

## 電流型 DC/DC コンバータについて

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

2010/2/28 舞鶴高専 平地克也

フォワード型、ハーフブリッジ型、フルブリッジ型、プッシュプル型などのよく知られた絶縁型 DC/DC コンバータは降圧チョッパに変圧器やインバータなどを付加した回路と考えられる。同様に、昇圧チョッパに変圧器やインバータなどを付加して絶縁型 DC/DC コンバータを構成することも可能であり、フルブリッジ型やプッシュプル型が提案されている。降圧チョッパから派生したコンバータは電圧源から電力供給を受けるのに対し、昇圧チョッパから派生したコンバータは基本的には電流源から電力供給を受ける。よって、降圧チョッパから派生したコンバータは「電圧型」、昇圧チョッパから派生したコンバータは「電流型」と呼んで区別するのが適切と思われる。今回の技術メモでは電流型 DC/DC コンバータの特徴を解説すると同時に電流型の新しい回路方式を紹介する。

### 降圧チョッパの基本

図 1 に降圧チョッパの基本回路を示す。図 2 に示すように T1 が ON の時は実線の径路で電流が流れ、OFF の時は点線の径路で電流が流れる。したがって、入力電流  $I_{in}$  は T1 が ON の時だけ流れるので図 3 に示すように T1 の ON/OFF と同期した断続波形(方形波)となる。入力電圧  $V_{in}$  は常に一定の値でなければならないので電源 E は定電圧源でなければならない。しかし、実際の電源は理想的な定電圧源ではないので、図 3 のような方形波の電流が流れると方形波に同期して電圧が変動してしまう。したがって、降圧チョッパの実用回路では図 4 に示すように電源 E と並列にコンデンサ C1 を挿入して入力電圧  $V_{in}$  の変動を抑制している。また、L1 電流のリプル成分による出力電圧  $V_{out}$  の変動を抑制するために出力側にもコンデンサ C2 を挿入する。なお、降圧チョッパの詳細な説明は文献(1)を参照下さい。

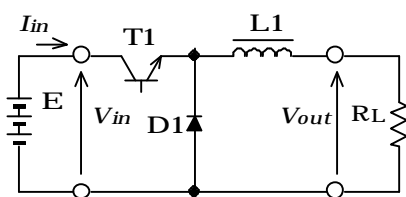


図 1 降圧チョッパ基本回路

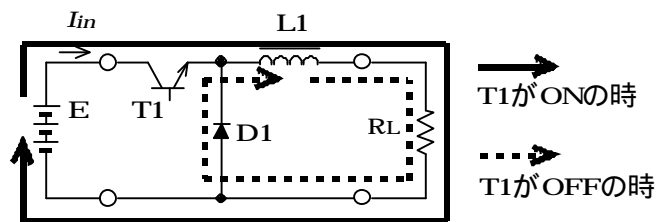


図 2 降圧チョッパの電流経路

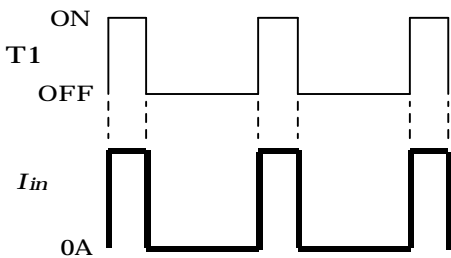


図 3 降圧チョッパの入力電流波形

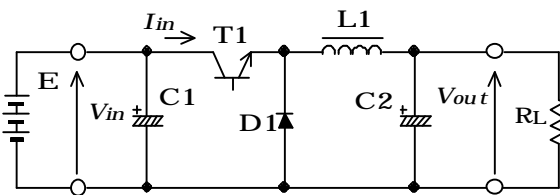


図 4 降圧チョッパ実用回路

## 降圧チョッパとDC/DCコンバータ

図5にフォワード型1石式DC/DCコンバータの回路図を示す。この回路は降圧チョッパに変圧器を挿入し(図6)さらに変圧器のリセット回路を設けたものと考えられる(詳細は文献(2)を参照下さい)。したがって、特性は降圧チョッパと類似しており、電源は定電圧源でなければならず、入力電流  $I_{in}$  は図3のような方形波となる。出力電圧も下記のように降圧チョッパの式に変圧比を乗じたものとなる。

$$\text{降圧チョッパの出力電圧 } V_{out} = V_{in} \cdot \dots \cdot \quad (\text{は } T1 \text{ の通流率})$$

$$\text{フォワード型1石式DC/DCコンバータの出力電圧 } V_{out} = V_{in} \times \frac{n_2}{n_1} \cdot \dots \cdot$$

