

## 電流型プッシュプル方式 DC/DC コンバータ

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

2010/12/27 舞鶴高専 平地克也

### はじめに

通常のプッシュプル方式 DC/DC コンバータ (図1) はいろんなシステムに広く用いられており、文献や解説書も多数存在する。しかし、電流型のプッシュプル方式 (図2) はあまり用いられておらず、解説書もほとんど存在しない。しかしながら、電流型の DC/DC コンバータは入力電流のリプル成分を抑制できる、高い昇圧比を得ることができる、などの特長があり、太陽電池や燃料電池の出力電圧の昇圧に適していると考えられる。したがって電流型プッシュプル方式 DC/DC コンバータは太陽光発電や燃料電池システムの普及に伴って今後広く用いられるようになる可能性がある。本技術メモでは電流型プッシュプル方式 DC/DC コンバータの動作原理と基本特性を説明する。なお、電流型 DC/DC コンバータの一般的な説明は平地研究室技術メモ「電流型 DC/DC コンバータについて」<sup>(1)</sup> を参照下さい。

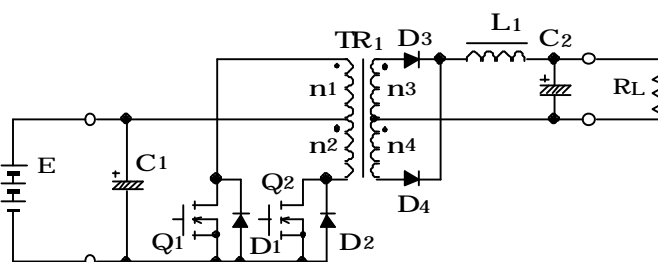


図1 通常の (電圧型の) プッシュプル方式 DC/DC コンバータ

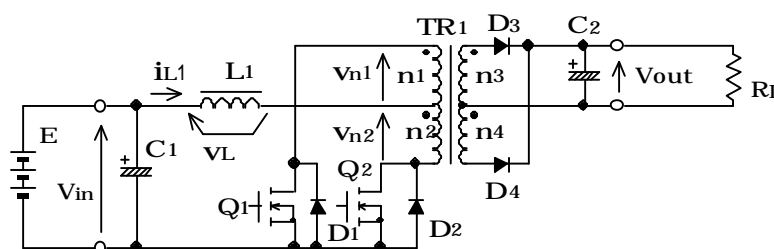


図2 電流型のプッシュプル方式 DC/DC コンバータ

### 回路構成と基本動作

図2に示すように、電流型のプッシュプル方式はリアクトル  $L_1$  が入力側に配置されている。リアクトルは電流源として動作するのでこの方式を電流型と呼ぶ<sup>(1)</sup>。もし電源  $E$  自身が電流源であるならば  $L_1$  や  $C_1$  は省略することができる。逆に通常のプッシュプル方式 (図1) は電源が電圧源でなければならないので電圧型と呼ぶ<sup>(1)</sup>。図1と図2を比較すれば分かるように  $L_1$  の位置以外は電圧型も電流型も同じ回路構成である。

図3に2つのスイッチ素子  $Q_1$  と  $Q_2$  のタイミングチャートを示す。 $Q_1$  と  $Q_2$  は重なり期間を持ちながら交互に ON/OFF する。通常の (電圧型の) プッシュプル方式では  $Q_1$  と  $Q_2$  は決して同時に ON してはいけないが、逆に電流型のプッシュプル方式では決して同時に OFF してはいけない。

## 動作モードと電圧電流波形

図4に電流型プッシュプル方式DC/DCコンバータの動作モードと電流径路を示す。2つのスイッチ素子Q<sub>1</sub>とQ<sub>2</sub>のON/OFFに従って4つの動作モードが生じる。図3に各動作モードにおけるリアクトルL<sub>1</sub>の電圧、電流の変化を示す。

