

## PFC コンバータの高周波ノイズ等価回路

(読んでほしい人：パワエレ技術者)

2016/12/28 舞鶴高専 平地克也

PFC コンバータ（高力率コンバータ）は図 1 (a)の昇圧チョップ方式が標準的な回路方式となっており、広く普及している。しかしこの方式では全波整流回路でダイオード 2 つ分の電圧降下が発生し電力損失が発生するので、電力効率の向上を強く要求される用途では図 1 (b)のローサイド 2 石式が使用されている。(b)の回路では(a)の回路よりダイオード 1 つ分の電力損失を抑制することができる。

一方、PFC コンバータは直接商用電源に接続されて高周波電力変換を行うので、EMI 規格を満足することが重要な要求品質である。一般に、ローサイド 2 石式は昇圧チョップ方式に比べて電力効率は高いものの、高周波ノイズは大きいと言われている。本技術メモでは両者の高周波ノイズ等価回路を検討し、両者のノイズ特性を比較する。

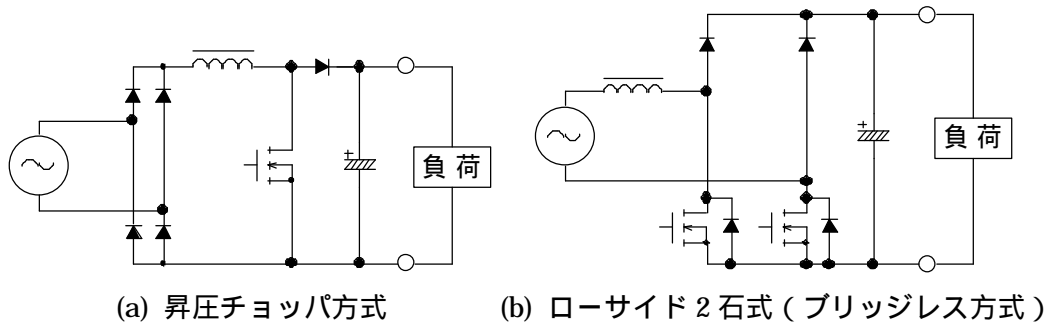


図 1 高力率コンバータのよく使われる回路方式

### 昇圧チョップ方式高力率コンバータ

図 2 に昇圧チョップ方式高力率コンバータの回路構成と電流経路を示す。スイッチ素子  $Q_1$  の通流率を制御してリアクトル  $L_1$  の電流波形を正弦波に追従させて入力電流の高調波を抑制する [1,2,3]。

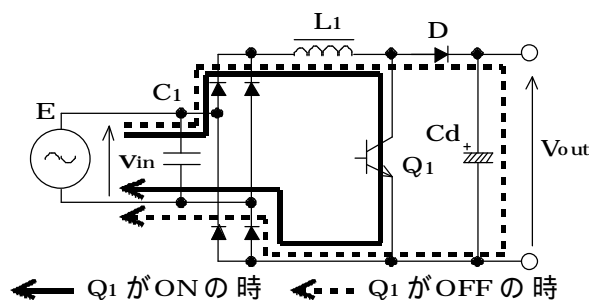


図 2 昇圧チョップ方式高力率コンバータの回路構成と電流経路

図 2 の回路に伝導ノイズ測定のため疑似電源回路網 (LISN) を接続したシステム構成を図 3 に示す。高力率コンバータの回路には高周波ノイズ電流の径路となる主な浮遊容量を 3 ヶ追記している。

