

## 昇圧型1石式境界モード制御高力率コンバータのソフトスイッチング

(読んでほしい人：パワーエレクトロニクス技術者)

2017/3/31 舞鶴高専 平地克也

【あらまし】 昇圧型1石式高力率コンバータ（昇圧チョップ方式高力率コンバータ）は最も広く使用されている高力率コンバータであり、これまでに多数のソフトスイッチングの回路方式が提案されてきました。しかしながら、部品点数の増加や導通損失の増大といった問題点があり、実用化された回路方式はほとんどありません。一方、平地研究室技術メモ No.20160501「リアクトル電流逆流動作によるチョップ回路のソフトスイッチング」では、部品点数を増やすことなくチョップ回路のソフトスイッチングを可能とする回路方式を紹介しました。この回路方式を境界モード制御の昇圧型1石式高力率コンバータに適用すると、これまでに提案されてきた多数の回路方式の欠点であった部品点数の増加と導通損失の増大を招くことなくソフトスイッチングを実現できます。

### ■昇圧型1石式高力率コンバータのソフトスイッチング

図1に示す昇圧型1石式高力率コンバータ（昇圧チョップ方式高力率コンバータ）は、簡単な回路構成で高調波を完全に抑制することができるので、高力率コンバータの多数の回路方式の中で最も広く使用されています。高力率コンバータは商用電源に直接接続されるので、製品開発のためには高周波ノイズの抑制が重要です。また、高い電圧で動作するのでスイッチング損失が大きく、その抑制も重要です。したがって、ソフトスイッチングの実現はこの回路方式にとって重要な技術課題であり、これまでに非常に多くの回路方式が提案されてきました（例えば文献[1]～[5]）。しかしながら、ほとんどの回路方式ではソフトスイッチングを実現するために多くの部品の追加が必要であり、コストアップを招きます。また、多くの回路方式ではソフトスイッチング実現のために大きな無効電流を流す必要があります。導通損失が大きくなります。例えば図2の回路[4]では点線で囲った部分がソフトスイッチングのための追加部品であり、 $Q_2$ には主スイッチ素子  $Q_1$  よりやや大きなピーク電流が流れます。経済性や導通損失を考慮すればあまり実用的とは言えません。

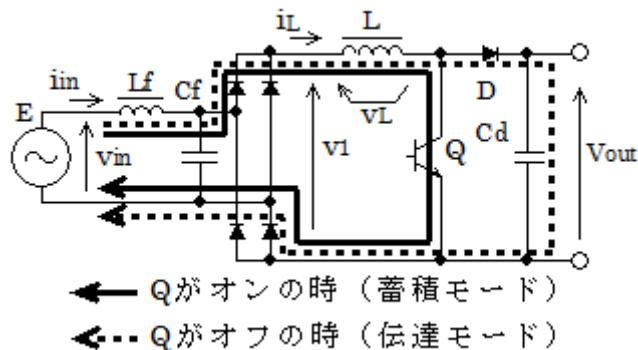


図1 昇圧型1石式高力率コンバータ

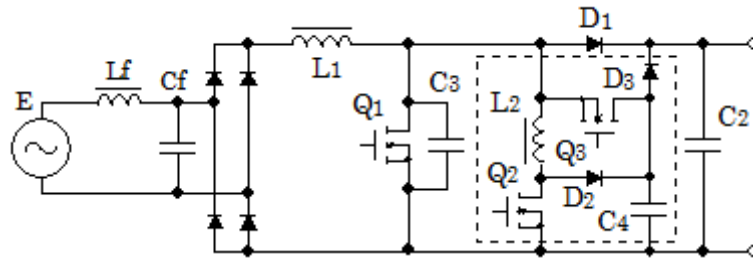


図2 ソフトスイッチング回路方式の例

### ■リアクトル電流逆流動作を用いたソフトスイッチング方式昇圧チョップ

平地研究室技術メモ No.20160501 で、リアクトル電流逆流動作を用いた昇圧チョップのソフトスイッチングを紹介しています。概略は以下の通りです。

図3に回路構成を示します。通常の昇圧チョップに対してダイオード D2 を FET に置き換えています。D1 と D2 は FET の寄生ダイオード、C1 と C2 は FET の寄生容量です。図4に動作モードと電流経路、図5にリアクトルの電圧電流波形を示します。特に重要な動作は Mode 4~6 です。通常の昇圧チョップではモード3 (伝達モード) の状態からいきなり Q1 をターンオンさせてモード1 (蓄積モード) に移行しますが、図4と図5ではモード3でリアクトル電流を 0A まで減少させてさらに負の状態にします (モード4)。この状態で Q2 をターンオフさせると C2 が充電、C1 が放電され (モード5)、充放電が完了すると D1 が導通します (モード6)。D1 が導通している間に Q1 をターンオンさせて ZVS を実現します。

