

応用電力変換工学

舟木剛

第2回 スイッチングデバイス 直流-直流変換

2006年10月11日

パワー・スイッチング素子と得失

- ダイオード 受動素子
- サイリスタ
 - SCR (Silicon Controlled Rectifier)
 - GTO (Gate Turn off Thyristor)
 - GCT (Gate Commutated Thyristor)
 - MCT (MOS Controlled Thyristor)
 - TRIAC (TRIode AC switch)
- トランジスタ
 - バイポーラ
 - ユニポーラ（電界効果トランジスタ）
 - ハイブリッド (IGBT)

DC-DCコンバータ

- スイッチモードDC-DCコンバータ
(スイッチング電源)
 - バックコンバータ
 - ブーストコンバータ
 - バック・ブーストコンバータ
 - チュックコンバータ
 - フライバックコンバータ
 - フォワードコンバータ

バック(Buck)コンバータ

※BackではなくBuck
Buck:振り落とす(他動)

- バックコンバータの回路図
 - 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
 - 用途によっては不要
- (環流)ダイオード
 - スイッチオフ時の電流経路を形成
 - スイッチオン時は逆バイアスされオフ
- ダウンコンバータとも呼ぶ

バックコンバータの動作解析

- 仮定

- 回路動作を周期定常状態とする
- スイッチオン中、ダイオードはオフしている
- インダクタに流れる電流は、各スイッチ動作期間中正
 - 連続導通という
 - 不連続導通とは、スイッチ動作中にLの電流が0になる場合
- スイッチング周期T
 - スイッチオン期間DT
 - オフ期間T-DT
- 各部品は理想的
- フィルタコンデンサ容量は充分大きい

バック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
 $P_S = P_O \quad (+\text{損失})$

バックコンバータ・スイッチオン時

- Lに印加されている電圧 絵

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

– Lに流れる電流の微分方程式

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

- 電流は直線的に増加(Cを大きいとするとV_o一定) 絵

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad \Rightarrow \quad \Delta i_{L,on} = \frac{V_s - V_o}{L} DT$$

バックコンバータ・スイッチオフ時

- Lに印加されている電圧

– 電源電圧は縁切りされる

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

– Lに流れる電流の微分方程式

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L}$$

- 電流は直線的に減少(Cを大きいとするとV_o一定)

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{-V_o}{L} \quad \Rightarrow \quad \Delta i_{L,off} = \frac{-V_o}{L} (1-D)T$$

バックコンバータ・Lの電流

- 定常状態では一周期後には同じ電流値となる

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

- 電源電圧と出力電圧の関係は

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

- 別解

- Lに印加される電圧の平均が零となる事から

$$V_L = (V_s - V_o)DT - V_o(1-D)T = 0 \quad \Rightarrow \quad V_o = V_s D$$

バックコンバータ・電流脈動

- Lの平均電流と負荷の平均電流は等しい
- Cの平均電流は零

$$I_L = I_R = \frac{V_o}{R}$$

- 電流の最大・最小値

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1-D)T \right] = V_o \left[\frac{1}{R} + \frac{1-D}{2Lf} \right]$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1-D)T \right] = V_o \left[\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right]$$

バックコンバータ・連続導通

- 連続導通となるには I_{min} が 0 以上
- 連続導通と不連続導通の境界

$$I_{min} = 0 = V_o \left[\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} \right]$$
$$\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2Lf} = 0$$

- 連続導通となる L の最小値

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

バックコンバータ・電圧脈動

- C の電流 $I_C = I_L - I_R$
- C の電荷と電圧の関係
 - 充電電荷について $Q = CV_o$
 $\Delta Q = C\Delta V_o = \frac{1}{2} \frac{T}{2} \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{T\Delta i_L}{8}$
 $\Delta V_o = \frac{T\Delta i_L}{8C}$
 $= \frac{T}{8C} \frac{V_o}{L} (1-D)T = \frac{V_o(1-D)}{8LCf^2}$
- リップル率 $\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2}$

課題

- バック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
 - 連続導通
 - 電圧リップル率5%以下
 - 検討項目
 - スイッチングを模擬した回路の数値解析による評価
 - 理想スイッチ素子を用いた場合
 - 素子の直流特性を考慮した場合
 - 素子の過渡特性を考慮した場合
 - 設計値との乖離についての評価