

仙台市/仙台市産業振興事業団

ロボット博士の基礎からのメカトロニクスセミナー

C16/Rev 1.0

第16回

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

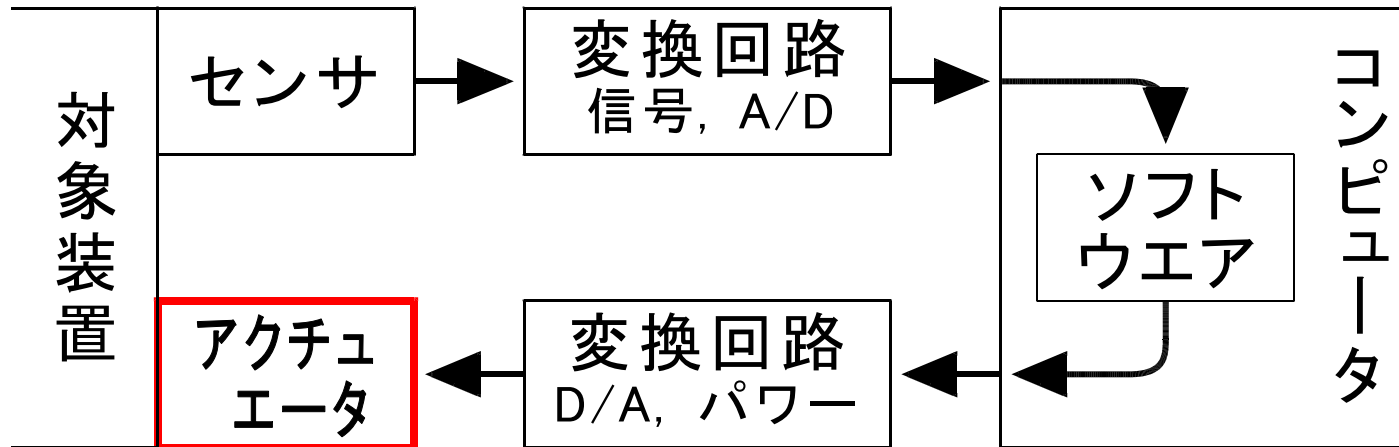
テーマ2: モータの回し方

- ・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）



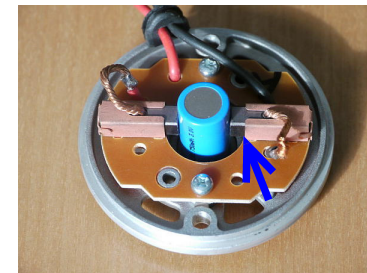
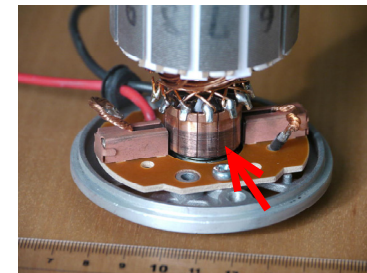
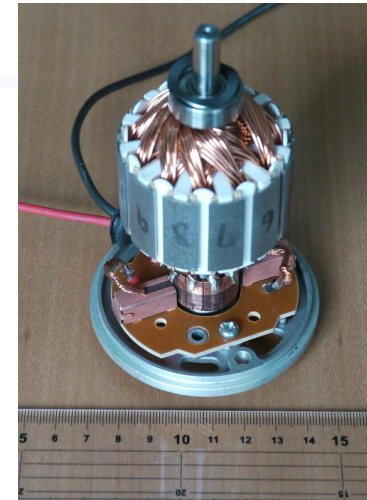
外 観



ステータ



ロータ



ブラシと整流子

津川製作所製

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

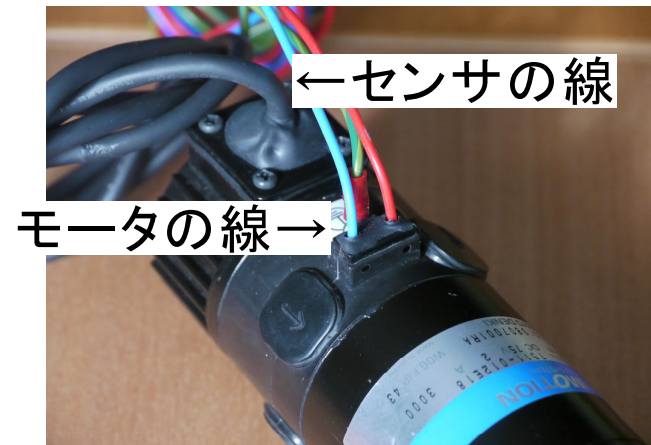
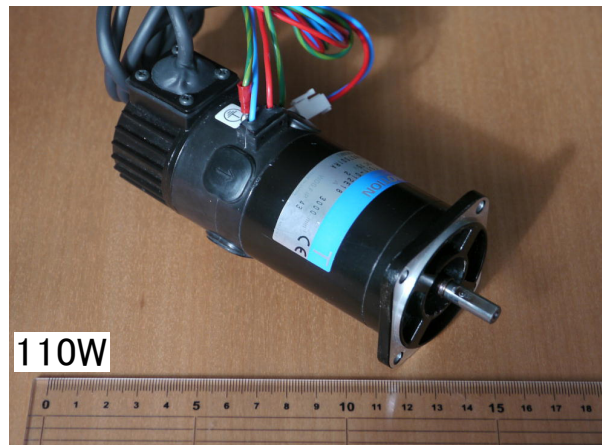
- ・ 利点: 制御方法,回路が比較的簡単
- ・ 欠点: ブラシの寿命、ノイズ
- ・ 代表例: 模型用小型モータ、
自動車機器用モータ

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

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

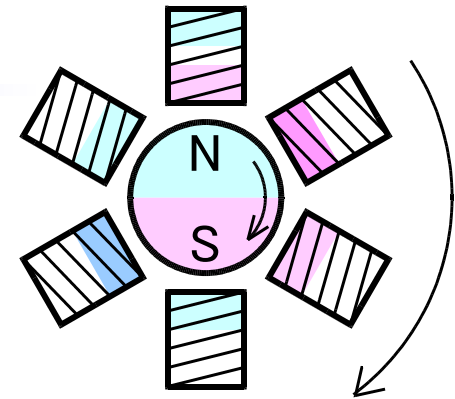
- ・ 一般に直流モータより簡単・コンパクト。

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

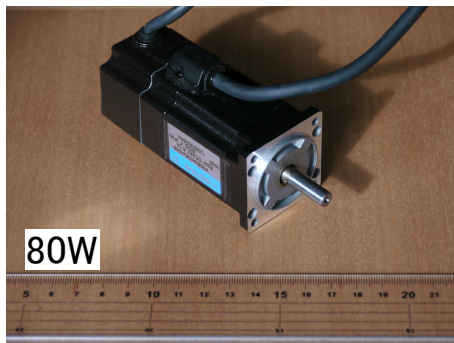


モータの種類

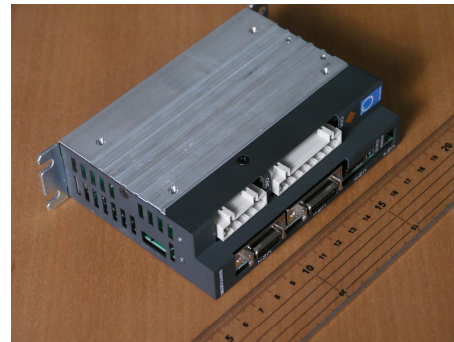
○ 電磁モータの種類

◇ 交流(AC)サーボモータ

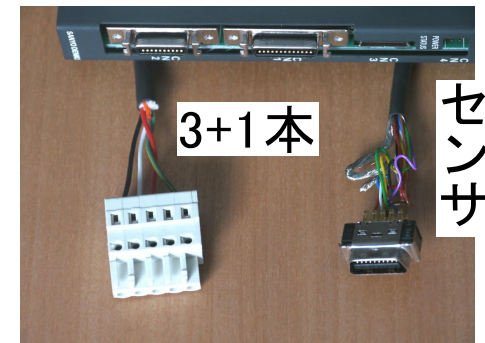
- ・ 制御用に作られた永久磁石式同期モータ。
- ・ 専用のサーボアンプ(制御インバータ)によって、回転が精密に制御される。



山洋製 モータ＋センサ



サーボアンプ



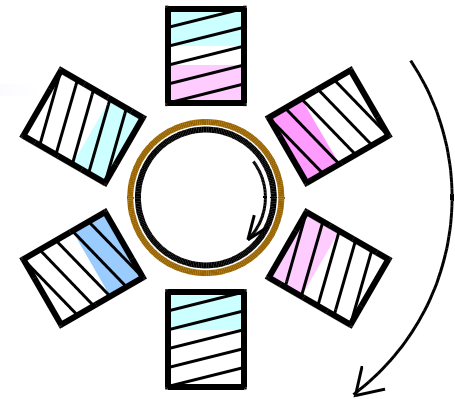
配線の例

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～、ステッパM）

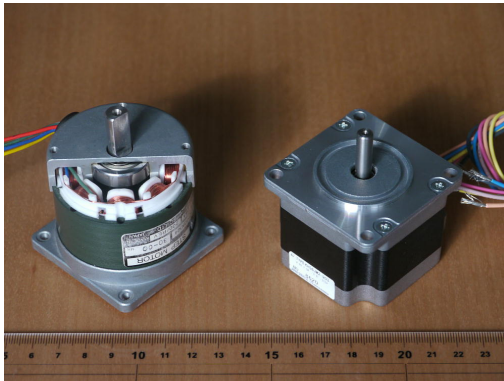
- ・ 電流を流しただけでは回らず、**電流を切り替えることで一定角度ずつ回転**するモータ。
- ・ 切り替えの回数・順序・タイミングのみで、**指定角度、速度で回す**ことができるため、メカトロで多用されている。