なお、この方式ではリアクトル電流のピーク値が大きくなるので、配線のインダクタンス成分が大きいと Q1 ターンオフ時にサージ電圧が発生しますが、その場合は C1 に外付けコンデンサを追加します。外付けコンデンサを不要とするためには、Q1→Q2→C3→Q1 の経路を最短で接続するようパターン設計に工夫が必要です。また、Mode 5 での C1 と C2 の充放電は負方向のリアクトル電流で実現しますが、必要な負電流の大きさはわずかです。図5では動作を分かりやすくするために負電流を誇張して記載しています。

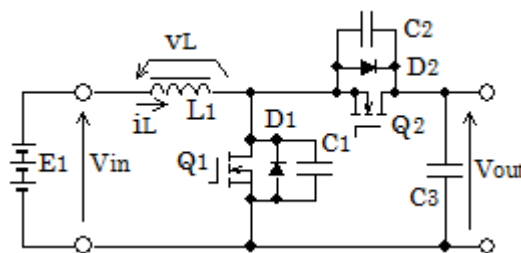


図3 リアクトル電流逆流動作を用いたソフトスイッチング方式昇圧チョップ

### ■リアクトル電流逆流動作を用いたソフトスイッチング方式高力率コンバータ

リアクトル電流逆流動作を用いたソフトスイッチング方式昇圧チョップを、高力率コンバータに適用した回路を図6に示します。通常境界モード制御でのリアクトル電流  $i_L$  の波形を図7に示します。この制御方式では、 $i_L$  を検出して 0A になるとすぐに Q1 をオンさせて蓄積モードに移行します。この制御方法に対して図6の回路を用いると、 $i_L$  が負になる (逆流する) ことが可能となります。

