パワーエレクトロニクス
第八回　DC-DCコンバータ①

2023年6月7日

授業の予定

- パワーエレクトロニクス緒論
- パワーエレクトロニクスにおける基礎理論
- パワー半導体デバイス
- 整流回路
- 整流回路の交流側特性と他励式インバータ
- 交流電力制御とサイクロコンバータ
- 直流チョッパ
- DC-DCコンバータと共振形コンバータ
- 自励式インバータ
- 演習

スイッチモードDC-DCコンバータ (スイッチング電源)

- 非絶縁型
  - 直接型
    - バックコンバータ　　降圧
    - ブーストコンバータ　　昇圧
  - 間接型
    - バック･ブーストコンバータ　　昇降圧
    - チュックコンバータ　　昇降圧
- 絶縁型
  - フライバックコンバータ
  - フォワードコンバータ

リニアレギュレータ

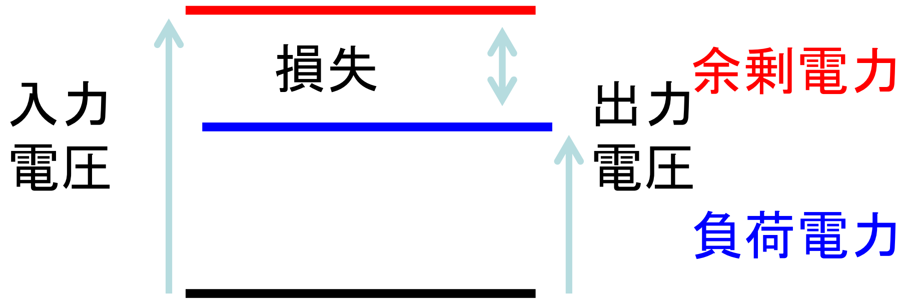
出力電圧 $$V_o = I_L R_L$$

負荷電力 $$V_o I_L$$

トランジスタでの消費電力

$$V_{CE} I_L$$

トランジスタは抵抗動作

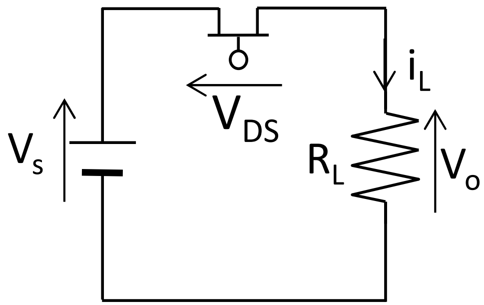


損失大
ノイズ低い

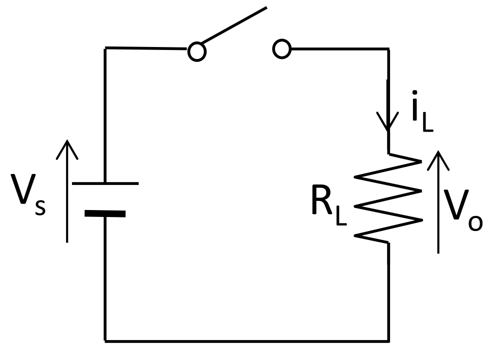
昇圧不可

スイッチングコンバータ

トランジスタはON/OFF（スイッチ）動作



等価回路

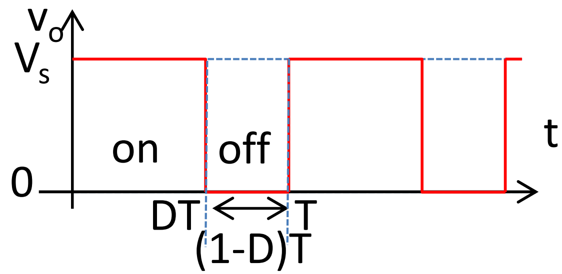


損失少ない
ノイズ多い

出力電圧

$$V_o = \frac{1}{T}\int_0^T v_o(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^{DT} V_s dt = V_s D$$

