

## 昇降圧型高力率コンバータの入力電流とリアクトル電流

(読んでほしい人：パワーエレクトロニクス技術者)

2017/1/16 舞鶴高専 平地克也

高力率コンバータは昇圧型、昇降圧型、降圧型の 3 種類がありますが、そのうち昇降圧型はリアクトル電流不連続モードで使用すると、簡単な制御で入力電流を完全な正弦波に制御することができ、広く使用されています。この方式は平地研究室技術メモ No.20120626 において紹介しており、動作原理と入力電流波形計算式などを説明しています。

昇降圧型高力率コンバータはリアクトル電流境界モードでも動作させることができます。この場合は入力電流を完全な正弦波に制御することはできませんが、その替わり、リアクトル電流のピーク値を抑制することができ、リアクトルの小型化や効率の向上が期待できます。本技術メモでは、昇降圧型高力率コンバータにおいて、リアクトル電流不連続モードと境界モードの双方の場合について入力電流とリアクトル電流の計算式を導出します。さらに、その計算式を用いて波形を描画できる、表計算ソフトのワークシートを提供します。

### 昇降圧型高力率コンバータの動作原理

昇降圧型高力率コンバータの回路構成と電流経路を図 1 に示します。全波整流回路に昇降圧チョップ回路を従属接続した回路構成となっています。整流後の電圧  $v_1$  は電源電圧  $V_{in}$  の全波整流波形となり、 $v_1 = |v_{in}|$  です。L<sub>f</sub> と C<sub>f</sub> は入力電流  $i_{in}'$  に含まれる高周波成分を除去するためのローパスフィルタです。スイッチ素子 Q がオンの時はリアクトル L<sub>d</sub> に電源電圧が印加されリアクトルにエネルギーが蓄積されるので蓄積モードと言います。Q がオフの時はリアクトルのエネルギーが出力側に伝達されるので伝達モードと言います。それぞれの動作モードで次の式が成立します。

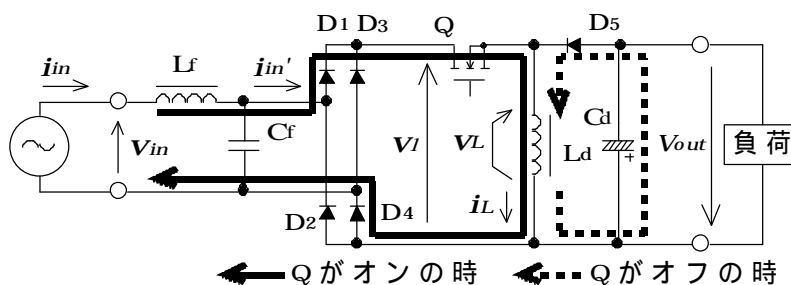


図 1 昇降圧型高力率コンバータの回路構成と電流経路

< 蓄積モード > (Q がオン)

$$v_L = v_1 = |v_{in}|$$

$$i_L = \frac{1}{L_d} v_L T_1$$

なお、 $v_L$  はリアクトル電圧、 $i_L$  は蓄積モード期間中のリアクトル電流  $i_L$  の変化量、 $T_1$  は Q のオン時間です。

<伝達モード> (Q がオフ)

$$v_L = -V_{out}$$

$$i_L = \frac{1}{L_d} (-V_{out})T_2$$

なお、 $i_L$  は伝達モード期間中の  $i_L$  の変化量、 $T_2$  は伝達モードの継続時間です。

### 昇降圧型高力率コンバータのリアクトル電流と入力電流

昇降圧型高力率コンバータのリアクトル電流波形の模式図を図 2 に示します。(a)は不連続モード制御時の波形、(b)は境界モード制御時の波形です。不連続モードでは周期  $T$  は一定、境界モード制御ではリアクトル電流が流れ終わるとすぐに次の周期が始まるので  $T$  は変化します。 $S_1$  は蓄積モード期間中のリアクトル電流の面積(電流時間積)、 $S_2$  は伝達モード期間中のリアクトル電流の面積(電流時間積)です。次の式が成立します。

