

機械知能工学科  
メカトロニクス基礎

MB-13/Rev 16-1.0

第13回

# 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

# 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。

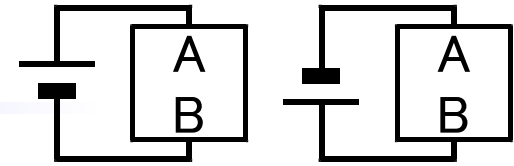
### ◇出力を調整するには

- ・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

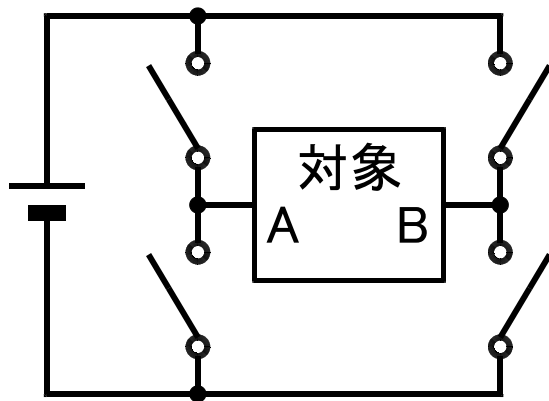
# Hブリッジ



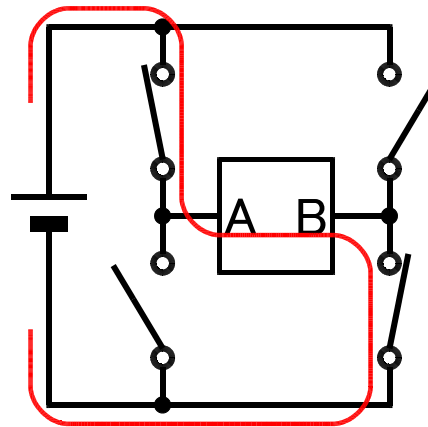
## ○ オン-オフ スイッチによる極性変更

### ◇スイッチ4個の回路

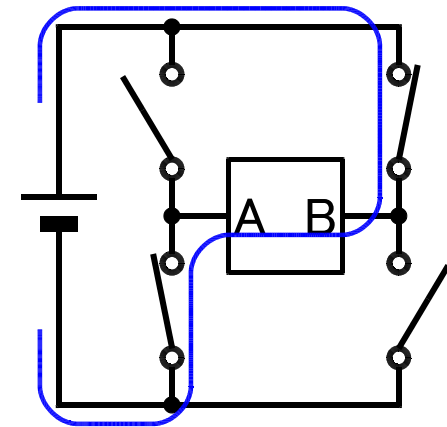
- ・ 対角位置のスイッチをセットでオンオフ。
- ・ 上下のスイッチは絶対に同時にオンしない。



全部オフ



左上と右下をオン



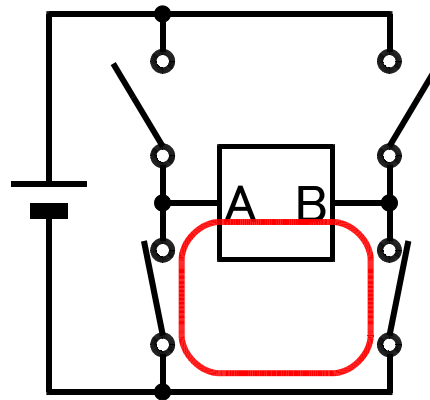
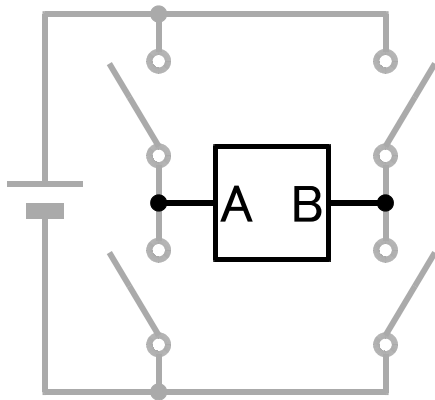
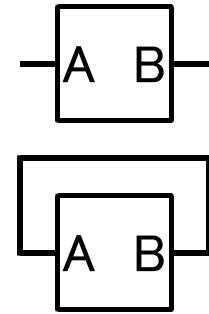
右上と左下をオン

