

SEPIC コンバータ

(読んでほしい人：パワエレ初心者)

2011/12/29 舞鶴高専 平地克也

SEPIC コンバータの概要

昇圧と降圧が共に可能なチョップ回路としては図1の回路がよく知られており、通常、昇降圧チョップと言えば図1の回路を意味する。しかし、昇圧も降圧も可能なチョップ回路には図1以外の回路もいくつか存在し、図2のSEPICコンバータもそのうちの1つである。図1の回路は広く実用化されており、多数のパワーエレクトロニクスの教科書や参考書で紹介されているが、SEPICコンバータは日本ではあまり使用されておらず、紹介している参考書も少ない。しかしSEPICコンバータは図1の回路にはない優れた特長もあり、もっと広く使用されるべきと思う。

SEPICコンバータは図1の回路と比べてLとCが1つずつ多く必要であり、少しコストアップになるが、次の2つの大きな長所がある。

- (1) 出力電圧の極性が入力電圧と同じである。
- (2) 入力電流のリプル成分が小さい。

図1の回路は出力電圧の極性が入力電圧の極性と逆になるので大変不便である。同じ極性で昇圧も降圧も実現したいためにわざわざ昇圧チョップと降圧チョップを縦続接続して使用することもある。

(1)の長所を知っておれば、このような場合はSEPICコンバータを有力な候補として検討することができる。(2)の長所はリプル電流に弱い太陽電池や燃料電池のシステムで効果を発揮できる。太陽電池や燃料電池の出力電圧を昇降圧したい場合はまずSEPICコンバータの採用を検討すると良い。

SEPICコンバータではリアクトルが2つ必要だが、後述するように2つのリアクトルは同じ鉄心に巻くことができるのでコストアップを抑制できる。また、入力電流のリプル成分が小さいのでC1は図1の回路より大幅に小型化できる。

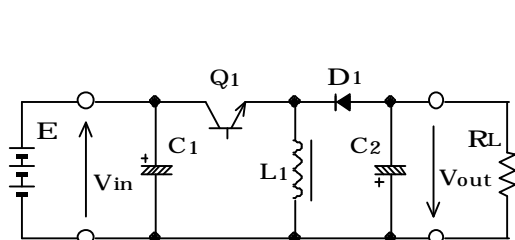


図1 昇降圧チョップ

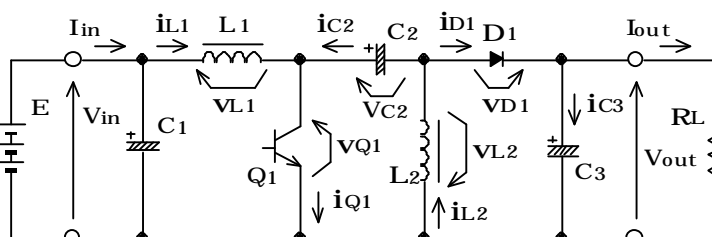


図2 SEPIC コンバータ

SEPIC コンバータの動作モードと電流経路

図3にスイッチ素子Q1がONの時とOFFの時の電流経路を示す。Q1がONの時はL1にはC1、L2にはC2の電圧がそれぞれ印加されて電流が増加し、エネルギーが蓄積される。Q1がOFFの時はL1とL2の電流が出力側に流れてエネルギーが伝達されると同時にC2が充電される。図3からQ1がONの時とOFFの時それぞれについて各部品の電圧と電流が表1の式で表わされることが分かる。