モータの種類

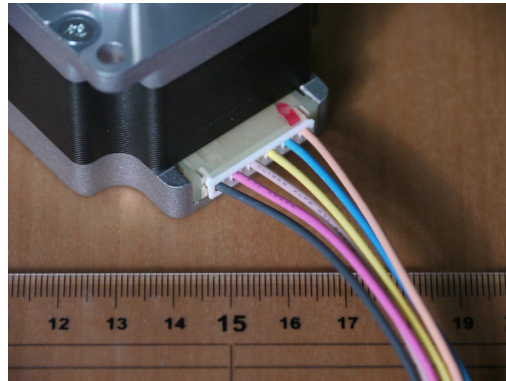
○ 電磁モータの種類

◇ ステッピングモータ

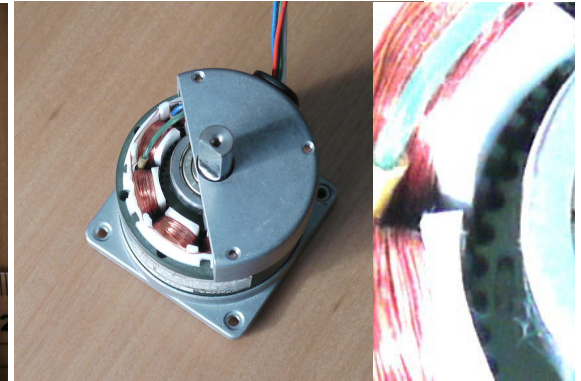
- ・ステータが複数の電磁石で構成される。
- ・電磁石ごとにON/OFFする→配線が多い。



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

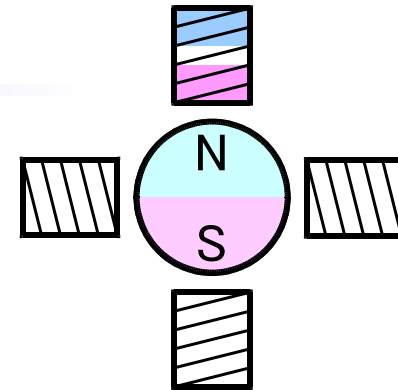
モータの種類

○ 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

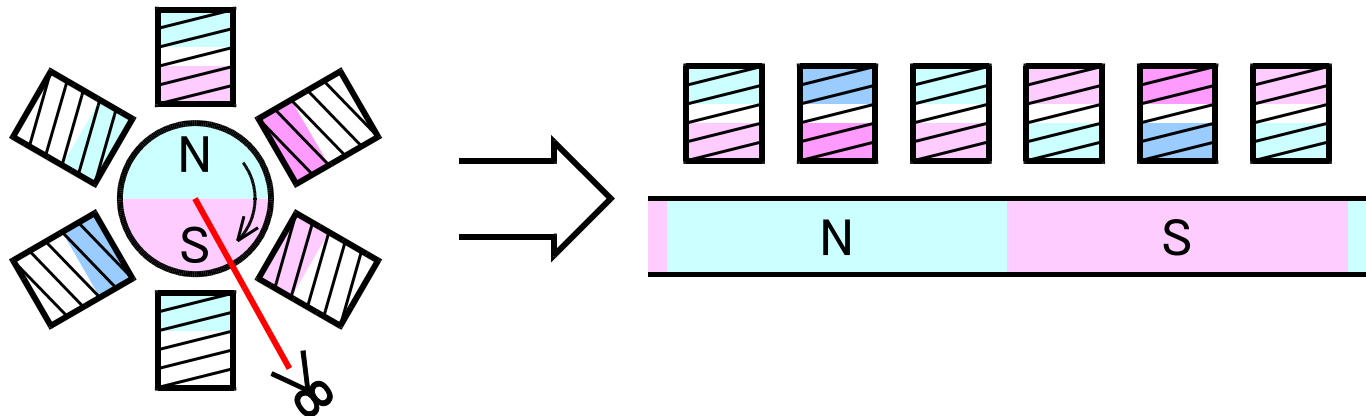


モータの種類

○ 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

全ての根幹の
重要式

$$\begin{aligned} & \cdot \langle \text{インダクタンス} [H] \rangle \times \\ & \quad \langle \text{電流時間変化} [A/s] \rangle = \text{両端の電圧} [V] \\ & \quad (\text{電流変化} = \text{電圧} \div \text{インダクタンス}) \end{aligned}$$

◇三つの解釈

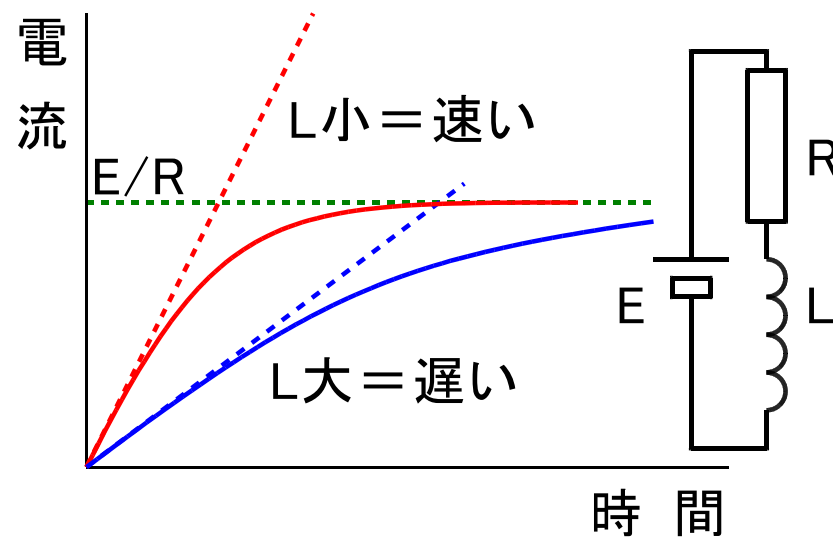
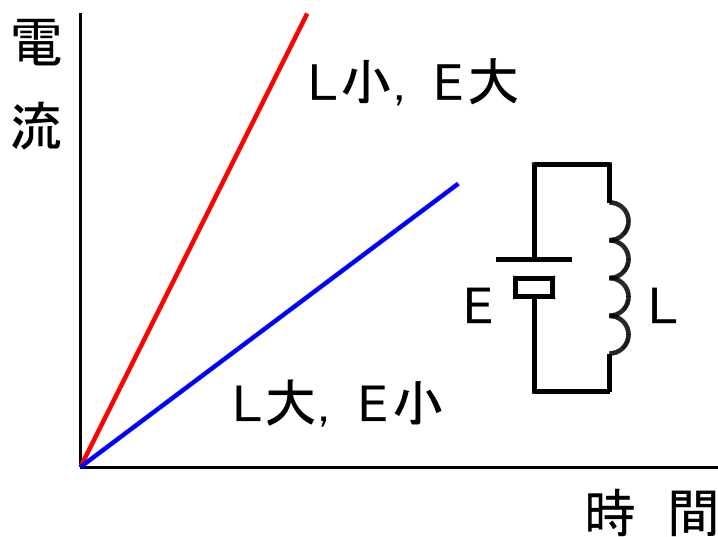
- ・ 急に電流を流すには一時的に高い電圧必要
- ・ 急なOFFは高電圧発生
- ・ 断続スイッチ → 連続電流