# Hブリッジ

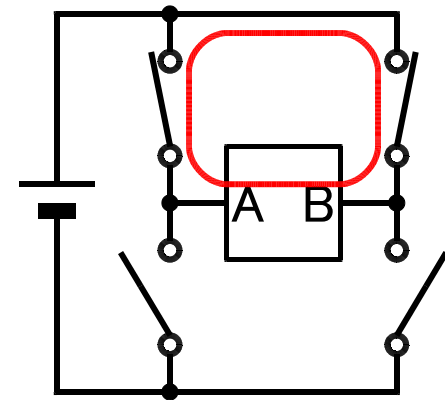
## ○ 全オフ、ブレーキ

◇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)



下二つオン

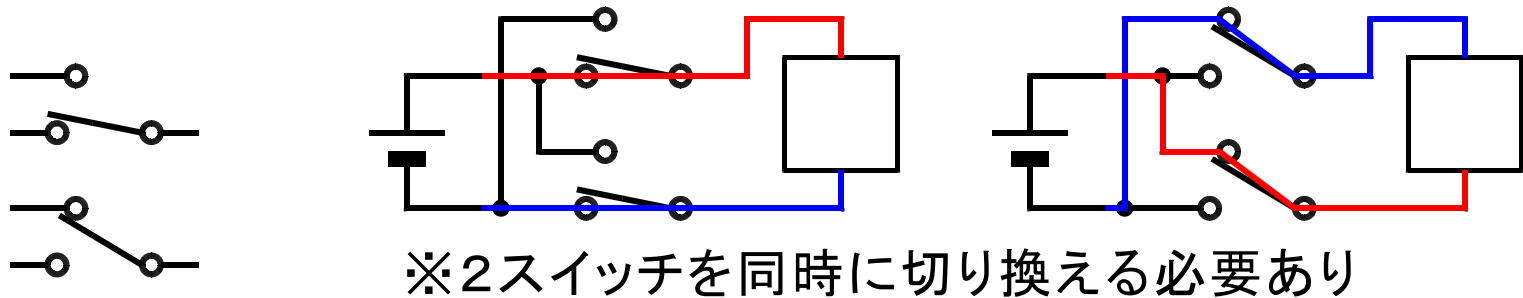


上二つオン

# 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

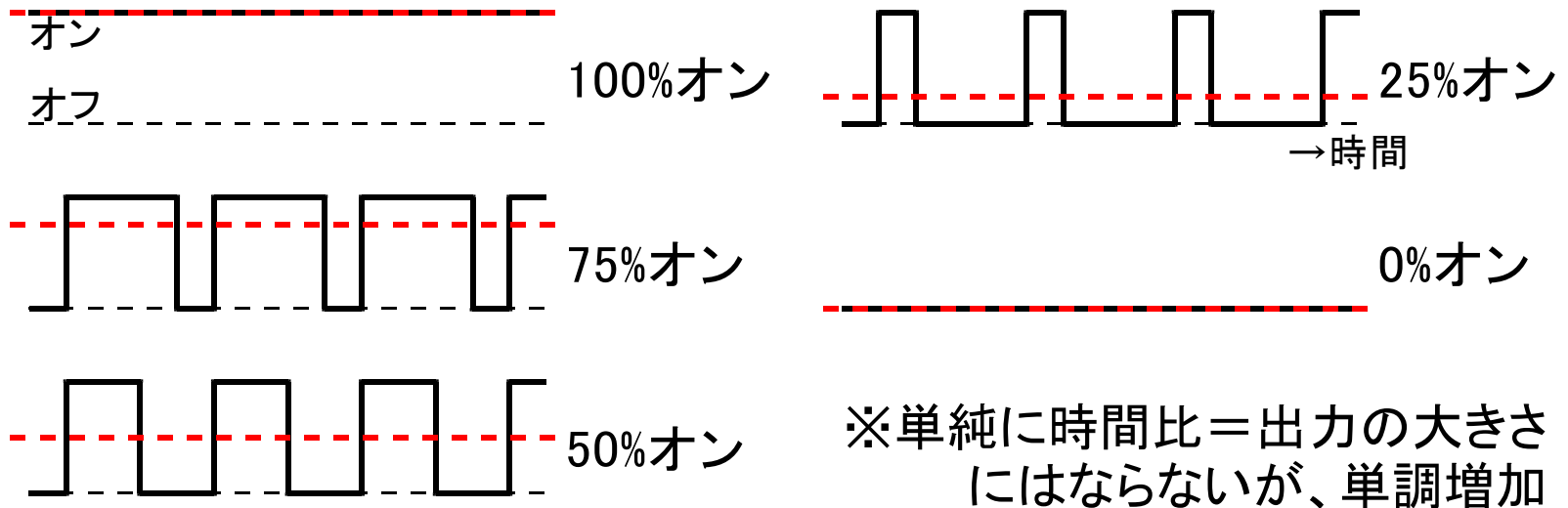
- ・ 直流モータ: 正逆可
- ・ 三相交流モータ: 3本のうち、2本入替で可
- ・ 単相交流モータ: 一般に不可(参考: 扇風機)

