

機械知能工学科
メカトロニクス総合

MC-09/Rev 15-1.0

第09回

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）

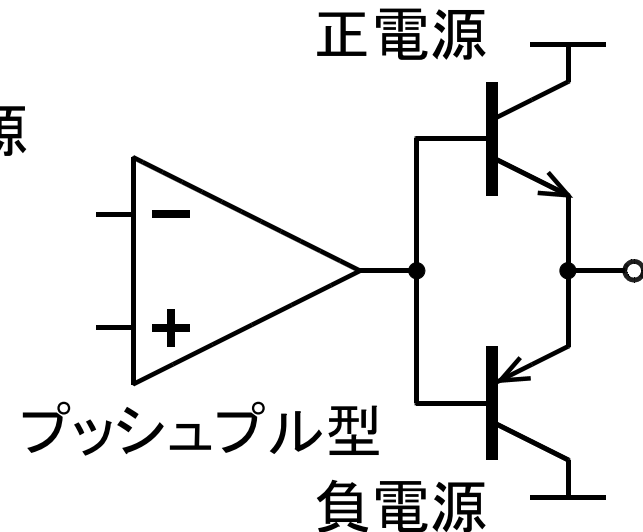
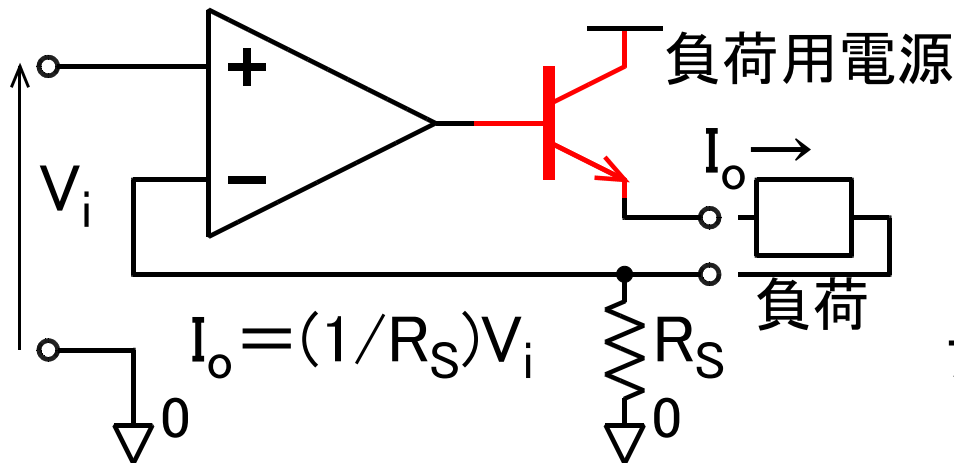
○オペアンプ＋バイポーラトランジスタ