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

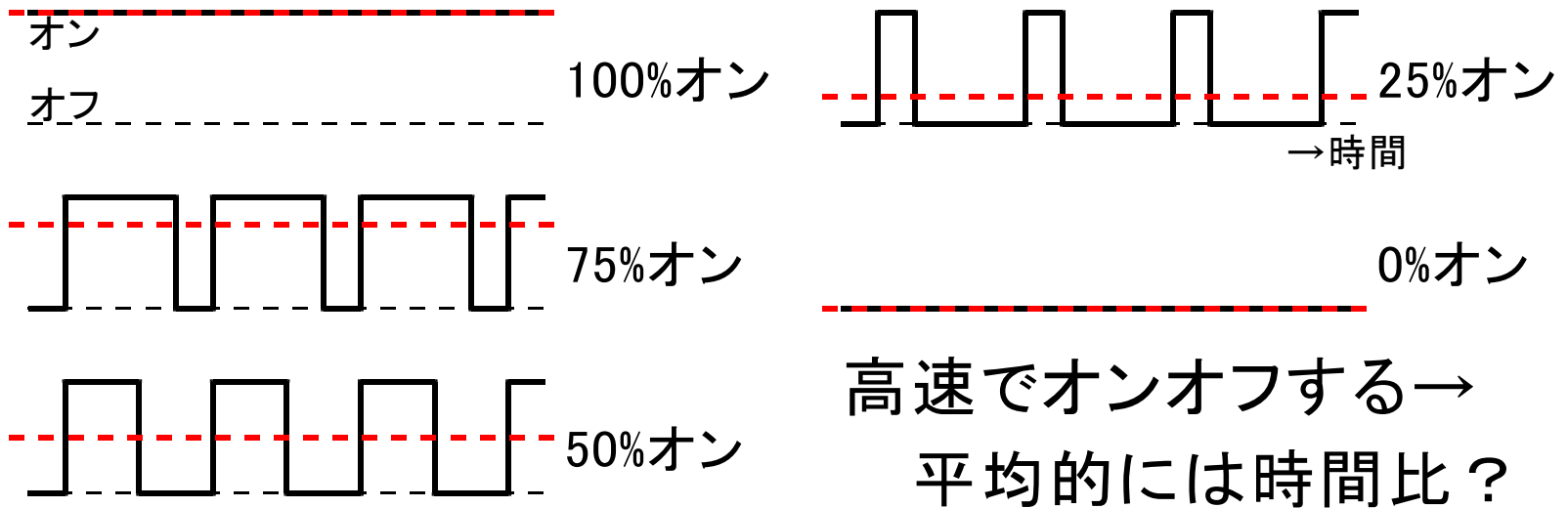


スイッチングによる出力調整

○ 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

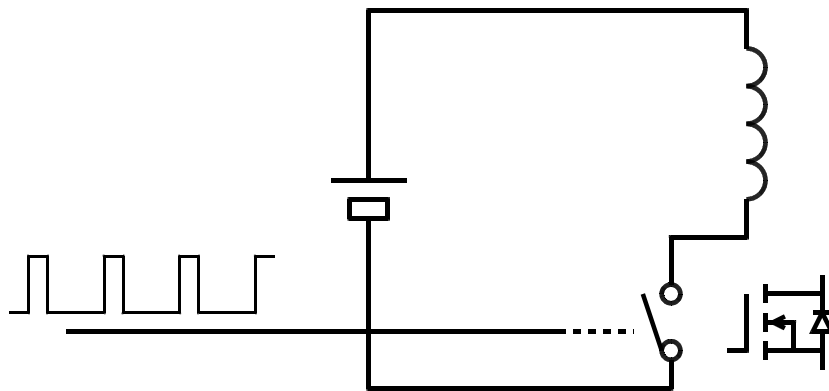


スイッチングによる出力調整

○ スwitchング回路

◇ 原理回路

- ・ 半導体スイッチでオンオフ



オフにするのは危険！

スイッチオフ

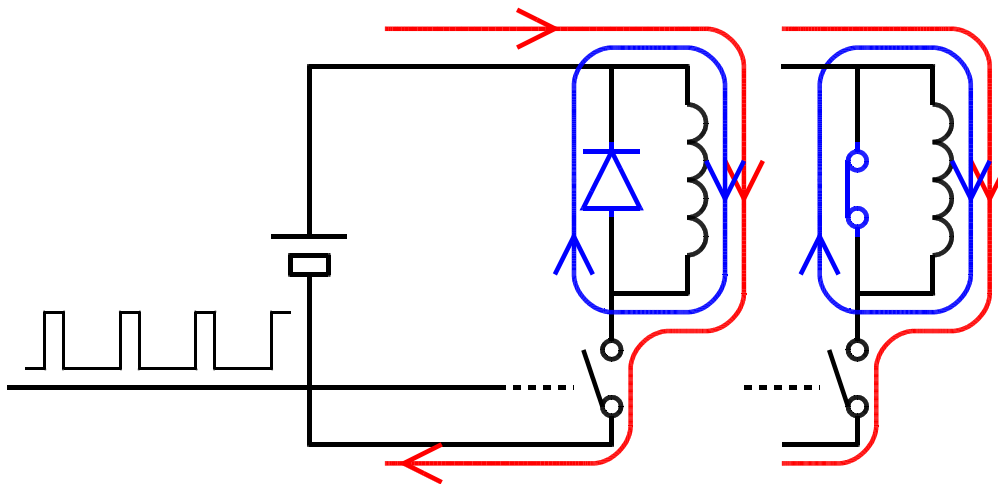
- 電流が流れようがない
- 電流が急にゼロになる
- 電流時間変化(負に)大
- コイル両端に高電圧
- 火花 or 半導体破壊