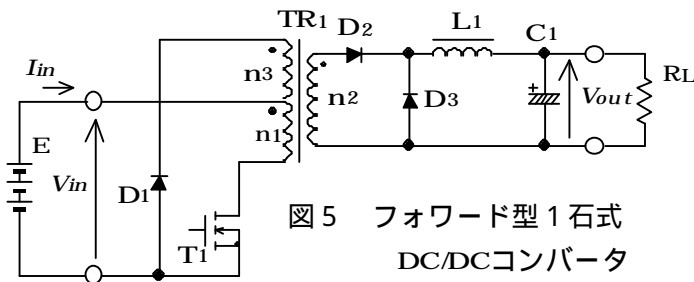


図5 フォワード型1石式DC/DCコンバータ

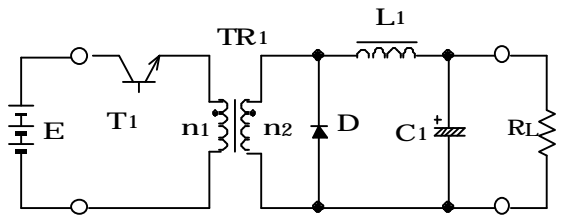


図6 降圧チョッパ+変圧器

図7にフルブリッジ型DC/DCコンバータを示す。この回路は降圧チョッパのT1をインバータと変圧器で置き換えたものと考えられる。やはり電源Eは定電圧源であり、入力電流は方形波であり出力電圧は  $V_{in}$  に比例する。図8のプッシュプル型DC/DCコンバータやハーフブリッジ形DC/DCコンバータも同じように考えることができる。

このように、1石フォワード、フルブリッジ、ハーフブリッジ、プッシュプルなど通常の絶縁型DC/DCコンバータは全て降圧チョッパの仲間と考えることができ、電源は定電圧源、入力電流は方形波、出力電圧は  $V_{in}$  に比例する、という特徴がある。

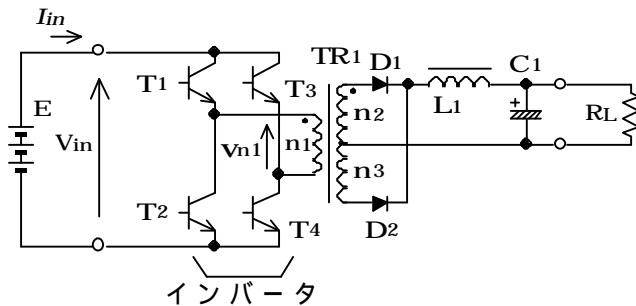


図7 フルブリッジ型DC/DCコンバータ

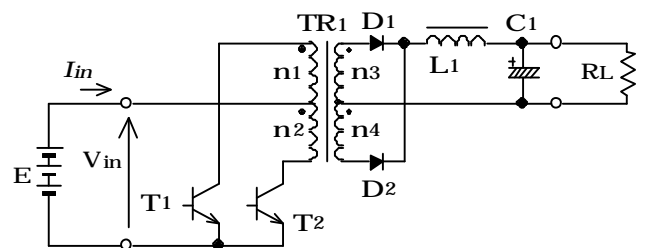


図8 プッシュプル型DC/DCコンバータ

## 昇圧チョッパの基本

図9に昇圧チョッパの基本回路を示す。降圧チョッパと異なり、電源は定電流源である。スイッチ素子T1により定電流源を短絡/開放することにより出力側に伝達される電力を制御する。しかし、理想的な定電流源はほとんど存在しないので、図10に示すように実用的には電圧源E+リアクトルL1で定電流源を代用する。出力電圧  $V_{out}$  は次の式で与えられる(1)。

$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{1-a}$$

なお、太陽電池は電圧の低い領域で使用するとほぼ定電流源と見なすことができる。通常の電池(化学電池)は電圧源であるが、電流を流すと電圧が低下するので理想的な定電圧源とは言えない。電気製品で最も広く使用されている直流電源は「商用電源 + 整流回路」であるが、これは不安定な電圧源である。

