答

○ コイル(インダクタ)としての性質

◇コイルの性質

電流変化＝電圧÷インダクタンス

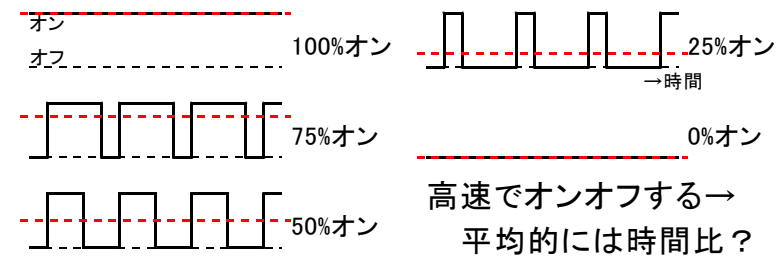


スイッチングによる出力調整

○ パルス幅変調 PWM

◇アイデア

- ・オンの時間とオフの時間の比率を調整。
- ・オンの比率＝**デューティ比**

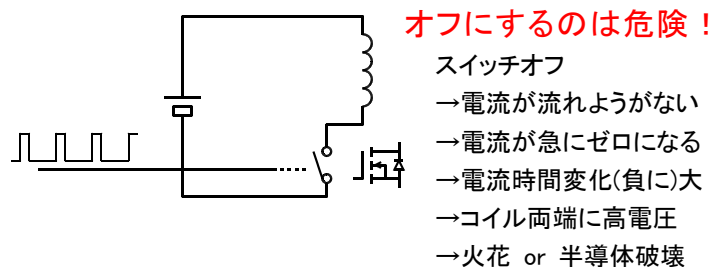


スイッチングによる出力調整

○ スwitching回路

◇原理回路

- ・半導体スイッチでオンオフ

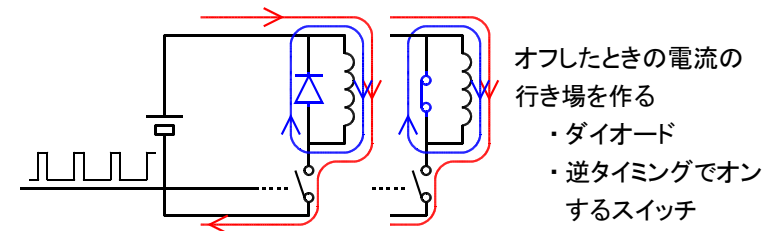


スイッチングによる出力調整

○ スwitching回路

◇急にオフさせない対策:

- ・**フリーホイールダイオード** or スイッチ追加

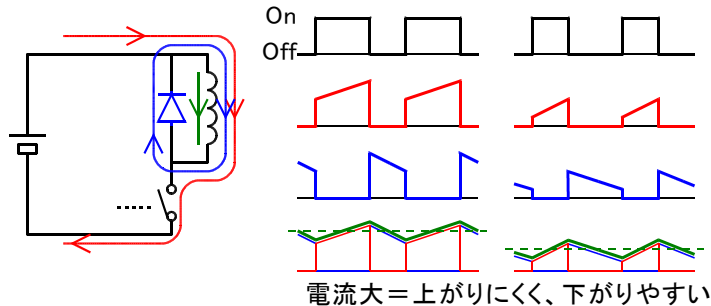


スイッチングによる出力調整

○ 各部の波形

◇急にオフさせない対策:

- ・フリーホイールダイオード or スイッチ追加

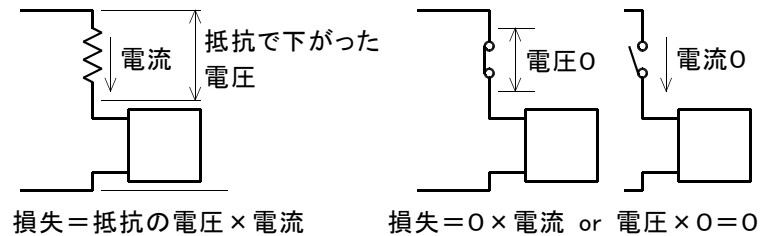


なぜスイッチングか

○ アナログ増幅との効率比較

◇スイッチの消費電力はゼロ

- ・アナログ: 直列に入れた抵抗の調整
- ・スイッチング: オンかオフ

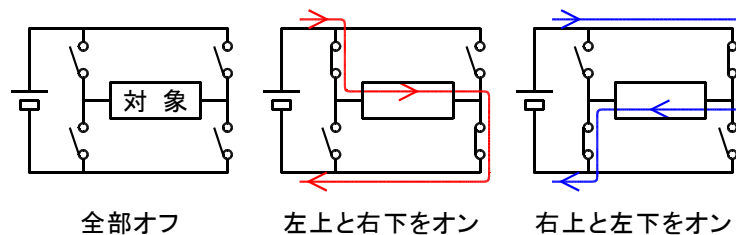


極性を変えるスイッチ回路

○ Hブリッジ

◇回路の原理

- ・スイッチ4個で対角を組にしてOn/Off

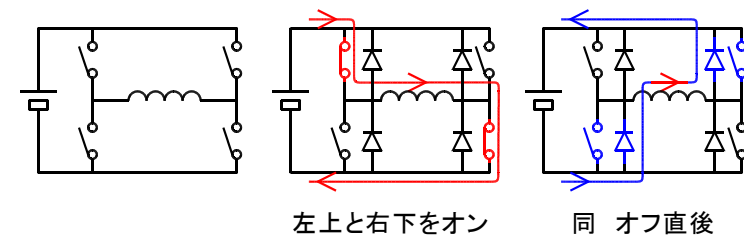


極性を変えるスイッチ回路

○ Hブリッジ + フリーホイール

◇コイルの電流を急にオフにしない

- ・転流はダイオード4本 and/or 対角スイッチ

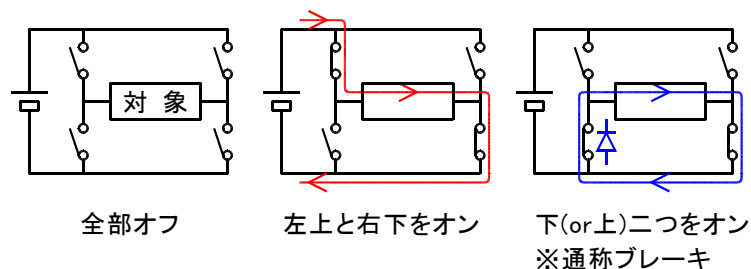


極性を変えるスイッチ回路

○ Hブリッジのその他の動作

◇ブレーキモード

- ・スイッチ / スイッチ+D で輪をつくる
→コイルの電流経路づくり or ショートでブレーキ

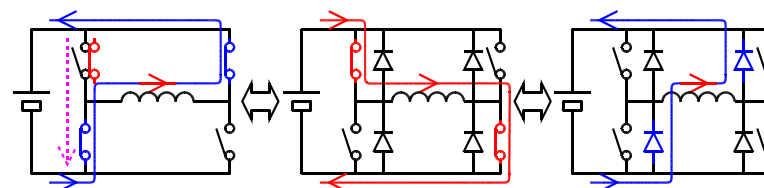


極性を変えるスイッチ回路

○ Hブリッジの注意点

◇上下方向の貫通と転流Dの損失

- ・切り替え時に同時にオンしないように
※半導体はオンしやすく、オフしにくい →両Off期
- ・ダイオードの損失>スイッチの損失
ダイオードの電圧降下~1[V]程度



今回の目的

○ モータを回す

テーマ1: モータを回すための予備知識

- ・モータとその特徴 (第8回より)
- ・コイル/電流/スイッチング

テーマ2: モータの回し方

- ・直流モータの回し方
- ・ステッピングモータの回し方
- ・3相モータの回し方
- ・実例と注意点

直流モータを回す

○ 供給すべき電力

◇モータの性質

- ・トルクは電流に比例する
- ・[モータに加えた電圧] =
[モータの電気抵抗] × [電流] +
[起電力定数] × [回転速度]

