

昇圧チョッパ型高力率コンバータの動作原理

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

舞鶴高専 平地克也

高力率コンバータの必要性

平滑コンデンサ付き全波整流回路(図1)は簡単な回路で脈動の少ない安定な直流電圧 v_d を得ることができるので多くの電気製品に用いられている。図2に平滑コンデンサ付き全波整流回路の入力電圧波形と入力電流波形を示す。入力電圧が正弦波であっても入力電流は正弦波とは大きく異なるピーク値の大きなパルス状の波形となる(詳しくは2007/4/1の平地研究室技術メモを参照下さい)。電流波形が正弦波でない、ということは高調波電流が含まれていることを意味している。図2のような正弦波とは大きく異なる波形では多くの種類の高調波電流が大量に含まれている。高調波電流には次のような悪影響があり、「電力公害」として一つの社会問題となっている。

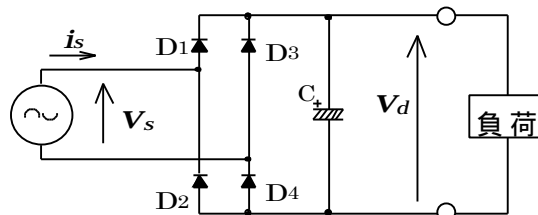


図1 平滑コンデンサ付き全波整流回路

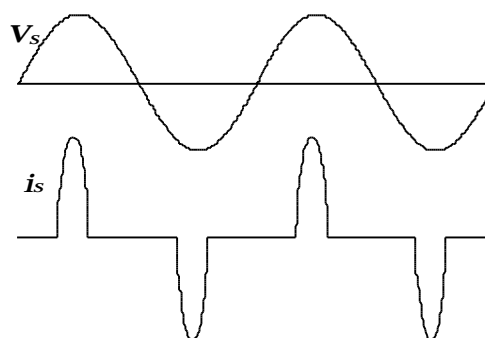


図2 入力電圧 V_s と入力電流 i_s の波形

< 高調波電流の悪影響 >

- ・ 力率悪化(送電損失の増加)
- ・ 進相コンデンサの加熱(火災の発生例もあり)
- ・ 発電機の加熱
- ・ 通信障害
- ・ 制御機器の誤動作

高力率コンバータは入力電流を正弦波に整形することのできる整流器であり、高調波電流抑制のためにその普及が強く期待されている。高調波電流規格⁽¹⁾⁽²⁾が制定されたことなどを契機として近年徐々に普及が進んでいる。

(1) 通商産業省資源エネルギー庁、「家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン」、1994年10月

(2) International Electrotechnical Commission, "limits for harmonic current emissions", International standard electromagnetic compatibility Part 1000-3: Limits-Section 2, 1995

高力率コンバータの回路構成と動作原理

図3に昇圧チョッパ形と呼ばれている高力率コンバータの回路図を示す。全波整流回路の後段に昇圧チョッパを接続した回路構成となっている。簡単な回路で交流入力電流を歪のない完全な正弦波に整形することができるので最も広く用いられている回路方式である。なお、 L_f と C_f はリアクトル電流に含まれる高周波電流を除去するためのローパスフィルタである。

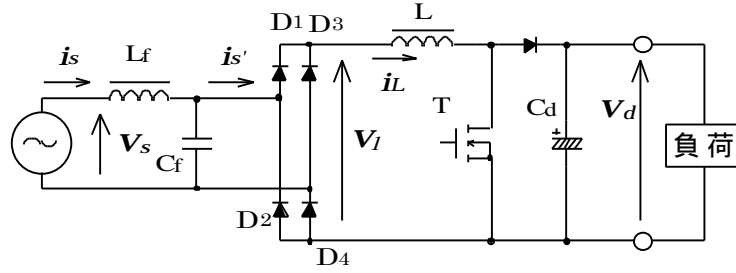


図3 昇圧チョッパ型高力率コンバータ

トランジスタ T が ON の時と OFF の時の電流経路をそれぞれ図 4 (a)と(b)に示す。ON の時はリアクトル L には電圧 v_1 が印加され、エネルギーが蓄積され、リアクトル電流 i_L は増加する。よって、この動作モードを蓄積モードと言う。T の ON 時間を T_{on} とすると i_L の増加分 i_{Lon} は次の式で与えられる。