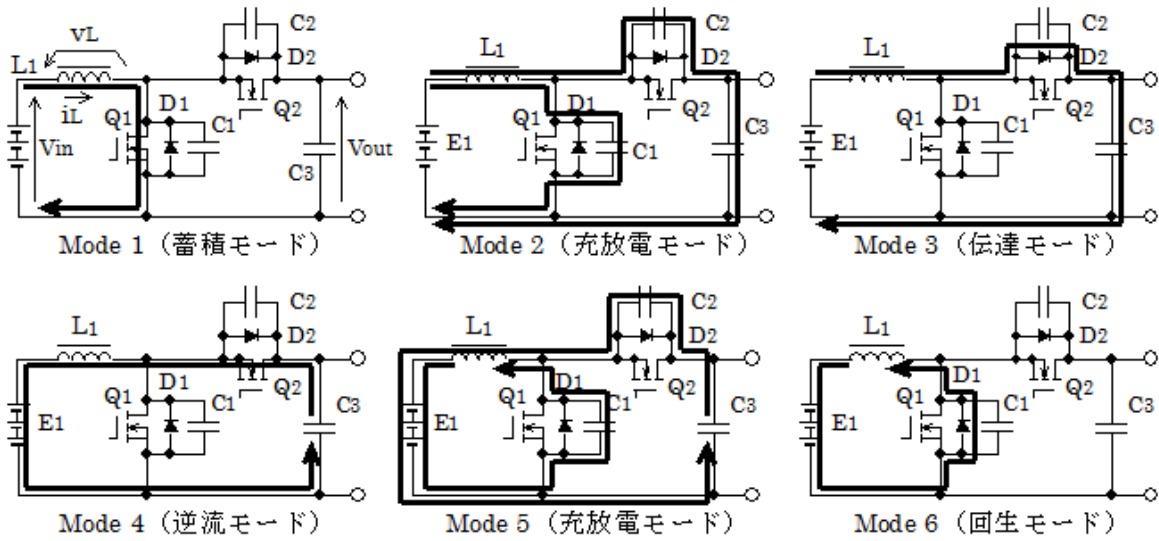


図4 ソフトスイッチング方式昇圧チョップの動作モードと電流経路

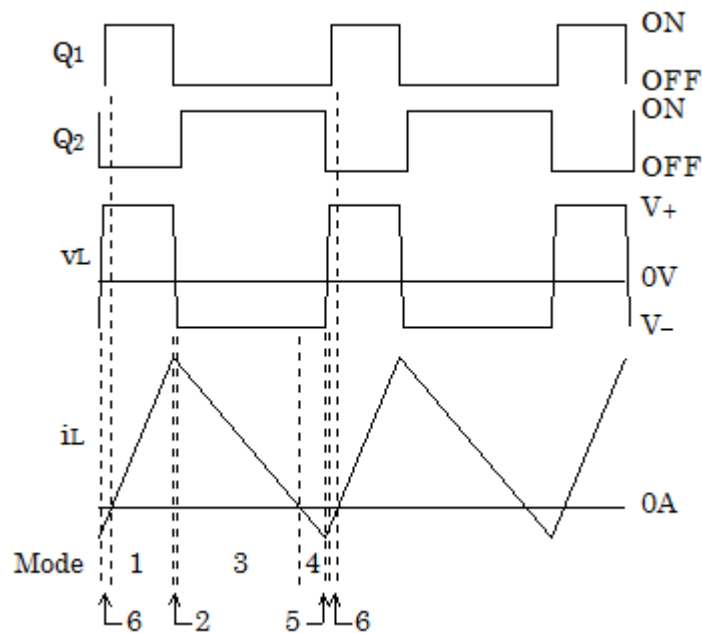


図5 リアクトルの電圧電流波形

したがって、通常の境界モード制御から  $Q_1$  のターンオンを少し遅延させればリアクトル電流逆流動作を用いたソフトスイッチングを実現することができます。

リアクトル電流逆流動作を用いた昇圧チョップには、平地研究室技術メモ No. 20160501 で説明したように、軽負荷時に負方向のリアクトル電流が大きくなりすぎて効率が低下する、という欠点があるのですが、境界モード制御高力率コンバータではこのような現象は現れません。したがって、境界モード制御高力率コンバータはリアクトル電流逆流動作を用いたソフトスイッチングの適切な適用対象と言えます。

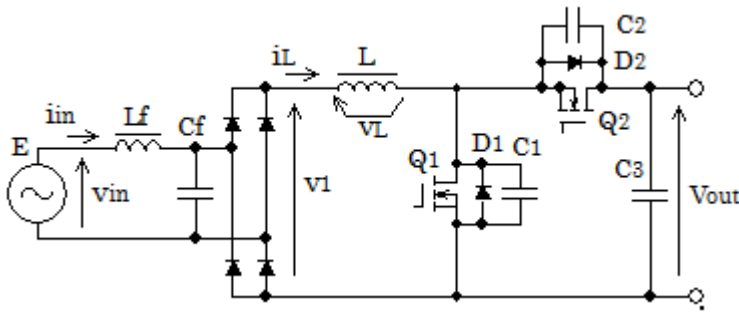


図6 ソフトスイッチング方式1石式高力率コンバータ

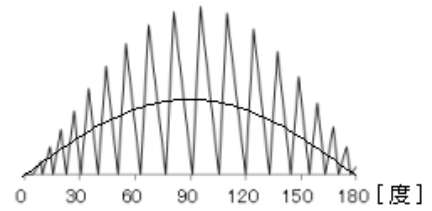


図7 境界モード制御

(三角波は  $i_L$  波形、正弦波は  $i_{in}$  波形)

リアクトル電流逆流動作を用いた昇圧型1石式境界モード制御高力率コンバータのリアクトル電流波形の模式図を図8に示します。リアクトル電流に少し負の区間を設けています。基本特性は通常の昇圧型1石式境界モード制御と同じですが、スイッチング損失と高周波ノイズの抑制を期待できます。したがって、通常の昇圧型1石式境界モード制御より大きな容量にも適用できるでしょう。さらにインターリーブ制御を行えば、かなり大きな容量の用途にも適用可能と思われる。

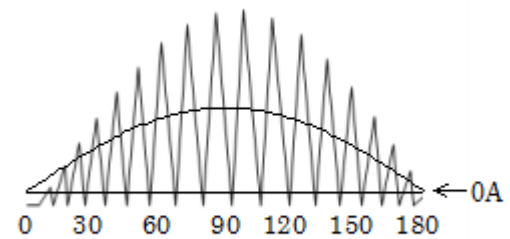


図8 リアクトル電流逆流動作を使用

なお、境界モード制御昇圧型1石式高力率コンバータは平地研究室技術メモ No.20120531<sup>[6]</sup>と No.20170118<sup>[7]</sup>で説明しているので参照下さい。

## ■参考文献

- [1] 吉川隆之、谷口勝則、平地克也、蒲新太郎、「高力率部分共振 PWM コンバータ」、電気学会産業応用部門大会, pp.239-244 (1993)
- [2] G. Hua, C. S. Leu, Y. Jiang, F. C. Y. Lee, “Novel Zero-Voltage-Transition PWM Converters”, IEEE Tran. on Power Electronics, Vol.9, No.2, pp.213-219, (1994)
- [3] J. Y. Lee, Y. M. Chang, W. I. Tsai, Y. Y. Sun, “A New Soft Switching Transition PWM Boost Converter for Power Factor Correction Using Parallel Resonant Tank”, Proc. of IECON '93, pp.942-947, (1993)
- [4] 能登原、二見、田原、遠藤、石井、「部分共振形アクティブコンバータの基礎検討」、電気学会半導体電力変換研究会資料、SPC-92-40、(1992)
- [5] 西川、五十嵐、野澤、黒木、「ZVS 方式スイッチング電源」、パワーエレクトロニクス研究会論文誌、Vol.25, No.2, pp.153-159、(1999)
- [6] 平地克也、「昇圧チョップ型高力率コンバータのリアクトル電流不連続モード制御」、平地研究室技術メモ No.20120531、(2012)
- [7] 平地克也、「高力率コンバータの基本となる回路方式と制御方式」、平地研究室技術メモ No.20170118、(2017)

以上