# 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**



# PWMによる出力の調整

## ○ スイッチング型 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

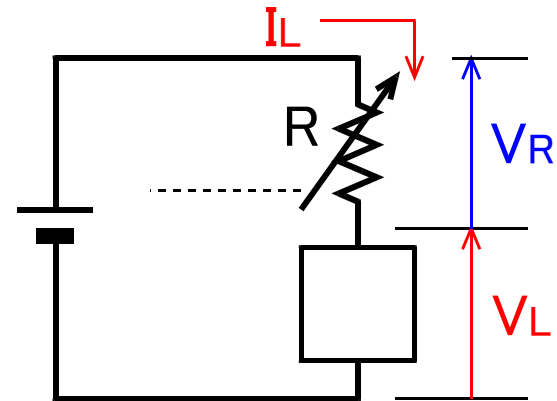
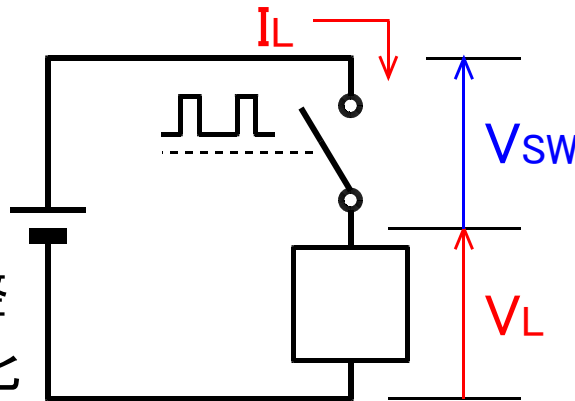
アナログ的 ・ 直列に可変抵抗をいれて、電圧降下させる

※可変抵抗として振る舞う回路をつくる

調整対象:

$V_L$   $I_L$

※一方を調整  
→他方も変化





# PWMによる出力の調整

## ○ スイッチング型 と 直列可変抵抗型

◇ **スイッチ部分**の電力消費 (=電力損失=むだ)

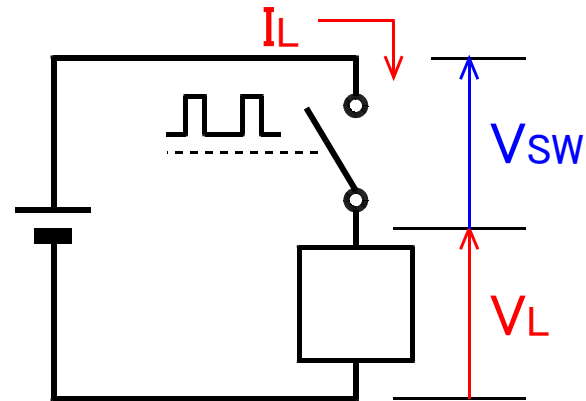
- ・ オンのとき:  $I_L$ あり、 $V_{SW} \doteq 0$

→ スwitchの消費電力  $\doteq 0$

- ・ オフのとき:  $I_L = 0$ 、 $V_{SW} \neq 0$  (状況次第)