◇電圧－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

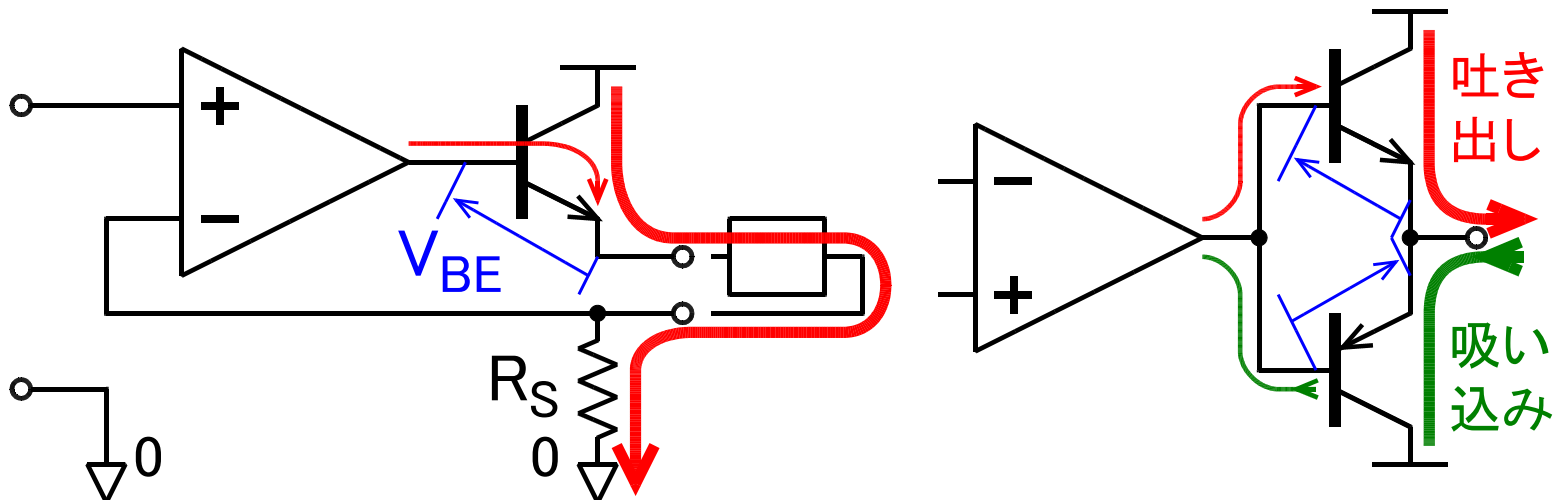


アナログ増幅回路による駆動（小出力向け）

○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

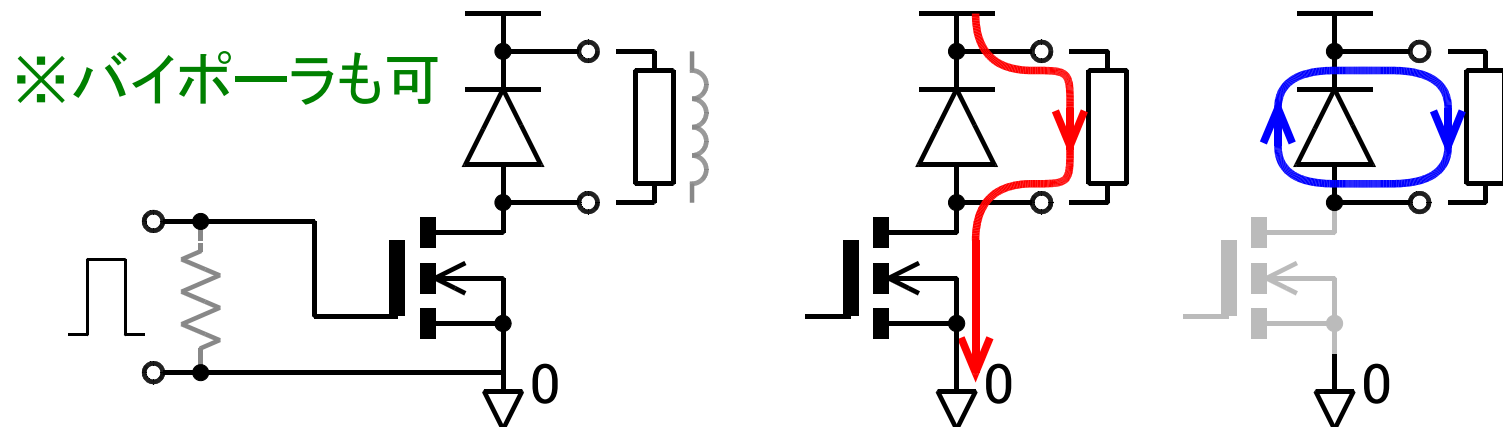


単純なスイッチング回路(リレー、ソレノイド)

○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)



