

応用電力変換工学

舟木剛

第7回 フォワードコンバータ

平成17年11月30日

フォワードコンバータ

- フォワードコンバータの回路ず
 - 三巻線変圧器を使用
 - オン時に電源から負荷へエネルギー転送(1次 - 2次巻線間)
 - オフ時に磁化電流を転流(1次-3次巻線間)
 - 次のオン時まで磁化電流を0に減らす
 - フライバックコンバータ程, 磁化インダクタンスは必要ない
 - 回路動作の解析の仮定
 - 理想三巻線変圧器を考える
 - 漏れインダクタンス無視
 - 磁化インダクタンスを1次巻線にまとめる
 - 損失無視
 - 出力の平滑コンデンサは大
 - 出力電圧 V_o は一定
 - 回路は周期定常状態
 - スイッチング周期: T , デューティ比: D
 - スイッチング素子(ダイオード含む)の動作は理想的

フォワードコンバータ

- 動作の解析

- オン時

- 巻線1に印加される電圧と, 他の巻線の発生電圧

$$v_1 = V_s, \quad v_2 = v_1 \frac{N_2}{N_1} = V_s \frac{N_2}{N_1}, \quad v_3 = v_1 \frac{N_3}{N_1} = V_s \frac{N_3}{N_1}$$

- ダイオードの導通状態

- D1オン 順バイアス $V_{D1} = v_2 - v_{Lx} - V_o$
 - D2オフ 逆バイアス $V_{D2} = -v_2 = -V_s \frac{N_2}{N_1} < 0$
 - D3オフ 逆バイアス $V_{D3} = -V_s - v_3 = -V_s \left(1 + \frac{N_3}{N_1}\right) < 0$

- 出力電流の応答

$$v_{Lx} = v_2 - V_o = V_s \frac{N_2}{N_1} - V_o = L_x \frac{d}{dt} i_{Lx}$$

- オン中の電流増分

$$\Delta i_{Lx\text{on}} = \int_0^{DT} \frac{V_s \frac{N_2}{N_1} - V_o}{L_x} dt = \left(V_s \frac{N_2}{N_1} - V_o \right) \frac{DT}{L_m}$$

フォワードコンバータ

- 動作の解析

- オン時

- 磁化電流の応答

$$v_1 = V_S = L_m \frac{d}{dt} i_{L_m}$$

- オン期間に増加する電流

$$\Delta i_{L_m on} = \int_0^{DT} \frac{V_S}{L_m} dt = \frac{V_S DT}{L_m}$$

- 電源電流

- 負荷電流と磁化電流の和

$$i_s = i_1 + i_{L_m}$$

フォワードコンバータ

- オフ時

- オフの瞬間 L_x, L_m に流れる電流は停まらない

- I_{Lm} は巻線1に転流

- 2次巻線のD1には逆方向電流 D1オフ

- 3次巻線にD3の順方向電流を発生

- » D3オン時の巻線3の印加電圧 $v_3 = -V_S$

- » 巻線3の印加電圧が他の巻線に発生する電圧

$$v_1 = v_3 \frac{N_1}{N_3} = -V_S \frac{N_1}{N_3}, \quad v_2 = v_3 \frac{N_2}{N_3} = -V_S \frac{N_2}{N_3}$$

- オフ期間(D3オン時)の電流の応答

$$v_{Lm} = v_1 = -V_S \frac{N_1}{N_3} = L_m \frac{d}{dt} i_{Lm}$$

フォワードコンバータ

- オフ時

- オフの瞬間 L_x, L_m に流れる電流は停まらない

- I_2 はD1からD2に転流

- D2オン時の出力電流の応答

$$v_{Lx} = -V_o = L_x \frac{d}{dt} i_{Lx}$$

- オフ中の電流減少分

$$\Delta i_{Lx\text{off}} = \int_{DT}^T -\frac{V_o}{L_x} dt = -V_o \frac{(1-D)T}{L_x}$$

- 定常状態では出力電流は1周期毎に同じ値に戻る

連続導通としたら
$$\Delta i_{Lx\text{on}} + \Delta i_{Lx\text{off}} = \left(V_S \frac{N_2}{N_1} - V_o \right) \frac{DT}{L_m} - V_o \frac{(1-D)T}{L_x} = 0$$

$$V_o = V_S D \frac{N_2}{N_1}$$

バックコンバータと似た式

出力電圧脈動率

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8L_x c f^2}$$

フォワードコンバータ

- 変圧器が偏磁しないためには, オフ期間中に磁化電流が0に戻らなければならない

$$\frac{d}{dt} i_{L_m} = -\frac{V_S}{L_m} \frac{N_1}{N_3} \quad \Rightarrow \quad \Delta i_{L_m \text{ off}} = -\frac{V_S}{L_m} \frac{N_1}{N_3} t$$

$$\Delta i_{L_m \text{ on}} + \Delta i_{L_m \text{ off}} = \frac{V_S DT}{L_m} - \frac{V_S}{L_m} \frac{N_1}{N_3} t = 0 \quad \Rightarrow \quad t = DT \frac{N_3}{N_1}$$

– オフ期間は(1-D)Tより

$$t = DT \frac{N_3}{N_1} < (1-D)T \quad \Rightarrow \quad DT \left(1 + \frac{N_3}{N_1} \right) < T \quad \Rightarrow \quad D < \frac{N_1}{N_1 + N_3}$$

- オフ中スイッチに印加される電圧

$$v_{sw} = V_S - v_1 = V_S - \left(-V_S \frac{N_1}{N_3} \right) = V_S \left(1 + \frac{N_1}{N_3} \right)$$

ダブルエンド形フォワードコンバータ

- フォワードコンバータの回路^ず
 - 2つのスイッチを同時にオンオフさせる
 - スイッチオン時
 - 変圧器一次側に電源電圧 V_s 印加
 - 変圧器二次側に電圧発生D1オン, D2オフ。電力伝送
 - 変圧器磁化電流増加
 - スイッチオフ時
 - D1オフし, 二次側に電流が流れない。D2オン環流
 - 磁化電流がD3,D4オンし, 電源側に回生
 - デューティ比0.5以下で磁化電流がリセットされる
 - 出力電圧は, 原型と同じ
 - スイッチに印加される電圧

$$V_s \left(1 + \frac{N_1}{N_3}\right) \quad \longrightarrow \quad V_s$$

宿題

- フォワード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
 - 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
 - 変圧比1:10
 - スイッチング周波数 10kHz
 - 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