

フォワード型 1 石式 DC/DC コンバータの動作

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

舞鶴高専 平地克也

■フォワード型 1 石式 DC/DC コンバータの回路構成

フォワード型 1 石式 DC/DC コンバータは降圧チョップにトランスを付け加えたものと考えられます。(降圧チョップについては平地研究室技術メモ No.20060918 を参照下さい)。図 1 に降圧チョップの回路を示します。この回路にトランス TR1 を付け加えると図 2 の回路となります。図 2 からトランジスタ T1 の位置を変更すると図 3 となります。しかし、この回路は 1 つ問題があります。図 3 の回路では T1 が ON した時のトランス印加電圧 v_{n1} は入力電圧 V_{in} に等しくなります。T1 が OFF した時の v_{n1} は 0V です。トランスには必ず交流電圧を印加しなければなりません。図 3 の回路ではトランスに負の電圧が印加されないでトランスは正常動作せず、回路は破損します。

そこで、図 4 のようにトランスにコイル n_3 を追加し、ダイオード D1 を接続します。このようにするとトランスには正負両方向の電圧が印加され正常に動作します。また、 n_1 に正負両方向の電圧が印加されるので 2 次コイル n_2 にも正負両方向の電圧が発生します。そこで逆流防止のためにダイオード D2 を挿入します。これでフォワード型 1 石式 DC/DC コンバータ (以下 1 石フォワード DD コンと略す) が完成です。T1 は昔は図 3 のようにバイポーラトランジスタがつかわれていましたが、最近では図 4 のように FET が使われます。

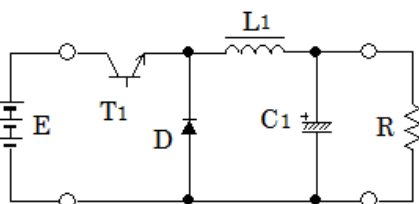


図 1 降圧チョップ回路

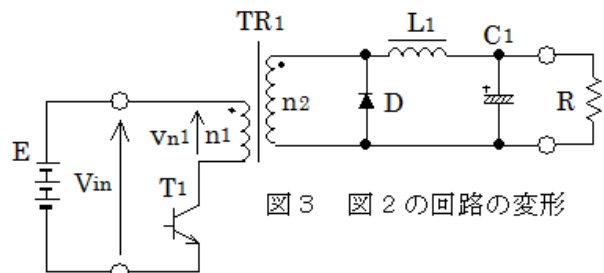


図 3 図 2 の回路の変形

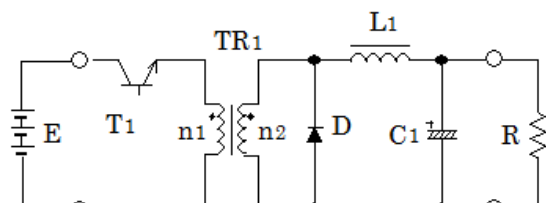


図 2 降圧チョップ回路+トランス

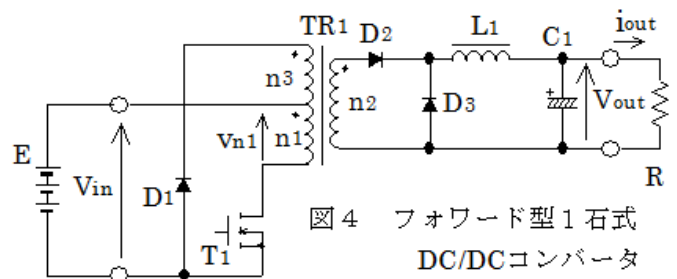


図 4 フォワード型 1 石式 DC/DC コンバータ

■フォワード型 1 石式 DC/DC コンバータの動作モードと電流経路

◎トランスの等価回路

図 5 に電気機器の授業で勉強するトランスの等価回路を示します。トランスの動作を分析するにはコイルのターン数比 (n_1/n_2) 以外に次のものを考慮しなければなりません：1 次コイル抵抗 r_1 、2 次コイル抵抗 r_2 、リーケージインダクタンス l_1 、 l_2 、励磁インダクタンス L_M 、鉄損抵抗 r_M 。しかし、1 石フォワード DD コンの動作原理を理解するためには r_1 、 r_2 、 l_1 、 l_2 、 r_M は無視し、励磁インダクタンス L_M のみ考慮