◇出力の調整

- ・簡易的(一般的)には電圧を調整
- ・本格的には電流を調整

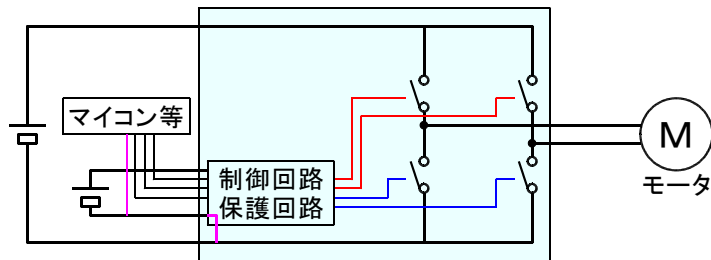
直流モータを回す

○ 簡易的な回路例

※PWM対応有無に注意

◇市販のモータドライバICを使用

- ・Hブリッジと、そのスイッチ制御回路を持つ。
- ・電源共通 or モータ電源別

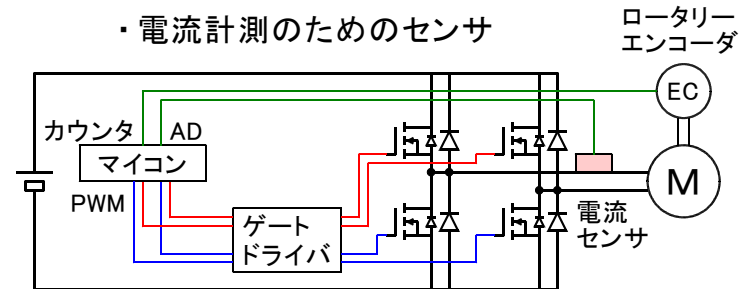


直流モータを回す

○ 電流制御・大出力対応の回路

◇MOSFET+ゲートドライバ

- ・スイッチとしてMOSFETを使用
- ・電流計測のためのセンサ

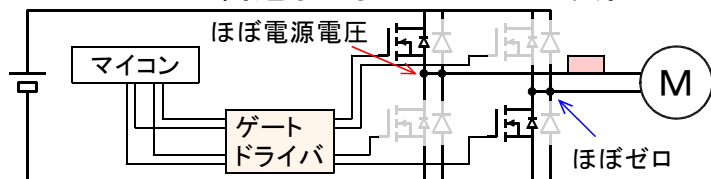


直流モータを回す

○ 電流制御・大出力対応の回路

◇ゲートドライバ

- ・N-ch MOSFETはソースに対して高い電圧をゲートにかける必要がある。
=電源よりも高い電圧をつくる
- ・FETの高速オンオフのための工夫。



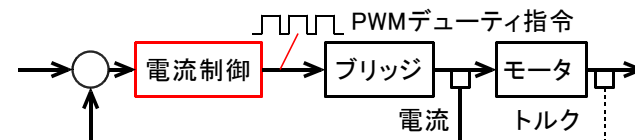
フィードバック制御

○ 電流フィードバック

→第9回 制御の基礎

◇電流を調整できる＝トルク制御型

- ・電流センサ値と指令値を一致させる。
- ・一般にPI(比例積分)制御を使用。
モータの回転速度に応じた起電力分をI制御でまかなう。

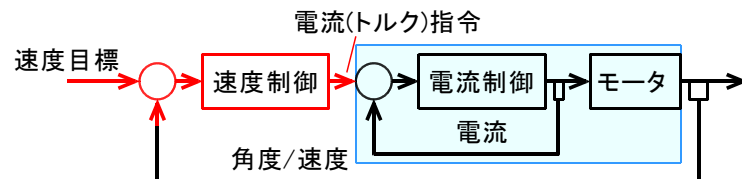


フィードバック制御

○ 速度(角速度)フィードバック

◇速度を調整する

- ・速度はロータリーエンコーダ等で計測。
- ・速度が一致するように電流指令を調整。
- ・一般にPI制御(もしくはPID)を用いる。

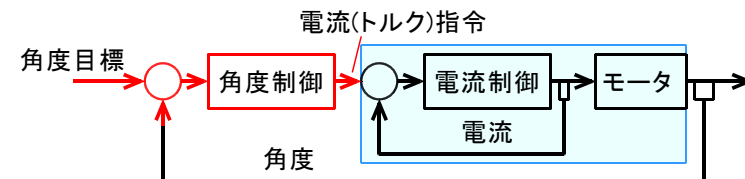


フィードバック制御

○ 位置(角度)フィードバック

◇モータの回転角度を調整する

- ・角度はロータリーエンコーダ等で計測。
- ・指令は電流、もしくは、速度
- ・電流の場合はPID制御、速度はPD制御。

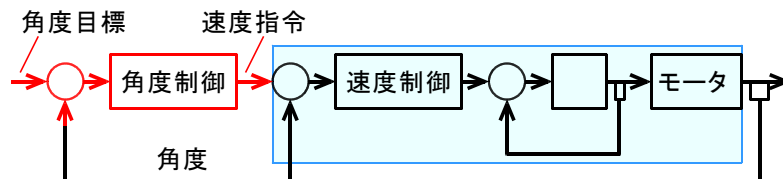


フィードバック制御

○ 位置(角度)フィードバック

◇モータの回転角度を調整する

- ・角度はロータリーエンコーダ等で計測。
