

# 電磁系アクチュエータ の出力操作

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

### ○ 電磁アクチュエータの動かし方

- ◇Hブリッジについて説明できる。
  - ・電流を流す極性の変更方法
- ◇PWMによる出力調整方法を説明できる。
  - ・オンとオフだけによる出力の調整方法
  - ・スイッチングによる調整 と アナログ的な直列可変抵抗による調整
- ◇スイッチオフ時の問題について説明できる。
  - ・コイルの特性とフリーホイール

MB13 電磁アクチュエータ出力操作 Page. 2 TGU-MEIS-メカトロニクス基礎

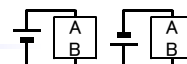
## なにをすべきか

### ○ 電磁アクチュエータの動作調整

- ◇電磁アクチュエータ全般の特徴
  - ・電流の向きを変えると磁極・磁力等が反転。
  - ・電流の大きさに比例した力が出る。
- ◇アクチュエータ出力を調整するには
  - ・電流(≠電圧)の極性を変更する。
  - ・電流(≠電圧)の大きさを変更する。
- ◇変更の指令
  - ・コンピュータからの電氣的な指令で

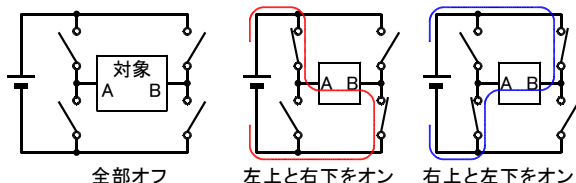
MB13 電磁アクチュエータ出力操作 Page. 3 TGU-MEIS-メカトロニクス基礎

## Hブリッジ



### ○ オン-オフ スwitchによる極性変更

- ◇スイッチ4個の回路
  - ・対角位置のスイッチをセットでオンオフ。
  - ※上下のスイッチは絶対に同時オンしない。

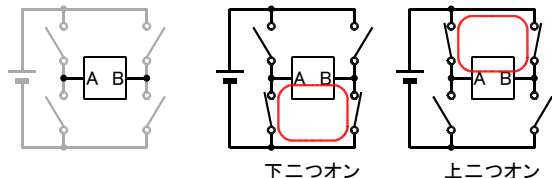


MB13 電磁アクチュエータ出力操作 Page. 4 TGU-MEIS-メカトロニクス基礎

## Hブリッジ

### ○ 全オフ、ブレーキ

- ◇電源とはつながらない2モード
  - ・(全)オフ: 単なるオフ
  - ・ブレーキ: 上下一方の2個オン (ショート)

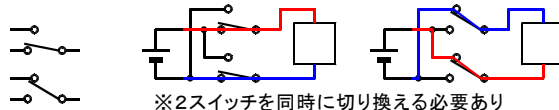


MB13 電磁アクチュエータ出力操作 Page. 5 TGU-MEIS-メカトロニクス基礎

## 極性変更のスイッチ回路

### ○ 切替スイッチによる実装 & モータに適用

- ◇切替スイッチ・リレーによる正逆切替



- ◇各種モータへの切替スイッチの適用

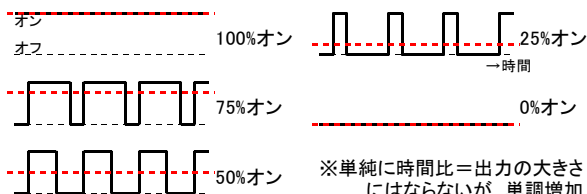
- ・直流モータ: 正逆可
- ・三相交流モータ: 3本のうち、2本入替で可
- ・单相交流モータ: 一般に不可(参考: 扇風機)

MB13 電磁アクチュエータ出力操作 Page. 6 TGU-MEIS-メカトロニクス基礎

## PWMによる出力の調整

### ○ オンとオフだけで「中くらいの出力」

- ◇アイデア: 高速でスイッチをオンオフする
  - ・オンの期間の比率で「平均的に」調整
  - ・オンの時間の比率 = デューティ比



※単純に時間比=出力の大きさにはならないが、単調増加

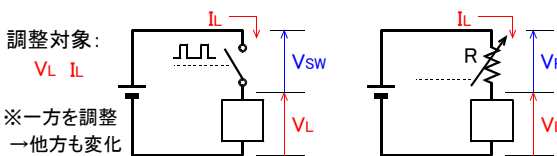
MB13 電磁アクチュエータ出力操作 Page. 7 TGU-MEIS-メカトロニクス基礎