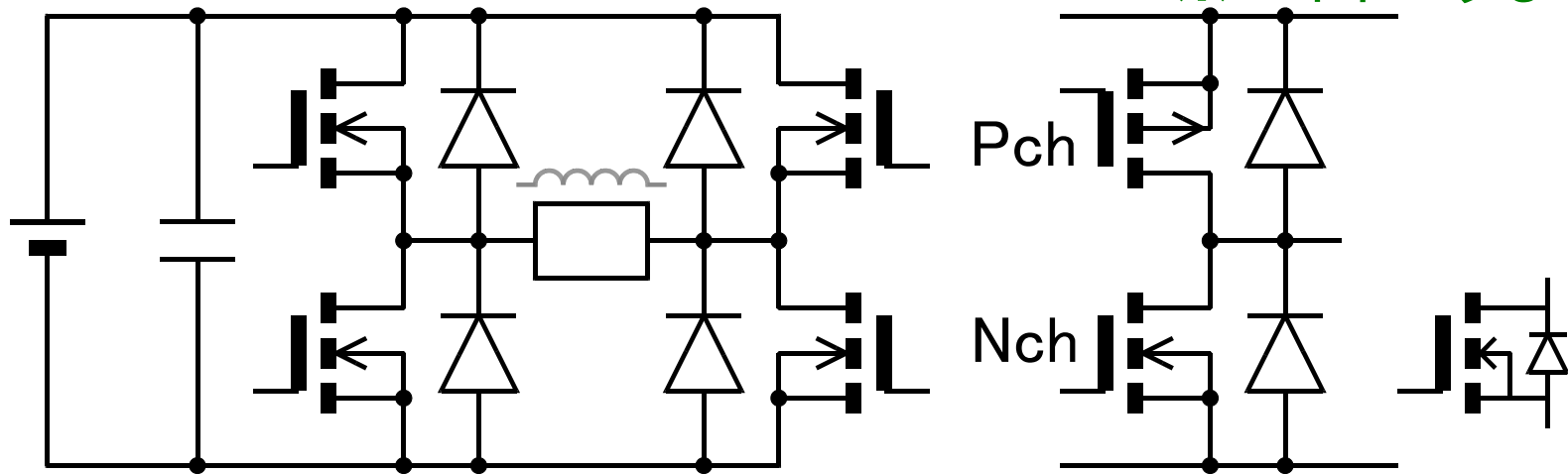
Hブリッジ回路

○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

※バイポーラも可



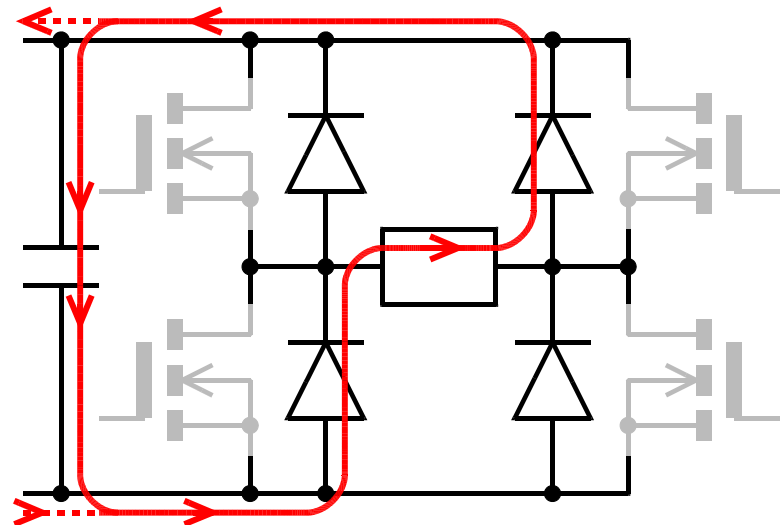
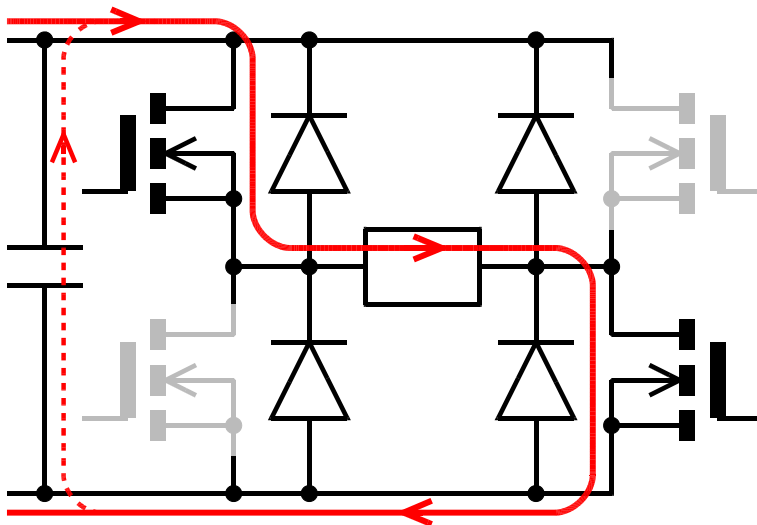
Hブリッジの動作