- ・操作は電流、もしくは、速度
- ・電流の場合はPID制御、速度はPD制御。

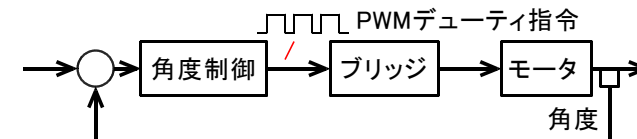


フィードバック制御

○ 電流制御を用いない速度・位置FB

◇PWMを直接操作

- ・簡易的(そこそこ回るが性能追求が難しい)
- ・速度FB → PI(D) → PWMデューティ
- ・角度FB → PID → PWMデューティ
- ・低速時、反転時の過電流に注意



モータを回すのに必要なマイコン機能

○ モータをただ回す場合

◇操作

- ・デジタル出力2本～4本
{Off, 正転, 逆転, (ブレーキ)}

◇簡単な動作制御

- ・デジタル入力
モータの回転の両端を決めるスイッチ等
- ・アナログ入力
モータの回転角測定のポテンショメータ

モータを回すのに必要なマイコン機能

○ モータを制御する

◇操作

- ・PWM出力2本 or 4本
- ・PWM出力1本 + デジタル1～2本

◇センシング

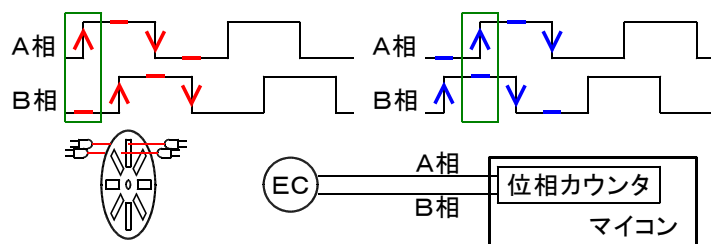
- ・AD(アナデジ)変換1本→電流計測
- ・位相カウンタ(エンコーダカウンタ)1本
→ ロータリーエンコーダ接続
- ・もしくはAD変換 → ポテンショ接続

モータを回すのに必要なマイコン機能

○ ロータリーエンコーダと位相カウンタ

◇2相エンコーダ信号から正逆含めカウント

- ・正転逆転も含めて角度がカウントできる。
- ・エンコーダのパルス数の4倍細かい。



モータを回すのに必要なマイコン機能

○ マイコンの選定

◇ある程度の演算力

- ・電流制御は10kHz程度の処理周期欲しい

◇必要な入出力を持つ

- ・PWM出力 (一般的に持つ)
- ・位相カウンタ (これがネック)
- ・AD変換 (一般的に持つ)

◇マイコン1個につきモータ1個？

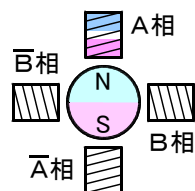
- ・位相カウンタで制限

ステッピングモータを回す

○ 励磁の切り替え

◇1相、2相、1-2相励磁とユニポーラ・バイポーラ

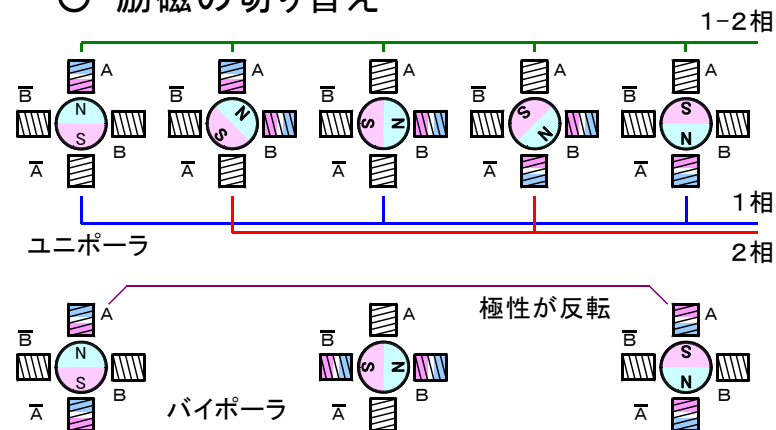
- ・一般的な2相型モータは4系統のコイル、
A, B, $\bar{A}$, $\bar{B}$ がある。