$$\text{リアクトル電流のピーク値 } i_p = \frac{1}{L_d} v_1 T_1 \quad \dots \dots (1)$$

$$S_1 = \frac{1}{2} i_p T_1 \quad S_2 = \frac{1}{2} i_p T_2$$

$$T_2 = \frac{1}{V_{out}} i_p L_d \quad \dots \dots (2)$$

$$(1)\text{式を代入して、} T_2 = \frac{1}{V_{out}} v_1 T_1$$

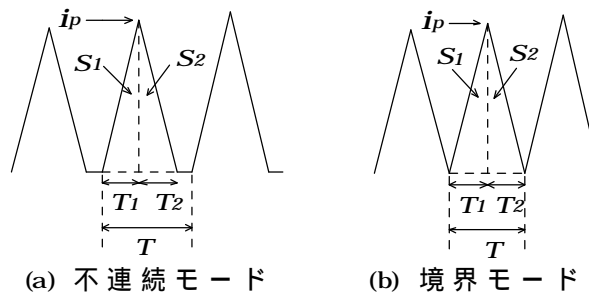


図 2 リアクトル電流波形

図 1 から明かなように、リアクトル電流  $i_L$  は  $T_1$  期間中は入力側から流れ、 $T_2$  期間中は出力側に流れます。したがって、入力電流  $i_{in}$  は次のように計算されます。

$$i_{in} = \frac{S_1}{T} = \frac{1}{2} i_p \frac{T_1}{T}$$

$$(1)\text{式を代入して、} i_{in} = \frac{1}{2L_d} \frac{T_1^2}{T} v_1 \quad \dots \dots (3)$$

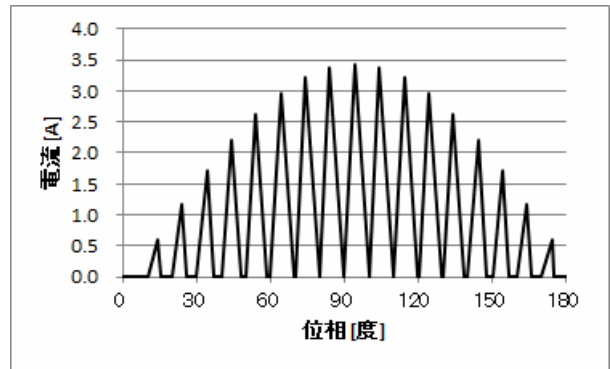
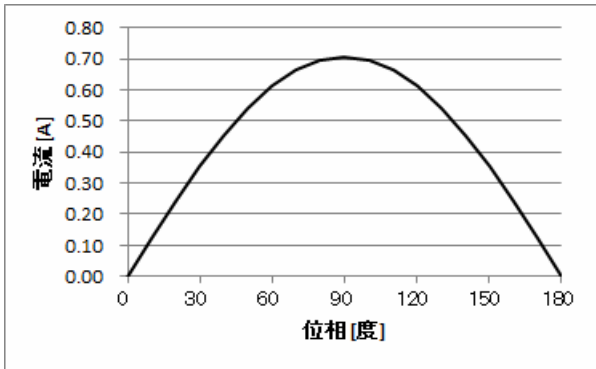
なお、出力電流  $I_{out}$  は  $\frac{S_2}{T}$  を商用電源の半サイクルに渡って平均した値となります。

### リアクトル電流と入力電流の波形

(1)式と(2)式からリアクトル電流  $i_{Ld}$  の波形を描画することができます。(3)式から入力電流  $i_{in}$  の波形を描画することができます。ただし(3)式において、不連続モード制御では  $T$  は一定値ですが、境界モードでは位相に応じて変化します。

(1)式～(3)式を使い、表計算ソフトで描画させた入力電流波形とリアクトル電流波形を図3～図5に示します。図3は定格時の波形であり、入力 100V50Hz、出力 100V0.5A を定格値としています。リアクトル  $L_d$  は 9.52mH を使用しています。不連続モードにおいて位相 90 度の時にリアクトル電流がちょうど境界モードとなるように  $L_d$  の値を選んでいました。これが最適設計です。不連続モードでは入力電流波形は完全な正弦波になっていますが、境界モードでは歪みがあることが分かります。ただし、この程度の歪みなら IEC61000-3-2 などの高調波規格を満足できます。リアクトル電流のピーク値は境界モードの方が低いことが分かります。

