

応用電力変換工学

舟木剛

第4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
2005年11月03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・オフ時各自の等価回路図
 - 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

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

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

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

- 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

- Lに印加される電圧の平均

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

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

- 出力電力
 - Cの電圧一定の仮定
- 入力電力
 - 入力電流平均値はオン時のLに流れる電流の平均値と同じ

$$I_S = I_L D$$

$$\frac{V_o^2}{R} = V_S I_L D$$

- 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

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

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

- 電流が連続となる限界

$$I_{\min} = 0 = \frac{V_S D}{(1-D)^2 R} - \frac{V_S D T}{2L} \quad \rightarrow \quad \frac{V_S D}{(1-D)^2 R} = \frac{V_S D T}{2L} = \frac{V_S D}{2L f}$$

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

$$\Delta V_o = \frac{V_o D T}{R C} = \frac{V_o D}{R C f}$$

- 電圧脈動は

宿題

- バック・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
 - リップル率
 - 連續導通・不連續導通
 - 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
 - フィードバック制御を入れる
 - 指令値/負荷変更しても, 出力電圧が追従するようにする