デューティ比 $$D \equiv \frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} f$$



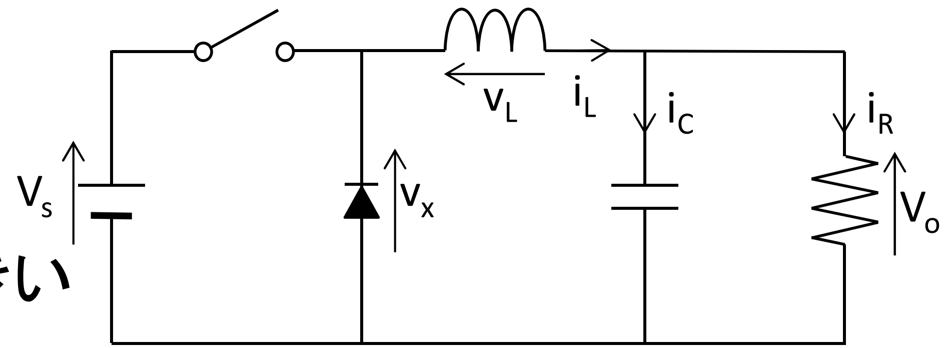
全電力が負荷で消費。効率高い

バック(Buck)コンバータ

※BackではなくBuck

Buck:振り落とす（他動）

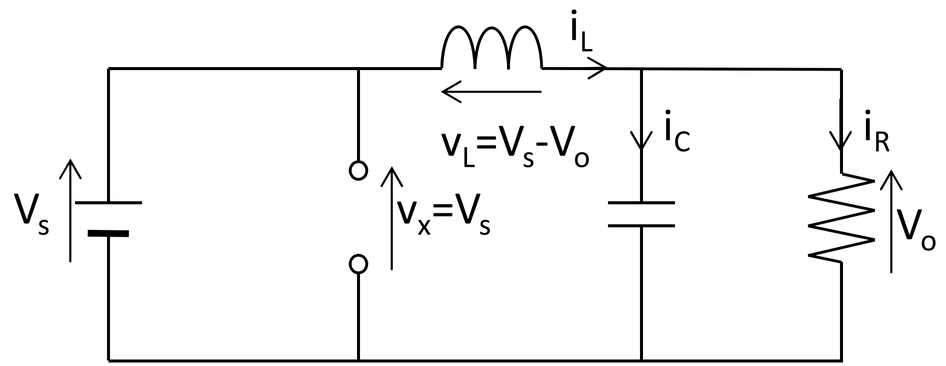
- 電源電圧を降圧
  - ダウンコンバータとも呼ぶ
- 回路構成要素
  - L:一時的に エネルギーを貯める
  - C:ローパスフィルタ
    - 定電圧を得るため十分大きい
    - 用途によっては不要
- （環流）ダイオード
  - スイッチオフ時の電流経路を形成
  - スイッチオン時は逆バイアスされオフ



バックコンバータ
スイッチオン時

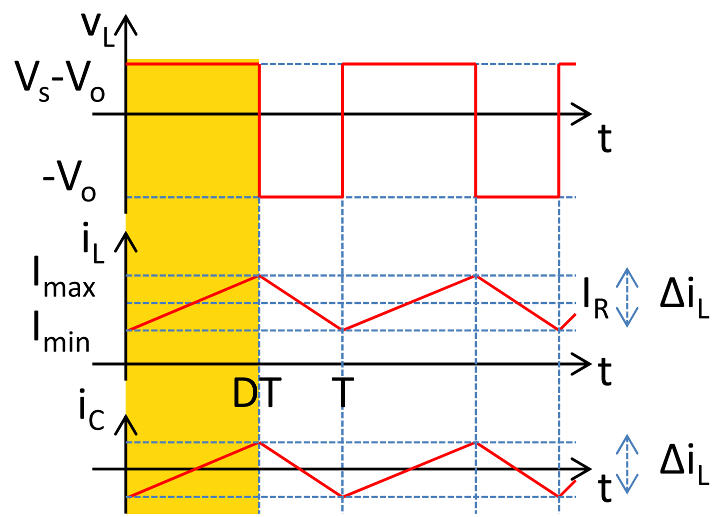
- Lに印加される電圧

$$v_L = V_S - V_O = L\frac{di_L}{dt}$$



- Lに流れる電流

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S - V_O}{L}$$



- 電流は直線的に増加
（C大よりV_O一定）

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S - V_O}{L} \Rightarrow \Delta i_{L,on} = \frac{V_S - V_O}{L}DT$$