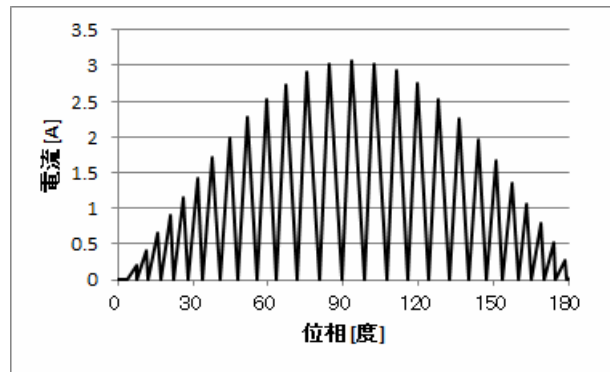
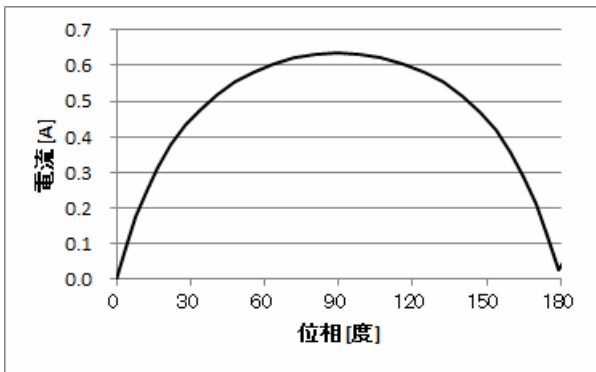
なお、高力率コンバータは通常は動作周波数を数 10kHz～数 100kHz としますが、図3ではリアクトル電流の波形の形状が明確に確認できるように、低い周波数で動作させています。不連続モードでは動作周波数は 1.8kHz としていますが、例えば動作周波数を 100 倍の 180kHz にするならリアクトル  $L_d$  の値を 1/100 の 95.2  $\mu$ H とし、オン時間も 1/100 の 2.3  $\mu$ sec とすれば入力電流は同じ波形になり、リアクトル電流のピーク値も同じ値になります。



(オン時間 230  $\mu$ sec、入力電流 0.500A)

(a) 入力電流 (不連続モード)

(b) リアクトル電流 (不連続モード)



(オン時間 206  $\mu$ sec、入力電流 0.504A)

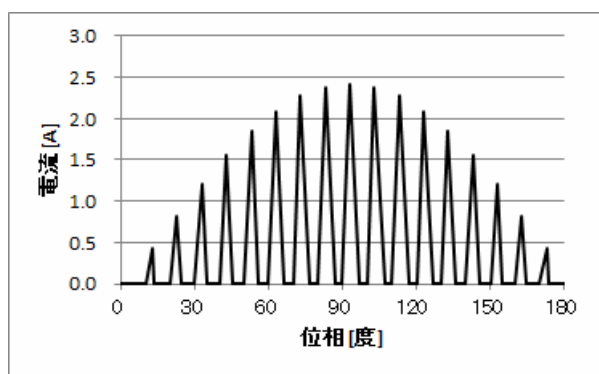
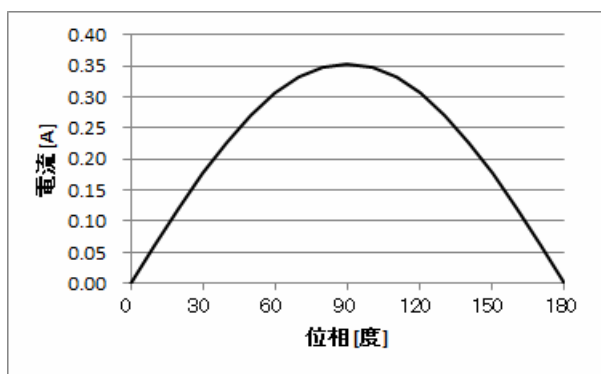
(a) 入力電流 (境界モード)

(b) リアクトル電流 (境界モード)

図3 定格時 (入力 100V50Hz、出力 100V0.5A、 $L_d = 9.52$ mH にて)

図4にハーフ負荷時の波形を示します。負荷が軽くなると境界モードでは動作周波数が増加します。無負荷では無限大になるので無負荷に近い領域では境界モードは使用できません。負荷に応じて不連続モードに切り替える、などの対策が必要となります。

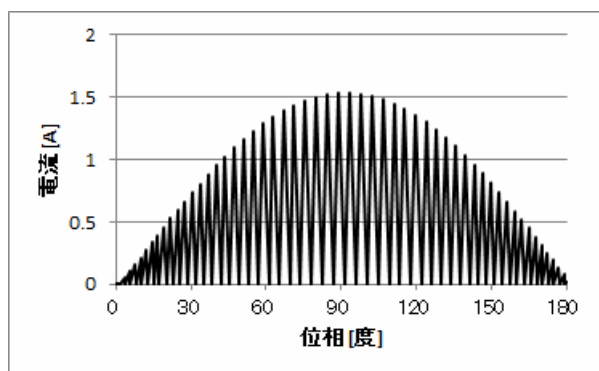
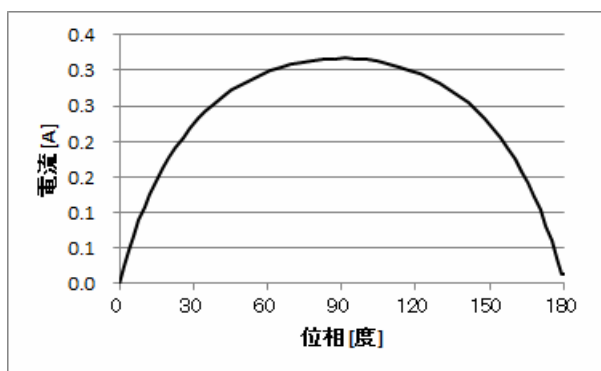
図5に定格負荷のままで入力電圧を200Vに増加させた時の波形を示します。不連続モードと境界モードのリアクトル電流ピーク値の差が定格入力時より顕著になります。