○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経路で流れる

・電流が電源側に戻る：瞬間的にはCに入る



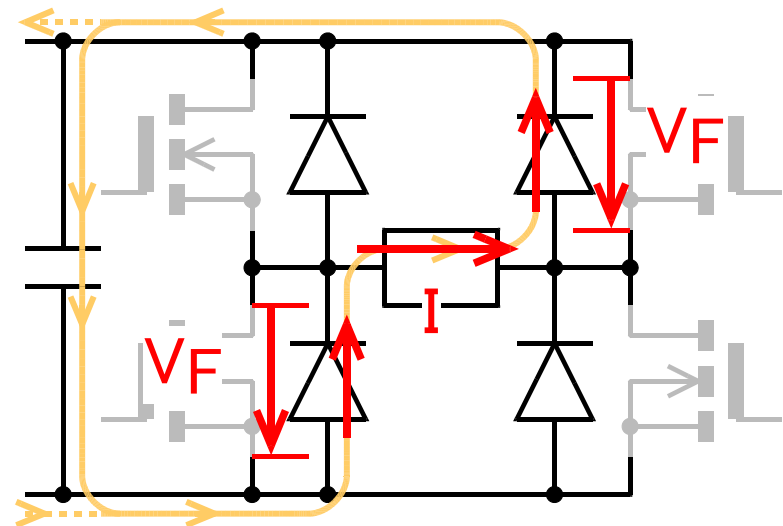
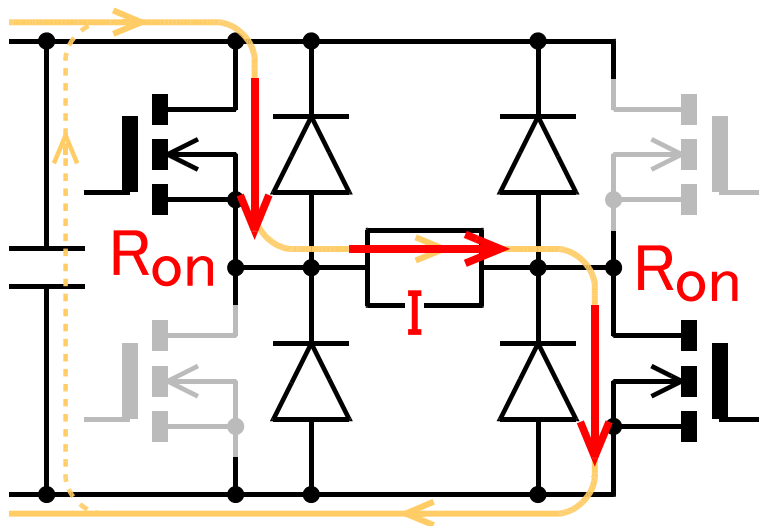
Hブリッジの損失の検討

○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

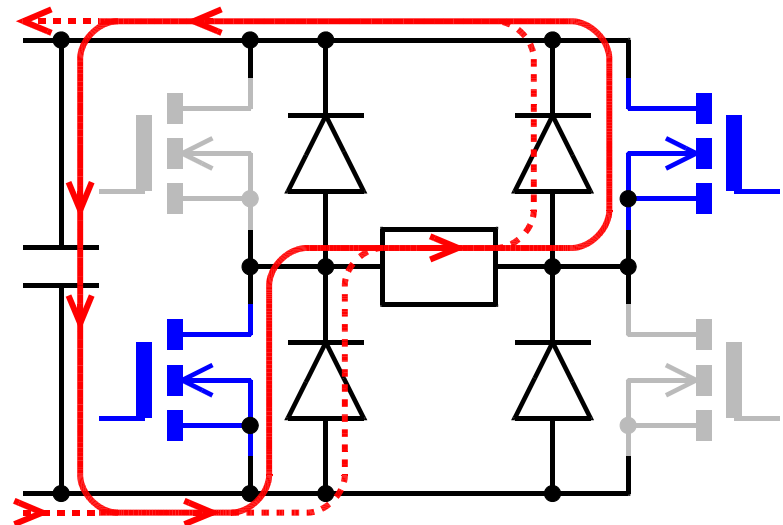
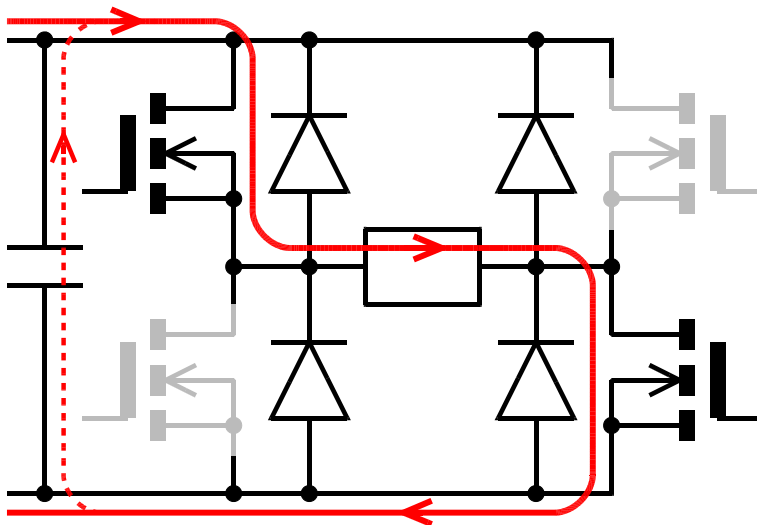
◇1組の対角のFETをオフ