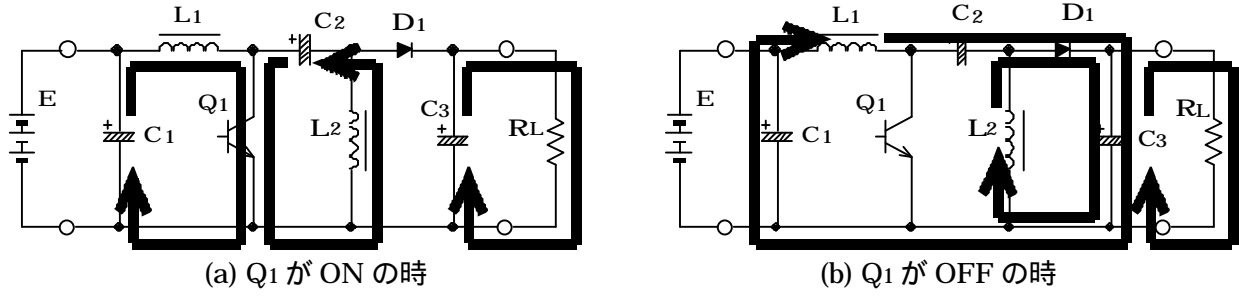


図3 Q1がONのときとOFFのときの電流経路

表1 Q1がON時とOFF時の各部品電圧と電流

Q1がONの時	Q1がOFFの時
$v_{L1} = V_{in}$	$v_{L1} = V_{in} - V_{C2} - V_{out}$
$v_{L2} = V_{C2}$	$v_{L2} = -V_{out}$
$i_{C2} = i_{L2}$	$i_{C2} = -i_{L1}$
$\Delta i_{L1} = \frac{1}{L_1} V_{in} T a$	$\Delta i_{L1} = \frac{1}{L_1} (V_{in} - V_{C2} - V_{out}) (1-a) T$
$\Delta i_{L2} = \frac{1}{L_2} V_{C2} T a$	$\Delta i_{L2} = \frac{1}{L_2} (-V_{out}) (1-a) T$
$\Delta V_{C2} = \frac{1}{C_2} i_{L2} T a$	$\Delta V_{C2} = \frac{1}{C_2} (-i_{L1}) (1-a) T$

T は $Q1$ の動作周期、 a は $Q1$ の通流率である。

SEPICコンバータに成立する重要な式の導出

表1から次のようにSEPICコンバータに成立する重要な式が導出される。

定常動作時はリアクトル電流の増加分と減少分は等しいので次の式が成立する。

$$Q1 \text{ が ON の時の } \Delta i_{L1} + Q1 \text{ が OFF の時の } \Delta i_{L1} = 0$$

よって、

$$\frac{1}{L_1} V_{in} T a + \frac{1}{L_1} (V_{in} - V_{C2} - V_{out}) (1-a) T = 0$$

$$V_{in} a + (V_{in} - V_{C2} - V_{out}) (1-a) = 0$$

$$V_{in} - V_{C2} - V_{out} + V_{C2} a + V_{out} a = 0 \quad \dots \dots (1)$$

同様に、次の式が成立する。

$$Q1 \text{ が ON の時の } \Delta i_{L2} + Q1 \text{ が OFF の時の } \Delta i_{L2} = 0$$

よって、

$$\frac{1}{L_2} V_{C2} T a + \frac{1}{L_2} (-V_{out}) (1-a) T = 0$$

$$V_{C2} a - V_{out} (1-a) = 0$$

$$V_{C2} = V_{out} \frac{1-a}{a} \quad \dots \dots (2)$$

(2)式を(1)式に代入し、

$$V_{in} - V_{out} \frac{1-a}{a} - V_{out} + V_{out} \frac{1-a}{a} a + V_{out} a = 0$$

$$V_{in} - \frac{1}{a} V_{out} + V_{out} - V_{out} + V_{out} - V_{out} a + V_{out} a = 0$$