(オン時間 162.5  $\mu$  sec、入力電流 0.250A)

(a) 入力電流 (不連続モード)

(b) リアクトル電流 (不連続モード)

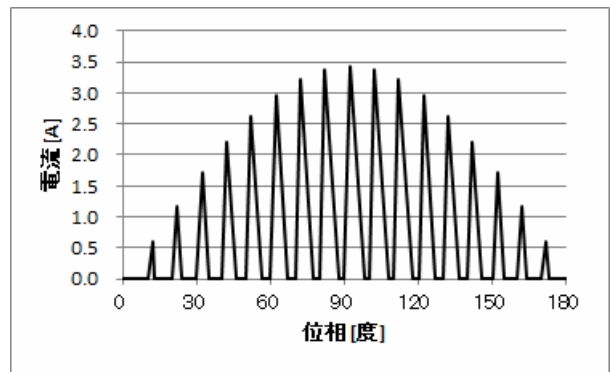
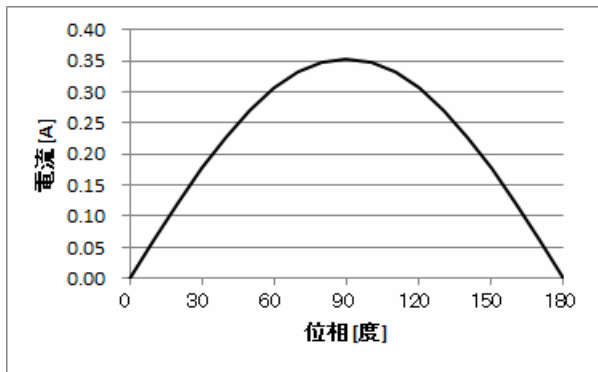


(オン時間 103  $\mu$  sec、入力電流 0.252A)

(a) 入力電流 (境界モード)

(b) リアクトル電流 (境界モード)

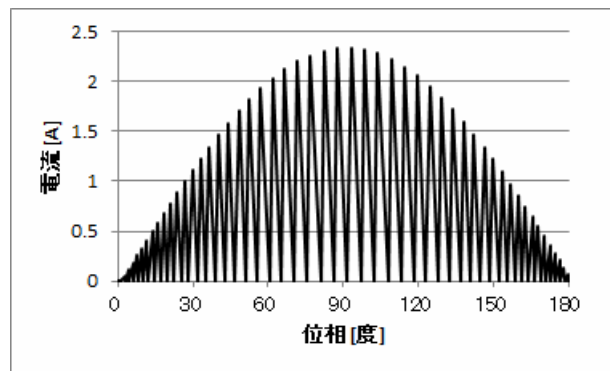
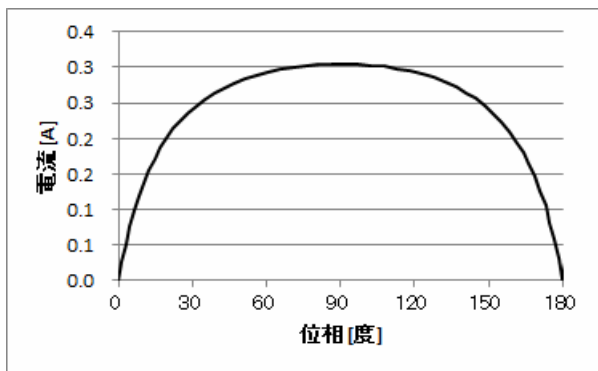
図4 ハーフ負荷時 (入力 100V50Hz、出力 100V0.25A、 $L_d = 9.52$ mH にて)



(オン時間 115  $\mu$  sec、入力電流 0.250A)

(a) 入力電流 (不連続モード)

(b) リアクトル電流 (不連続モード)



(オン時間 78.6  $\mu$  sec、入力電流 0.255A)

(a) 入力電流 (境界モード)

(b) リアクトル電流 (境界モード)

図5 入力電圧 200V 時 (入力 200V50Hz、出力 100V0.5A、 $L_d = 9.52\text{mH}$  にて)

なお、波形描画用の Excel のワークシートもホームページに UP しているのでご使用下さい。

以上