- ・1相: 同時に1本のコイルの通電
- ・2相: 同時に2本のコイルに通電
- ・1-2相: 1相と2相を組み合わせ
- ・ユニポーラ: On, Offのみ
- ・バイポーラ: 極性も使用

ステッピングモータを回す

○ 励磁の切り替え

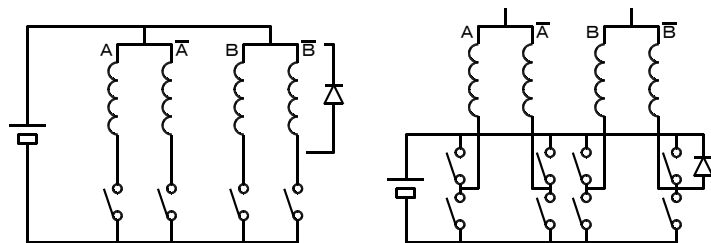


ステッピングモータを回す

○ 駆動回路の概要

◇コイル電流のOn/Off 正逆

- ・ユニポーラの場合はOn/Offのスイッチ回路
- ・バイポーラの場合は正逆も(Hブリッジ)



ステッピングモータを回す

○ 駆動回路の概要

◇留意点1: コイルであること

- ・スイッチOffの対策 (転流ダイオード)
- ・立ち上がりの悪さ
- ・低電流-高電圧型のモータで顕著。

◇留意点2: 高速時の電流目減り

- ・単なるOnOff回路では、切り替え周波数を高くすると電流が目減り→トルク落ち
- ・電流制御をすることで解決。

ステッピングモータを回す

○ ステッピングモータ駆動IC

◇市販品多数

- ・専用ICも十分(?)低コスト
- ・電流制御機能内蔵
- ・正逆パルス→励磁パターン生成機能
- ・マイクロステップ対応もある。

◇採用例

- ・東芝 TB6560AHQ →研究室内のロボット
40V、3.5A、電流制御、マイクロステップ

ステッピングモータをマイコンで回す

○ 単純なスイッチ回路+ソフト

◇励磁信号をソフトで作る→デジタル出力

- ・1ステップ送るタイミングで出力変更

- ・予め用意した数値を出力:

1相:[0x01, 0x02, 0x04, 0x08]

2相:[0x03, 0x06, 0x0c, 0x09]

1-2相:[0x1, 3, 2, 6, 4, c, 8, 9]