すれば OK です。この場合、トランスの等価回路は図 6 のように理想変圧器に励磁インダクタンス L_M のみ追加された簡単なものとなります。1 石フォワード DD コンの動作を考える時は常にトランス TR_1 の 1 次コイルと並列に励磁インダクタンスがあるものと想定して下さい。

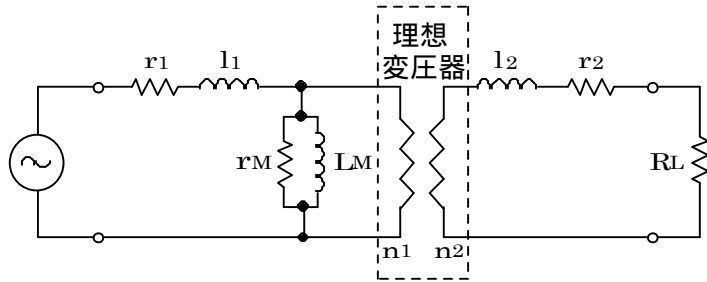


図5 トランスの等価回路

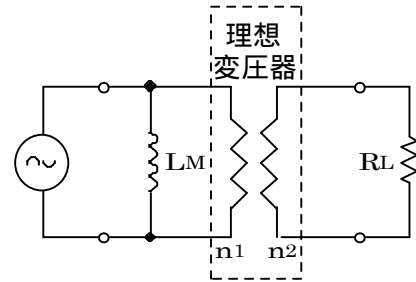


図6 励磁インダクタンスのみ考慮したトランスの等価回路

動作モードと電流経路

1 石フォワード DD コンには次の 3 つの動作モードがあります。

Mode1 : T_1 が ON の時

Mode2 : T_1 が OFF の時

Mode3 : T_1 が OFF の時で励磁電流が流れ終わった時

それぞれの動作モードの電流経路を図 7 (a)(b)(c) に示します。

Mode1 : T_1 が ON なので $v_{n1} = V_{in}$ となる。 n_2 巻線には $V_{in} \times (n_2 / n_1)$ の電圧が発生し、 n_2 D_2 L_1 負荷 n_2 の経路で負荷電流が流れる。この電流に対応して 1 次側には E n_1 T_1 E の経路で負荷電流が流れる。 n_1 コイルに電圧 V_{in} が印加されているので負荷電流と同様に E n_1 T_1 E の経路で励磁電流が流れ Mode1 の期間中この電流が増加する。

Mode2 : この動作モードは降圧チョッパでトランジスタが OFF した時の動作と同じと考えられる。 T_1 が OFF するので T_1 と D_2 には電流は流れない。 L_1 に蓄積されたエネルギーで L_1 負荷 D_3 L_1 の経路で電流が流れる。励磁電流は n_1 コイルから n_3 コイルに転流し、 n_3 E D_1 n_3 の経路で流れる。 n_3 コイルには逆方向 (\cdot が負の方向) に V_{in} が印加されるのでこの励磁電流は減少する。