図 1 1 に昇圧チョップの電流経路を示す。T1 が ON の時は実線の径路で電流が流れ、OFF の時は点線の径路で流れる。入力電流  $I_{in}$  はリアクトルの電流に等しい。リアクトルの電圧  $V_L$  とリアクトルの電流の変化  $I_L$ の間には次の関係がある<sup>(3)</sup>。

$$\Delta I_L = \frac{1}{L} V_L \Delta T$$

T1 が ON の時は  $V_L = V_{in} > 0V$  なので  $I_L$  は正であり、 $I_{in}$  は増加する。T1 が OFF の時は  $V_L = V_{in} - V_{out} < 0V$  なので  $I_L$  は負であり、 $I_{in}$  は減少する。よって、 $I_{in}$  は図 1 2 のようなリプル成分を持つ直流波形となる<sup>(4)</sup>。

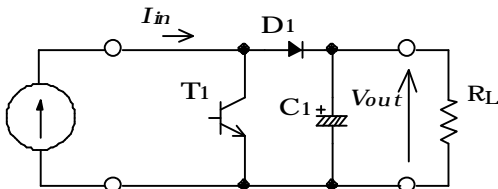


図 9 昇圧チョップの基本回路

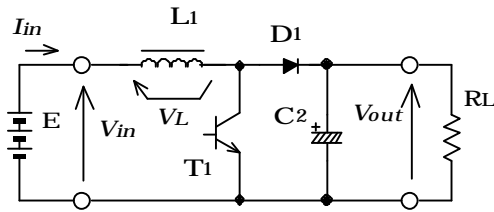


図 1 0 昇圧チョップの実用回路

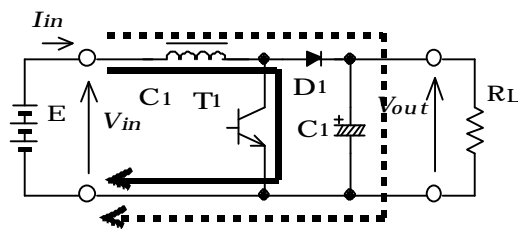


図 1 1 昇圧チョップの電流経路

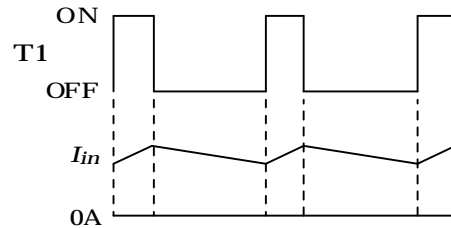


図 1 2 入力電流波形

### 昇圧チョップと DC/DC コンバータ

降圧チョップの T1 をインバータと変圧器で置き換えるとフルブリッジ型 DC/DC コンバータが得られた。同様にして昇圧チョップの T1 をインバータと変圧器で置き換えると図 1 3 の回路を得ることができる。この回路の動作モードと電流経路を図 1 4 に示す。T1 ~ T4 を全て ON させると図 1 4 (a)の径路で電流が流れる。L1 には入力電圧  $V_{in}$  が印加され、電流が増加し、エネルギーが蓄積されるのでこの動作モードを蓄積モードと言う。次に T2、T3 を OFF させて T1、T4 のみ ON とすると電流経路は図 1 4 (b)となる。このモードでは L1 のエネルギーは変圧器の 2 次側に伝達されるので伝達モードと言う。図 1 4 (c)では T2 と T3 が ON しており、変圧器の印加電圧が逆になること以外は (b)と同じ動作となる。動作モードは次のように推移し、蓄積モードと伝達モードが交互に繰り返される。

(a) (b) (a) (c) (a) (b) (a) (c) . . . .

