

マイコンによるモータ制御

工学部 機械知能工学科

熊谷 正朗

kumagai@mail.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

今回の到達目標

○メカトロの一例としてモータ制御

- ◇メカトロニクスの検討・実現手順を説明できる。
 - ・対象の特性、制御方法、計測、操作
 - ・マイコン制御におけるソフトの作業
- ◇直流モータのトルク・速度・角度制御の実現方法の概要を説明できる。
 - ・各フィードバックのためのセンサと操作方法
- ◇ロータリーエンコーダの動作・原理を説明できる。
 - ・モータ用の主要な回転角度センサ

メカトロシステムの実装検討

○一般的な検討手順

- 1: 対象の特性を把握する
 - ・特性式、操作方法(入力)、結果の動作(出力)
- 2: 制御方法を検討する(本決定 or 十分な目処)
 - ・計測すべき状態量 → 制御則 → 操作量
- 3: センサ=状態量の取得手段を確保する
 - ・センサそのもの → コンピュータ内数値
- 4: 駆動系=操作手段を確保する
 - ・アクチュエータ ←←← コンピュータ内数値

実例: 直流モータの制御 - 1: 特性

○制御対象の特性 → すべきこと、制御則

- ◇電気的特性 (→基礎12)
 - ・電流に比例したトルクが出る → 電流制御
 - ・回転速度に比例した電圧が生じる
→ 速くなったときには高い電圧が必要
 - ・電圧 $\div$ 抵抗 $\times$ 電流 + 起電力定数 $\times$ 速度
- ◇機械的特性 $\downarrow f=ma, a=f/m$ と同形
 - ・(単独なら) 角加速度 = トルク $\div$ 慣性モーメント
 - ・角加速度 $\rightarrow$ 角速度 $\rightarrow$ 角度

直流モータの制御 - 1: 特性

○具体的な数値スペック

- ◇モータ本体
 - ・定格電圧: 定格速度 $\times$ 定格トルク = 定格出力
を出すときの電圧 $\div$ 必要な電圧の目安
 - ・定格電流: 定格トルクを出すための電流
 $\div$ 通常使用の最大電流(連続使用で)
(・機械的な寸法: 外寸、軸径など)
- ◇付属センサ
 - ・ロータリーエンコーダのパルス数(後述)など

直流モータの制御 - 2: 制御則

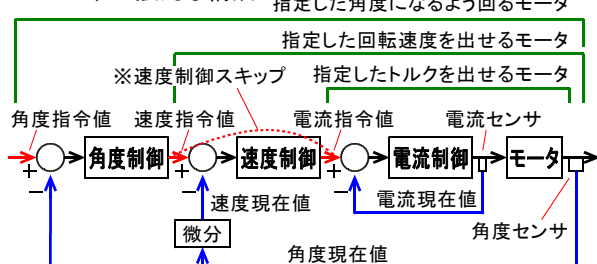
○なにを制御するか、どう制御するか

- ◇電流制御(トルク制御/電気的特性の制御)
 - ・指定した電流になるようにPWM操作する
 - ・比例積分(PID)制御を用いる(起電力対応)
 - ・簡易的用途には使わない場合も多い
- ◇速度制御、位置制御(力学的特性の制御)
 - ・指定した角速度、角度になるようにトルクを指令する($\uparrow$ の入力)
 - ・PD制御、PID制御を用いる(D:微分、応答改善)

直流モータの制御 - 2: 制御則

○制御ブロック線図と必要な状態量センサ

- ◇一般的な構成



直流モータの制御 - 3: センシング

○センサの選定と入力方法(マイコン)

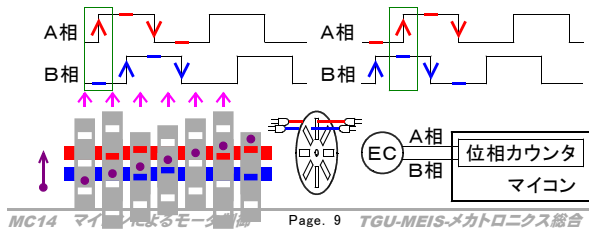
- ◇電流測定(応答速度100kHz程度)
 - ・抵抗を直列に $\rightarrow$ 電圧増幅 $\rightarrow$ AD(マイコン内)
 - ・絶縁型センサ(ホール素子) $\rightarrow$ (増幅) $\rightarrow$ AD
- ◇モータの角度・角速度測定
 - ・ロータリーエンコーダ(次) $\rightarrow$ カウンタ
 - ・ポテンシオメータ(可変抵抗器型角度センサ)
角度に比例して抵抗値が変わる
 $\rightarrow$ 電圧 $\rightarrow$ (増幅) $\rightarrow$ AD 等

