

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。

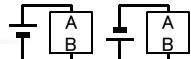
◇アクチュエータ出力を調整するには

- ・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気的な指令で

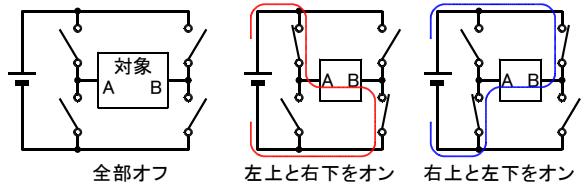
Hブリッジ



○ オン-オフ スイッチによる極性変更

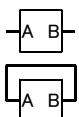
◇スイッチ4個の回路

- ・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オンしない。



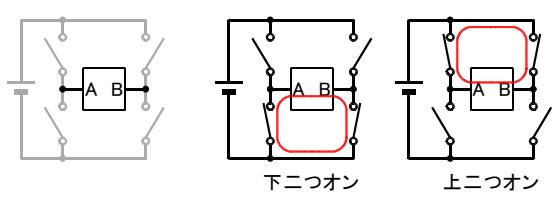
Hブリッジ

○ 全オフ、ブレーキ



◇電源とはつながらない2モード

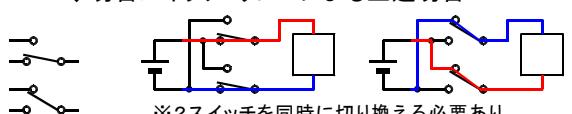
- ・(全)オフ: 単なるオフ
- ・ブレーキ: 上下一方の2個オン (ショート)



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



※2スイッチを同時に切り換える必要あり

◇各種モータへの切替スイッチの適用

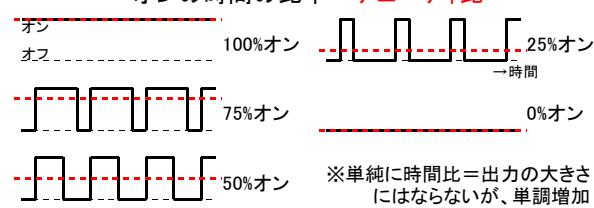
- ・直流モータ: 正逆可
- ・三相交流モータ: 3本のうち、2本入替で可
- ・単相交流モータ: 一般に不可(参考: 扇風機)

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

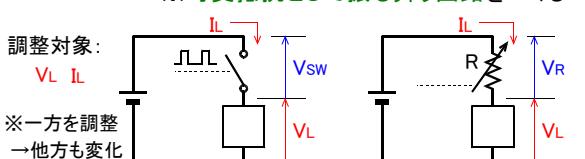
○ スイッチング型 と 直列可変抵抗型

◇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



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、 $V_{SW} \approx 0$

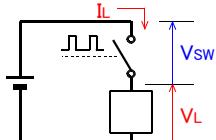
→スイッチの消費電力=0

- ・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

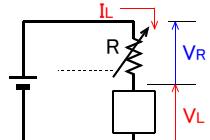
- ・抵抗での消費電力: $V_R I_L = R I_L^2$

- ・出力を絞るため

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 → 放熱の苦労が激減

- ・回路実装の手間は大きく変わらず or 楽
※PWM信号を作れ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)

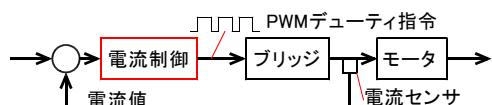
◇PWMと電流の関係が単純ではない。

- ・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

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

$L[H]$: (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

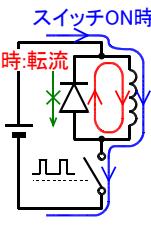
スイッチングによる高電圧対策

○ 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)

