応用電力変換工学

舟木剛

第7回　本日のテーマ

直流-直流変換

バック･ブーストコンバータ

2007年11月21日

バックブースト(Buck-Boost)コンバータ

出力電圧は入力電圧の大小どちらも可

- 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

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

バックブーストコンバータ・スイッチOFF時

- スイッチOFFの瞬間，スイッチ電流がダイオード電流に転流
  - この時のKVLより

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

  - 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

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

  - スイッチオフ時に増加する電流は

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

バックブーストコンバータの出力

- 定常状態ではLに流れる電流は一周期後に同じ値となる $\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0$

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

- 出力電圧 $V_O = -\frac{D}{1-D}V_S$
  - 極性が反転
  - D>0.5で出力電圧は入力より大となる
  - D<0.5で出力電圧は入力より小となる

波形の絵

バックブーストコンバータ･Lに流れる電流

- 電源が負荷に直接接続される経路が無い
  - Lに溜まったエネルギーを負荷に供給
  - 間接型という。バック及びブーストコンバータは直接型

$$P_O = \frac{V_O^2}{R}$$

- 出力電力
  - Cの電圧一定の仮定

$$P_S = V_S I_S = \frac{V_O^2}{R}$$

- 入力電力
  - 但しIsは平均入力電流
  - 入力エネルギーは，オン時にインダクタに蓄積されるエネルギーに等しい

$$V_S I_S T = V_S I_L DT \qquad I_S = I_L D \qquad \frac{V_O^2}{R} = V_S I_L D$$

バックブーストコンバータ・Lに流れる電流

- Lに流れる平均電流は

$$I_L = \frac{{V_O}^2}{V_S R D} = \frac{P_O}{V_S D} = \frac{V_S D}{(1-D)^2 R}$$

バックブーストコンバータ・Lに流れる電流

- 最大・最小電流値

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

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

- 電流が連続となる限界

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

– Lの最小値

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

バック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(負荷の単独動作)
  - 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

$$\left|\Delta Q\right| = \left(\frac{V_O}{R}\right)DT = C\Delta V_O$$

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

※オフ期間中で求めると，Lの影響も考える必要あり

- 電圧脈動は

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

ブーストコンバータと同じ

バックブーストコンバータ･不連続導通

- デューティ:D
- 環流期間:D1
- スイッチング周期:T
- インダクタ電圧の関係(平均0)

$$V_S DT + V_O D_1 T = 0$$

- 入出力電圧比

$$V_S D + V_O D_1 = 0$$

$$\frac{V_O}{V_S} = -\frac{D}{D_1}$$

バックブーストコンバータ･不連続導通

- 負荷電流平均値=ダイオード電流平均値

$$-I_D = I_R = \frac{V_O}{R}$$

- ダイオード電流平均値

$$I_D = \frac{1}{T}\frac{1}{2} I_{\max} D_1 T = \frac{1}{2} I_{\max} D_1 = -\frac{V_O}{R}$$

- オン期間のインダクタ最大電流Imax電流初期値0

$$L\frac{d}{dt} i_L = L\frac{I_{\max}}{DT} = V_S$$

$$I_{\max} = \frac{DT}{L} V_S$$

バックブーストコンバータ･不連続導通

- ひたすら解く
  – Imaxを消す

$$I_D = \frac{1}{2} I_{\max} D_1 = \frac{1}{2} \frac{DT}{L} V_S D_1 = -\frac{V_O}{R}$$

$$D_1 = -2 \frac{L}{DTR} \frac{V_O}{V_S}$$

  – 入出力比でまとめる

$$\frac{V_O}{V_S} = -\frac{D}{D_1} = \frac{D}{2 \frac{L}{DTR} \frac{V_O}{V_S}}$$

$$\left(\frac{V_O}{V_S} \right)^2 = \frac{D^2 TR}{2L}$$

バックブーストコンバータ･不連続導通

$$\left(\frac{V_O}{V_S}\right)^2 = \frac{D^2TR}{2L}$$

- ひたすら解く

$$\frac{V_O}{V_S} = \pm D\sqrt{\frac{TR}{2L}} \Rightarrow -D\sqrt{\frac{TR}{2L}}$$

- 境界条件

$$D + D_1 \le 1$$

$$I_{\min} \le 0$$

$$D_1 = -\frac{V_S}{V_O} D$$

$$D - \frac{V_O}{V_S} D \le 1$$

$$\frac{V_S D}{(1-D)^2 R} - \frac{V_S DT}{2L} < 0$$

$$D + \sqrt{\frac{2L}{TR}} \le 1$$

$$\frac{1}{(1-D)^2 R} < \frac{T}{2L}$$

$$\frac{2L}{TR} < (1-D)^2$$

$$D \le 1 - \sqrt{\frac{2L}{TR}}$$

おなじ $D \le 1 - \sqrt{\frac{2L}{TR}}$

課題

- バックブーストコンバータ回路
  - 適切なパラメータを選び
    - 連続導通
    - 不連続導通
  - を考えて，入出力比を図示せよ