

電磁アクチュエータ ドライブ回路

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



今回の到達目標

○モータ類の制御に用いられる回路

◇半導体によるスイッチング回路

について説明できる。

- ・MOSFETによるスイッチング
- ・MOSFETによるHブリッジ回路

◇電力損失に注意を払える。

- ・MOSFETの損失、ダイオードの損失

◇スイッチング回路の動作を読み取れる。

- ・電流の経路、動作の時間変化

今回の背景知識(復習→基礎BS13他)

○電磁アクチュエータと駆動の特性

◇電磁アクチュエータはコイルである

- ・急にオフできない ($L di/dt$)

◇出力の調整: スwitchング & PWM方式

- ・高速にオンオフ、オンの時間比率

◇極性の変更: Hブリッジ回路

- ・電磁石の極性、モータの方向←電流極性

◇損失の問題

- ・部品にかかる電圧×電流→損失・熱

電磁アクチュエータの電流制御

○電流制御の意義

◇アクチュエータの特性: 電磁石

- ・電流と力、トルクが比例する
- ・制御理論の多くの入力がか力 ($ma=f$)

◇アクチュエータの破損原因は電流過大(or速度)

- ・過大電流→加熱→焼損
- ・過大電流→強い磁場→永久磁石の減磁
⇒ 限界性能を出すには電流の調整必要

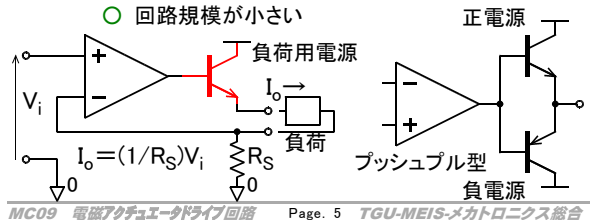
◇簡易的には電圧のみ(PWMのみ)でもOK

アナログ増幅回路による駆動(小出力向け)

○オペアンプ+バイポーラトランジスタ

◇電圧→電流変換回路を増強

- ◎ スwitchングではない: ノイズ出にくい
- × 条件によって損失がかなり大、効率低
- 回路規模が小さい

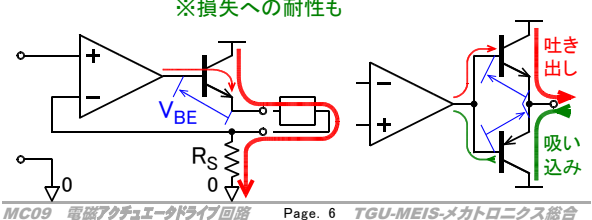


アナログ増幅回路による駆動(小出力向け)

○動作の理解

◇オペアンプ+トランジスタ→オペアンプ

- ・VBE分は自動的に補われる
- ・電流は増強できるが、電圧は少し減(VBE分)
※損失への耐性も

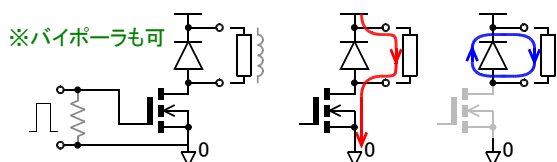


単純なスswitchング回路(リレー、ソレノイド)

○MOSFET+フリーホイールダイオード

◇スswitch部にMOSFETをつかう+コイル対策

- ・リレーの駆動、ソレノイド(電磁石)の駆動
- ・ステッピングモータのユニポーラ駆動(単純)
- ・モータの一方方向駆動(必要ならPWM)

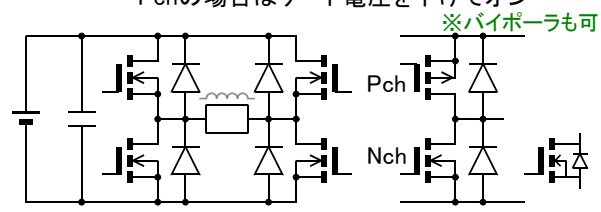


Hブリッジ回路

○MOSFET×4+D (Nch×4 or Nch, Pch×2)

◇HブリッジのスswitchをMOSFETで構成

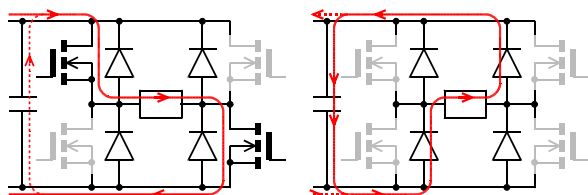
- ・Nchの場合、ハイサイドのゲート電圧に注意
- ・Pchの場合はゲート電圧を下げてオン



Hブリッジの動作

○オンのとき・オフした直後(フリーホイールD)