※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

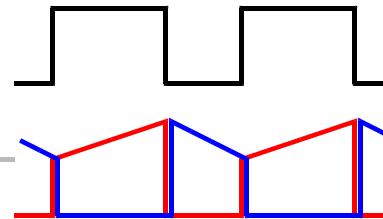
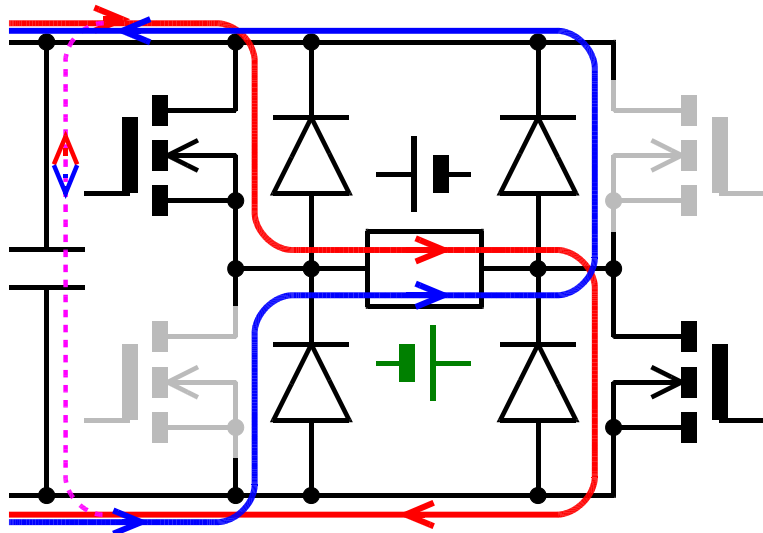


Hブリッジと回生

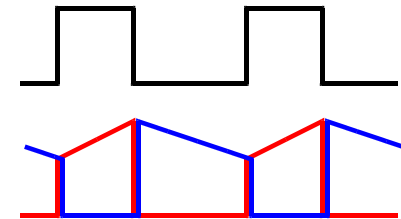
○対角から戻る電流 → 電源(電池)