直流モータの制御－３：センシング

○ロータリーエンコーダ と カウンタ

◇2相の信号で正逆回転を判断

- ・光が通るスリットと2組の光センサ → パルス
- ・回転方向で2パルスの変化の順序が変わる



直流モータの制御－４：操作手段

○モータに電圧をかける・電流を流す

◇市販品：買ってきて説明書をよく読む(推奨)



◇アナログ的手段 (総合09 p5,6)

- ・DA変換器 → アナログ増幅回路
- ※PWM→ローパスフィルタ→増幅

◇スイッチング:Hブリッジ (主流;基礎13 総合09)



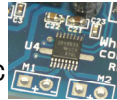
- ・PWM → (ゲートドライバ) → MOSFET × 4
- ・PWM → "ブリッジIC"
- ※最初からブリッジ関連回路が一体化

直流モータの制御－４：操作手段

○駆動回路の選定

◇アナログ増幅を選ぶことは、メカトロでは少ない

◇Hブリッジの部品選定(方針)



- ・出力低め → ブリッジ用の小型IC
- ・電圧～24[V]、電流～10[A]程度 → 強めのブリッジIC
- いずれも、モータ電源(+制御電源)+PWM信号 入力で動作する
- ↓ IGBTなども
- ・電圧高いor電流大きい → MOSFETで組立

直流モータの制御－４：操作手段

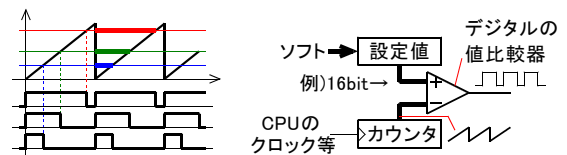
○マイコンのPWM出力

◇多くのマイコンはPWM出力機能を持っている

- ・Timer(タイマ) Output Compare(出力比較)等

◇PWM信号の生成原理

- ・増加カウンタ(鋸歯状)+比較器



直流モータの制御－５：制御ソフトウェア

○制御ソフトウェアの概要

◇マイコンの機能の初期設定

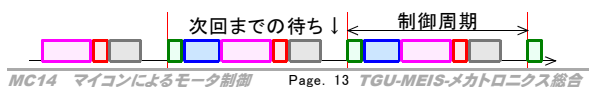
◇一定の時間ごとに (制御周期[ms][Hz])

■センサ生値の取り込み: ADやカウンタ

■センサ値の処理: 変換、微積、フィルタ等
例)エンコーダの[今回]-[前回]→角速度

■制御式の演算 ■操作量の出力

■余った時間でユーザ操作その他



直流モータの制御－５：制御ソフトウェア

○モータ制御の時間パラメータ(例)

◇PWMの周波数

- ・最低で20[kHz] ※高ければ良い訳でもない
- ← 20[kHz]を下回るとピー音が聞こえる

◇電流制御の周波数 (AD周波数に関係)

- ・10[kHz]など (< PWM周波数)
- ・遅い:大電流が流れるリスク 速い:無駄

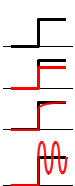
◇速度制御、角度制御の周波数

- ・1[kHz]など ←電流制御より落とす(目安1桁)

直流モータの制御－５：制御ソフトウェア

○モータ制御の制御パラメータ調整

◇電流制御ゲイン (比例(P) 積分(I))



- ・最初に調整を完了すること
- ・ゲイン0 → Pゲインをあげていく → PWM出る
- 指令に応じた(≠一致した)電流が流れる
- Iゲインを上げていく → 一致&回転対応
- ・上げすぎる → 電流が激しく波打つ(発振)

◇速度、位置制御ゲイン (P,I,D)



- ・指令をステップ状に入れて反応を見ながら

メカトロニクスと制御：まとめ

○対象に応じた制御を実現するための回路

◇センサ～信号処理の重要性

- ・制御に不可欠、制御の性能を制約する
- ・制御結果の評価にも使う

◇操作手段

- ・対象を動かすのに十分な規模の電力対応
- ・高電圧、大電流、高応答 (取扱注意)

◇制御系ハード

- ・入出力機能を積んだマイコンの採用