

わかる!!

電源回路教室

13 反転型コンバータと新型コンバータ【前編】

～電圧を反転/昇降圧する～

馬場 清太郎
Seitaro Baba

反転型コンバータは、負極性の出力電圧が必要なときに使用します。

ここで言う「新型コンバータ」とは、Cuk, Zeta, SEPIC コンバータの総称で、今までに説明したコンバータと異なり、内部にコンデンサを直列に入れて入出力間を直流的に遮断しています。機能的には、Cuk コンバータは反転、Zeta コンバータと SEPIC コンバータは昇降圧です。

いずれのコンバータも降圧型と昇圧型に比べれば使用頻度は圧倒的に少ないのですが、用途によっては最適な解決策となる場合もあります。

今回と次回で、一般には詳しく取り上げられることの少ない新型コンバータについても、反転型コンバータと同様の手法で動作を解析し設計します。

バータの、内部損失を無視した入力電圧 V_{in} と出力電圧 V_{out} の電圧変換率 M は、

$$M = |V_{out}| / V_{in} = D / (1 - D)$$

です。言い換えると、入力電圧変動範囲に $V_{imin} < |V_{out}| < V_{imax}$ と出力電圧絶対値が含まれる昇降圧型コンバータにすべて分類されます。

新型コンバータは、昇圧型コンバータや反転型コンバータの中間にコンデンサを入れて入出力の直流的接続を遮断し、出力電圧極性や出力電圧範囲を変更した形になっています。

SEPIC (Single Ended Primary Inductance Converter ; セピック) コンバータは、昇圧型コンバータの中間にコンデンサを入れて、出力電圧範囲を変更することで降圧も可能にしています。

Cuk (チューク) コンバータは、昇圧型コンバータの中間にコンデンサを入れて、出力電圧極性を変更しています。

Zeta (ジータ) コンバータは、「Inverse (反転) SEPIC」とも呼ばれ、SEPIC コンバータの入出力を

動作原理と特徴

● 各コンバータの動作原理

図13-1に示すように反転型コンバータと新型コン

コンバータ名称	機能	電圧変換率	スイッチ素子印加電圧	C_C 充電電圧
反転型	反転	$D / (1 - D)$	$V_{in} + V_{out}$	-
Cuk				$V_{in} + V_{out}$
SEPIC	昇降圧	$D / (1 - D)$	$V_{in} + V_{out}$	V_{in}
Zeta				V_{out}

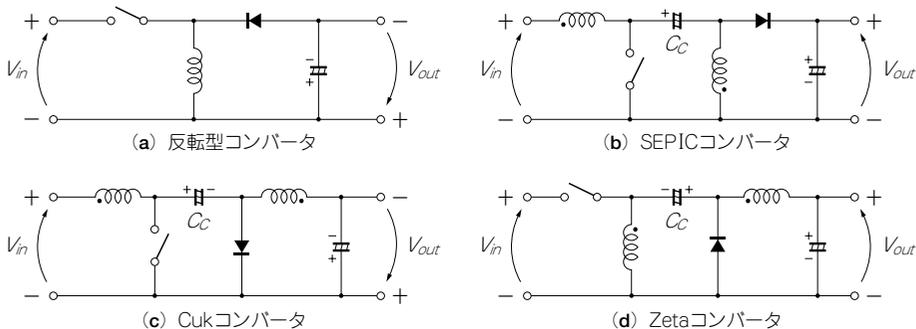


図13-1 反転型コンバータと新型コンバータ

インダクタの極性は2巻き線インダクタを使用するとき、コンデンサの極性は有極性コンデンサを使用するとき

逆にして、能動/受動スイッチを入れ替えた形です。回路は、反転型コンバータの中間にコンデンサを入れて、出力電圧極性を変更しています。

なお出力極性の表し方ですが、入力電圧の低電圧側(グラウンド)を基準として、反転型では「 $-V_{out}$ 」とするのが一般的です。ここでは個々の回路で考えていて誤解の恐れがないので、入力側の基準と出力側の基準が異なっていますが、式にいちいちマイナス符号を付ける必要のない図の表し方にしています。

