

応用電力変換工学

舟木剛

第3回 本日のテーマ

直流-直流変換

ブーストコンバータ

2005年10月26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

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

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

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

→
$$V_S(D+1-D) - V_O(1-D) = 0$$

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 $C = \dots$ 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 ΔV_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の回路シミュレーション
 - 定常状態における理論値比較
 - 昇降圧比の限界
 - ターンオン・オフ時の境界値
 - リプル率
 - 連続導通・不連続導通
 - 効率(入出力電力比)
 - 昇圧比の限界
 - 過渡応答
 - コンバータ起動
 - 設計条件
 - 入力電圧 10V, 10W
 - スイッチング周波数 10kHz, デューティ比0.5ぐらい
 - フィードフォワード制御を入れよう