

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

チョックコンバータ

2005年11月09日

チョック(Cuk)コンバータ

- 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
 - 出力電圧は入力電圧の大小どちらも可
 - 出力電圧の極性反転
 - Cは入力エネルギーを出力に転送する役割
 - 入力と出力が直接つながらない間接型
- 動作解析
 - 仮定
 - 定常状態
 - 2つのLは十分大きく, 電流が一定に保たれる
 - Cは十分大きく, 電圧が一定に保たれる
 - スイッチング周期T, デューティ比D
 - 理想素子

チョックコンバータ・C1に流れる電流

- C1を含む経路に対するKCLより

- オン時, L2の電流と等しい $i_{C1,on} = -i_{L2}$

- オフ時, L1の電流と等しい $i_{C1,off} = i_{L1}$

絵

- 電源電力と負荷電力は等しい

$$-V_O I_{L2} = V_S I_{L1}$$

- 定常状態ではCに流れる電流は一周期後に同じ値となる

$$I_{C1,on}DT + I_{C1,off}(1-D)T = 0$$

$$-I_{L2}DT + I_{L1}(1-D)T = 0$$

入出力電流比 $\frac{I_{L1}}{I_{L2}} = \frac{D}{1-D}$

チョックコンバータ・出力

- 入力電力と出力電力同じ

$$P_s = P_o$$

$$V_s I_{L1} = -V_o I_{L2}$$

$$\frac{I_{L1}}{I_{L2}} = \frac{-V_o}{V_s}$$

- 入出力電圧比 $\frac{V_o}{V_s} = -\frac{I_{L1}}{I_{L2}} = -\frac{D}{1-D}$

- L2より負荷側を見るとバックコンバータと同じ
 - L2, C2, Rから成る回路
 - 出力電圧リップル率

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8L_2 C_2 f^2}$$

チョックコンバータC1での脈動

- 定常状態ではC1がオン中に放電する電荷とオフ中に充電する電荷と同じ値となる

– i_{L1} 一定の仮定より

$$\Delta v_{c1} = \frac{1}{C_1} \int_{DT}^T I_{L1} dt = \frac{I_{L1}}{C_1} (1-D)T$$

$$V_S I_{L1} = -R I_{L2}^2 \quad I_{L2}^2 = \left(\frac{1-D}{D} \right)^2 I_{L1}^2 \quad \Rightarrow \quad I_{L1} = \left(\frac{D}{1-D} \right)^2 \frac{V_S}{R}$$

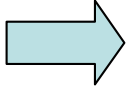
– C1の電圧脈動成分

$$\Delta v_{c1} = \frac{D^2 V_S T}{RC_1 (1-D)} = \frac{D^2 V_S}{RC_1 f (1-D)} = \frac{D V_O}{RC_1 f}$$

チョックコンバータの連続導通条件

- オン中L1に印加される電圧 $V_{L1} = V_S = L_1 \frac{di_{L1}}{dt}$

- オン期間中の電流増分 $\frac{\Delta i_{L1}}{DT} = \frac{V_S}{L_1}$


$$\Delta i_{L1} = \frac{V_S DT}{L_1} = \frac{V_S D}{L_1 f}$$

- オン中L2に印加される電圧

- C1の電圧

- L1,L2の平均電圧は0となることから,KVLより $V_{C1} = V_S - V_O$ で一定とする

$$V_{L2} = V_O + (V_S - V_O) = V_S = L_2 \frac{di_{L2}}{dt}$$

- オン期間中の電流増分

$$\frac{\Delta i_{L2}}{DT} = \frac{V_S}{L_2} \quad \Rightarrow \quad \Delta i_{L2} = \frac{V_S DT}{L_2} = \frac{V_S D}{L_2 f}$$

チョックコンバータの連続導通条件

- L1の連続導通条件

- 平均電流

$$I_{L1} = \left(\frac{D}{1-D} \right)^2 \frac{V_S}{R}$$

$$I_{L1,\min} = I_{L1} - \frac{\Delta i_{L1}}{2} = \left(\frac{D}{1-D} \right)^2 \frac{V_S}{R} - \frac{V_S D}{2L_1 f} = 0$$

- L1最低値 $\left(\frac{D}{1-D} \right)^2 \frac{V_S}{R} = \frac{V_S D}{2L_1 f} \Rightarrow L_{1,\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2Df}$

- L2の連続導通条件

- 平均電流

$$I_{L2} = \frac{1-D}{D} I_{L1} = \frac{1-D}{D} \left(\frac{D}{1-D} \right)^2 \frac{V_S}{R} = \frac{D}{1-D} \frac{V_S}{R}$$

$$I_{L2,\min} = I_{L2} - \frac{\Delta i_{L2}}{2} = \frac{D}{1-D} \frac{V_S}{R} - \frac{V_S D}{2L_2 f} = 0$$

- L2最低値 $\frac{D}{1-D} \frac{V_S}{R} = \frac{V_S D}{2L_2 f} \Rightarrow L_{2,\min} = \frac{(1-D)R}{2f}$

宿題

- チュック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
 - リプル率
 - 連続導通・不連続導通
 - 効率(入出力電力比)
 - 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