$$V_{out} \left(1 - \frac{1}{a} \right) = -V_{in}$$

$$V_{out} = V_{in} \frac{a}{1-a} \quad \dots \dots (3)$$

(3)式は図1の通常の昇降圧チョップパの出力電圧を与える式と同じである。即ち、SEPICコンバータの出力電圧を与える式は通常の昇降圧チョップパと等しい。

(3)式を(2)式に代入し、

$$V_{C2} = V_{in} \frac{a}{1-a} \frac{1-a}{a}$$

$$V_{C2} = V_{in} \quad \dots \dots (4)$$

(4)式を v_{L1} と v_{L2} の式に代入すると次のことが分かる。

$$Q1 \text{ が ON 時 } v_{L1} = v_{L2} = V_{in}$$

$$Q1 \text{ が OFF 時 } v_{L1} = v_{L2} = -V_{out}$$

よって、通常動作時は $L1$ の電圧と $L2$ の電圧は常に等しい。このことは $L1$ と $L2$ は同一の鉄心に密結合状態で巻けることを意味している。

定常動作時はコンデンサ電圧の増加分と減少分は等しいので次の式が成立する。

$$Q1 \text{ が ON の時の } \Delta v_{C2} + Q1 \text{ が OFF の時の } \Delta v_{C2} = 0$$

よって、

$$\frac{1}{C_2} i_{L2} T a + \frac{1}{C_2} (-i_{L1})(1-a) T = 0$$

$$i_{L2} a - i_{L1}(1-a) = 0$$

$$i_{L2} = i_{L1} \frac{1-a}{a}$$

i_{L1} の平均値 = I_{in} より、

$$i_{L2} \text{ の平均値} = I_{in} \frac{1-a}{a} \quad \dots \dots (5)$$

よって、 i_{L2} は降圧時は大きく、昇圧時は小さい。

SEPIC コンバータに成立する重要な式を表 2 にまとめる。

表 2 SEPIC コンバータに成立する重要な式

出力電圧を与える式	$V_{out} = V_{in} \frac{a}{1-a}$
C2 の電圧を与える式	$V_{C2} = V_{in}$
L1 電圧 v_{L1} と L2 電圧 v_{L2} の関係	$v_{L1} = v_{L2}$
i_{L2} の平均値を与える式	$i_{L2ave} = I_{in} \frac{1-a}{a}$

理論波形と実測波形

SEPIC コンバータの電流経路と成立する式から各
部品の電流・電圧波形を図 4 のように描画する
ことができる。

図 5 に SEPIC コンバータ試作機による実測波形を
示す。試作機の運転条件は次の通りである。

入力電圧 V_{in} 12V

出力電圧 V_{out} 10.8V

出力電流 I_{out} 1A

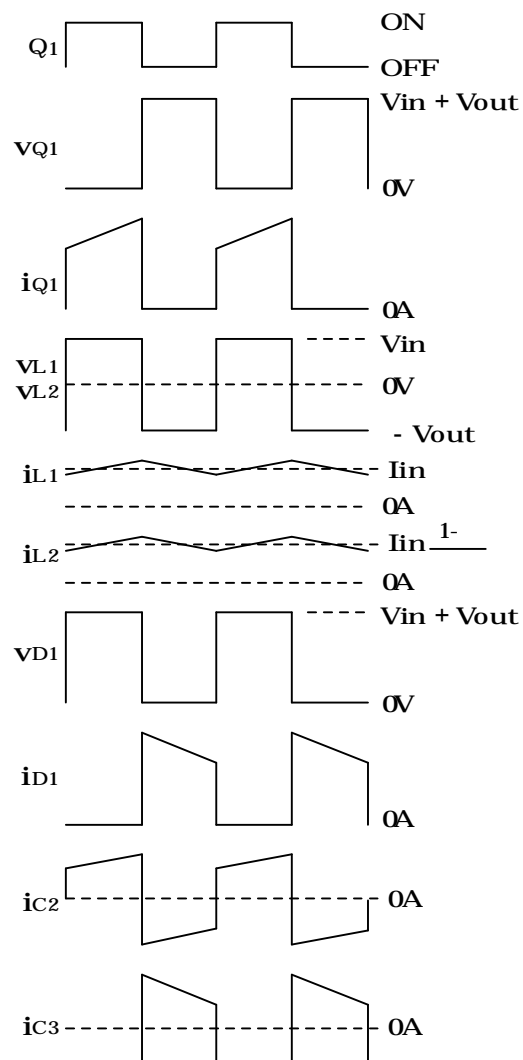
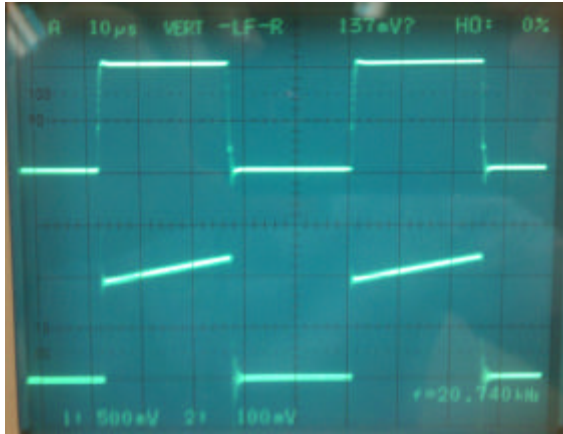
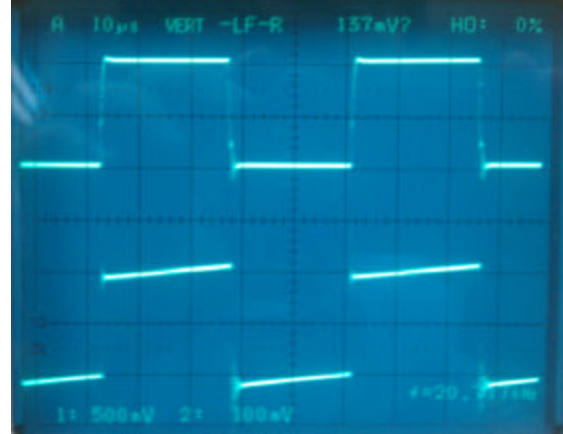


