

応用電力変換工学

舟木剛

第6回 直流-直流変換 ブーストコンバータ

2007年11月14日

ブースト(Boost)コンバータ

出力電圧が入力より大

- 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
 - PFCなんかで使われる
- 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

ブースト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

$$P_S = P_O \quad (+ \text{損失})$$

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

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_S DT}{L}$$

ブーストコンバータ・スイッチOFF時1

- スイッチOFFの瞬間
 - Lを流れる電流がダイオードを流れる経路に変更する
 - Lがあるため、電流が連続する
 - 転流(commutation)という
 - この時のKVLより

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

ブーストコンバータ・スイッチOFF時2

- 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

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_S - V_O}{L}$$

- スイッチオフ時に増加する電流は

$$\Delta i_{L,off} = \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L}$$

ブーストコンバータの出力

- 定常状態

- Lに流れる電流は一周期後に同じ値となる

- 増加量

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_S DT}{L}$$

- 減少量

$$\Delta i_{L,off} = \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L}$$

- 和が0

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

⇒
$$\frac{V_S DT}{L} + \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L} = 0$$

⇒
$$V_S(D+1-D) - V_O(1-D) = 0$$

ブーストコンバータの出力

- 出力電圧 $V_S(D+1-D)-V_O(1-D)=0$

$$V_O = \frac{V_S}{1-D} \qquad \frac{V_O}{V_S} = \frac{1}{1-D}$$

– ブーストコンバータの出力は入力より大となる

- $1-D < 1$

- Lに印加される電圧の平均は零となる

– オン時平均電圧 $V_S D$

– オフ時平均電圧 $(V_S - V_O)(1-D)$

$$V_L = V_S D + (V_S - V_O)(1-D) = 0$$

ブーストコンバータ・Lに流れる電流

- 出力電力

- Cの電圧一定の仮定 $P_O = \frac{V_O^2}{R}$

- 入力の平均電力はLに流れる平均電流で表される

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

- Lに流れる平均電流は

$$I_L = \frac{V_S}{(1-D)^2 R}$$

ブーストコンバータ・Lに流れる電流

- 最大・最小電流値

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

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

- 電流が連続となる限界

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

－Lの最小値

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

ブーストコンバータ・出力電圧脈動

- 電流値とCを用いて電圧脈動を評価
 - バックコンバータとは異なり，負荷回路が単独となる期間がある
 - 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 $\left|\frac{\Delta V_O}{V_O}\right| = \frac{D}{RCf}$

ブーストコンバータ・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)

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

- 入出力電圧比

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

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

ブーストコンバータ・不連続導通

- 負荷電流平均値=ダイオード電流平均値

$$I_D = I_R = \frac{V_O}{R}$$

- ダイオード電流平均値

$$I_D = \frac{1}{T} \frac{1}{2} I_{\max} D_1 T = \frac{1}{2} I_{\max} D_1 = \frac{V_O}{R}$$

- オン期間のインダクタ最大電流 $I_{\max}$ 電流初期値0

$$L \frac{d}{dt} i_L = L \frac{I_{\max}}{DT} = V_S$$

$$I_{\max} = \frac{DT}{L} V_S$$

ブーストコンバータ・不連続導通

- ひたすら解く
– I_{max}を消す

$$I_D = \frac{1}{2} I_{\max} D_1 = \frac{1}{2} \frac{DT}{L} V_S D_1 = \frac{V_O}{R}$$

$$D_1 = 2 \frac{L}{DTR} \frac{V_O}{V_S}$$

– 入出力比でまとめる

$$\frac{V_O}{V_S} = \frac{D + D_1}{D_1} = \frac{D + 2 \frac{L}{DTR} \frac{V_O}{V_S}}{2 \frac{L}{DTR} \frac{V_O}{V_S}}$$

$$2 \frac{L}{DTR} \left(\frac{V_O}{V_S} \right)^2 - 2 \frac{L}{DTR} \frac{V_O}{V_S} - D = 0 \quad \left(\frac{V_O}{V_S} \right)^2 - \frac{V_O}{V_S} - \frac{D^2 TR}{2L} = 0$$

