

## Application Brief

## 電源設計へのアプローチ方法 - パート 3



Markus Zehendner

本トポロジ・シリーズの **パート 2** では、電源仕様のパラメータから最適なトポロジを選択する方法について説明します。本アプリケーション・ブリーフでは、降圧、昇圧、昇降圧トポロジのさまざまな側面について説明します。

## 降圧コンバータ

**図 1** に、非同期整流式降圧コンバータの回路図を示します。降圧コンバータは、入力電圧をそれより低い出力電圧に降圧します。スイッチ **Q1** が導通しているとき、エネルギーは出力に転送されます。

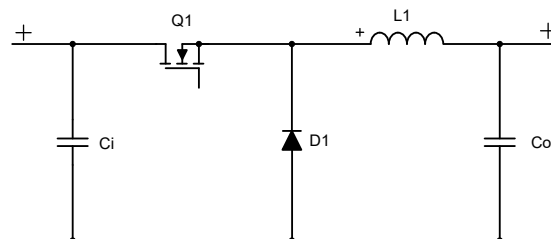


図 1. 非同期整流降圧コンバータの回路図

**式 1** のデューティ・サイクルの計算方法:

$$D = \frac{V_{OUT} + V_f}{V_{IN} + V_f} \quad (1)$$

**式 2** の MOSFET (金属酸化物電界効果トランジスタ) の最大ストレスの計算方法:

$$V_{Q1} = V_{IN} + V_f \quad (2)$$

**式 3** の最大ダイオード・ストレスの計算方法:

$$V_{D1} = V_{IN} \quad (3)$$

ここで

- $V_{IN}$  は入力電圧
- $V_{OUT}$  は出力電圧
- $V_f$  はダイオードの順方向電圧

入力電圧と出力電圧の差が大きいほど、リニア・レギュレータや低ドロップアウト・レギュレータ (LDO) に比べて降圧コンバータの効率が高くなります。

降圧コンバータは入力側でパルス電流を供給しますが、コンバータの出力側に配置されているインダクタ・コンデンサ (LC) フィルタにより、出力電流は連続しています。その結果、入力に反映される電圧リップルは、出力のリップルに比べて大きくなります。

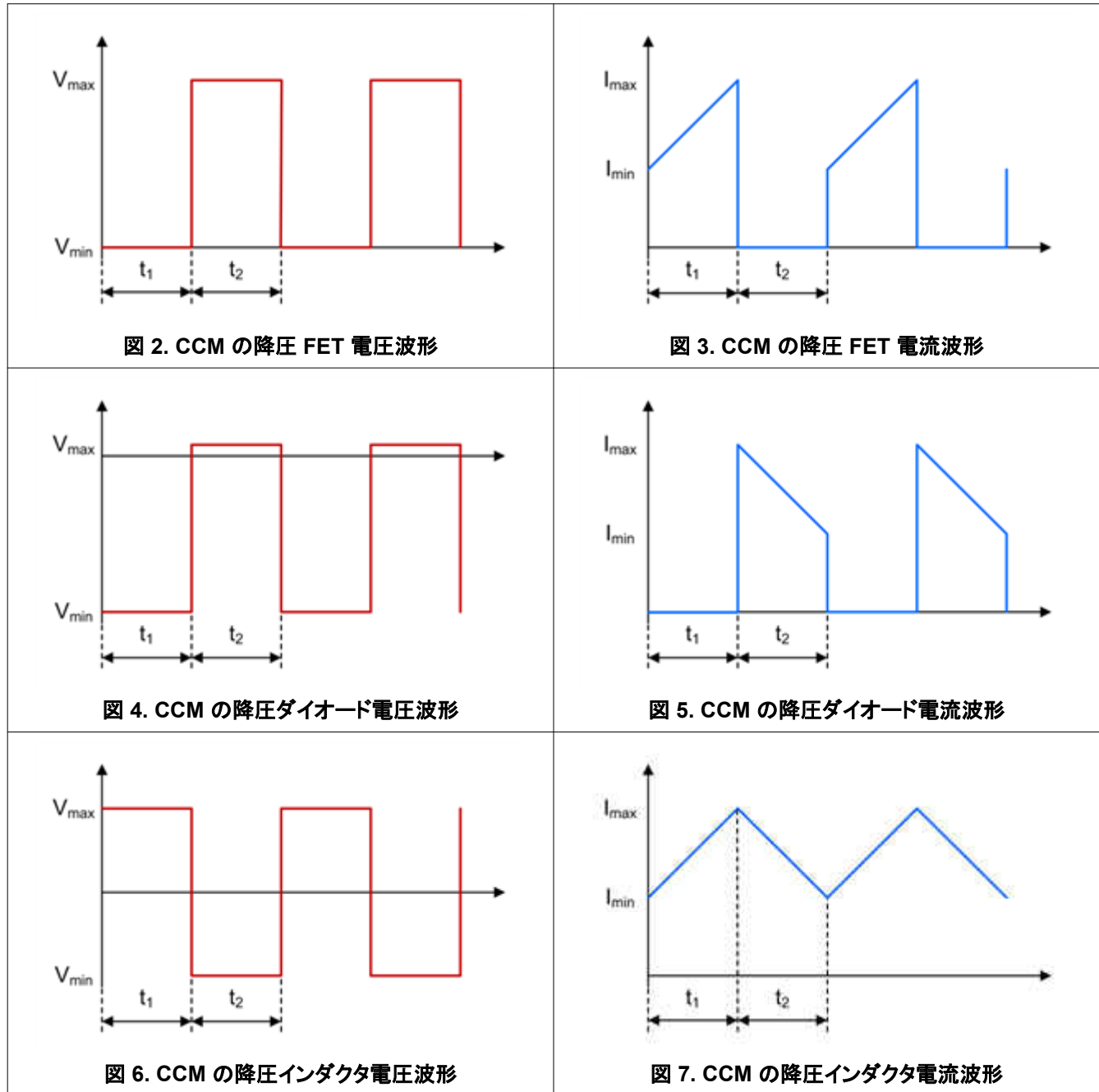
デューティ・サイクルが小さく、出力電流が **3A** を超える降圧コンバータの場合、同期整流器を使用します。電源に **30A** を超える出力電流が必要な場合は、マルチフェーズまたはインターリーブ出力段を使用します。これにより、部品のストレ