→ 消費電力  $= 0$

- ・ **スイッチの消費は常にほぼゼロ。**



# PWMによる出力の調整

## ○ スイッチング型 と 直列可変抵抗型

### ◇可変抵抗部分の電力消費

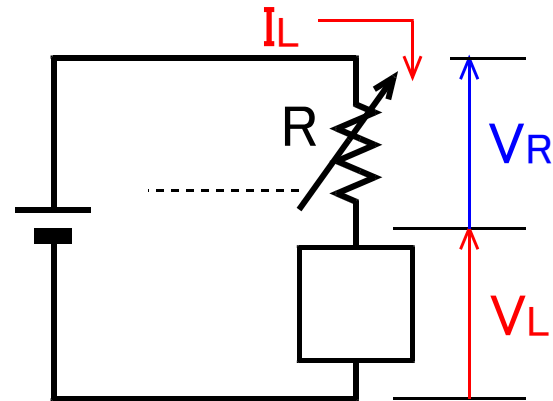
- ・ 抵抗での電圧降下:  $V_R = R I_L$

※これで対象にかかる電圧を減らす

- ・ 抵抗での消費電力:  $V_R I_L = R I_L^2$

- ・ 出力を絞るための  
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

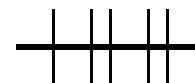
## ○ スイッチング型 と 直列可変抵抗型

### ◇ スイッチング方式の利点と欠点

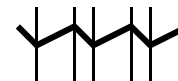
- ・ スイッチング式は損失が少 → 効率良、エコ  
回路の損失は発熱 → 放熱の苦勞が激減
- ・ 回路実装の手間は大きく変わらず

※PWM信号を作るマイコンを使った場合

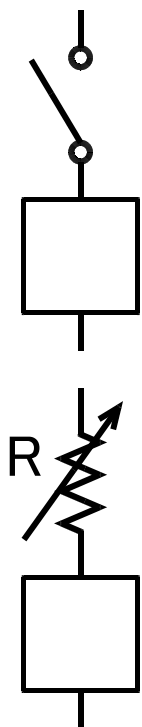
- ・ 問題点：(1) スイッチングノイズ



- (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

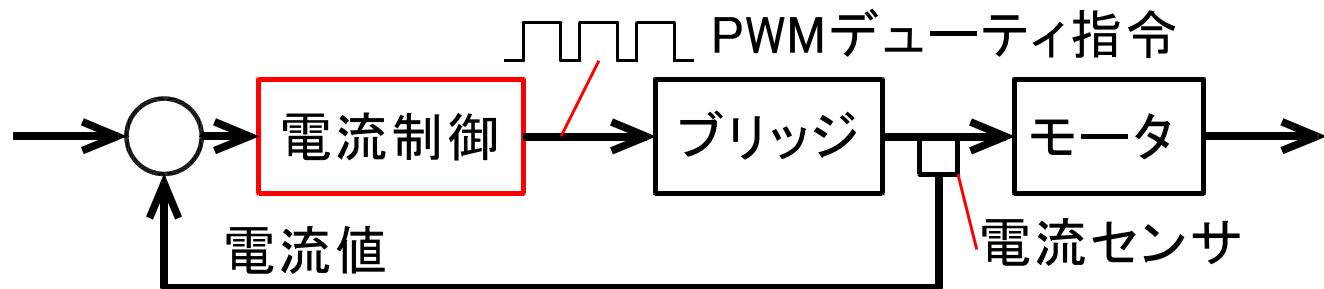
## ○ 電流の制御（力の制御）

◇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

### ◇スイッチング周波数

- ・ 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

### ◇スイッチの実装

- ・ 半導体スイッチ(MOSFET など)

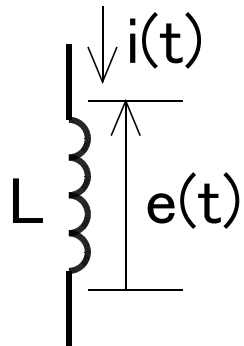
### ◇用途

- ・ モータ制御、電源回路(機器電源、ACアダプタ他)