スイッチングによる出力調整

○ スwitchング回路

◇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



オフしたときの電流の
行き場を作る

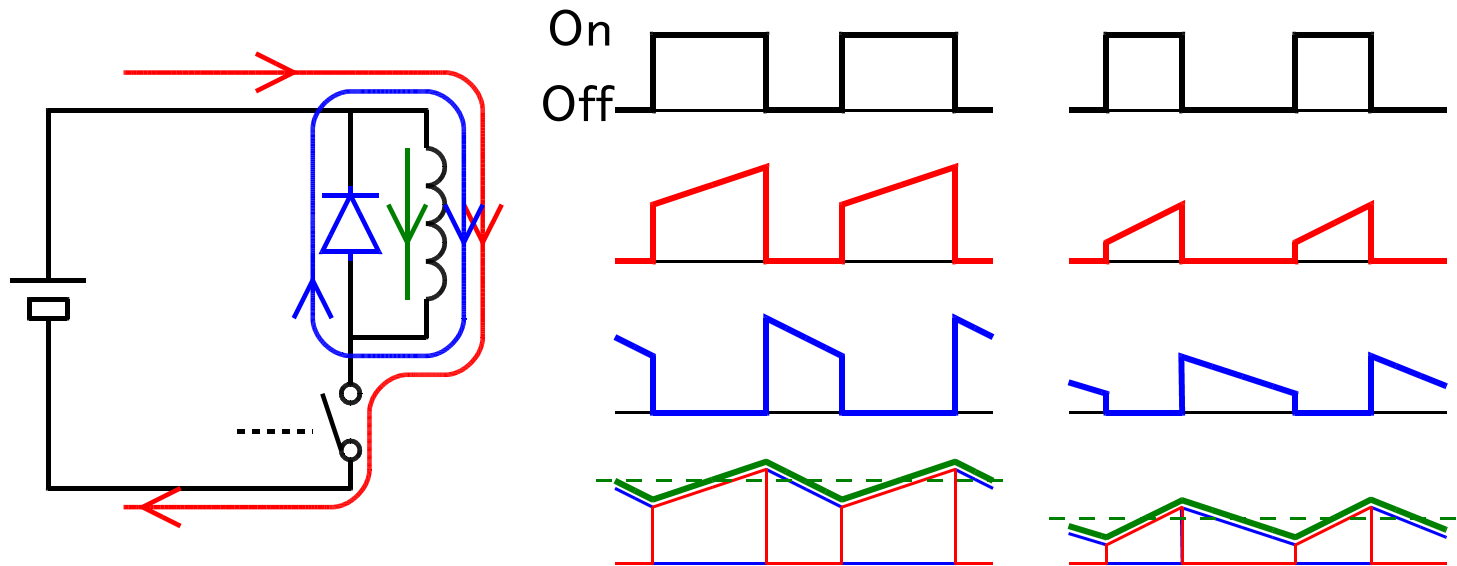
- ・ ダイオード
- ・ 逆タイミングでオン
するスイッチ

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



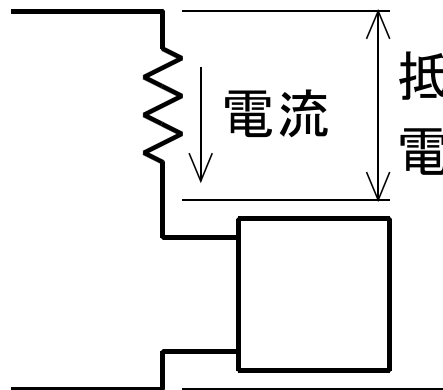
電流大＝上がりにくく、下がりやすい

なぜスイッチングか

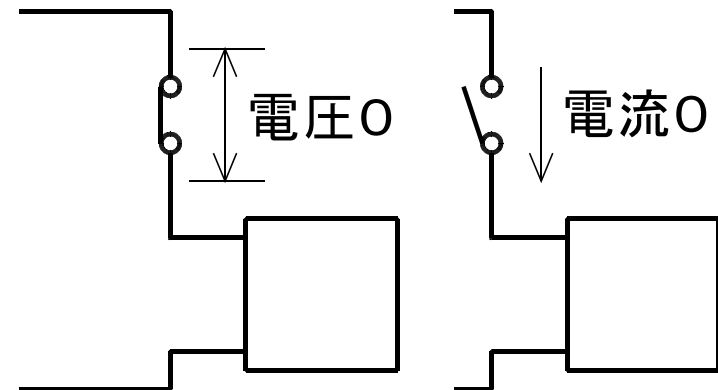
○ アナログ増幅との効率比較

◇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



損失 = 抵抗の電圧 × 電流



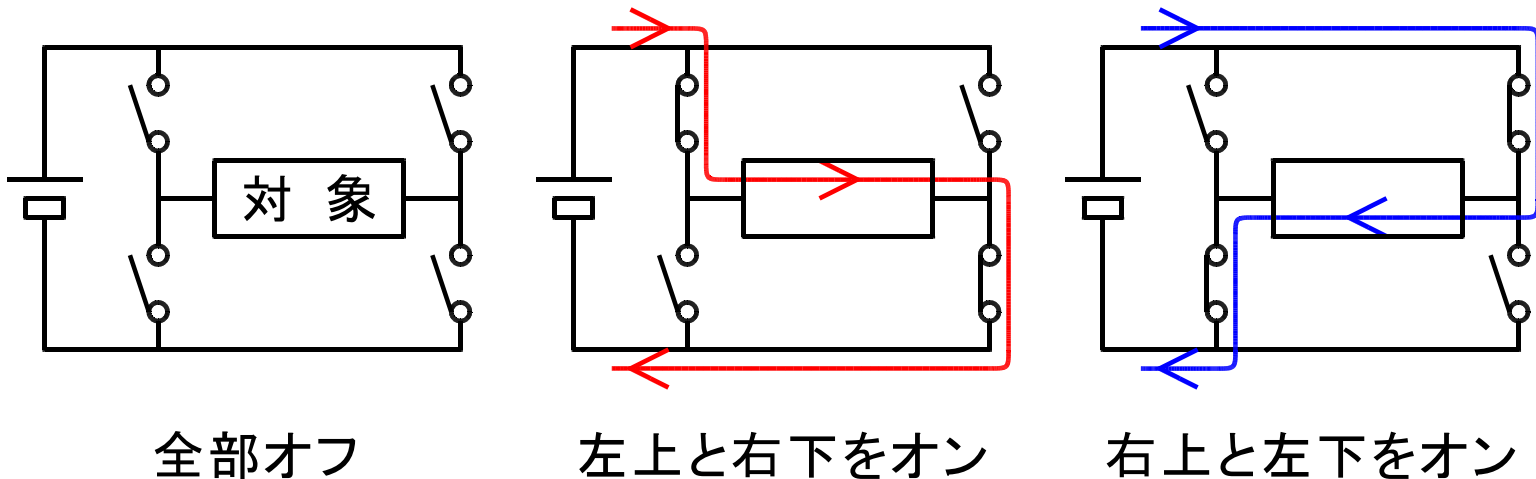
損失 = 0 × 電流 or 電圧 × 0 = 0

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

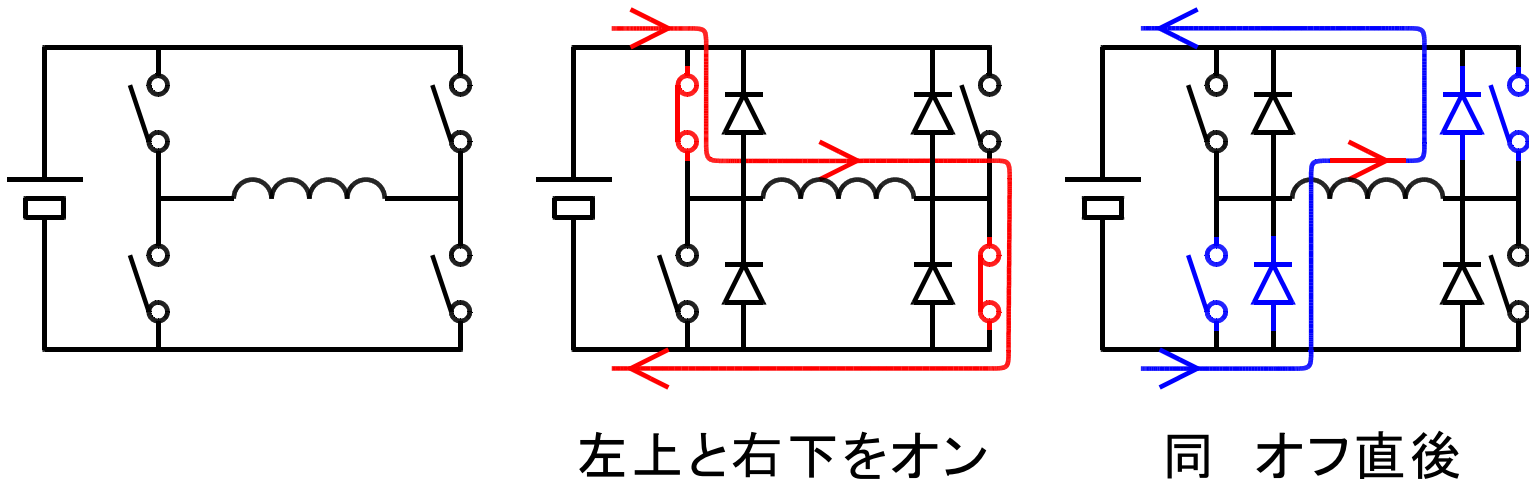


極性を変えるスイッチ回路

○ 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

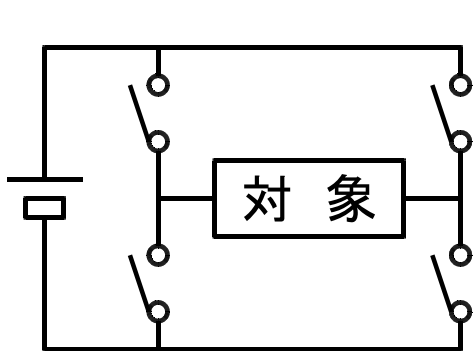


極性を変えるスイッチ回路

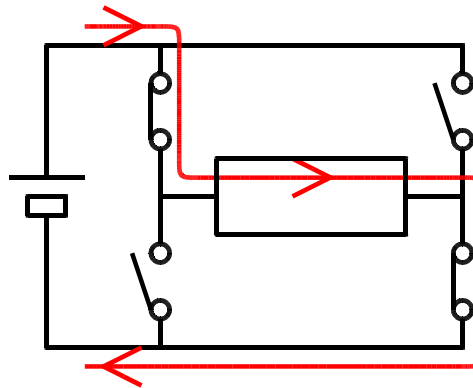
○ Hブリッジのその他の動作

◇ブレーキモード

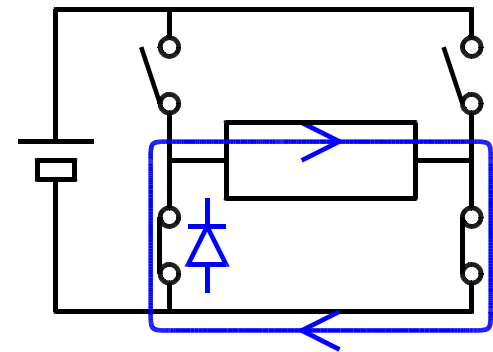
- ・ スイッチ / スイッチ + D で輪をつくる
→ コイルの電流経路づくり or ショートでブレーキ



全部オフ



左上と右下をオン



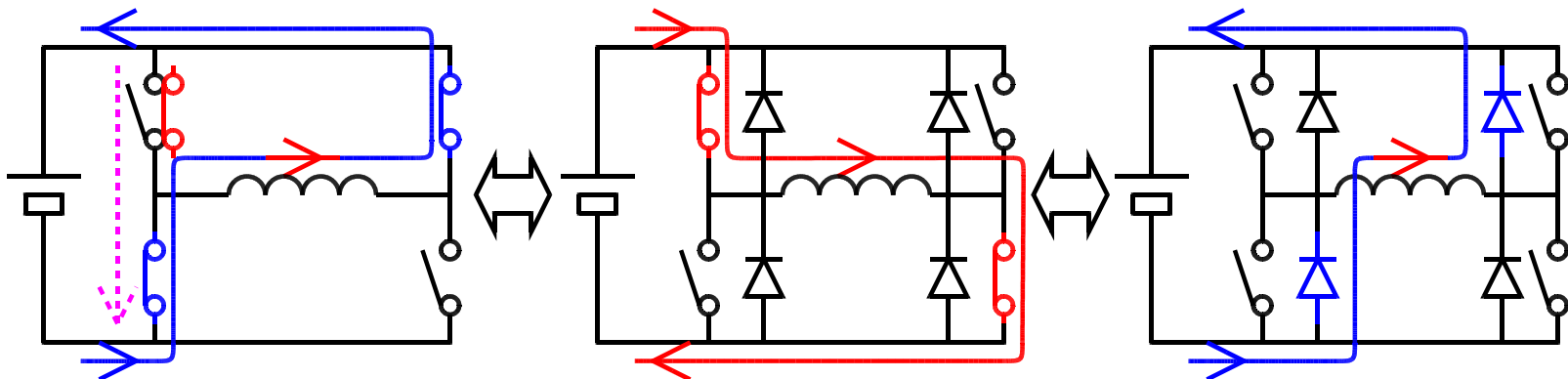
下(or上)二つをオン
※通称ブレーキ

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witch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

