機械知能工学科
メカトロニクス総合

第09回

MC-09/Rev 16-1.0

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 RDE

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：スイッチング＆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）

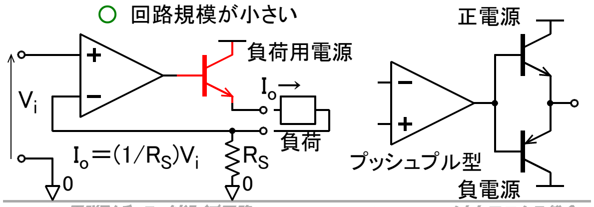
○オペアンプ＋バイポーラトランジスタ

◇電圧ー電流変換回路を増強

◎ スイッチングではない：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



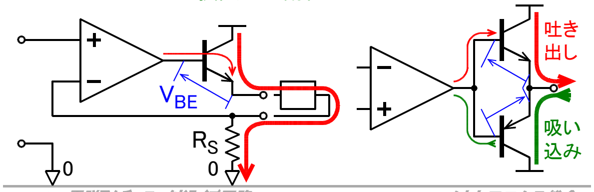
アナログ増幅回路による駆動（小出力向け）

○動作の理解

◇オペアンプ＋トランジスタ → オペアンプ

- ・V_{BE}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(V_{BE}分)

※損失への耐性も

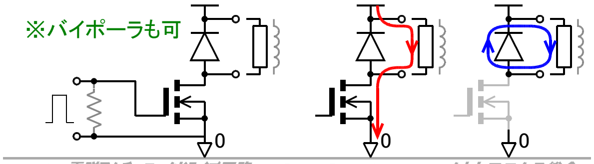


単純なスイッチング回路（リレー、ソレノイド）

○MOSFET＋フリーホイールダイオード

◇スイッチ部に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)

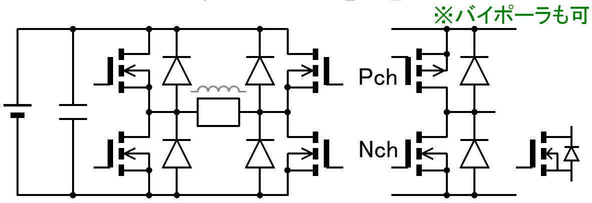


Hブリッジ回路

○MOSFET×４＋D（Nch×４ or Nch, Pch×2）

◇Hブリッジのスイッチを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



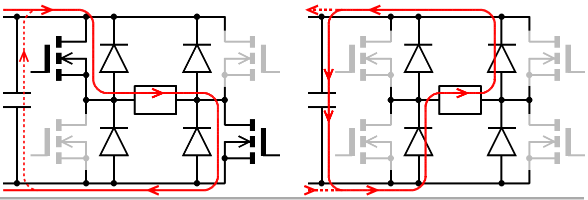
Hブリッジの動作

○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



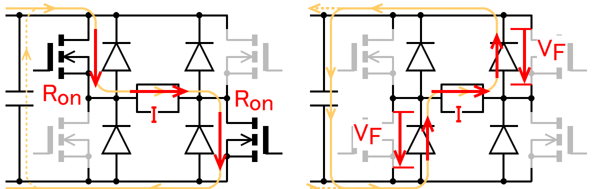
Hブリッジの損失の検討

○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



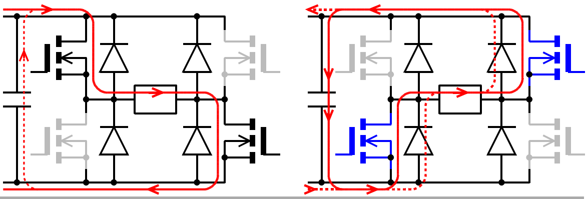
損失低減の工夫

○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



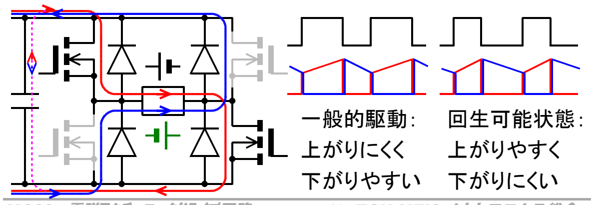
Hブリッジと回生

○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



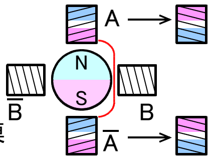
ステッピングモータのバイポーラ駆動

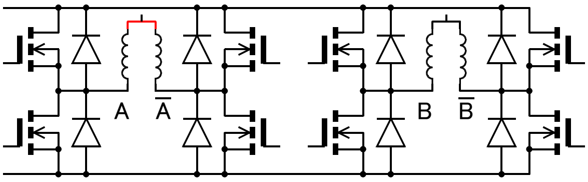
○コイルが2系統ある

◇Hブリッジ×2

・AとĀを逆向きに直列

・直流モータの2倍の規模





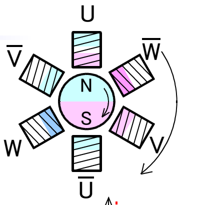
３相ブリッジ

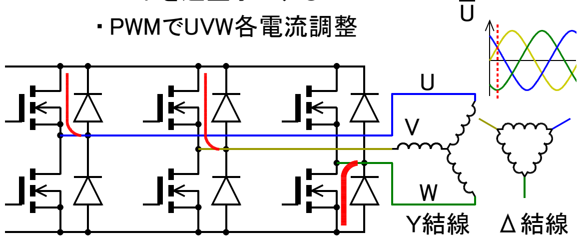
○3相モータの駆動用

◇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





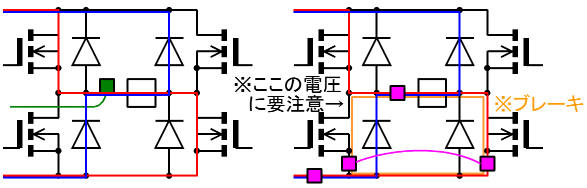
電流制御のための電流計測

○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