バックコンバータ
スイッチオフ時

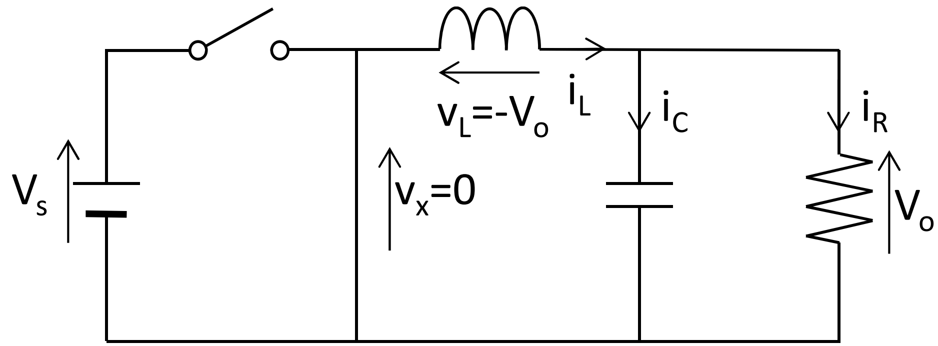
- Lに印加されている電圧
  - 電源は縁切りされる

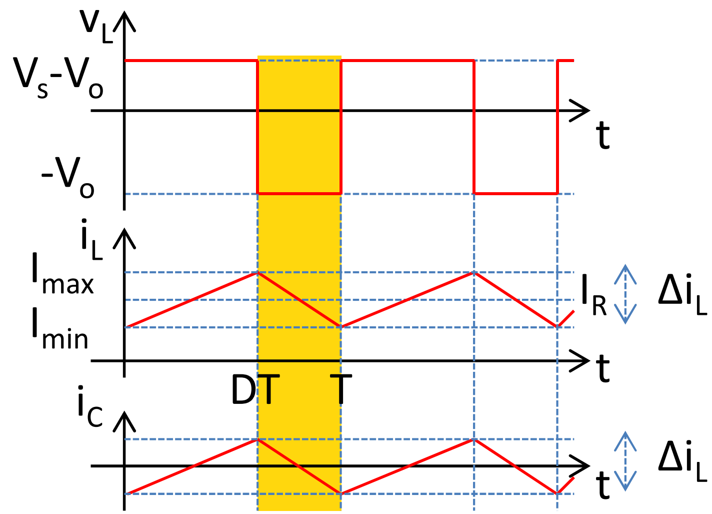
$$v_L = -V_O = L\frac{di_L}{dt}$$

  - Lに流れる電流の微分方程式

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_O}{L}$$

    - 電流は直線的に減少（C大よりV_O一定）





$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{-V_O}{L} \Rightarrow \Delta i_{L,off} = \frac{-V_O}{L}(1-D)T$$

バックコンバータ
Lに流れる電流

- 周期定常状態　⇒　一周期後に同じ電流値

交流回路と同じ

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0$$

- 電源電圧と出力電圧の関係

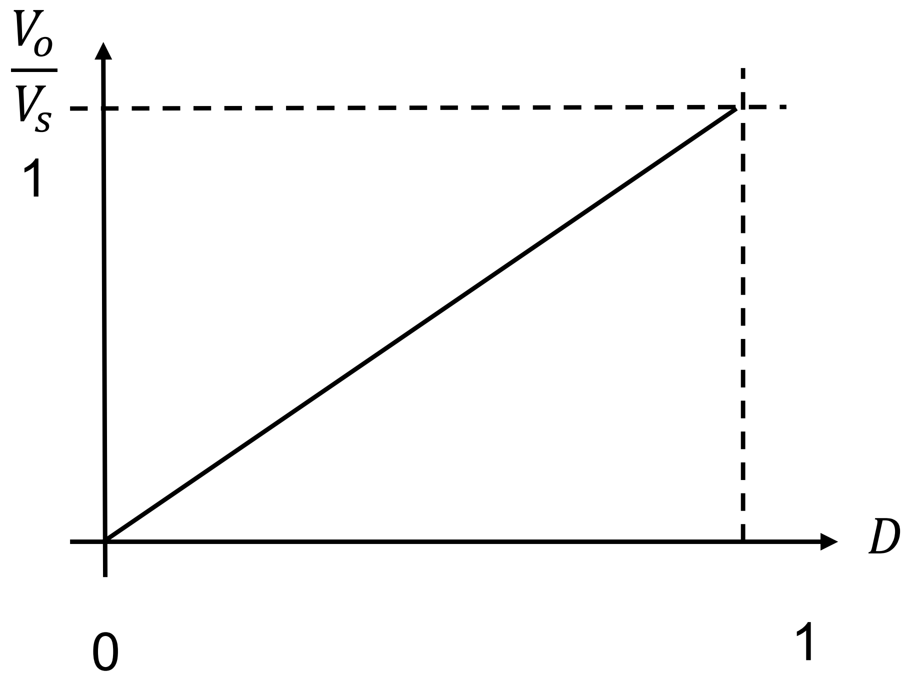
$$\frac{V_S - V_O}{L} DT + \frac{-V_O}{L}(1-D)T = 0 \quad \Rightarrow \quad V_O = V_S D$$