## PWMによる出力の調整

### ○ スwitching型 と 直列可変抵抗型

- ◇二つの出力調整方法

- デジタル的 ・スイッチング(PWM): 前述
- アナログ的 ・直列に可変抵抗をいれて、電圧降下させる
  - ※可変抵抗として振る舞う回路をつくる



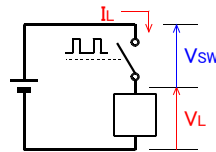
MB13 電磁アクチュエータ出力操作 Page. 8 TGU-MEIS-メカトロニクス基礎

## PWMによる出力の調整

### ○ スwitchング型 と 直列可変抵抗型

#### ◇ スwitch部分の電力消費 (=電力損失=むだ)

- ・ オンのとき:  $I_L$ あり、 $V_{SW} \approx 0$   
→ スwitchの消費電力  $\approx 0$
- ・ オフのとき:  $I_L = 0$ 、 $V_{SW} \neq 0$  (状況次第)  
→ 消費電力  $= 0$
- ・ **スswitchの消費は常にほぼゼロ。**

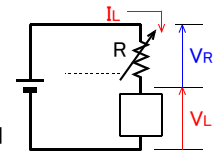


## PWMによる出力の調整

### ○ スwitchング型 と 直列可変抵抗型

#### ◇ 可変抵抗部分の電力消費

- ・ 抵抗での電圧降下:  $V_R = R I_L$   
※これで対象にかかる電圧を減らす
- ・ 抵抗での消費電力:  $V_R I_L = R I_L^2$
- ・ 出力を絞るため **抵抗でむだに消費。**
- ・ むだになる比率は  $V_R / (V_R + V_L)$ , ※0~1

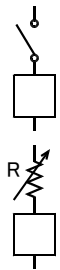


## PWMによる出力の調整

### ○ スwitchング型 と 直列可変抵抗型

#### ◇ スwitchング方式の利点と欠点

- ・ スwitchング式は **損失が少** → **効率良**、エコ  
回路の損失は **発熱** → **放熱の苦勞が激減**
- ・ 回路実装の手間は大きく変わらず or 楽  
※PWM信号を作るマイコンを使った場合
- ・ 問題点: (1) **スswitchングノイズ** (2) 周期的な変動
- ・ 「**綺麗さ**」が必要なときには **可変抵抗型** もあり



## PWMによる出力の調整

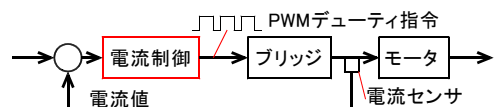
### ○ 電流の制御 (力の制御)

#### ◇ PWMと電流の関係が単純ではない。

- ・ PWMデューティと平均電圧はほぼ単純な関係
- ・ モータには起電力がある = **回転速度依存**

#### ◇ 電流を計測してのPI制御(参考:制御工学)で調整

- ・ 電流少(多) → デューティ比増(減)



## PWMによる出力の調整

### ○ PWM方式に関する補足

#### ◇ スwitchング周波数

- ・ PWMのオンオフの1秒当たり回数(普通は一定)
- ・ 最低で20kHz、ものによっては100kHz超  
低: 可聴 高: 応答良、効率低下

#### ◇ スwitchの実装

- ・ 半導体スswitch(MOSFET など)

#### ◇ 用途

- ・ **モータ制御**、**電源回路**(機器電源、ACアダプタ他)

## スswitchングによる高電圧対策

### ○ コイルの性質 (→第06回)

#### ◇ 数式上の特性

$$L \frac{di(t)}{dt} = e(t) \quad \frac{di(t)}{dt} = \frac{1}{L} e(t)$$

$L[H]$ : (自己)インダクタンス

#### ◇ 実用上の留意点

- ・ **急にオフにはしない**  
※  $di/dt$  が負に大きい → 両端電圧  $e$  が大(負)
- ・ 「**スswitchング**」の最大の問題

## スswitchングによる高電圧対策

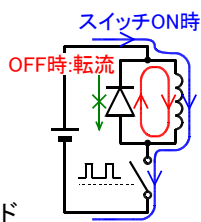
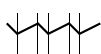
### ○ コイルは急にオフにしない

#### ◇ 電流のバイパス経路

- ・ スwitchを**オフ**にしたときに、コイルの電流を**維持**するような回路
- ・ 転流(**フリーホイール**)

#### ◇ ダイオード

- ・ 1方向のみに電流が流れる半導体部品
- ・ フリーホイールダイオード



## スswitchングによる高電圧対策

### ○ Hブリッジでの対策

#### ◇ フリーホイールダイオード + 逆ペアのオン

- ・ 対角のスswitchを急にオフ → Dを通る経路 (→ 反対ペアのスswitchをオン)