< Mode1 : Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub> 共に ON >

Q<sub>1</sub>とQ<sub>2</sub>が共にONしているのでトランスTR<sub>1</sub>の1次コイルは短絡状態であり、トランスの電圧はゼロである。リアクトルL<sub>1</sub>はTR<sub>1</sub>を介してQ<sub>1</sub>とQ<sub>2</sub>でグラウンドに短絡された状態となり、電源電圧V<sub>in</sub>が印加される。L<sub>1</sub>電流i<sub>L1</sub>は直線的に増加する。i<sub>L1</sub>の増加量Δi<sub>L1</sub>は次の式で与えられる。

$$\Delta i_{L1} = \frac{1}{L_1} v_{L1} T_1 = \frac{1}{L_1} V_{in} T_1 \quad \dots \dots (1)$$

なお、T<sub>1</sub>はMode1の継続時間である。

< Mode2 : Q<sub>1</sub> OFF、Q<sub>2</sub> ON >

Mode1からQ<sub>1</sub>がターンOFFしてMode2に移行する。L<sub>1</sub>は電流源として動作し、L<sub>1</sub> n<sub>2</sub> Q<sub>2</sub> E L<sub>1</sub>の径路で電流が流れる。この電流に対応してトランスの2次側にn<sub>3</sub> D<sub>3</sub> RL n<sub>3</sub>の径路で電流が流れる。n<sub>2</sub>コイル電圧v<sub>n2</sub>は次の式で与えられる。

$$v_{n2} = V_{out} \frac{n_2}{n_3} \quad \dots \dots (2)$$

L<sub>1</sub>電圧v<sub>L1</sub>は次の式で与えられる。

$$v_{L1} = V_{in} - v_{n2} = V_{in} - V_{out} \frac{n_2}{n_3} \quad \dots \dots (3)$$

なお、V<sub>in</sub> < V<sub>out</sub>  $\frac{n_2}{n_3}$  であり、v<sub>L1</sub>は負の値である。

よって、L<sub>1</sub>電流i<sub>L1</sub>は直線的に減少する。i<sub>L1</sub>の減少量Δi<sub>L1</sub>は次の式で与えられる。

$$\Delta i_{L1} = \frac{1}{L_1} v_{L1} T_2 = \frac{1}{L_1} \left( V_{in} - V_{out} \frac{n_2}{n_3} \right) T_2 \quad \dots \dots (4)$$

なお、T<sub>2</sub>はMode2の継続時間である。

< Mode3 : Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub> 共に ON >

Q<sub>1</sub>がターンONしてMode2からMode3に移行する。このModeはMode1と同じであり、L<sub>1</sub>には電源電圧V<sub>in</sub>が印加されi<sub>L1</sub>は増加する。

< Mode4 : Q<sub>1</sub> OFF、Q<sub>2</sub> ON >

Mode3からQ<sub>2</sub>がターンOFFしてMode4に移行する。L<sub>1</sub>は電流源として動作し、L<sub>1</sub> n<sub>1</sub> Q<sub>1</sub> E L<sub>1</sub>の径路で電流が流れる。この電流に対応してトランスの2次側にn<sub>4</sub> D<sub>4</sub> RL n<sub>4</sub>の径路で電流が流れる。n<sub>1</sub>コイル電圧v<sub>n1</sub>は次の式で与えられる。

$$v_{n1} = V_{out} \frac{n_1}{n_4} \dots (5)$$

$n_1 = n_2$ 、 $n_3 = n_4$  より、

$$v_{n1} = V_{out} \frac{n_2}{n_3} \dots (6)$$

よって、Mode4 の  $v_{n1}$  は Mode2 の  $v_{n2}$  と同じ式で表されるので、Mode4 の  $L_1$  電圧  $v_{L1}$  および  $L_1$  電流  $i_{L1}$  の減少量  $\Delta i_{L1}$  も Mode2 と同じ式で与えられる。

