

応用電力変換工学

舟木剛

第5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

2006年11月01日

同期整流

- MOSFETの構造
 - チャネル
 - ボディダイオード
 - 逆方向のチャネル導通とボディダイオード
- バックコンバータ・ブーストコンバータへの同期整流の応用

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

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

- 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 $P_o = \frac{V_o^2}{R}$
- 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

$$I_s = I_L D \quad \frac{V_o^2}{R} = V_s I_L D$$

- 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 $C=\infty$ 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

$$\left| \frac{\Delta V_o}{V_o} \right| = \frac{D}{RCf} \quad \text{ブーストコンバータと同じ}$$

宿題

- バック・ブーストコンバ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)