- ・切り替えのたび、数えれば角度分かる。

- ・回路も含め、簡易的

ステッピングモータをマイコンで回す

○ ステッピングモータ駆動ICを使う

◇一定速度で回す

- ・内蔵カウンタを分周設定して任意周波数
→その周波数で切り替え
- ・速度調整できるが、出力数を数えにくい
→回転角度が分からない

◇ソフトでパルス生成 →資料末尾DDS式など

- ・パルスを出力、回転角度をカウント
※産業用モータコントローラも共通

3相交流モータを回す

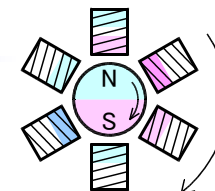
○ 自前の必要性はほぼ皆無

◇市販の制御機器

- ・専用のコントローラ / 汎用のインバータ
- ・ブラシレスモータの制御回路
(センサ有り/センサレス)
- ・ブラシレスモータの制御IC

◇原理を知る意義

- ・理解
- ・それでも作る必要性

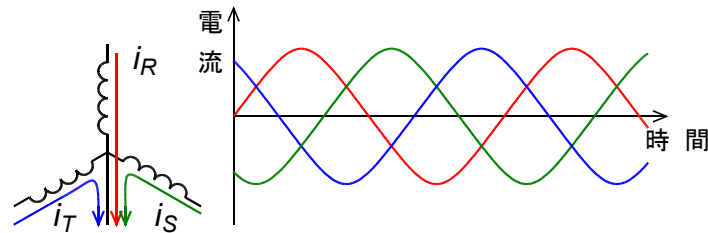


3相交流モータを回す

○ 3相モータの駆動電流

◇3系統のコイルに正弦波電流

- ・各電流は120度(1/3周期)間隔。
- ・ $i_R + i_S + i_T = 0$ なので4本目の線は不要。

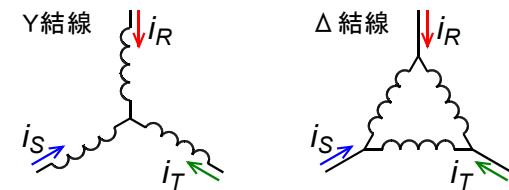


3相交流モータを回す

○ 3相モータの内部のコイル結線

◇Y結線とΔ結線

- ・Y結線: 流した電流は各コイルに、電圧高め。
- ・Δ結線: 流した電流は分かれる、電圧低め。
- ・回路は変わらず、永久磁石型は角度に注意。

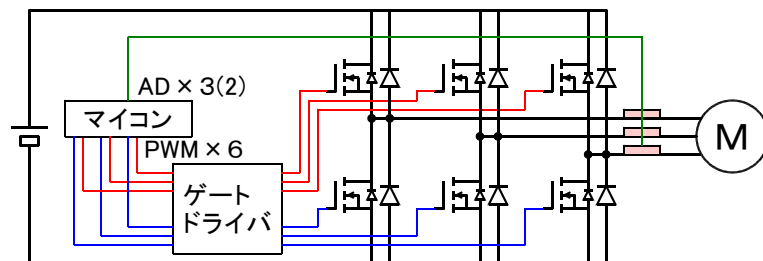


3相交流モータを回す

○ 3相モータの駆動回路

◇3相ブリッジ

- ・Hブリッジを拡張



3相交流モータをマイコンで回す

○ 必要な機能

◇3相(相補)PWM出力

- ・同期した3セットのPWM出力
(単なるPWM x 3では不適切)
- ・大抵は上側用、下側用が個別に、計6本。
(上下スイッチ貫通防止のデッドタイムも設定可)

◇AD変換 / 位相カウンタ

- ・電流のフィードバック用
- ・角度計測 (EC、ホール素子等) (特に同期式)

3相交流モータをマイコンで回す

○ 必要なソフトウェア

◇制御理論

- ・最低限、周波数の変更と振幅の変更。
※低周波数のときは電圧を下げる
- ・ベクトル制御
3相モータの制御に座標変換を導入し、
直流モータ的電流制御を可能にする。

モータを回す

○ 実践的補足

◇モータを回すときの注意点

- ・回生
- ・機構のガタ

◇モータ駆動の事例

- ・ステッピング、直流、交流
- ・市販部品、自作回路

モータ駆動と回生

○ ブレーキをかけるとどうなるか？

◇エネルギー的発想

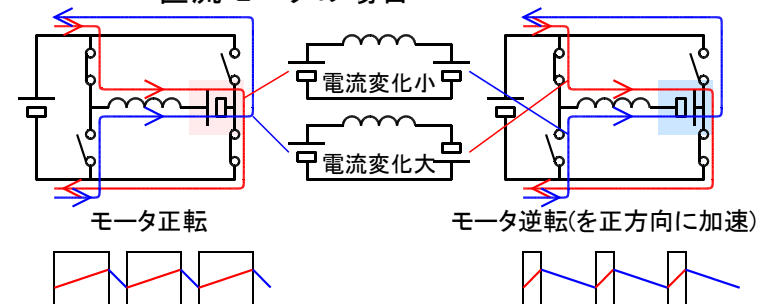
- ・回転している＝**運動エネルギー**
- ・減速＝運動エネルギーの減少
＝そのエネルギーが**どこかに行く**
 - 1) **熱**
 - 2) **電力に戻る** = 回生
- ・まともに設計した駆動回路は、自然に回生能力を持つ。

