

## 高力率コンバータの基本となる回路方式と制御方式

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

2017/1/18 舞鶴高専 平地克也

平地研究室技術メモでは、これまでに高力率コンバータのいろんな回路方式や制御方式を紹介してきました。本技術メモでは基本となる回路方式と制御方式の特徴をまとめます。回路方式は大きく分けて昇圧型・昇降圧型・降圧型の 3 種類があります。それぞれ沢山の回路構成が提案されていますが、基本となる回路構成を図 1 に示します。3 種類いずれも全波整流回路 + チョッパ回路の構成となっています。それぞれユニークな特徴があり、用途に応じて使い分けられます。

高力率コンバータはリアクトル電流をスイッチ素子のオン・オフで制御することにより入力電流波形を正弦波に整える回路、と考えることができます。リアクトル電流の制御方法は大きく分けて、連続モード・不連続モード・境界モードの 3 種類があります。それぞれの場合の電流波形を図 2 に示します。電源電圧の半サイクルにおける入力電流とリアクトル電流の波形を示しています。細かい三角波がリアクトル電流、正弦波が入力電流です。

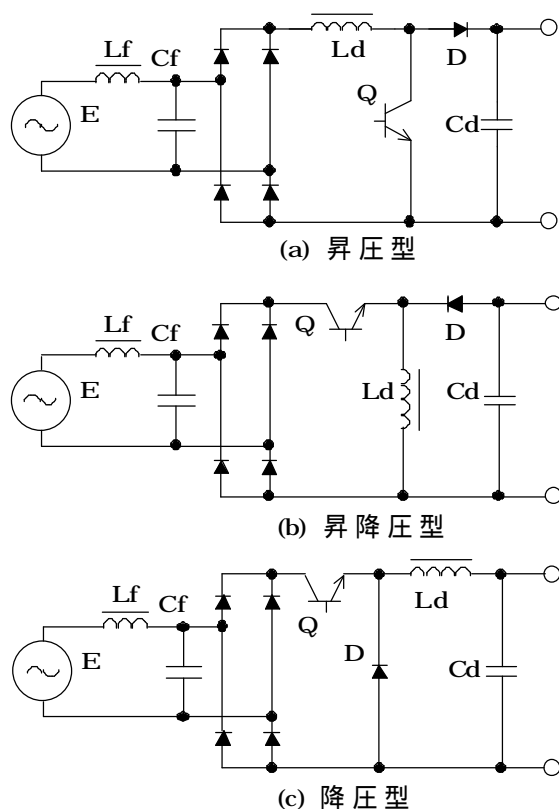


図 1 高力率コンバータの 3 つの回路方式

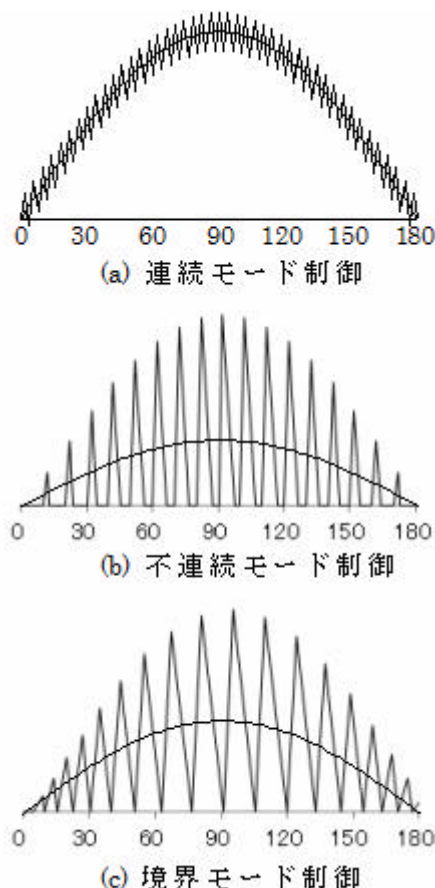


図 2 高力率コンバータの 3 つの制御方式  
(正弦波は入力電流、三角波はリアクトル電流)

(a)連続モード制御ではリアクトル電流を図のように正弦波に追従した振幅の小さな三角波となるように制御します。(b)不連続モード制御ではリアクトル電流を振幅の大きな三角波となるように制御しており、リアクトル電流は1サイクル毎に0Aまで減少する不連続波形となります。逆に(a)ではリアクトル電流は位相が0度と180度以外では0Aとなることはないので連続モード制御と呼んでいます。(c)境界モード制御は連続モードと不連続モードの「境界」であり、リアクトル電流は0Aになるとすぐに増加を始めるように制御されます。