なお、Mode4 の状態で  $Q_2$  がターン ON して Mode1 に戻る。

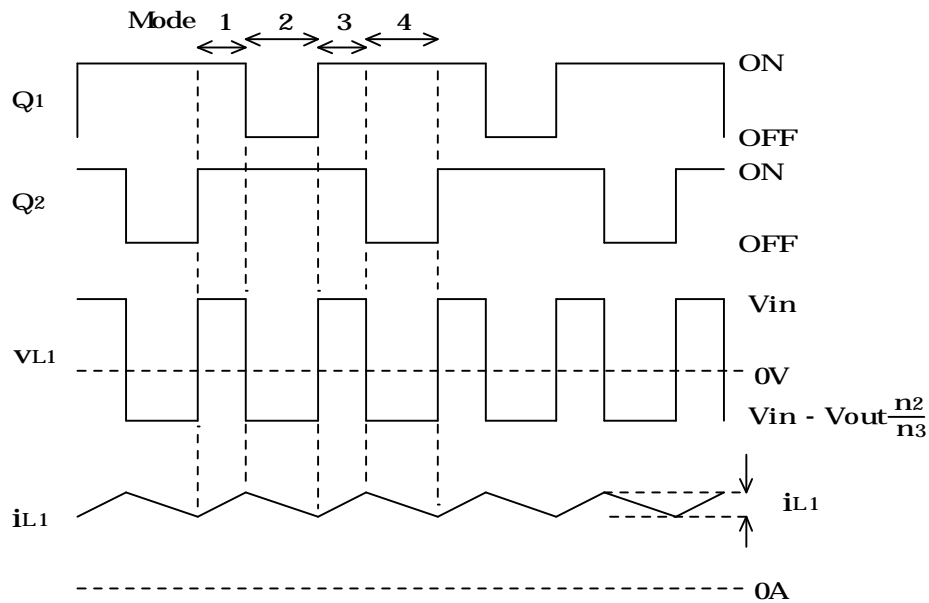


図3 Q1とQ2のタイミングチャートとL1の電圧電流波形

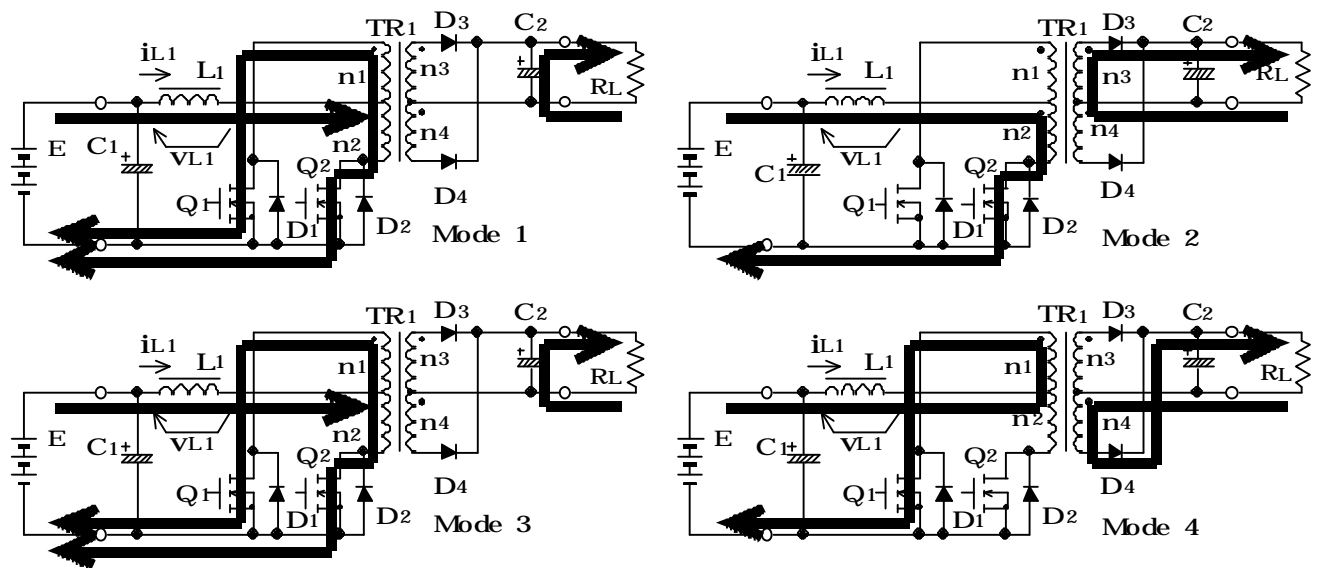


図4 電流型プッシュプル方式 DC/DC コンバータの動作モードと電流経路

### 出力電圧計算式

定常状態では Mode1 におけるリアクトル電流  $i_{L1}$  の増加と Mode2 における  $i_{L1}$  の減少は等しいので(1)式と(4)式の合計はゼロである。

$$\text{よって、} \quad \frac{1}{L_1} V_{in} T_1 + \frac{1}{L_1} \left( V_{in} - V_{out} \frac{n_2}{n_3} \right) T_2 = 0 \quad \dots \dots (7)$$

$$\text{変形して、} \quad V_{out} = V_{in} \frac{T_1 + T_2}{T_2} \frac{n_3}{n_2} \quad \dots \dots (8)$$

なお、前記のように、Mode1 と 3 ではリアクトル  $L_1$  に正の電圧が印加されて  $L_1$  電流  $i_{L1}$  は増加し、 $L_1$  にエネルギーが蓄積される。また、Mode2 と 4 では  $L_1$  には負の電圧が印加されて  $i_{L1}$  は減少し、 $L_1$  のエネルギーは出力側に伝達される。そこで、Mode1 と 3 を蓄積モード、Mode2 と 4 を伝達モードと呼ぶ。1 周期に占める蓄積モードの割合を  $a$  とすると  $a$  は次の式で表される。