$C_2$  : グランドラインとフレームとの浮遊容量

C3 : Q1 と放熱フィンとの浮遊容量

C4 : L1 の端子間容量

なお、C1 はアクロス ザライン キャパシタ (X コン) である。

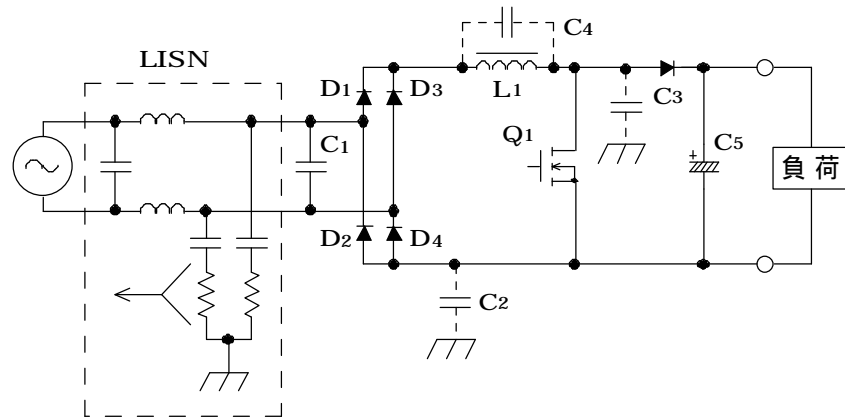


図3 伝導ノイズに注目した昇圧チョッパ型高力率コンバータのシステム構成図

伝導ノイズの径路を検討するために高周波ノイズ等価回路を図4に示す。スイッチ素子 Q1 の電圧波形は高周波の方形波なのでいろんな周波数成分のノイズ源となっている。昇圧用リアクトル L1 は高周波ノイズに対して大きなインピーダンスを持つが、端子間容量 C4 を介して高周波ノイズは流出する。図4(a)に示すように、C1 のない時は Q1 で発生したノイズは C4 を通って LISN に流入する。なお、正の半サイクルは D1 が導通しており、負の半サイクルは D3 が導通しているので D1, D3 は高周波ノイズの流れを妨げることはない。LISN に流入した高周波ノイズは内部の抵抗で検出されてスペアナなどで測定される。C1 のある時は図4(b)のように高周波ノイズは効果的に C1 でバイパスされて LISN への流入はかなり抑制されると思われる。

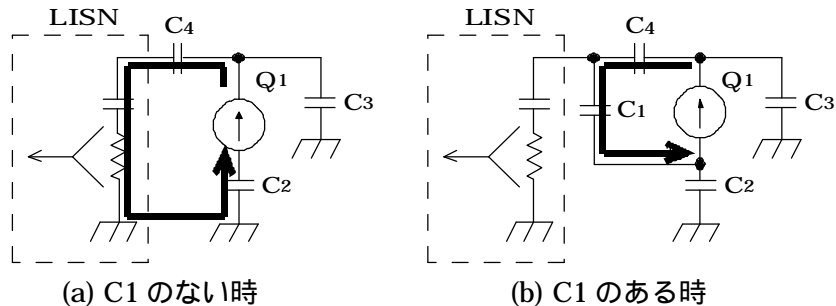


図4 昇圧チョッパ型高力率コンバータの高周波ノイズ等価回路

### ローサイド2石式(ブリッジレス方式)高力率コンバータ

図5にローサイド2石式高力率コンバータの回路構成と正の半サイクルの電流径路を示す。正の半サイクルは Q1 が高周波で ON/OFF し Q2 は常時 OFF している。D4 は常時導通している。スイッチ素子に FET を使用する場合は Q2 を ON させて同期整流素子として使用する。負の半サイクルは逆に Q2 が高周波で ON/OFF し、Q1 は常時 OFF である。なお、ローサイド2石式はブリッジレス方式とも呼ばれている。

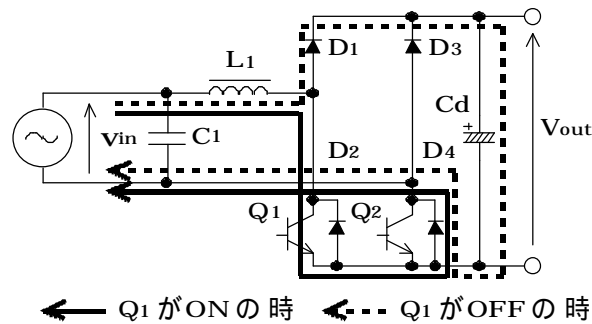


図5 ローサイド2石式の回路構成と正の半サイクルの電流経路

伝導ノイズに注目したローサイド2石式高力率コンバータのシステム構成を図6に示す。高周波ノイズの経路となる主な浮遊容量を5ヶ記載している。

- C2 : L1の端子間容量
- C3 : Q1と放熱フィンの浮遊容量
- C4 : Q2と放熱フィンの浮遊容量
- C5 : D1,D3と放熱フィンの浮遊容量
- C6 : グランドラインとフレームとの浮遊容量