◇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



一般的駆動:
上がりにくく
下がりやすい



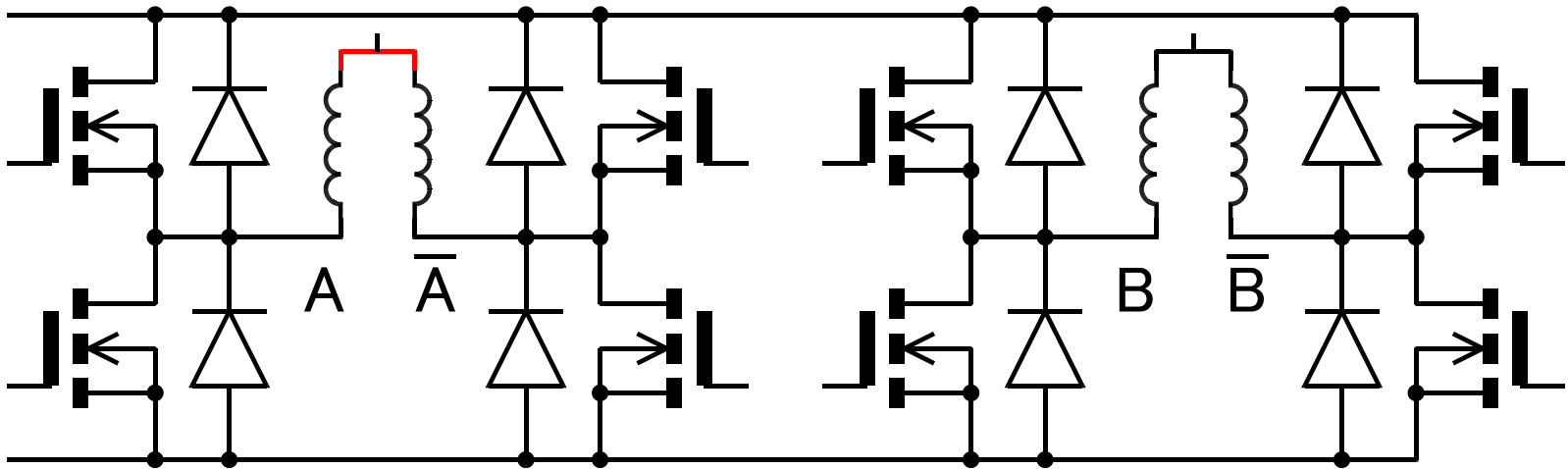
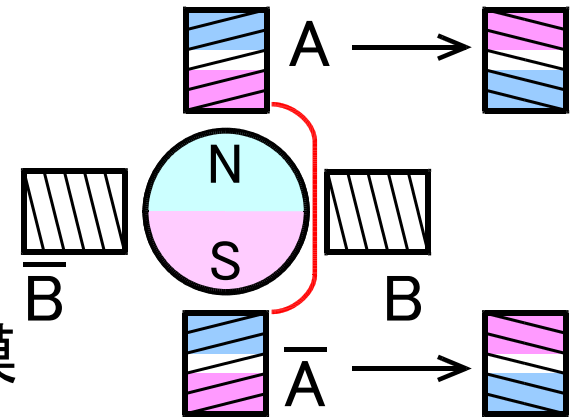
回生可能状態:
上がりやすく
下がりにくい

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 $\bar{A}$ を逆向きに直列
- ・ 直流モータの2倍の規模

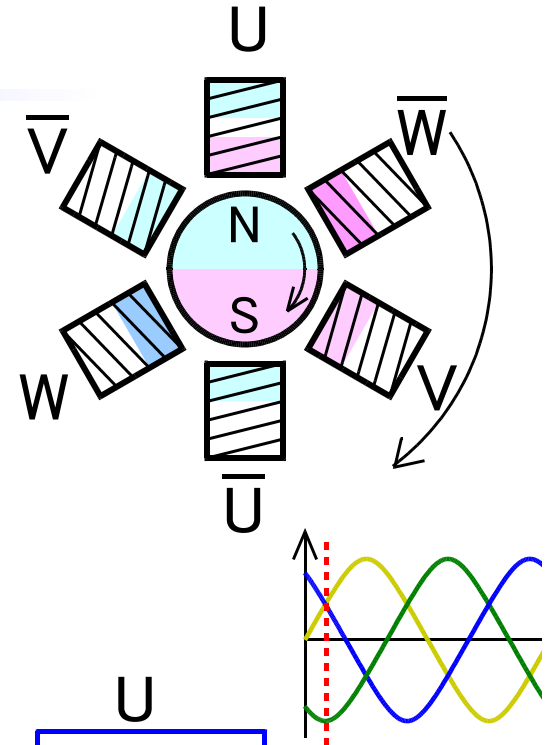
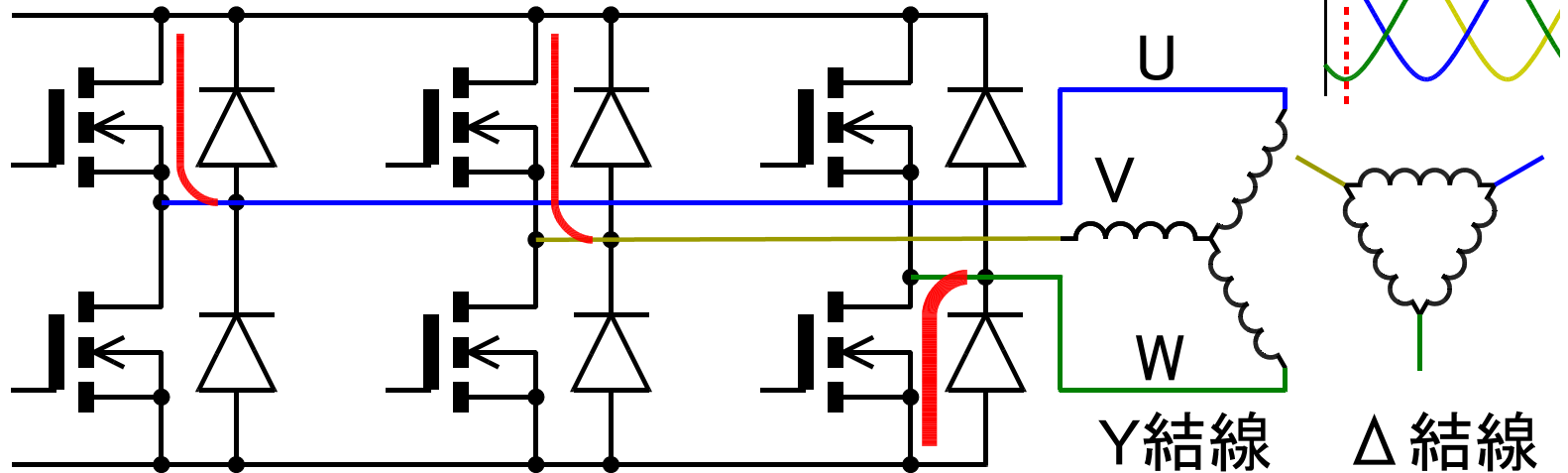


