

# 応用電力変換工学

舟木剛

## 第9回 直流-直流変換 ブーストコンバータ

2008年11月26日

2008/11/26

応用電力変換工学

1

## ブーストコンバータ

2008/11/26

応用電力変換工学

2

# 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
    - 周期定常状態
    - 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

2008/11/26

応用電力変換工学

3

## 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  $P_S = P_O$  (+ 損失)

2008/11/26

応用電力変換工学

4

## 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witchオン時に増加する電流は

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

2008/11/26

応用電力変換工学

5

## ブーストコンバータ・スイッチOFF時1

- スwitchOFF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

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

2008/11/26

応用電力変換工学

6

## 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witchオフ時に増加する電流は

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

2008/11/26

応用電力変換工学

7

## 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

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

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

$$\Rightarrow V_s(D+1-D) - V_o(1-D) = 0$$

2008/11/26

応用電力変換工学

8

## ブーストコンバータの出力

- 出力電圧  $V_s(D+1-D)-V_o(1-D)=0$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad \frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$$

– 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  $(V_s - V_o)(1-D)$

$$V_L = V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0$$

2008/11/26

応用電力変換工学

9

## 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

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

2008/11/26

応用電力変換工学

10

## ブーストコンバータ・Lに流れる電流

- 最大・最小電流値

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

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

- 電流が連続となる限界

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

– Lの最小値  $L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f}$

2008/11/26

応用電力変換工学

11

## 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  $\Delta V_o$  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

$$\left| \frac{\Delta V_o}{V_o} \right| = \frac{D}{RCf}$$

2008/11/26

応用電力変換工学

12

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

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

2008/11/26

応用電力変換工学

13

## 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

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

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

2008/11/26

応用電力変換工学

14

## ブーストコンバータ・不連続導通

- ひたすら解く  
 – I<sub>max</sub>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
 
$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{D + D_1}{D_1} = \frac{D + 2 \frac{L}{DTR} \frac{V_o}{V_s}}{2 \frac{L}{DTR} \frac{V_o}{V_s}}$$
- $$2 \frac{L}{DTR} \left( \frac{V_o}{V_s} \right)^2 - 2 \frac{L}{DTR} \frac{V_o}{V_s} - D = 0 \quad \left( \frac{V_o}{V_s} \right)^2 - \frac{V_o}{V_s} - \frac{D^2 TR}{2L} = 0$$

2008/11/26

応用電力変換工学

15

## 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
 
$$D + D_1 \leq 1 \quad I_{\min} \leq 0$$

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

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

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

2008/11/26

応用電力変換工学

16

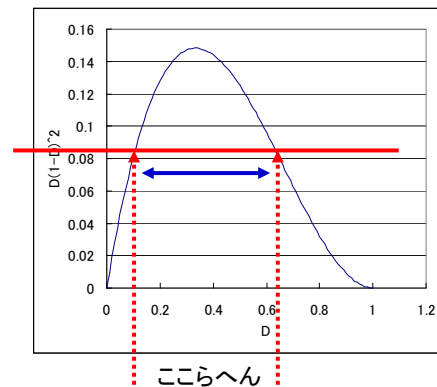


## ブーストコンバータ・不連続導通

- 不連続となるデューティ比

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

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



2008/11/26

応用電力変換工学

17

## 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
  - 導通損失
    - PN接合 v.s. チャネル導通
  - デッドタイムの設定

2008/11/26

応用電力変換工学

18