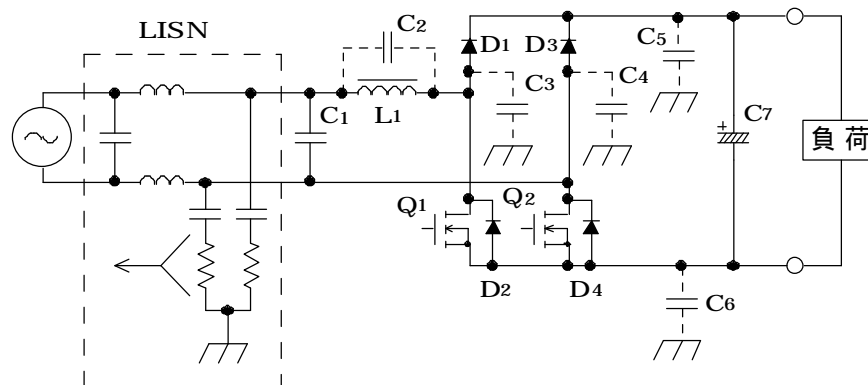


図6 伝導ノイズに注目したローサイド2石式高力率コンバータのシステム構成図

ローサイド2石式高力率コンバータの高周波ノイズ等価回路を図7に示す。(a)は正の半サイクル、(b)は負の半サイクルである。正の半サイクルはQ1がノイズ源となり、概ね図4(b)の昇圧チョップ方式と類似の等価回路となる。高周波ノイズはリアクトルの浮遊容量C2を介してLISNに流入しようとするが、C1は効果的に高周波ノイズをバイパスする。しかし、負の半サイクルではQ2がノイズ源となるのでLISNに直接高周波ノイズが流入する。C1はC2と直列に接続された形となり、高周波ノイズをバイパスする効果が損なわれる。

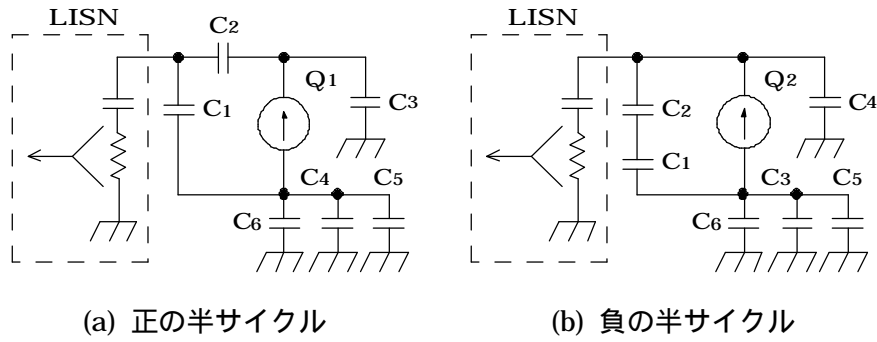


図7 ローサイド2石式高力率コンバータの高周波ノイズ等価回路

### 昇圧リアクトルの分割の効果

ローサイド2石式では高周波ノイズ対策のために図8のように昇圧リアクトルを分割して双方の交流入力ラインに挿入することがある。その場合の高周波ノイズ等価回路は図9のようになると思われる。ノイズ源が直接 LISN につながることはないで図7よりは改善されるが、X コン C1は C2 や C8を介してノイズ源に接続されるので図4 (b)よりは効果が劣ると思われる。

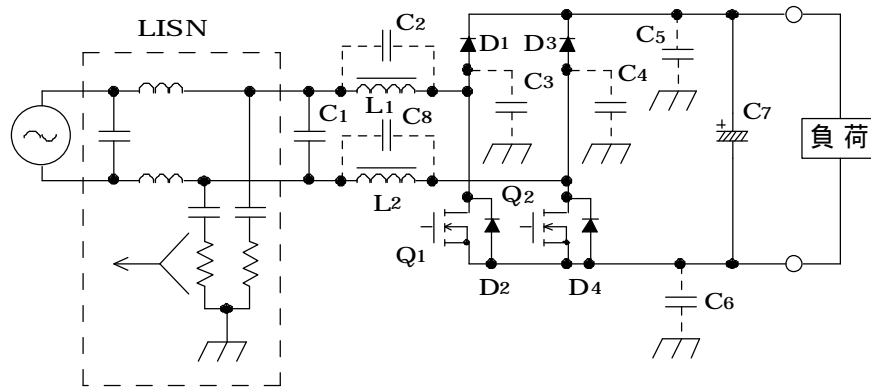


図8 昇圧リアクトルを分割挿入した回路構成

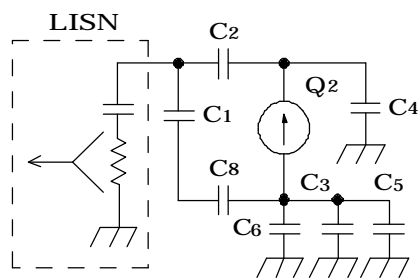


図9 昇圧リアクトルを分割挿入した場合の高周波ノイズ等価回路

### 参考文献

- [1] 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」
- [2] 平地研究室技術メモ No.20091130、「高力率コンバータの制御回路」
- [3] 平地研究室技術メモ No.20091231、「高力率コンバータの主回路の設計方法」

以上