以上3種類の回路方式と3種類の制御方式は表1のように互いに組み合わせることができ、それぞれの組み合わせ毎に異なる特性を持っています。概略は次の通りです。

#### <昇圧型連続モード制御>

図2(a)に示すように、フィードバック制御を用いて、リアクトル電流を正弦波の目標値に追従させて入力電流を完全な正弦波に制御します。フィードバック制御が必要なので制御回路は複雑になりますが、専用の制御ICが多数のメーカーから安価に販売されており、部品点数と費用を抑制できます。そのため、高効率コンバータの標準的な方式となっています。ただし昇圧型なので、直流出力電圧は交流入力電圧のピーク値以上となり、低い電圧を出力することはできません。

#### <昇降圧型連続モード制御・降圧型連続モード制御>

昇圧型では上記のようにリアクトル電流を正弦波の目標値に追従させれば入力電流も正弦波になりますが、昇降圧型と降圧型ではリアクトル電流が入力側に流れない動作モードがあるので、リアクトル電流を正弦波に追従させても入力電流は正弦波になりません。したがって、これら2つの方式は通常は使用されません。ただし例外はあり、特殊な制御でこれらの方式を実現した例もあります。

#### <昇圧型不連続モード制御>

スイッチ素子を一定の周期、一定の通流率で動作させるだけで入力電流を正弦波に近い波形に整形できます。制御回路を安価に構成できるので注目されましたが、近年は昇圧型連続モード制御の制御ICが非常に安価に供給されるようになったので、この方式はあまり使われなくなりました。

表1 回路方式と制御方式の対応

|          | 昇圧型 | 昇降圧型 | 降圧型 |
|----------|-----|------|-----|
| 連続モード制御  |     | ×    | ×   |
| 不連続モード制御 |     |      |     |
| 境界モード制御  |     |      |     |

：入力電流を完全な正弦波に制御可能

：高調波規格をクリアする程度に制御可能

×：通常は使用しない

#### <昇降圧型不連続モード制御>

スイッチ素子を一定の周期、一定の通流率で動作させるだけで入力電流を完全な正弦波に整形できます。また、図1(b)のリアクトルLdを変圧器の励磁インダクタンスに置き換えると、容易に絶縁型の高効率コンバータを構成できます。そのため、絶縁型の昇降圧型不連続モード制御が広く普及して

います。ノートパソコンの充電アダプタなど、数 10W クラスの小容量の機種が生産されています。なお、不連続モードなのでリアクトル電流のピーク値が大きいので、容量の大きな高力率コンバータには適しません。

< 降圧型不連続モード制御・降圧型境界モード制御 >

降圧型なので低い電圧を得ることができます。入力電流は完全な正弦波にはできませんが、高調波規格を満足する程度には高調波を抑制できます。従来は適切な応用分野が無かったのですが、近年 LED ドライバの分野で広く使用されるようになりました。

< 昇圧型境界モード制御 >

境界モード制御なので不連続モード制御より複雑な制御となりますが、完全な正弦波の入力電流を得ることができます。安価な制御 IC が販売されているので複雑な制御も欠点にはならず、広く使用されています。

< 昇降圧型境界モード制御 >

昇降圧型不連続モード制御とは異なり、入力電流は完全な正弦波にはなりませんが、高調波規格のクリアは可能です。リアクトル電流のピーク値が不連続モード制御より低く抑制できるので効率と部品価格で有利となります。昇降圧型不連続モード制御と同様に絶縁型を容易に構成できます。専用の制御 IC も販売されており、小容量の絶縁型の分野で広く普及しています。

**これまでに報告した高力率コンバータに関する平地研究室技術メモ**

- No.20070415、「昇圧チョッパ型高力率コンバータの動作原理」
- No.20091130、「高力率コンバータの制御回路」
- No.20091231、「高力率コンバータの主回路の設計方法」
- No.20120531、「昇圧チョッパ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」
- No.20120626、「昇降圧チョッパ型高力率コンバータ」
- No.20120730、「リアクトル電流不連続モード制御高力率コンバータの研究開発動向」
- No.20150324、「LED 照明用高力率コンバータ」
- No.20160701、「降圧型高力率コンバータの基本動作」
- No.20160809、「降圧型高力率コンバータの基本特性」
- No.20161228、「PFC コンバータの高周波ノイズ等価回路」
- No.20170116、「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」

以上