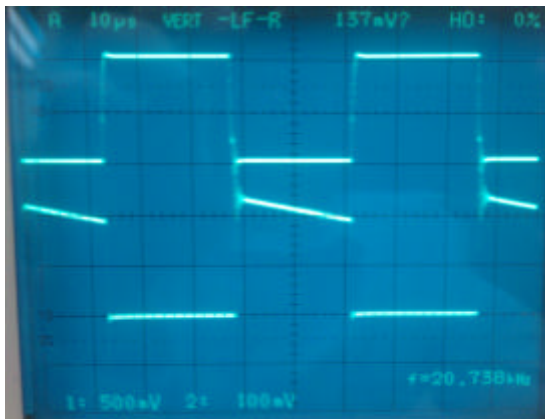
図 4 理論波形



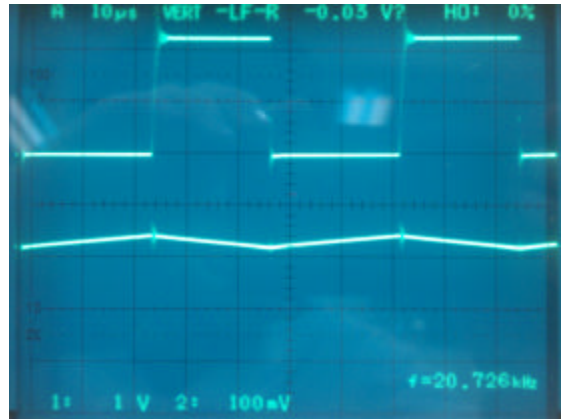
(上) V_g (Q_1 のゲート電圧) (下) i_{Q1}



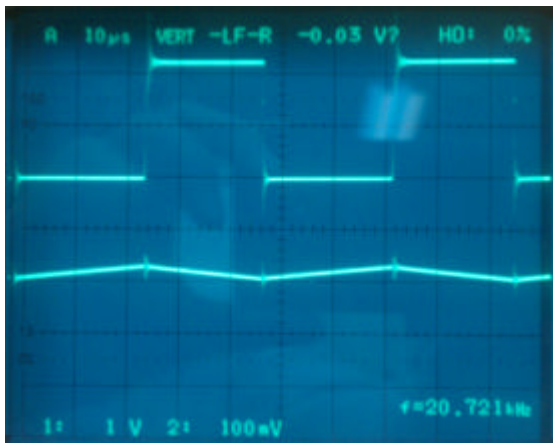
(上) V_g (下) i_{c2}



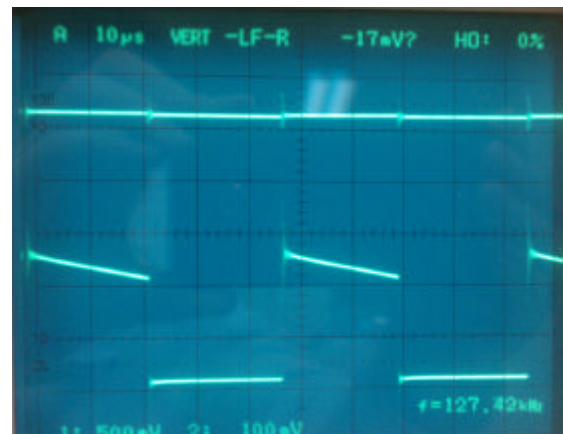
(上) V_g (下) i_{d1}



(上) V_{L1} (逆極性で撮影) (下) i_{L1}



(上) V_{L2} (逆極性で撮影) (下) i_{L2}



(上) V_{c3} (下) i_{c3}

(時間軸は全て $10 \mu \text{sec/div}$ 、電流は全て 1A/div 、電圧は v_{L1} と v_{L2} は 10V/div その他は 5V/div)

図5 SEPICコンバータの実測波形 (矢印は0Vまたは0Aレベルを示す)

なお、本技術メモの内容は平地研究室 2011 年度卒研生長澤勇仁の研究成果による。

以上