モータ駆動と回生

○ 回生されるメカニズム

◇ブレーキ＝回転方向と逆向きの電流

- ・直流モータの場合



モータ駆動と回生

○ 回生の恐怖と対策

◇「戻ってきてしまう」電気の扱い

- ・戻ってきた電気を上流に返せるか？
- ・**バッテリー**に直結なら、ある程度は吸収可。
- ・専用の**回収回路**を用意する。
例) 電源ラインに戻すためのインバータ
- ・熱として**捨てる**。
少しは制御器内部のコンデンサで保持、
限度を超えると**外部抵抗**に流して処理。

機構のガタの影響

○ ガタによる制御の不具合

◇ガタ(バックラッシュ)

- ・歯車やリンク機構などの隙間。
- ・一般的に、**ガタは不可避** (むしろ必須)

◇ガタの制御への影響

- ・一方向に常に力がかかっているときは
影響が少ない (一方向定速回転、負荷の力)
- ・**力の向きが変わるとき**に制御のトラブル
(ほぼ無負荷、正逆転、加減速)

機構のガタの影響

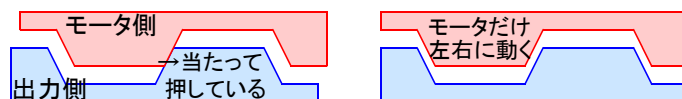
○ 問題1: 負荷の変動

◇制御対象の**重さが変わる**

- ・歯が当たっている = 本来の重さ
- ・歯が当たっていない = モータの軸のみ
→ 速度・位置の制御ゲインのミスマッチ

◇対策 (困難)

- ・常に一方に力がかかるように／ガタを低減



機構のガタの影響

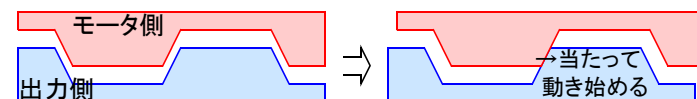
○ 問題2: 遅れ

◇モータが動いてから**対象が動くまで時間差**

- ・出力側に角度センサ等をつけた場合:
モータに通電 → モータ動くがセンサ動かず
→ さらに通電 → センサ動く頃に勢い付いてる

◇対策

- ・角度センサはモータに(も)つける／不感帯。



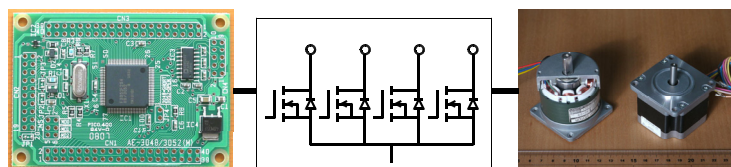
モータ駆動の事例

○ マイコン + 自前のスイッチ回路

◇H8マイコン + FETアレイ

- ・ソフトで励磁パターンを生成。
- ・原理理解には良いが、ほぼ廃止した。

※性能、コスト、面積など

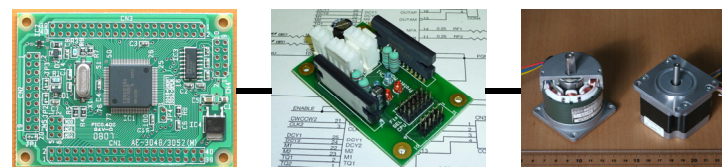


モータ駆動の事例

○ マイコン + ドライバIC

◇H8マイコン(or PIC) + TA8435, TB6560

- ・ソフトで正逆パルスを出力
- ・玉乗りロボット他で実績多数
- ・電流検出抵抗 + C,R,LEDいくつか追加



モータ2個分

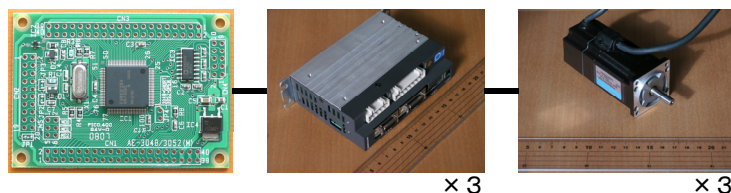
モータ駆動の事例

○ マイコン+産業用モータコントローラ

◇H8マイコン+山洋電気ドライバ+ACサーボ

- ・ソフトで指令パルスを生成
- ・1マイコンで3系統を制御

※エンコーダカウントは外付け



モータ駆動の事例

○ フル自作

◇dsPIC-MCマイコン + 3相ブリッジ

- ・IR社ゲートドライバ IR2135、FET IRFB4115
- ・誘導モータ用ベクトル制御ソフト
- ・最大75[V], 30[A]