Mode3 : 励磁電流が減少し、0A となる。負荷電流は Mode2 と同じ経路で流れ続ける。

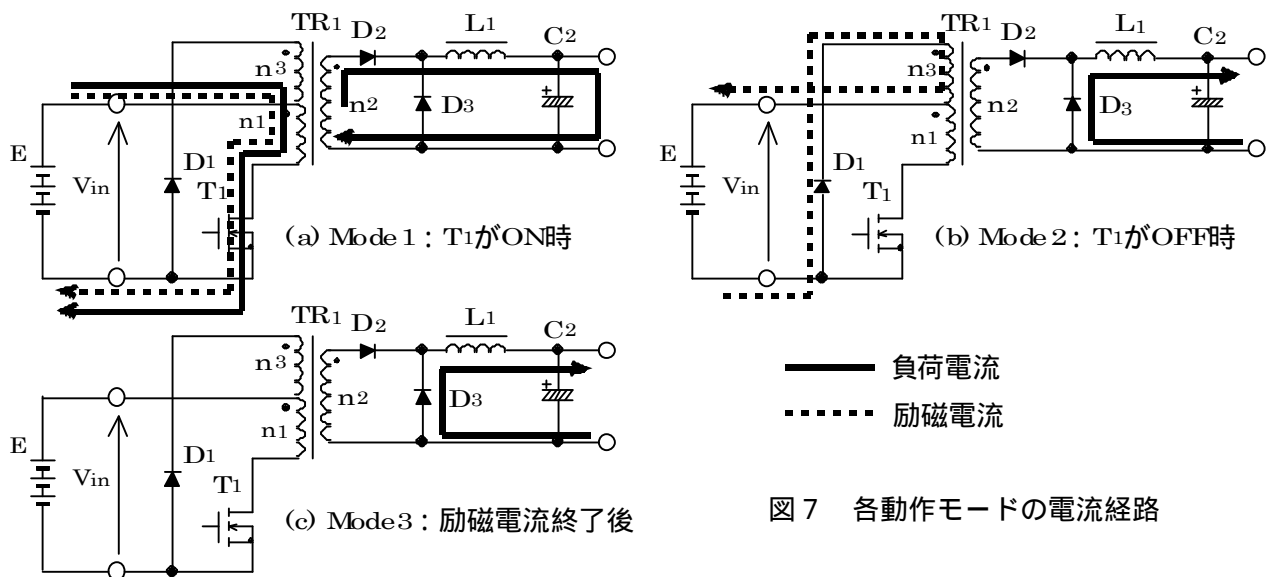
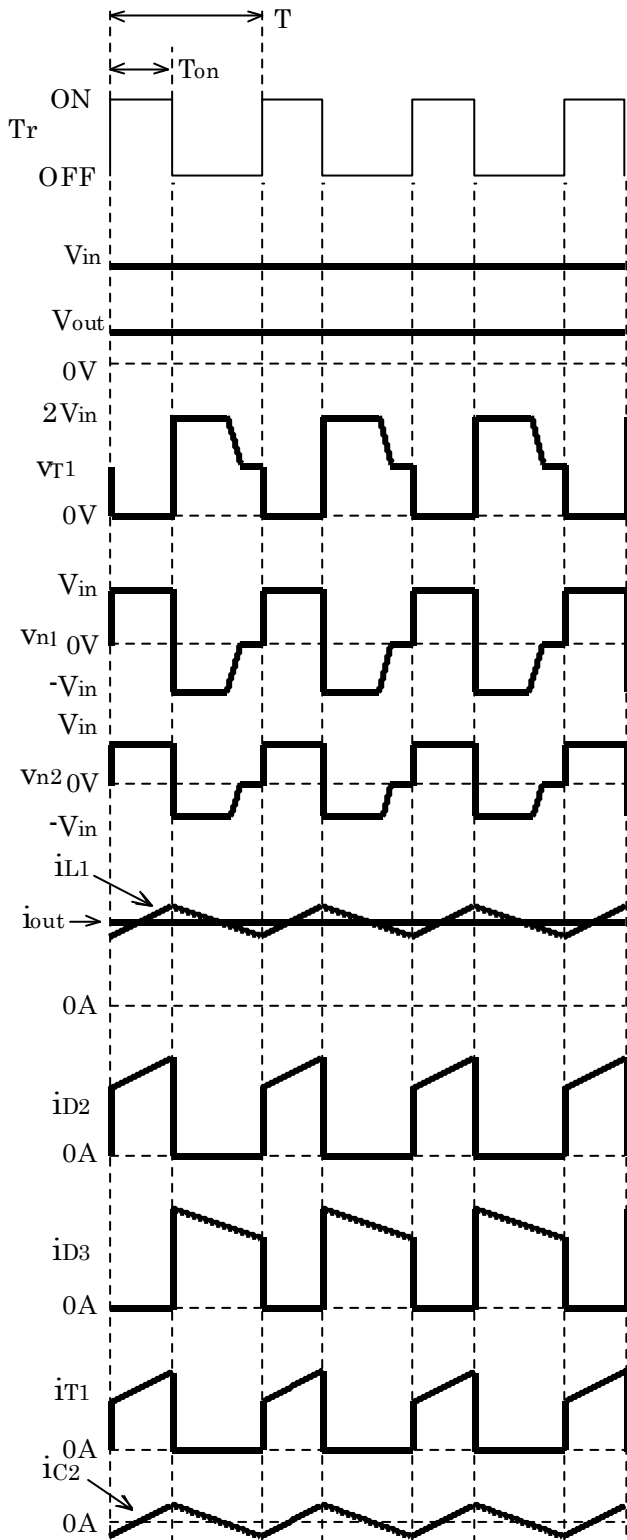
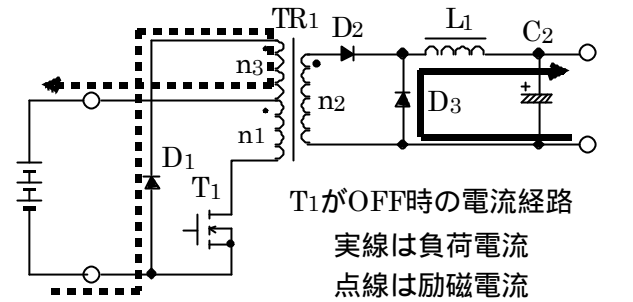
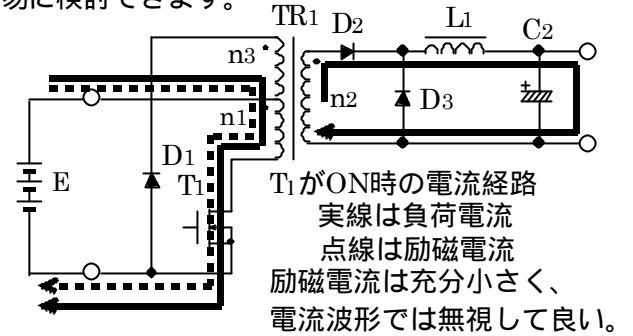
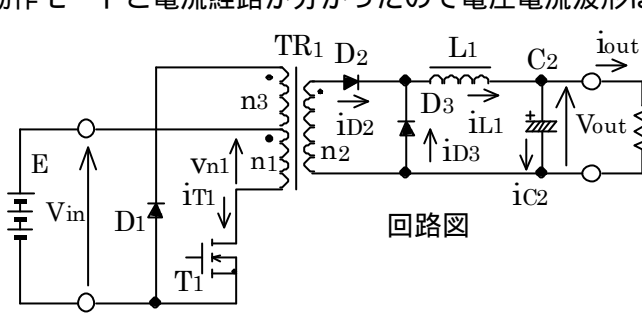