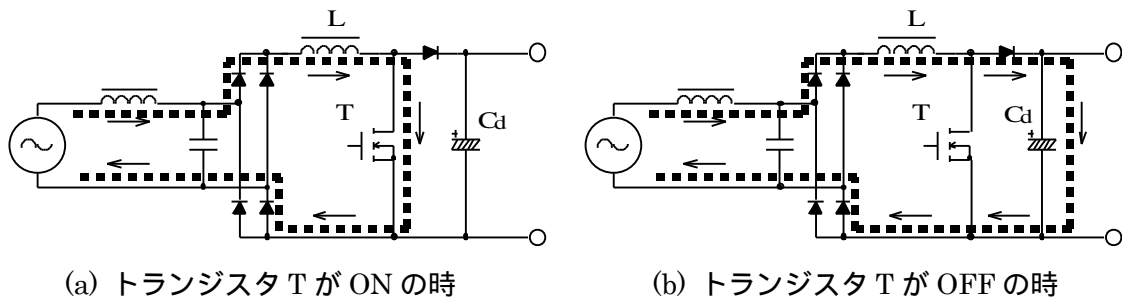
$$\Delta i_{L_{on}} = \frac{1}{L} v_1 \Delta T_{on}$$

T が OFF の時はリアクトルに蓄積されたエネルギーが出力側に伝達されるのでこの動作モードを伝達モードと言う。伝達モードではリアクトルには $v_1 - v_d$ の電圧が印加される。昇圧チョッパでは常に $v_1 < v_d$ なので $v_1 - v_d$ は負の値であり、リアクトル電流 i_L は減少する。T の OFF 時間を T_{off} とすると i_L の減少分 i_{Loff} は次の式で与えられる。

$$\Delta i_{L_{off}} = \frac{1}{L} (v_d - v_1) \Delta T_{off}$$

よって、リアクトル電流 i_L は図 5 のように蓄積モードで増加、伝達モードで減少することになるので、蓄積モードと伝達モードの時間 T_{on} と T_{off} を適切に制御することによりリアクトル電流 i_L は自由に制御することができる。なお、リアクトルの電流と印加電圧の関係は 2006/8/20 の平地研究室技術メモ「コンデンサは電流で充電、リアクトルは電圧で充電する」を参照下さい。

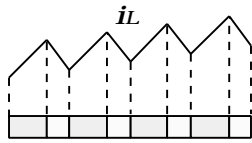
図 6 に昇圧チョッパ型高力率コンバータの整流回路(D1~D4)の出力電圧 v_1 、およびリアクトル電流 i_L の波形を示す。 i_L は T_{on} と T_{off} を適切に制御することにより自由に变化させることができるので、適切な制御回路によりうまく制御すれば図 6 のように、 v_1 と同相の正弦波状の波形に整形することができる。 i_L をこのような波形に整形すれば後述のように入力電流波形を完全な正弦波に整形することができる。



(a) トランジスタ T が ON の時

(b) トランジスタ T が OFF の時

図4 昇圧チョッパ型高力率コンバータの電流経路



- 蓄積モード (TがON)
- 伝達モード (TがOFF)