モータ駆動の事例

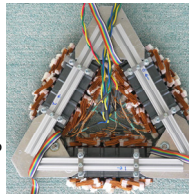
○ 自作ベクトルインバータ

◇開発の動機

- ・モータの開発研究で制御系が必要だった。
- ・パラメータ設定などの自由度が必要。

◇開発の過程

- ・ベクトル制御理論の理解。
- ・回路の設計→試作→基板化。



◇開発時の課題

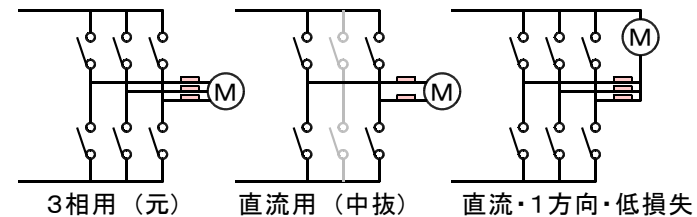
- ・スイッチングノイズ → スナバ回路で解決。

モータ駆動の事例

○ 自作モータドライバのバリエーション

◇同一回路 → 3相、直流、直流1方向のみ

- ・一部の部品の実装や配線の切り替え + マイコン制御ソフト書き換え で 多用途に。



まとめ

○ モータの特性と供給すべき電気

- ・モータは電磁石 = コイルである。
コイルの特性を知ることが重要。
- ・モータの根本的な出力は電流に比例したトルクであり、電流をいかに流すか、いかに制御するかがポイント。
- ・モータは発電機としての性質も併せ持ち、供給すべき電圧は回転状態によって変化する = 時々刻々調整が必要。

まとめ

○ モータの回し方

- ・専用/汎用の制御装置の他、駆動のためのICがある。また、個別部品で製作も可。
- ・効率のため、スイッチングによる駆動が主流。PWMで出力を調整。Hブリッジ、3相ブリッジで、極性なども変えられる。
- ・駆動回路と、各種センサ情報によって出力を調整するための制御理論の組でモータを適切に回すことができる。

参考資料

ステッピングモータをマイコンで回す

○ DDS型パルス生成 ※ダイレクト・デジタル・シンセサイザ

◇一定周期で以下の処理を行う

- ・[位相]変数に[速度]を加える。
- ・A) [位相]の上位ビットで励磁決定
- ・B) [位相]の繰り上がり/下がり
ドライバ用指令パルスを出力
- ・C) 繰り上がり/下がり
で角度+1/-1

ステッピングモータをマイコンで回す

○ DDS型パルス生成

◇コード例

```
void 周期的割り込み() {  
    PrevPhase=Phase; // 繰り上下検出のため  
    Phase+=Velocity; // 速度を加える  
    Out=StepPattern[(Phase>>13)&0x7]; // 直接  
    if((PrevPhase>0xc000)&&(Phase<0x4000))  
        { CW=1; CW=0; Angle++; } // 繰り上がり  
    if((PrevPhase<0x4000)&&(Phase>0xc000))  
        { CCW=1; CCW=0; Angle--; } // 下がり  
}
```

ステッピングモータをマイコンで回す

○ DDS型パルス生成

◇動作説明

- ・[位相]が0～9の値とし、秒10回処理とする。
- ・[速度]が1の場合： 0,1,2..9→0 と10回加え
1周する＝10回/秒10回＝1秒1回
- ・[速度]が2の場合： 0,2,4,6,8→0,2,4,6,8→0
同じ期間に2周する＝2倍の頻度になる
- ・[速度]が3： 0,3,6,9→2,5,8→1,4,7→0 : 3周
ただし、等間隔ではない。

ステッピングモータをマイコンで回す

○ DDS型パルス生成

◇動作説明

- ・[速度]が-1: 0→9,8,7,6,5,4,3,2,1,0
- ・[速度]が-2: 0→8,6,4,2,0→8,6,4,2,0

◇特徴

- ・一定周期の割り込み処理で実装できる。
- ・シンプル。
- ・周波数が高くなると、出力間隔がばらつく
→モータの異音や脱調の原因に。