図7 各動作モードの電流経路

フォワード型1石式DC/DCコンバータの電圧・電流波形

動作モードと電流経路が分かったので電圧電流波形は容易に検討できます。



$$V_{out} = V_{in} \times N \times$$

$$N = \frac{n_2}{n_1} = \frac{T_{on}}{T}$$

T1がON時は $v_{T1} = 0$

T1がOFFするとD1が導通するので $v_{T1} = 2V_{in}$
 励磁電流が流れ終わると $v_{T1} = V_{in}$

T1がON時は $v_{n1} = V_{in}$

T1がOFFするとD1が導通するので $v_{n1} = -V_{in}$
 励磁電流が流れ終わると $v_{n1} = 0V$

$$v_{n2} = N v_{n1}$$

T1がON直後の i_{L1} は T_r がON直前の i_{L1} と同じ

T1がOFF直後の i_{L1} は T_r がOFF直前の i_{L1} と同じ

i_{L1} の平均値 = i_{out}

$$i_{out} = \frac{V_{out}}{R} \quad i_{L1} = \frac{1}{L} (v_{L1} \times T_{on})$$

T1がON時は $i_{D2} = i_{L1}$

T1がOFF時は $i_{D2} = 0$

T1がON時はD3がOFFなので $i_{D3} = 0$

T1がOFF時はD3が導通しているの $i_{D3} = i_{L1}$

$$i_{T1} = N i_{D2}$$

$$i_{C2} = i_{L1} - i_{out}$$