図 1 3 の回路はあまり知られていないが、かつて図 1 5 の回路構成で無停電電源装置に広く使用されたことがある<sup>(4)</sup>。

図 1 3 のフルブリッジ型 DC/DC コンバータと同様にして図 1 6 のプッシュプル型も考えられる。T1、T2 が共に ON すると蓄積モード、片方が ON すると伝達モードとなる。この回路は一部の教科書でも紹介されている<sup>(5)</sup>。

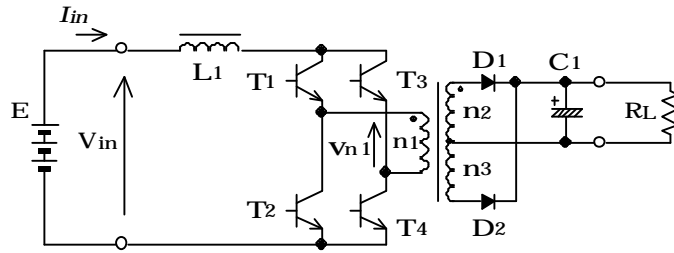


図 1 3 電流型のフルブリッジ型DC/DCコンバータ

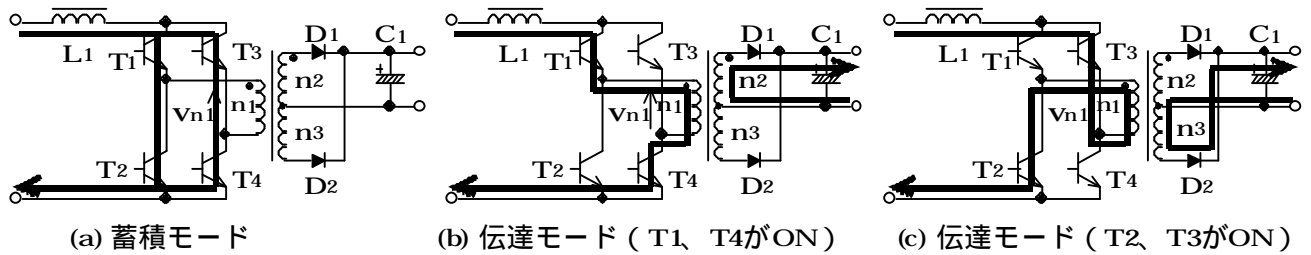


図 1 4 電流型のフルブリッジ型DC/DCコンバータの電流経路

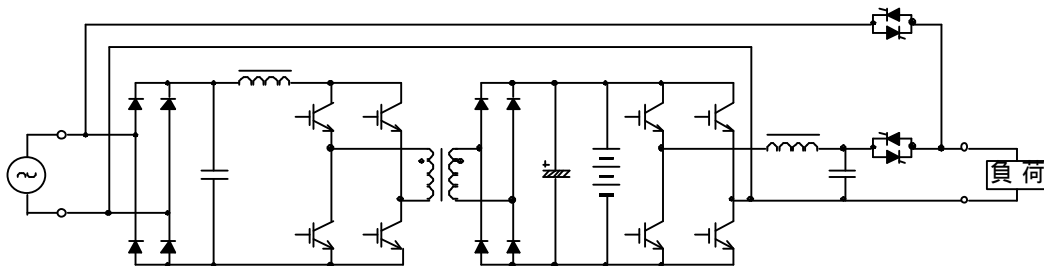


図 1 5 電流型のフルブリッジ型DC/DCコンバータを用いた無停電電源装置

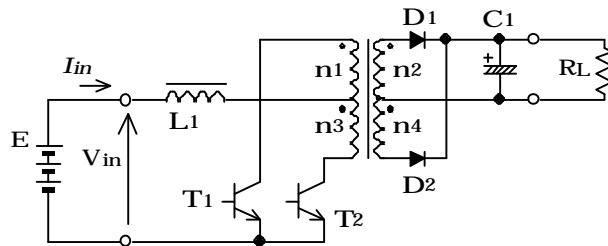


図 1 6 電流型のプッシュプル型DC/DCコンバータ

図 1 3、図 1 6 の回路は昇圧チョッパと同様に次の 2 つの特徴を持つ。

- ・電源は定電流源または電圧源 + リアクトルである。
- ・入力電流は図 1 2 のような連続波形 (リップルを持つ直流波形) となる。

また、出力電圧  $V_{out}$  は昇圧チョッパの式に変圧比を乗じたものとなる。

$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{1-a} \frac{n_2}{n_1}$$

このように、昇圧チョッパの仲間と考えられる図 1 3 や図 1 6 の DC/DC コンバータは降圧チョッパの仲間と考えられる通常の DC/DC コンバータと対照的な性質を持っていることが分かる。通常の