- 別解
  - Lに印加される電圧の平均が零となる事から

$$V_L = (V_S - V_O)DT - V_O(1-D)T = 0 \quad \Rightarrow \quad V_O = V_S D$$

バックコンバータ
降圧比(連続導通)

- $\frac{V_o}{V_s} = D$



バックコンバータ
電流脈動

- Lの平均電流と負荷の平均電流は等しい
  - Cの平均電流は零

$$I_L = I_R = \frac{V_O}{R}$$

- 電流の最大・最小値

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_O}{R} + \frac{1}{2}\left[\frac{V_O}{L}(1-D)T\right] = V_O\left[\frac{1}{R} + \frac{1-D}{2Lf}\right]$$

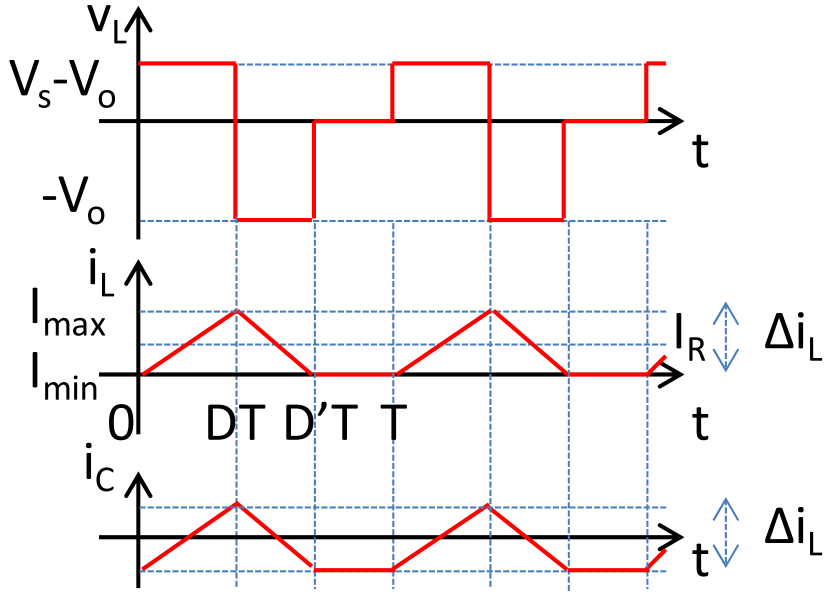
$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_O}{R} - \frac{1}{2}\left[\frac{V_O}{L}(1-D)T\right] = V_O\left[\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf}\right]$$

バックコンバータ
連続導通条件

- $I_{min} = V_o\left[\frac{1}{R} + \frac{1-D}{2L}T\right] > 0$
  - $\frac{1}{R} + \frac{1-D}{2L}T > 0$
    - $L > \frac{(1-D)TR}{2} = L_{min}$
    - $D > 1 - \frac{2L}{RT}$

バックコンバータ
不連続導通

- ダイオードの導通期間$D'T$
  - 連続導通　　$D + D' = 1$
  - 不連続導通　$D + D' < 1$
- 電流変化量
  - $\Delta i_{Lon} = \frac{(V_S - V_O)DT}{L}$
  - $\Delta i_{Loff} = \frac{-V_O D' T}{L}$
  - $\Delta i_{Lon} + \Delta i_{Loff} = \frac{(V_S - V_O)DT}{L} + \frac{-V_O D' T}{L} = 0$



バックコンバータ 不連続導通

- $(V_s - V_o)D - V_o D' = 0$
- $V_s D = V_o(D + D')$
- $\frac{V_O}{V_S} = \frac{D}{D+D'}$
- Lの平均電流は負荷の平均電流に等しい
  - $I_L = I_R = \frac{V_o}{R} = \frac{1}{T}\left(\frac{\Delta i_{Lon} DT}{2} - \frac{\Delta i_{Loff} D' T}{2}\right)$