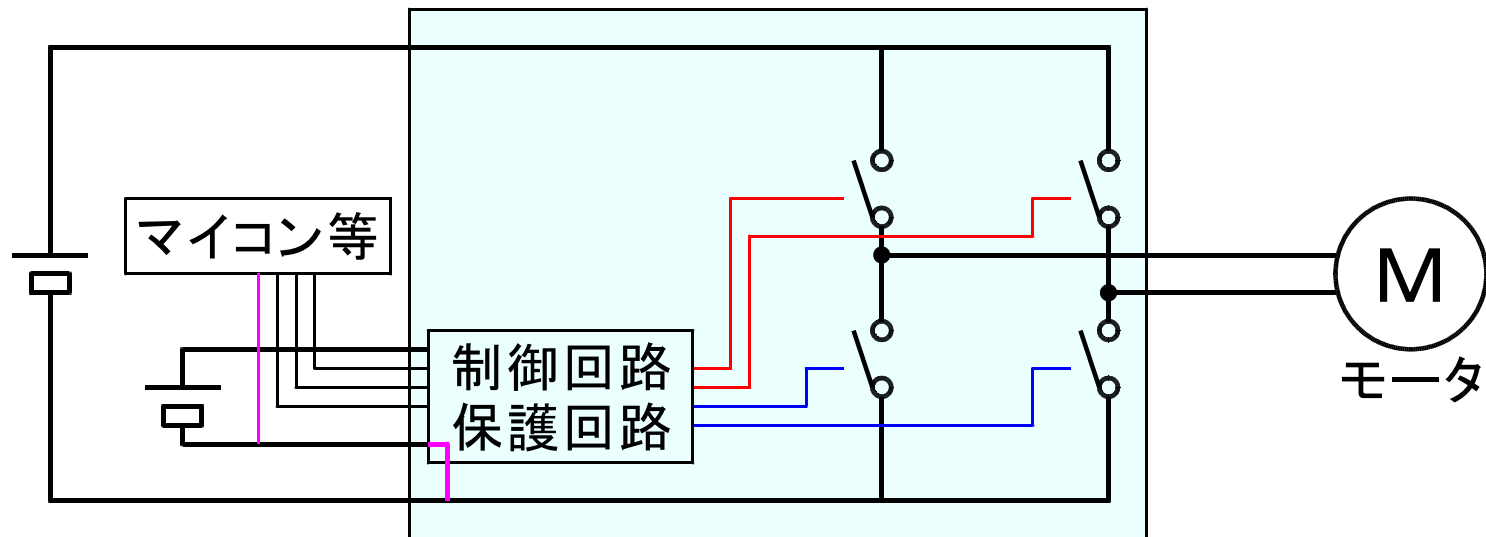
直流モータを回す

○ 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

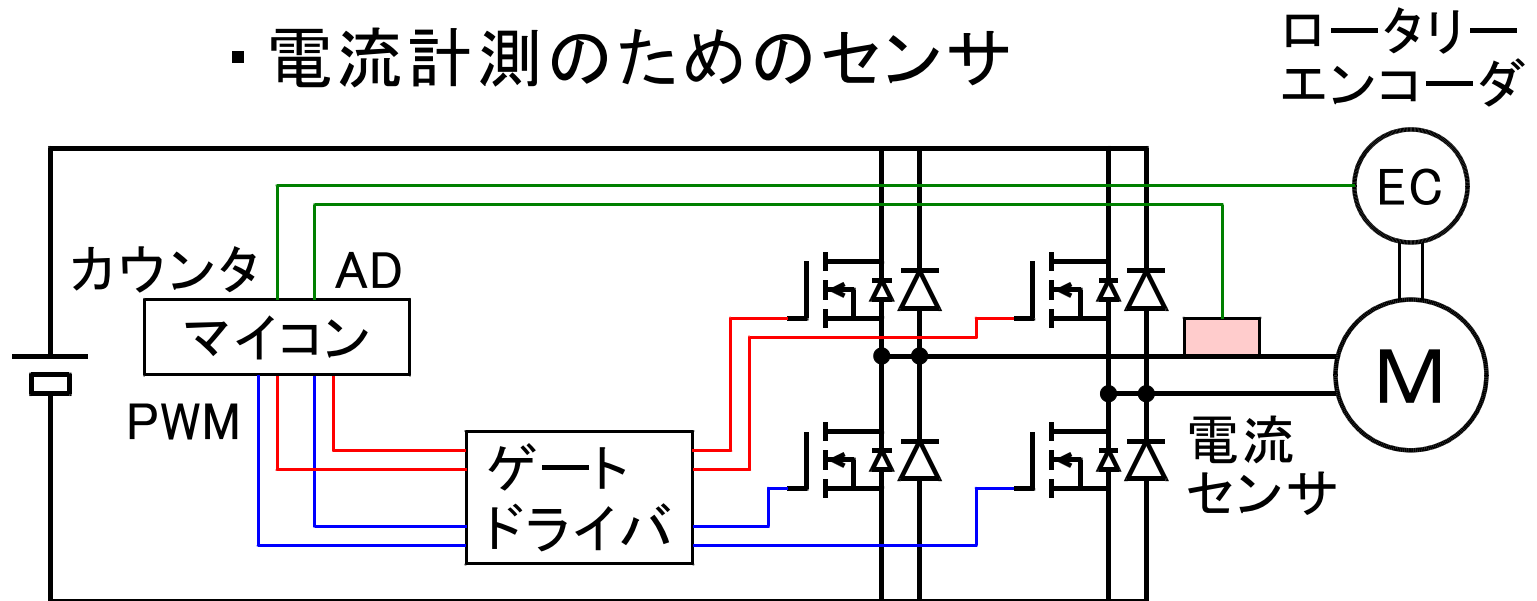


直流モータを回す

○ 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

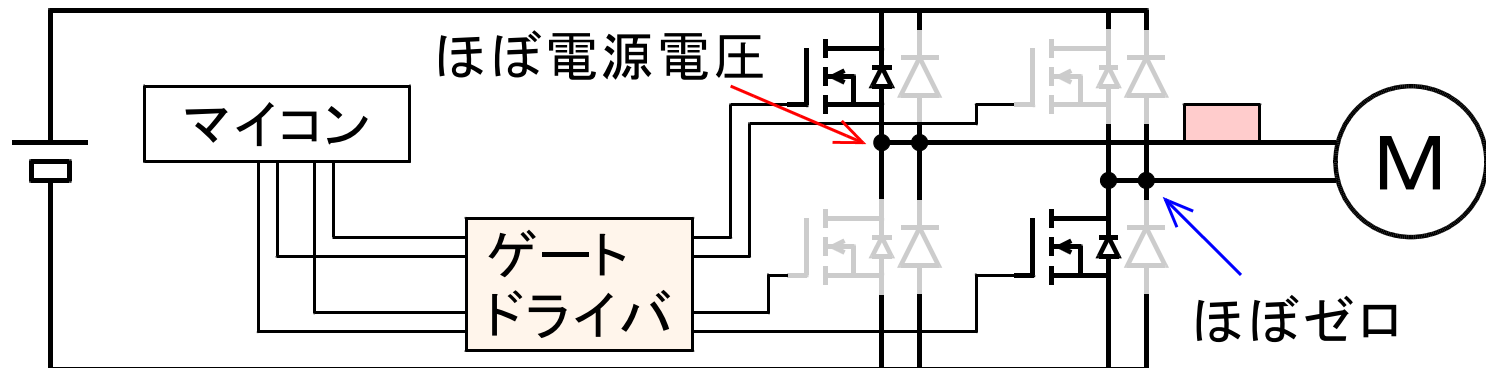


直流モータを回す

○ 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。



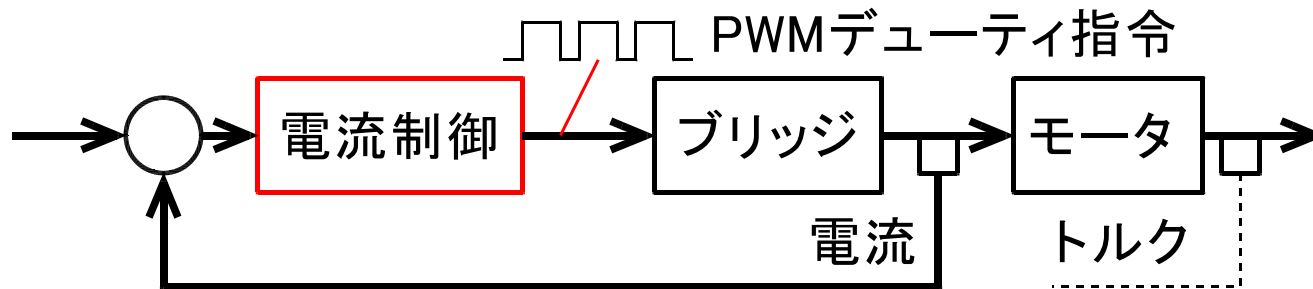
フィードバック制御

○ 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。

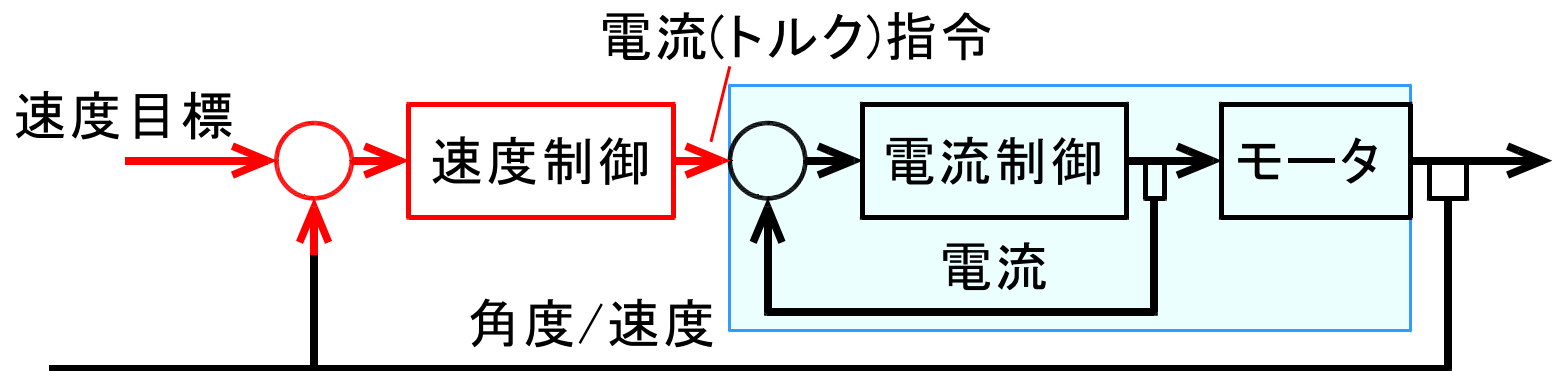


フィードバック制御

○ 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。

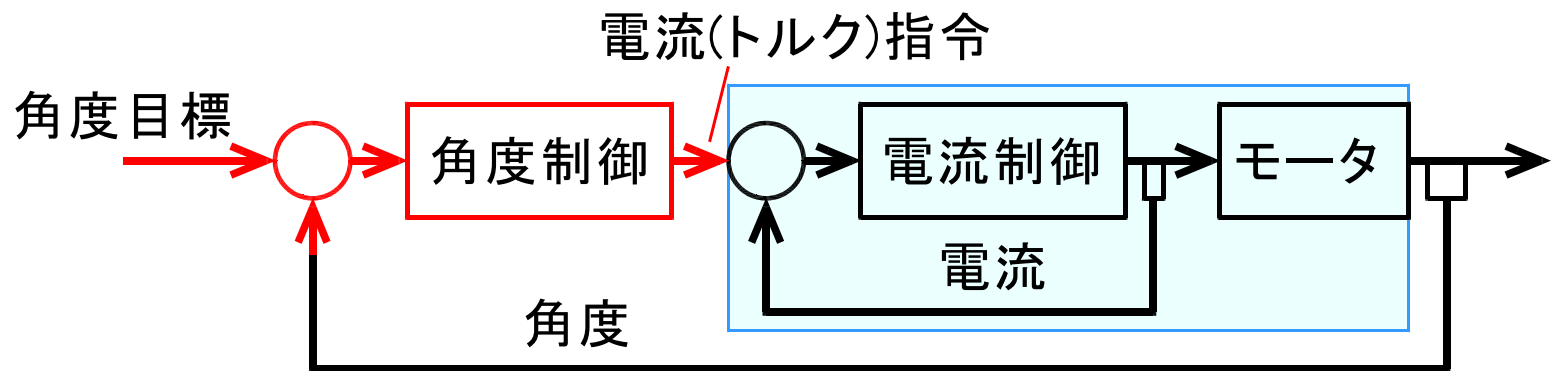


フィードバック制御

○ 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。

