

応用電力変換工学

舟木剛

第5回 直流-直流変換 バックコンバータ

2007年11月7日

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)
 - 直接型
 - バックコンバータ
 - ブーストコンバータ
 - 間接型
 - バック・ブーストコンバータ
 - チュックコンバータ
 - 絶縁型
 - 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

$$Q = CV_o$$

- 充電電荷について

$$\Delta Q = C\Delta V_o = \frac{1}{2} \frac{T}{2} \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{T\Delta i_L}{8}$$

$$\Delta V_o = \frac{T\Delta i_L}{8C}$$

$$= \frac{T}{8C} \frac{V_o}{L} (1-D)T = \frac{V_o(1-D)}{8LCf^2}$$

- リップル率

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2}$$

バックコンバータ・不連続導通

- デューティ:D
- 環流期間: D_1
- スイッチング周期:T
- インダクタ電圧の関係(平均0)

$$(V_s - V_o)DT - V_o D_1 T = 0$$

- 入出力電圧比

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{D}{D + D_1}$$

バックコンバータ・不連続導通

- 負荷電流平均値=インダクタ電流平均値

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

- インダクタ平均電流

$$I_L = \frac{1}{T} \left(\frac{1}{2} I_{\max} DT + \frac{1}{2} I_{\max} D_1 T \right) = \frac{1}{2} I_{\max} (D + D_1) = \frac{V_o}{R}$$

- オン期間の最大電流 I_{\max} を求める 電流初期値0

$$L \frac{d}{dt} i_L = L \frac{I_{\max}}{DT} = V_s - V_o$$

- オフ期間の電流

$$L \frac{d}{dt} i_L = L \frac{I_{\max}}{D_1 T} = V_o$$

$$I_{\max} = \frac{D_1 T}{L} V_o$$

バックコンバータ・不連続導通

- ひたすら解く

$$\frac{1}{2} I_{\max} (D + D_1) = \frac{1}{2} \frac{D_1 T}{L} V_o (D + D_1) = \frac{V_o}{R}$$

－ ガリガリ

$$D_1 (D + D_1) = \frac{2L}{RT}$$

－ ゴリゴリ

$$D_1^2 + D_1 D - \frac{2L}{RT} = 0$$

バックコンバータ・不連続導通

- ひたすら解く

$$D_1 = \frac{-D \pm \sqrt{D^2 + \frac{8L}{RT}}}{2}$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{D}{D + D_1}$$

$$= \frac{D}{D + \frac{-D \pm \sqrt{D^2 + \frac{8L}{RT}}}{2}} = \frac{2D}{D \pm \sqrt{D^2 + \frac{8L}{RT}}}$$

バックコンバータ・不連続導通

- 不連続導通の条件

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

$$\frac{1}{R} - \frac{1-D}{2L} T < 0$$

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

$$\frac{2L}{RT} < 1-D$$

- 不連続となるデューティD

$$D < 1 - \frac{2L}{RT}$$

課題

- バックコンバータ回路
 - 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