ブーストコンバータ・不連続導通

- ひたすら解く $\left(\frac{V_o}{V_s}\right)^2 - \frac{V_o}{V_s} - \frac{D^2 TR}{2L} = 0$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1 \pm \sqrt{1 + \frac{2D^2 TR}{L}}}{2} \Rightarrow \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{2D^2 TR}{L}}}{2}$$

- 境界条件 $D + D_1 \leq 1$

$$D + 2 \frac{L}{DTR} \frac{V_o}{V_s} \leq 1$$

$$2 \frac{L}{DTR} \frac{V_o}{V_s} \leq 1 - D$$

$$\frac{2L}{DTR} \leq (1 - D)^2$$

$$I_{\min} \leq 0$$

$$\frac{V_s}{(1 - D)^2 R} - \frac{V_s DT}{2L} \leq 0$$

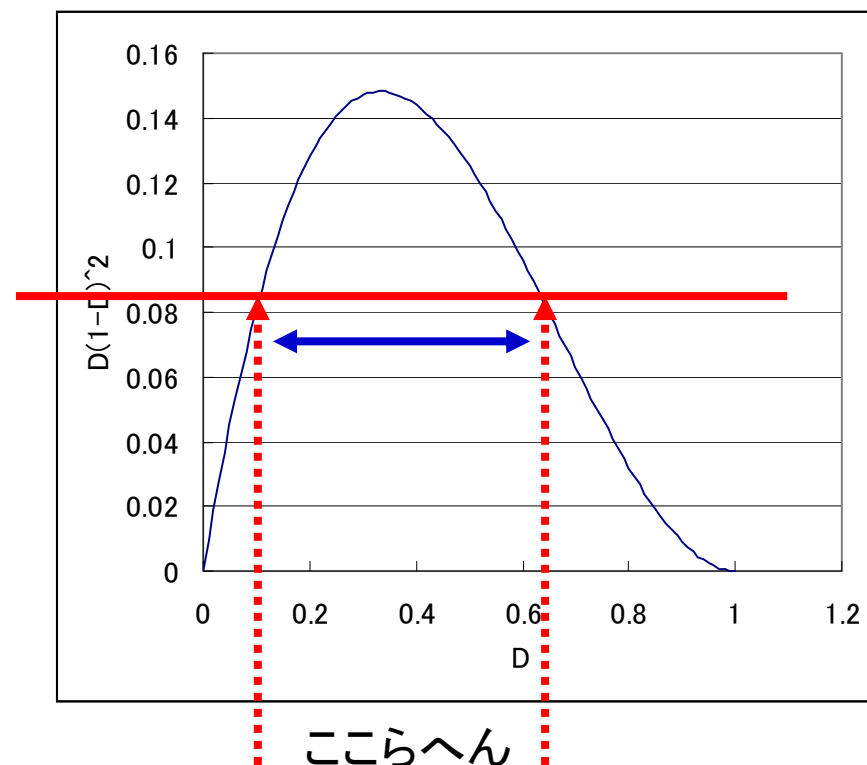
$$\frac{V_s}{(1 - D)^2 R} \leq \frac{V_s DT}{2L}$$

$$\text{おなじ} \quad \frac{2L}{DTR} \leq (1 - D)^2$$

ブーストコンバータ・不連続導通

- 不連続となるデューティ比

$$\frac{2L}{DTR} \leq (1-D)^2$$
$$\frac{2L}{TR} \leq D(1-D)^2$$



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・ブースとコンバータへの同期整流の応用
 - 導通損失
 - PN接合 v.s. チャネル導通
 - デッドタイムの設定

課題

- ブーストコンバータ回路
 - 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