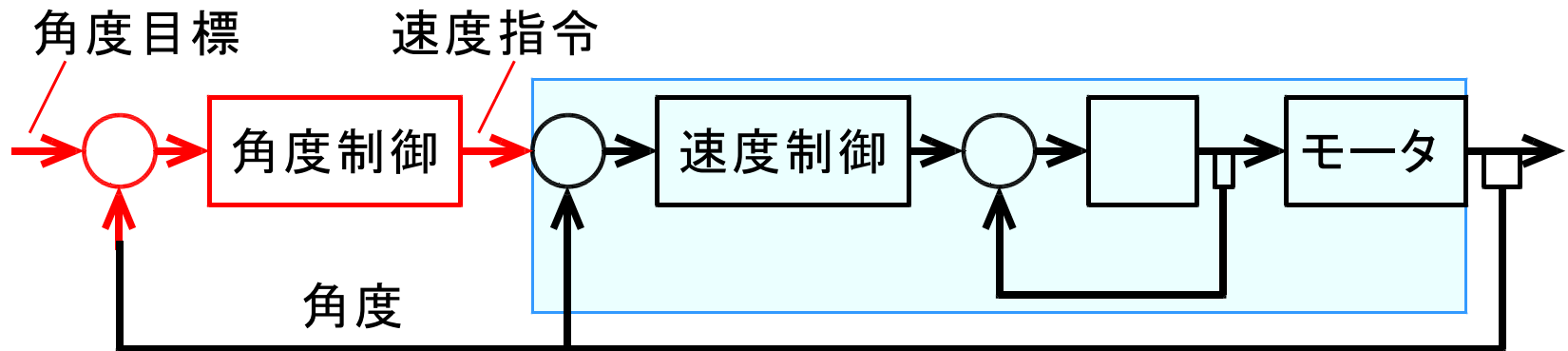


フィードバック制御

○ 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**。

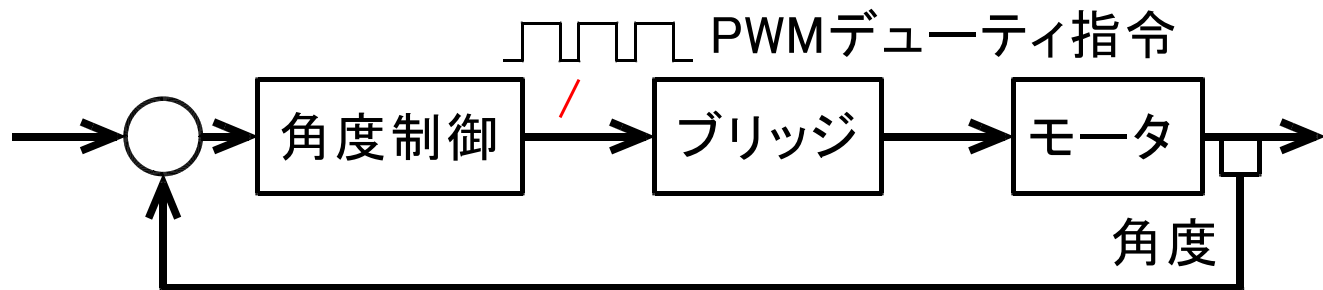


フィードバック制御

○ 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パテンショメータ

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

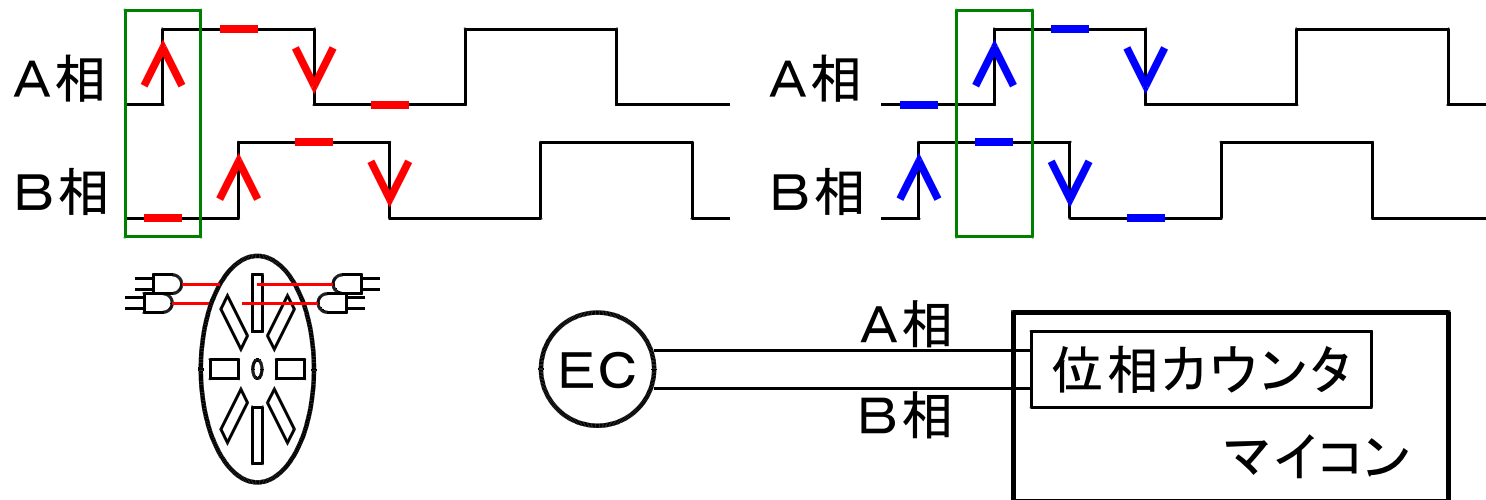
- ・ AD(アナデジ)変換1本→電流計測
- ・ 位相カウンタ(エンコーダカウンタ)1本
→ ロータリーエンコーダ接続
- ・ もしくはAD変換 → ポンテシヨ接続

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？

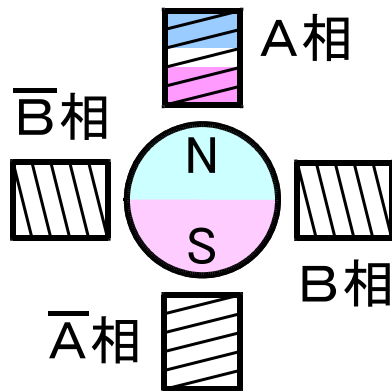
- ・位相カウンタで制限

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

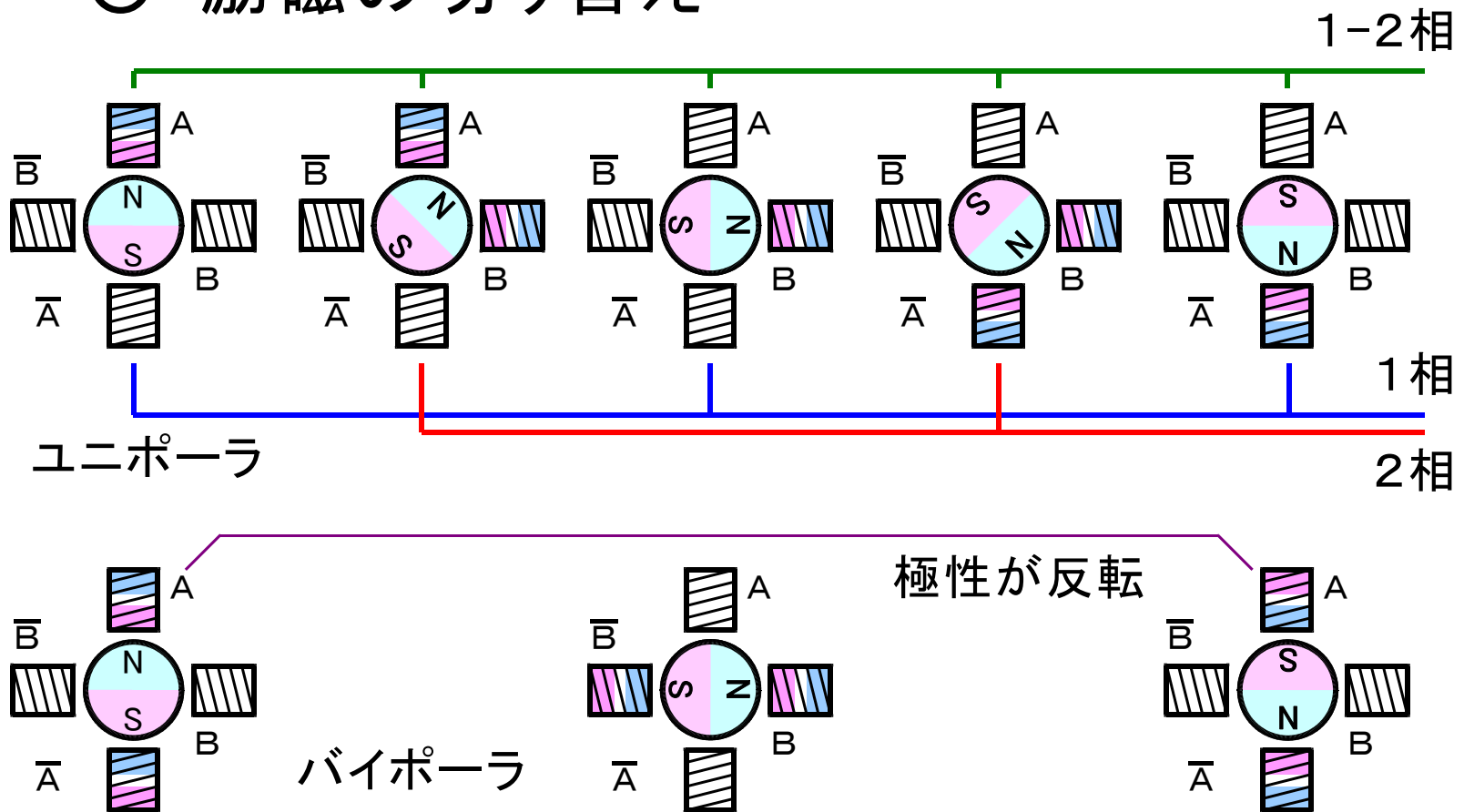
- ・ 一般的な2相型モータは4系統のコイル、
A, B, $\bar{A}$, $\bar{B}$ がある。