$$a = \frac{T_1}{T_1 + T_2} \quad \dots \dots (9)$$

ただし、 $0 < a < 1$

を(8)式に代入すると、

$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{1-a} \frac{n_3}{n_2} \quad \dots \dots (10)$$

動作モードと通流率の関係を図 5 に示す。

$Q_1$ 、 $Q_2$  の ON/OFF の 1 周期  $T$  とすると、

$$T_1 + T_2 = \frac{T}{2} \quad \text{より、}$$

$$\text{蓄積モードの時間} \quad T_1 = \frac{T a}{2}$$

また、 $Q_1$ 、 $Q_2$  の通流率を  $b$  とすると、

$$\begin{aligned} T b &= \frac{T}{2} + \frac{T a}{2} \quad \text{より、} \\ &= 2 - 1 \quad \dots \dots (11) \end{aligned}$$

(10)に代入すると、

$$V_{out} = V_{in} \frac{1}{1-b} \frac{1}{2} \frac{n_3}{n_2} \quad \dots \dots (12)$$

ただし、 $0.5 < b < 1$

### <参考文献>

- (1) 平地克也、「電流型 DC/DC コンバータについて」、平地研究室技術メモ No.20100228、カテゴリ：DC/DC コンバータ、2010 年 2 月

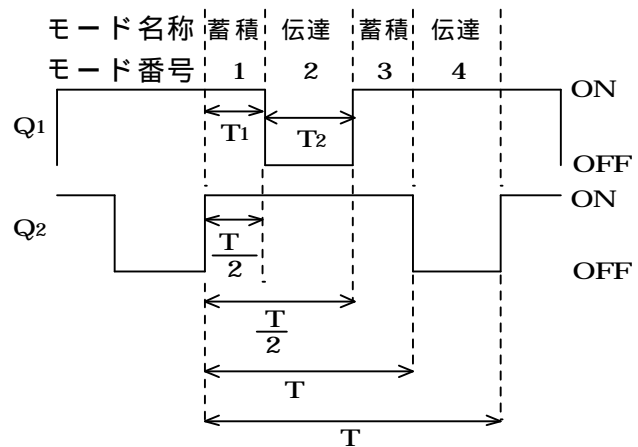


図 5 動作モードと通流率

以上