3相ブリッジ

○3相モータの駆動用

◇ハーフブリッジ×3

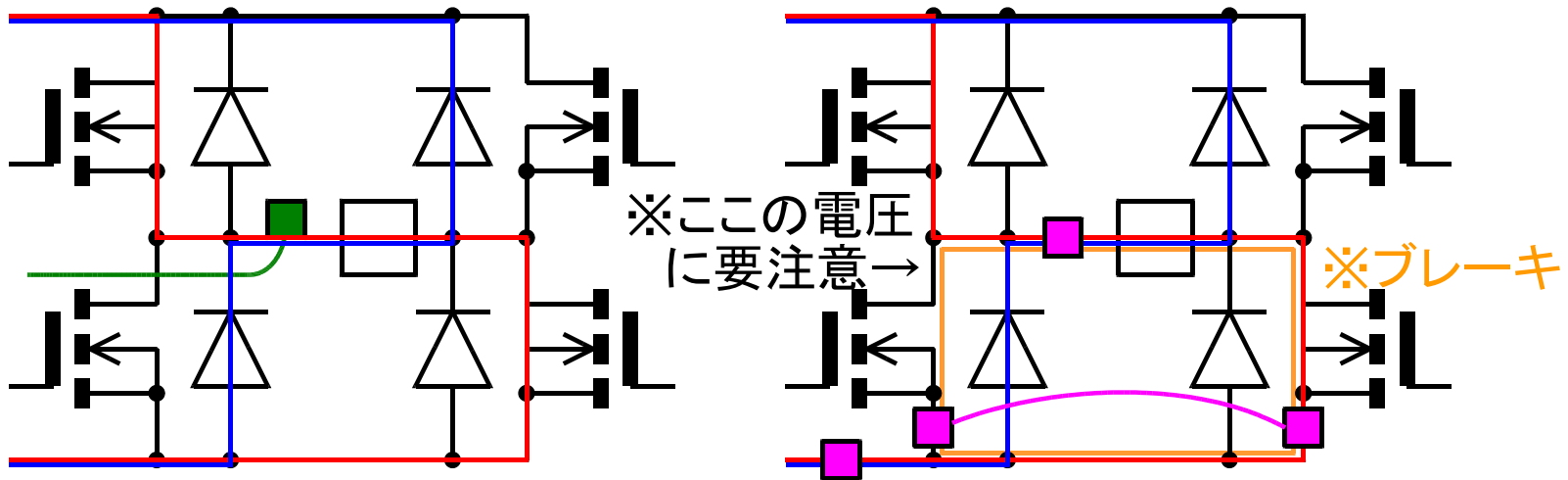
- ・上下を適宜オンする
- ・PWMでUVW各電流調整



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