- ・ 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

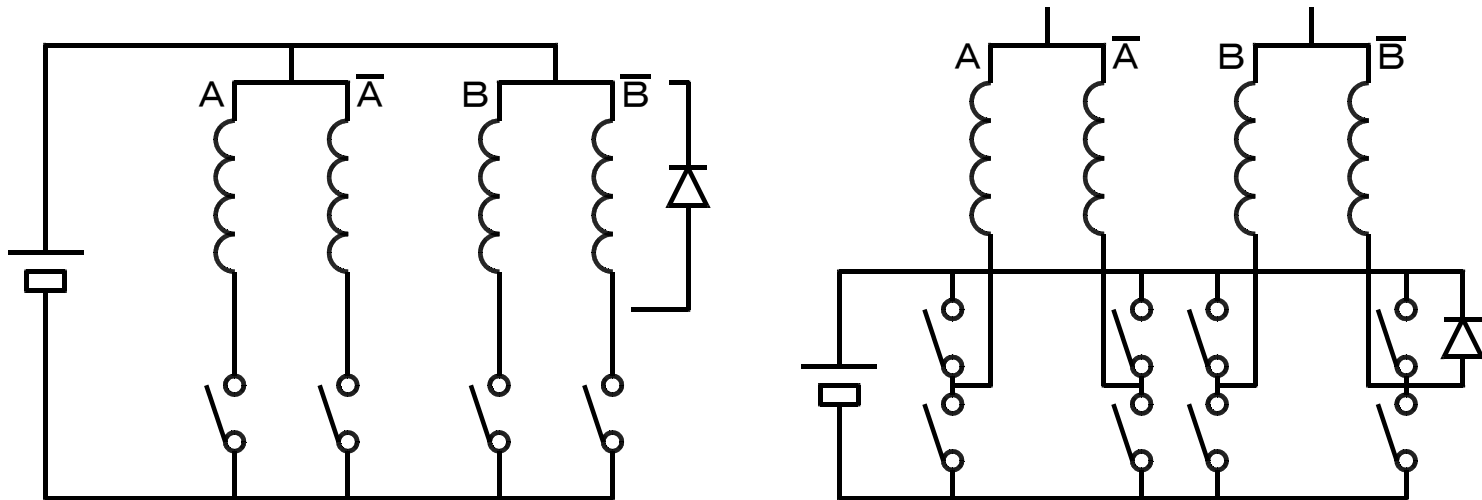


ステッピングモータを回す

○ 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

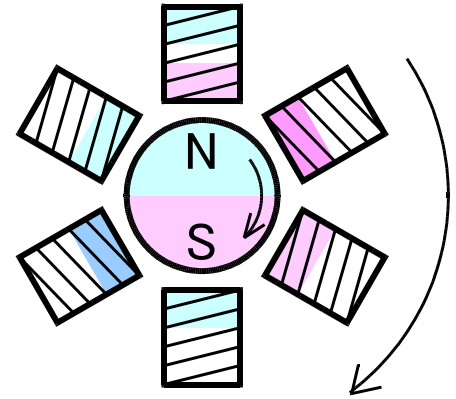
○ 自前の必要性はほぼ皆無

◇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

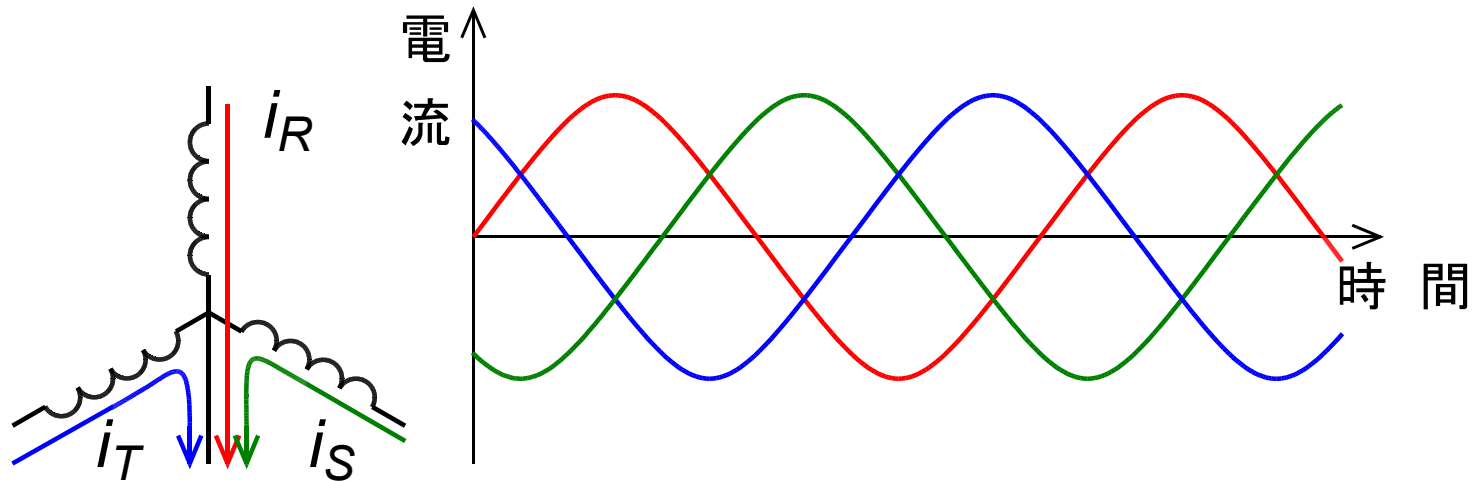


3相交流モータを回す

○ 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。

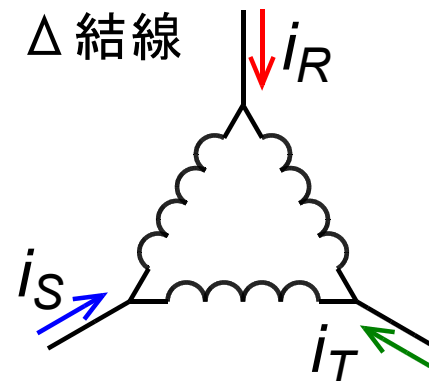
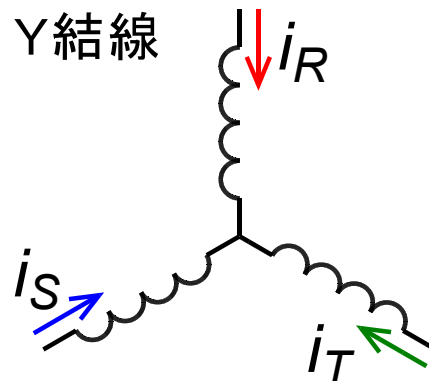


3相交流モータを回す

○ 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。

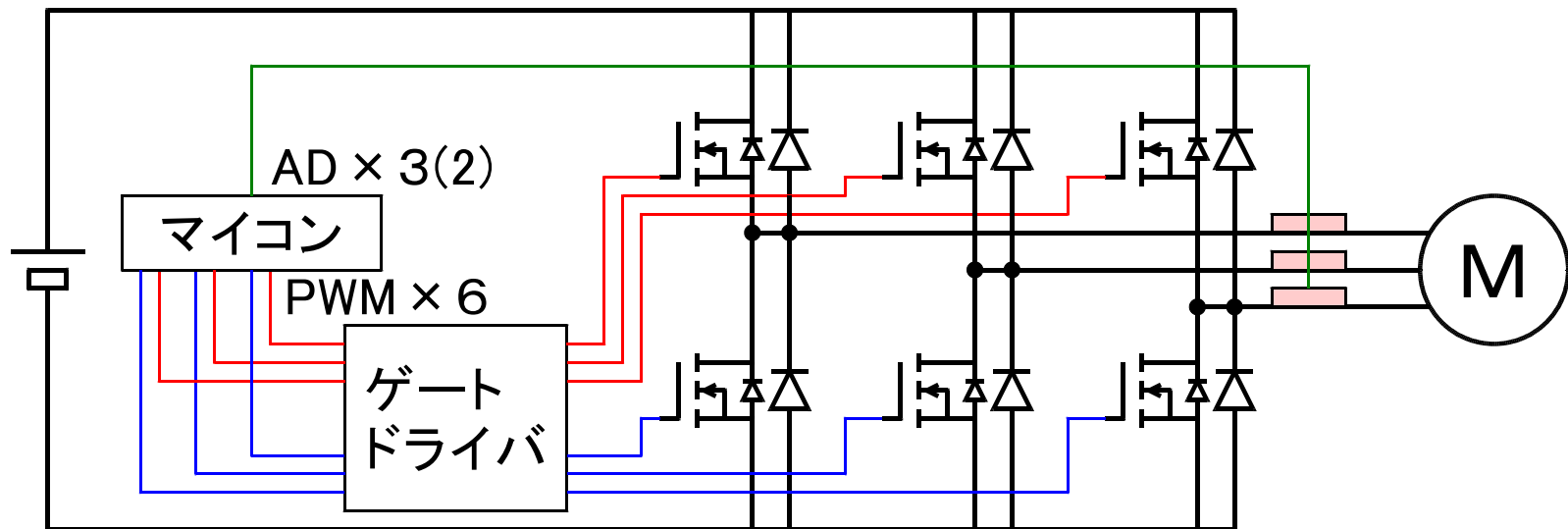


3相交流モータを回す

○ 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×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

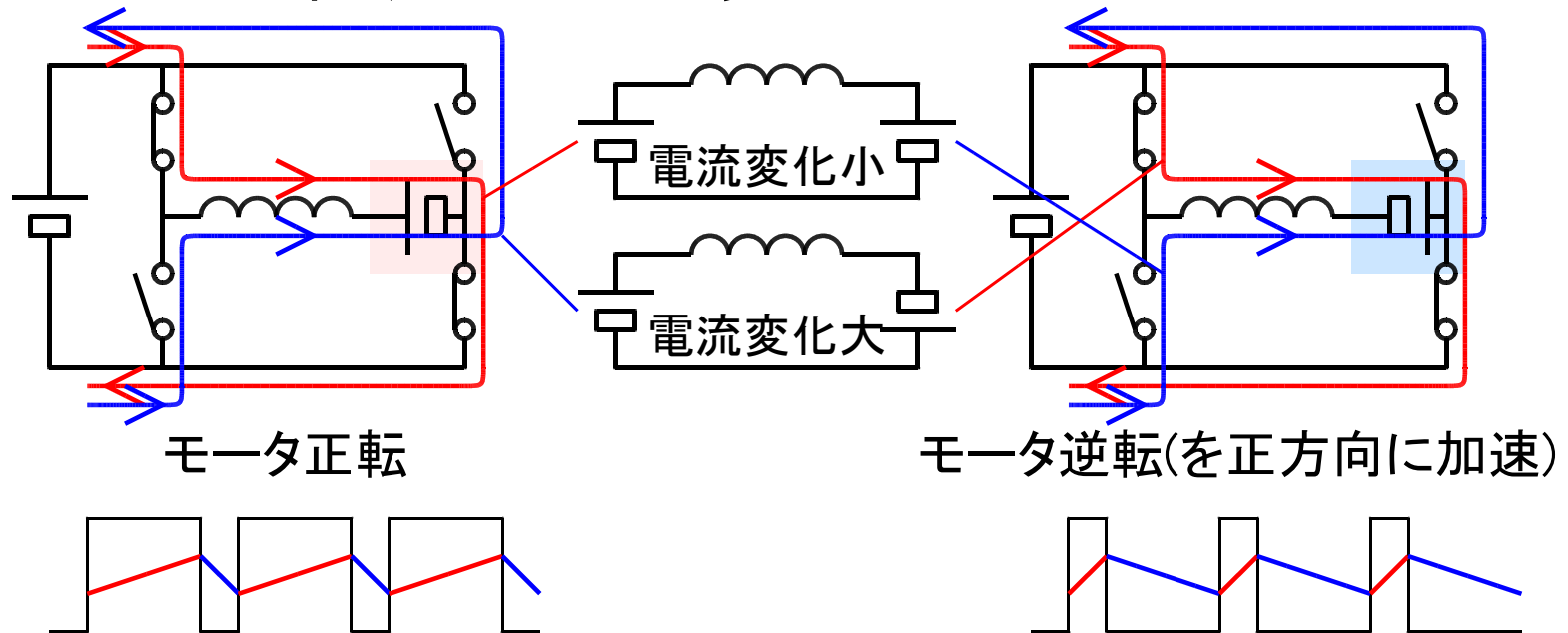
- ・ 回転している＝運動エネルギー
- ・ 減速＝運動エネルギーの減少
＝そのエネルギーがどこかに行く
 - 1) 熱
 - 2) 電力に戻る ＝ 回生
- ・ まともに設計した駆動回路は、自然に回生能力を持つ。

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

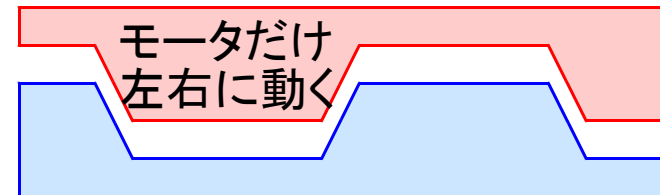
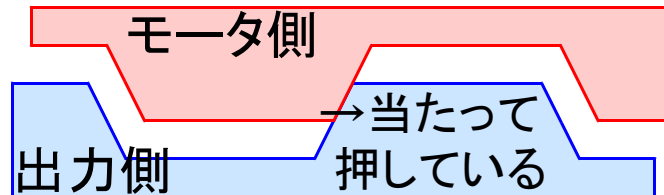
○ 問題1：負荷の変動

