

# 応用電力変換工学

舟木剛

## 第3回 DC-DC変換 ブーストコンバータ

2006年10月18日

### ブースト(Boost)コンバータ

出力電圧が入力より大

- バックコンバータの回路図 絵
  - オン・オフ時各々の等価回路図
  - Cはローパスフィルタのために使用
- 動作解析
  - 仮定
    - 定常状態
    - スイッチング周期T, デューティ比D
    - Lの電流は連続
    - Cは十分大きく、電圧が $V_o$ に一定に保たれる
    - 理想素子

## バック(Buck)コンバータ

- 残り
  - スイッチ動作時の現象
    - ターンオン時
      - ダイオードターン・オフ
        - » 逆回復
    - ターンオフ時
      - スイッチ素子の種類による動作の違い
        - » IGBTテール電流

## ブーストコンバータの動作状態の表現

- 仮定に基づいて
  - Lに流れる電流は周期的  $i_L(t+T) = i_L(t)$
  - Lの平均電圧は0  $V_L = \frac{1}{T} \int_0^T v_L(\lambda) d\lambda = 0$
  - Cの平均電流は0  $I_C = \frac{1}{T} \int_0^T i_C(\lambda) d\lambda = 0$
  - 電源の供給電力は、負荷の消費電力に等しい  $P_S = P_O \quad (+\text{損失})$

## ブーストコンバータ・スイッチON時

- Lを含む経路に対するKVLより

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt}$$

– 電源電圧は一定より

- 電流は一定の割合で増加

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$

– スイッチオン時に増加する電流は

$$\Delta i_{L, on} = \frac{V_s DT}{L}$$

## ブーストコンバータ・スイッチOFF時1

- スイッチOFFの瞬間

– Lを流れる電流がダイオードを流れる経路に変更する

- Lがあるため、電流が連続する
- 転流(commutation)という

– この時のKVLより

$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad \Rightarrow \quad \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

## ブーストコンバータ・スイッチOFF時2

- Cが大きく $V_o$ が一定の仮定より
  - 電流は一定の割合で減少

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

- スイッチオフ時に増加する電流は

$$\Delta i_{L,off} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L}$$

## ブーストコンバータの出力

- 定常状態

- Lに流れる電流は一周期後に同じ値となる

- 増加量

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L}$$

- 減少量

$$\Delta i_{L,off} = \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L}$$

- 和が0

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

$$\rightarrow \frac{V_s DT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0$$

$$\rightarrow V_s(D+1-D) - V_o(1-D) = 0$$

## ブーストコンバータの出力

- 出力電圧

$$V_s(D+1-D) - V_o(1-D) = 0$$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D}$$

– ブーストコンバータの出力は入力より大となる

- $1-D < 1$

- Lに印加される電圧の平均は零となる

– オン時平均電圧  $V_s D$

– オフ時平均電圧  $(V_s - V_o)(1-D)$

$$V_L = V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0$$

## ブーストコンバータ・Lに流れる電流

- 出力電力

– Cの電圧一定の仮定  $P_o = \frac{V_o^2}{R}$

- 入力の平均電力はLに流れる平均電流で表される

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} = \frac{V_s^2}{(1-D)^2 R}$$

- Lに流れる平均電流は

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R}$$

## ブーストコンバータ・Lに流れる電流

- 最大・最小電流値

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{V_s DT}{2L}$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s DT}{2L}$$

- 電流が連続となる限界

$$I_{\min} = 0 = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s DT}{2L} \quad \rightarrow \quad \frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_s DT}{2L} = \frac{V_s D}{2Lf}$$

- Lの最小値  $L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f}$

## ブーストコンバータ・出力電圧脈動

- 電流の計算はC=∞と仮定
- 電流値とCを用いて電圧脈動を評価

- オン時の放電電荷

- 出力電圧一定の時、負荷電流=Cの電流  $I_C = -\frac{V_o}{R}$

- 電圧変化を $\Delta V_o$ とすると  $|\Delta Q| = \left(\frac{V_o}{R}\right)DT = C\Delta V_o$

$$\Delta V_o = \frac{V_o DT}{RC} = \frac{V_o D}{RCf}$$

- 電圧脈動は

$$\left| \frac{\Delta V_o}{V_o} \right| = \frac{D}{RCf}$$

## 宿題

- ブーストコンバータ回路の設計と回路シミュレーションによる評価
  - 設計条件
    - 出力電圧リップル率5%
    - 不連続導通・連続導通の両方
  - 定常状態における設計値と数値解析値との比較
    - 昇降圧比の限界
    - ターンオン・オフ時の境界値
    - リップル率
    - 連続導通・不連続導通
    - 効率(入出力電力比)
    - 昇圧比の限界
    - などなど
  - 過渡応答
    - フィードバック制御による出力電圧の定電圧化
    - 変換器動作の安定性(不連続導通・連続導通でどうがうか)