● 各コンバータの特徴

反転型コンバータは図13-1からわかるように、スイッチ素子が入出力に直接接続されていますから、入出力のリプル電流がパルス波形となり、入出力平滑コンデンサの負担が大きくなります。

前回(2007年11月)で紹介した昇降圧型コンバータも入出力リプル電流は同様に大きくなっています。平滑コンデンサが負担しきれなかったリプル電流は、入力電源と負荷側で負担する必要があるので実際の使用では要注意です。

新型コンバータはコンデンサとインダクタが余分に必要ですが、入力ないし出力側のリプル電流が少なく、Cukコンバータは入出力リプル電流とも少なくなっています。

● 新型コンバータのメリット

最近のコンバータはスイッチング周波数が高くなつて、コンデンサには小さなセラミック・チップ・コンデンサ(MLCC)が使用され、パワーMOSFETも技術開発が進んで大幅に小さくなっています。コンデンサや半導体の小型化に比較すると、インダクタは小さくなったとはいえまだ大きく、個々の部品の大きさを比べるとインダクタが最も大きくなっています。

出力電力10W以上で小型化を最優先する場合は、前回で紹介した昇降圧型コンバータか反転型コンバータを使用します。出力が数W以下の場合は2巻き線インダクタも小さく、新型コンバータで小型にまとめることができます。

中出力以上の場合に、回路の実装サイズが大きくなるにもかかわらずあえて新型コンバータを使用するメリットは何かと言えば、半導体の破壊時に入出力がコンデンサにより直流的に分離されているということです。従来型コンバータで故障時の安全性に問題があるときには、新型コンバータの使用を検討してみます。

反転型コンバータの設計と実験

● 用途

反転型コンバータは、正極性の電源しかないところ

表13-1 反転型コンバータの設計手順

①仕様決定

出力電圧	V_{out}	12 V \pm 0.6V (5%)
出力電流	I_{out}	1.0 A
入力電圧	V_{in}	12 V \pm 3 V
スイッチング周波数	f_s	80 kHz
出力リプル電圧	V_r	120 mV _{P-P} (V_{out} の1%)

②経験による条件仮定

効率	η	0.9
電流リプル率	k	0.3
	再計算	0.293

④で選定したインダクタンス値が計算値と大幅に異なったときは式(13-4)により k を求める。以下()内は再計算値。

③基本パラメータの計算

T_s	$1/f_s$	12.5 μ s
V_{Q1}	Q_1 オン電圧	0V
V_{D1}	D_1 順方向電圧	0.5 V
D	式(13-2)	0.51

④インダクタ電流の計算

I_{in}	式(13-1)	1.111 A
I_L	式(13-3)	2.178 A
I_{Lmax}	$I_L(1+k/2)$	2.505 A (2.497 A)
L_1	式(13-5)	117 μ H (120 μ H)

選択した L_1 が計算値と異なるときは再度②へ。 I_{Lmax} はすべての半導体の最大電流と等しいから、この値でパワーMOSFET、ダイオードを選択。

⑤出力コンデンサの計算

I_{DRMS}	式(13-6)	1.530 A
I_{CRMS}	式(13-7)	1.158 A
$C + ESR$	カタログより	1500 μ F + 45 m Ω
V_{rC}	式(13-8)	4.3 mV
V_{rESR}	式(13-9)	112 mV

で負極性の出力電圧が必要なときに使用する回路です。この回路もまた、リニア・レギュレータでは実現不可能です。

負極性の出力電圧が必要なときには、トランスを使用して実現することも可能ですが、どうしても回路が複雑になってしまいます。

非絶縁反転型コンバータは、インダクタ電流が連続であるという物理的特性を巧妙に用いて、負極性の出力電圧を得ています。

負極性での大出力が必要な場合は少なく、降圧型や昇圧型に比べれば反転型コンバータの使用頻度は圧倒的に少ないです。反転型コンバータが多用されているのは、2巻き線インダクタを使って絶縁したフライバック・コンバータとしてです。非絶縁反転型コンバータは、フライバック・コンバータの基本であり、用途によっては最適な解決策となる場合もありますから、覚えておいて損はありません。