◇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

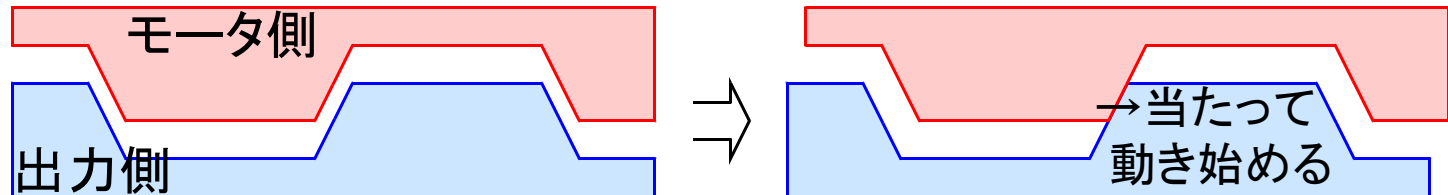
- ・出力側に角度センサ等をつけた場合:

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。



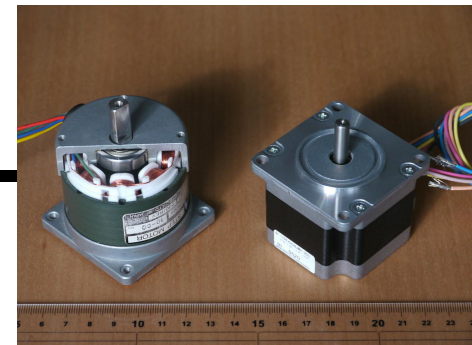
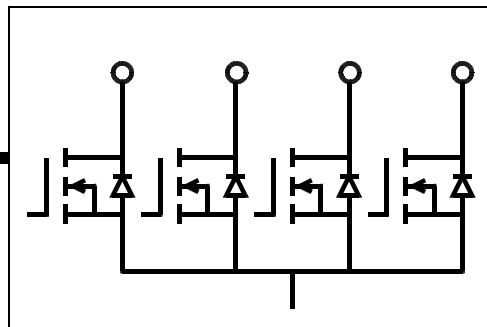
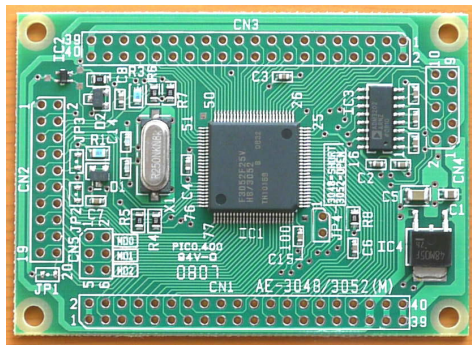
モータ駆動の事例

○ 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

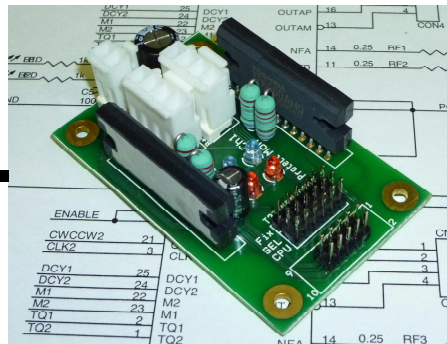
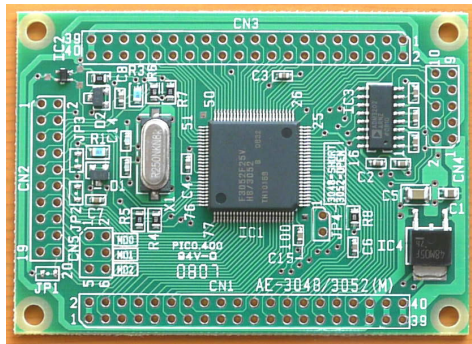


モータ駆動の事例

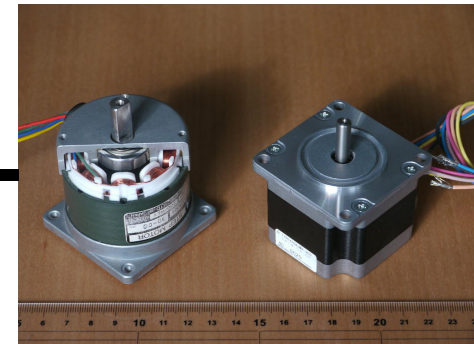
○ マイコン + ドライバIC

◇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



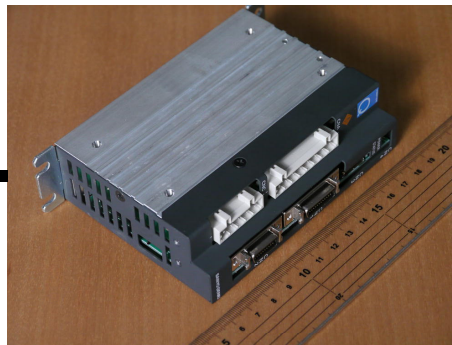
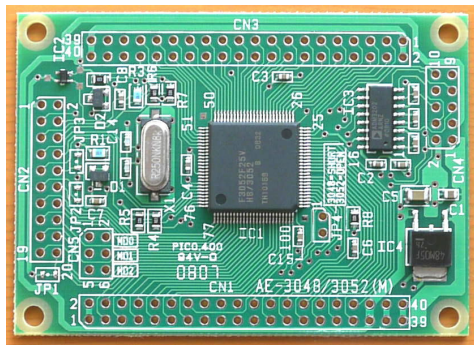
モータ駆動の事例

○ マイコン＋産業用モータコントローラ

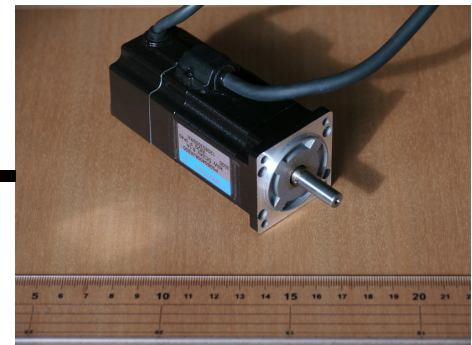
◇H8マイコン＋山洋電気ドライバ＋ACサーボ

- ・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



× 3



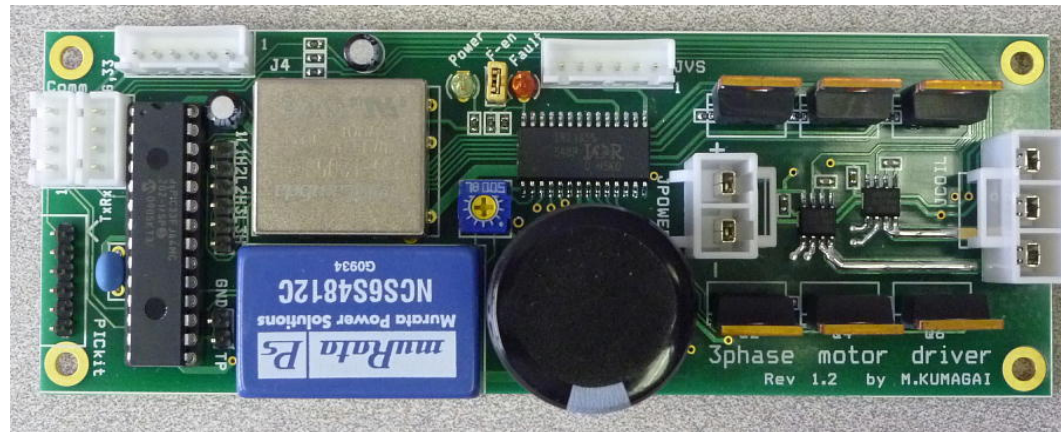
× 3

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

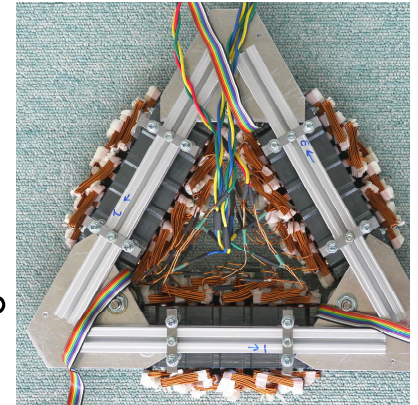
- ・モータの開発研究で制御系が必要だった。
- ・パラメータ設定などの自由度が必要。

◇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

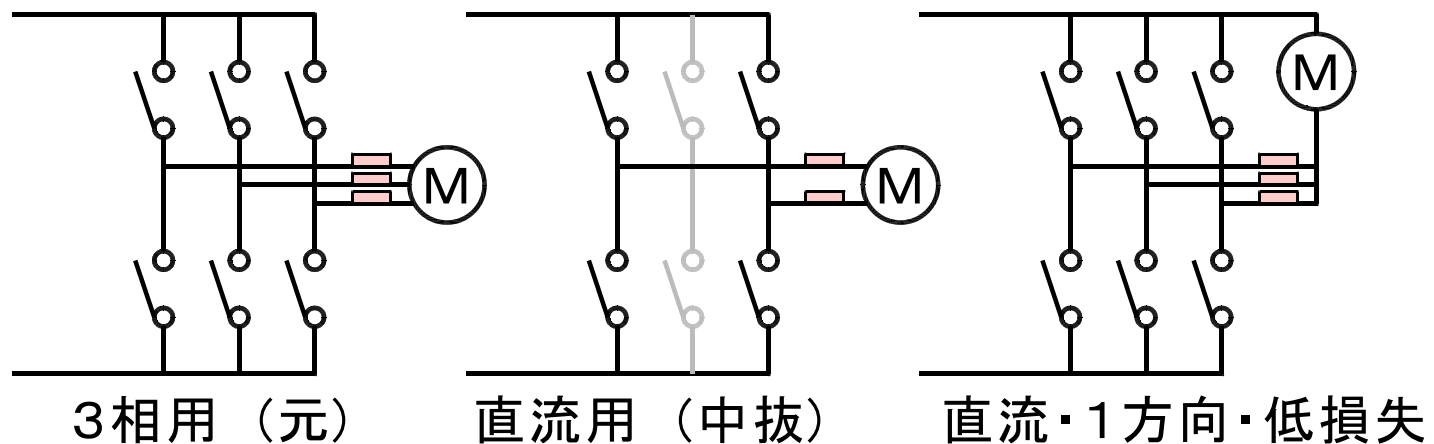
- ・スイッチングノイズ → スナバ回路で解決。



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。