DC/DC コンバータは電源が定電圧源であるのに対して、昇圧チョッパの仲間は電源が定電流源（または電圧源+リアクトル）なので電流型の DC/DC コンバータと呼ぶ。降圧チョッパの仲間は電圧型の DC/DC コンバータと呼ぶ。電圧型と電流型の特徴をまとめると次の表ようになる。

表1 電圧型 DC/DC コンバータと電流型 DC/DC コンバータの比較

	電圧型	電流型
元になるチョッパ回路	降圧チョッパ	昇圧チョッパ
電源	電圧源	電流源（電圧源+リアクトル）
入力電流	断続波形（方形波）	連続波形（リップルを持つ直流）
出力電圧	$V_{in} a$ に比例	$V_{in} \frac{1}{1-a}$ に比例
回路例	フォワード型 フルブリッジ型 プッシュプル型	フルブリッジ型 プッシュプル型
用途	ほとんどの電気製品で使用	一部の電気製品で使用

### 電流型のフォワード型 DC/DC コンバータの提案

表1にも示したように、電圧型ではフォワード型があるのに対し電流型ではフォワード型は知られていない。電圧型のフォワード型 DC/DC コンバータ（図5）は前記のように降圧チョッパに変圧器とリセット回路を追加（図6）した回路と考えられる。同様にして昇圧チョッパに変圧器とリセット回路を追加すれば容易に電流型のフォワード型 DC/DC コンバータを実現することができる。図17に電流型のフォワード型 DC/DC コンバータの回路例を示す。昇圧チョッパに対して変圧器 TR1 と D2 と T2 を追加している。TR1 の  $n_3$  コイルと D2 はリセット回路であり励磁電流のみ流れる。T2 もリセット回路の一部であり、蓄積モードで  $n_1$  コイルが短絡されてリセットが阻止されることを防いでいる。詳しい動作は文献(6)を参照下さい。

電圧型のフォワード型 DC/DC コンバータは図5の回路以外にも様々な回路が提案されている：2石フォワード型、アクティブクランプ型、無損失スナバ型、など。電流型のフォワード型 DC/DC コンバータも図17の回路以外に様々な回路方式が考えられるであろう。表1にも示したように、電圧型の DC/DC コンバータはほとんどの電気製品に用いられており、参考書も多数発行されているが、電流型はあまり実用化例がなく、解説書も見られない。世の中には電池や「商用電源+整流回路」など電圧源は多数存在するのに対して電流源はあまり存在しないのがその原因の1つであろう。しかしながら、電流型 DC/DC コンバータは太陽電池や燃料電池と相性が良いと考えられ、今後実用化例が増える可能性がある。電圧型 DC/DC コンバータでは小容量の分野ではフォワード型が定番回路になっているのと同様に電流型 DC/DC コンバータでも小容量の分野ではフォワード型が有利と考えられる。今後この分野の研究が進められるべきと思う。

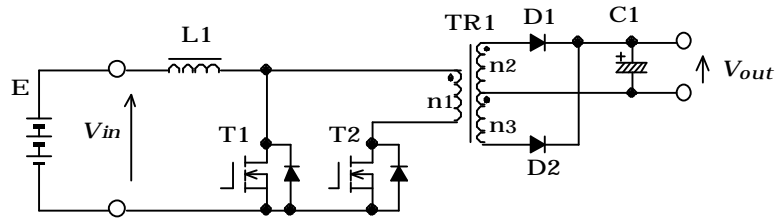


図 1 7 電流型のフォワード型 DC/DC コンバータ

< 参考文献 >

- (1) 平地研究室技術メモ No.20060918、「チョップパ回路の考え方」
- (2) 平地研究室技術メモ No.20061124、「フォワード型 1 石式 DC/DC コンバータの動作」
- (3) 平地研究室技術メモ No.20080207、「リアクトル電流の考え方」
- (4) 平地、「ミニ UPS の回路方式の変遷と今後の課題」、電子情報通信学会、EE2003-57、pp.1-6, 2004
- (5) 原田、二宮、顧、「スイッチングコンバータの基礎」、コロナ社、1992 年 2 月、37 頁
- (6) 吉富大祐、平地克也、「電流型のフォワード型 DC / DC コンバータの提案」、電気学会半導体電力変換研究会資料、SPC10-003, pp.17-22, 2010-1

以上