# スイッチ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



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

L[H]: (自己)インダクタンス

### ◇実用上の留意点

- ・ 急にオフにしてはならない  
※  $di/dt$  が負に大きい → 両端電圧  $e$  が大(負)
- ・ 「スイッチング」の最大の問題

# スイッチングによる高電圧対策

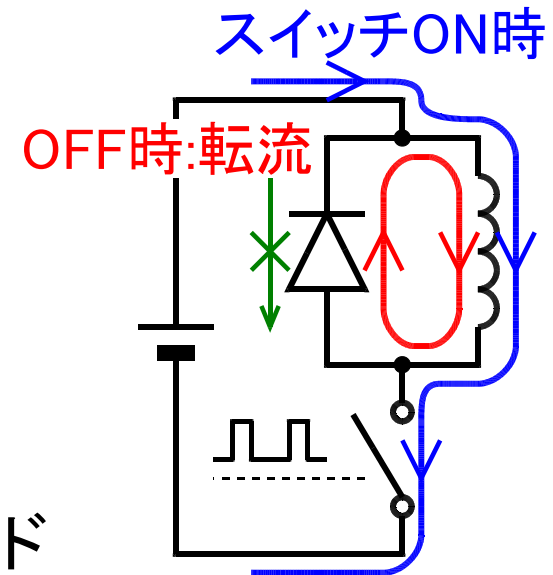
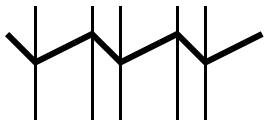
## ○ コイルは急にオフにしない

### ◇電流のバイパス経路

- ・スイッチ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

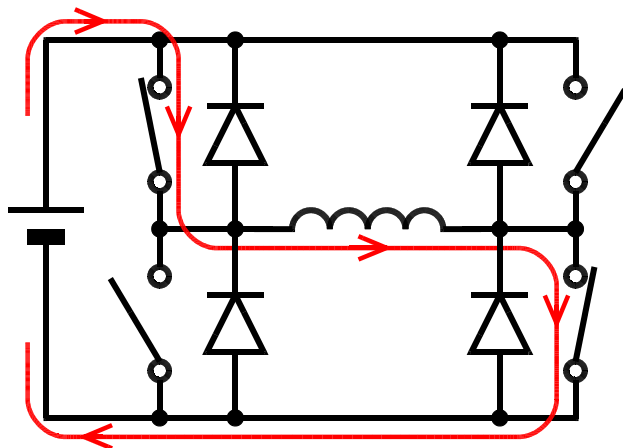


# スイッチングによる高電圧対策

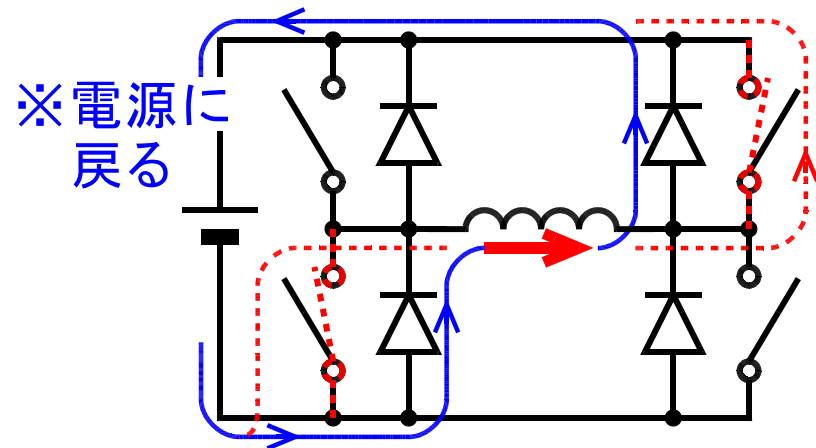
## ○ Hブリッジでの対策

◇フリーホイールダイオード＋逆ペアのオン

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



左上と右下をオン



から 急に全オフ