$$= \frac{\Delta i_{Lon}(D + D')}{2} = \frac{V_o D' T (D + D')}{2L}$$

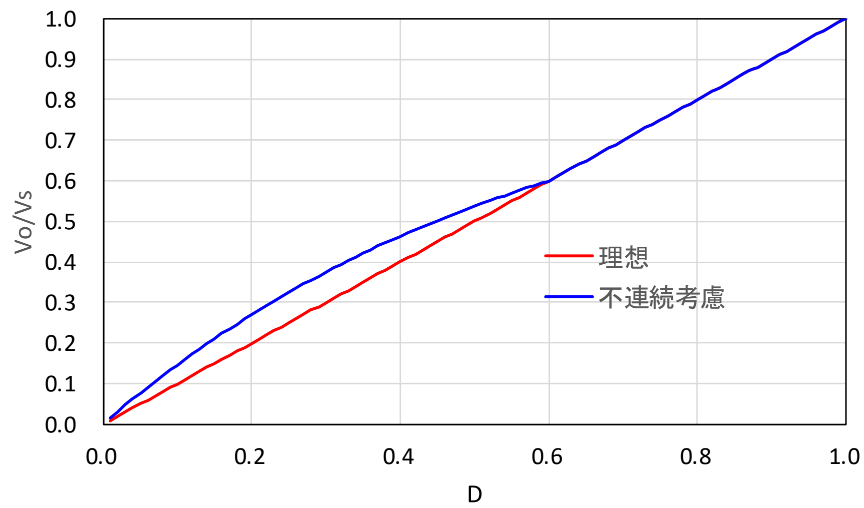
バックコンバータ
不連続導通

- $\frac{V_O}{R} = \frac{V_O D'T(D+D')}{2L}$
- $\frac{D'T(D+D')}{2L} - \frac{1}{R} = 0$
- $D'(D + D') - \frac{2L}{RT} = 0$
- $D'^2 + DD' - \frac{2L}{RT} = 0$
- $D' = \frac{-D \pm \sqrt{D^2 + \frac{8L}{RT}}}{2}$

$$= \frac{-D + \sqrt{D^2 + \frac{8L}{RT}}}{2}$$

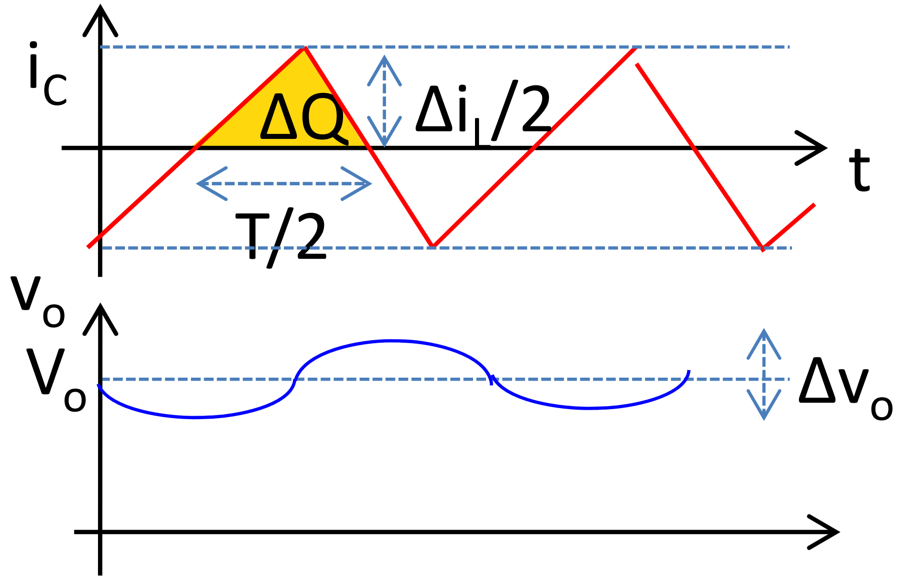
- $\frac{V_O}{V_S} = \frac{D}{D+D'} = \frac{D}{D + \frac{-D + \sqrt{D^2 + \frac{8L}{RT}}}{2}}$

$$= \frac{2D}{D + \sqrt{D^2 + \frac{8L}{RT}}}$$



バックコンバータ 電圧脈動

- Cの電流:$I_C = I_L$-I_R
- Cの電荷と電圧の関係
  - $Q = CV_o$
  - 充電電荷について
  - $\Delta Q = C\Delta V_o = \frac{1}{2}\frac{T}{2}\frac{\Delta i_L}{2} = \frac{T\Delta i_L}{8}$
  - $\Delta V_o = \frac{T\Delta i_L}{8C} = \frac{T}{8C}\frac{V_o}{L}(1-D)T = \frac{V_o(1-D)}{8LCf^2}$



- リップル率:$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2}$