図5 蓄積モードと伝達モード

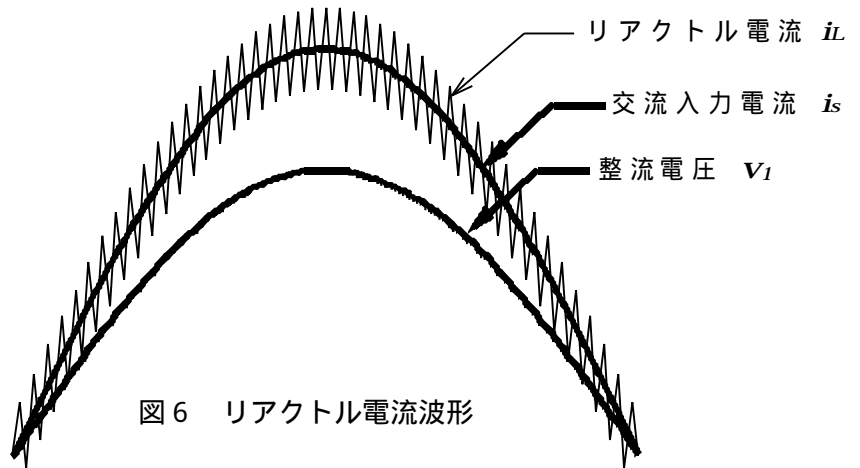
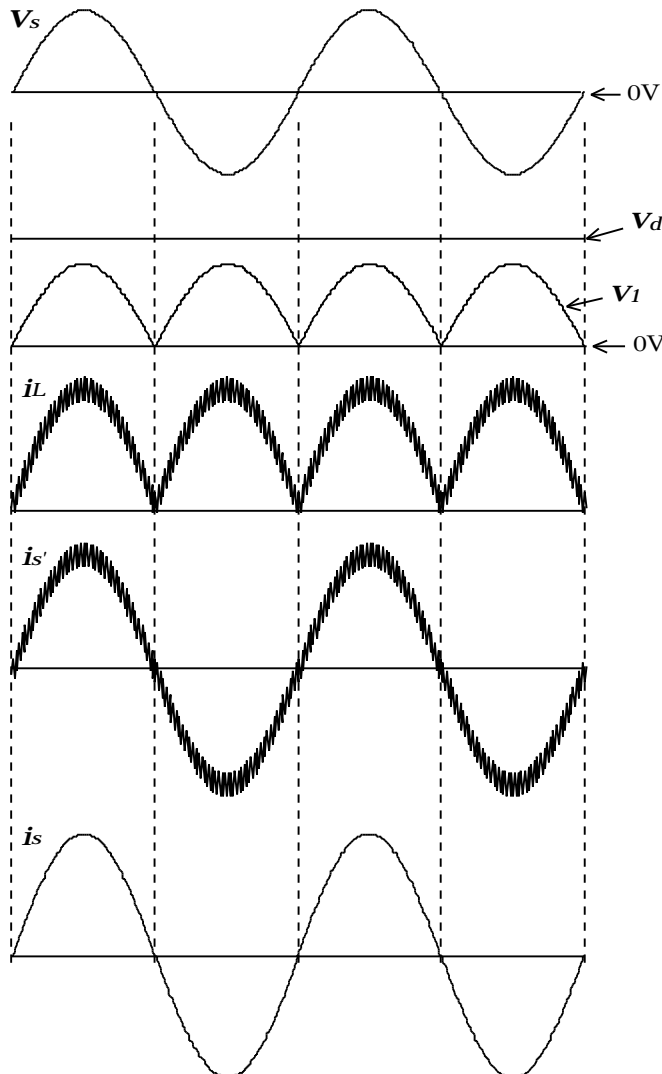


図6 リアクトル電流波形

昇圧チョッパ型高力率コンバータの電圧・電流波形

以上の動作原理から各部の電圧、電流波形は以下のように示される。



← 0V 入力電圧 V_s は正弦波の交流電圧とする。

← V_d V_1 は V_s を全波整流した波形なので $V_1 = |V_s|$ 。
昇圧チョッパの回路構成なので V_d は V_1 より常に大。よって、 V_d は V_1 のピーク値より大きな任意の値に制御することができる。

リアクトル電流 i_L は図6で説明したように V_1 に比例した値に追従するように制御される。

i_s' は全波整流回路の交流入力電流、 i_L は全波整流回路の直流出力電流にあたるので、正の半サイクルは $i_s' = i_L$ 、負の半サイクルは $i_s' = -i_L$ となる。
なお、全波整流回路の電流波形は2007/3/27の平地研究室技術メモを参照下さい。

i_s' に含まれる高周波成分はローパスフィルタ L_f 、 C_f で完全に除去されるので i_s は歪のない完全な正弦波となる。

図7 昇圧チョッパ型高力率コンバータの電圧電流波形

以上