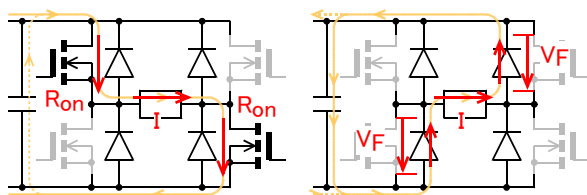
- ◇対角をオン→スイッチ経由で流れる ※状況依存
- ◇→全部オフにする→FWD経由で流れる
- ・電流が電源側に戻る:瞬間的にはCに入る



Hブリッジの損失の検討

○損失箇所:オン→MOSFET / オフ→D

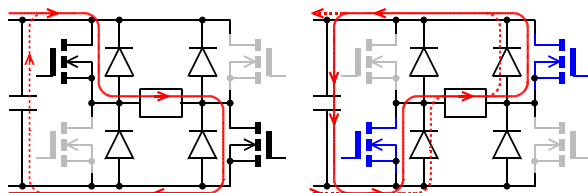
- ◇オン: $2 \times R_{on} I^2$: R_{on} 次第で下げられる
- ◇オフ: $2 \times V_F I$: V_F が1[V]程度になる(大電流)
- 場合によってはDの損失の方が大



損失低減の工夫

○Dをなるべく使わないようにする

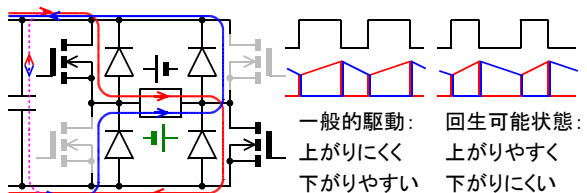
- ◇1組の対角のFETをオフ ※MOSFETは双方向可
- ※バイポーラは不可
- 直後にもう一組をオンにする→D通らず
- ※切り替えの僅かな時間はD、FETを逆流する場合あり



Hブリッジと回生

○対角から戻る電流 → 電源(電池)

- ◇オン時/オフ時の上がり方/下がり方が変わる
- ・オフ時の方が長い場合→戻る方が多い
- ・モータの起電力(=回転方向)と電源の関係

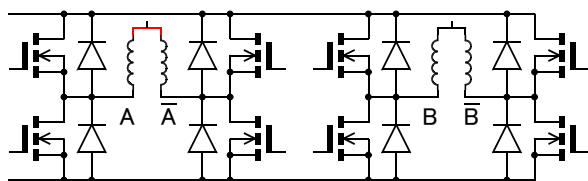
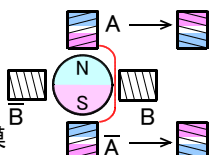


ステッピングモータのバイポーラ駆動

○コイルが2系統ある

◇Hブリッジ×2

- ・AとAを逆向きに直列
- ・直流モータの2倍の規模

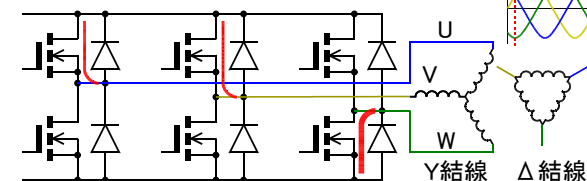
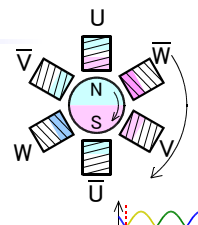


3相ブリッジ

○3相モータの駆動用

◇ハーフブリッジ×3

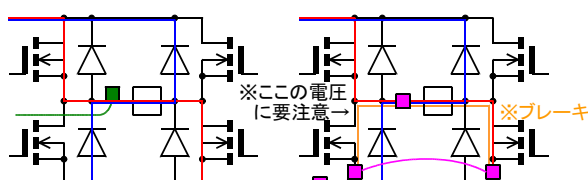
- ・上下を適宜オンする
- ・PWMでUVW各電流調整



電流制御のための電流計測

○対象に流れる電流が欲しい

- ◇絶縁型の電流センサ(磁気を利用、大電流向)
- ◇抵抗を直列に入れる→両端の電圧を取り出す
- =非絶縁なので工夫が必要



電流制御の方法

○(平均)電流を一定にするフィードバック

◇基本アイデア

- ・電流が目標より少ない→PWMデューティ増
- ・多い→減
- ※デューティ: On-Off型 / On-On型(対角オン切替)

◇モータの起電力の影響

- ・回転数が上がる→より高い電圧が必要
- より高いデューティ比が必要になる
- ・一般にPI制御(比例積分制御)を使う