スが最小化され、生成された熱が複数の電力段に分散され、コンバータの入力で反射されるリップルが低減されるからです。

N-FET を使用する場合、スイッチング・サイクルごとにブートストラップ・コンデンサを再充電する必要があるため、デューティ・サイクルの制限が発生する可能性があります。この場合、最大デューティ・サイクルは **95%~99%** の範囲内です。

降圧コンバータは通常、フォワード・トポジを表すため、良好なダイナミック特性を示します。実現可能な帯域幅は、エラー・アンプの品質と選択したスイッチング周波数によって異なります。

図 2 から図 7 に、非同期降圧コンバータの FET、ダイオード、インダクタの連続導通モード (CCM) での電圧と電流の波形を示します。



## 昇圧コンバータ

昇圧コンバータは、入力電圧をより大きな出力電圧に昇圧します。スイッチ Q1 が導通していないとき、エネルギーは出力に転送されます。図 8 は非同期昇圧コンバータの回路図です。

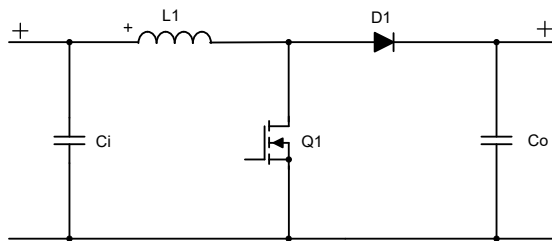


図 8. 非同期整流昇圧コンバータの回路図

式 4 のデューティ・サイクルの計算方法:

$$D = \frac{V_{OUT} + V_f - V_{IN}}{V_{OUT} + V_f} \quad (4)$$

式 5 の最大 MOSFET ストレスの計算方法:

$$V_{Q1} = V_{OUT} + V_f \quad (5)$$

式 6 の最大ダイオード・ストレスの計算方法:

$$V_{D1} = V_{OUT} \quad (6)$$

ここで

- $V_{IN}$  は入力電圧
- $V_{OUT}$  は出力電圧
- $V_f$  はダイオードの順方向電圧

昇圧コンバータを使用すると、LC フィルタが入力側に配置されているため、パルス出力電流が表示されます。したがって、入力電流は連続しており、出力電圧リップルは入力電圧リップルよりも大きくなります。

昇圧コンバータを設計する際には、コンバータがスイッチングしていない場合でも、入力から出力への永続的な接続が存在することを理解することが重要です。出力で短絡が発生する可能性がある場合は、事前に注意してください。

出力電流が 4A を超える場合は、ダイオードを同期整流器に置き換えます。電源が 10A を超える出力電流を供給する必要がある場合は、マルチフェーズまたはインターリーブ出力段のアプローチを推奨します。

CCM で動作している場合、伝達関数の右半面ゼロ (RHPZ) により、昇圧コンバータの動的動作が制限されます。RHPZ は補償できないため、実現可能な帯域幅は通常、RHPZ 周波数の 1/5 ~ 1/10 未満です。式 7 を参照。

$$f_{RHPZ} = \frac{V_{OUT} \times (1 - D)^2}{2 \times \pi \times L_1 \times I_{OUT}} \quad (7)$$

ここで

- $V_{OUT}$  は出力電圧
- $D$  はデューティ・サイクル
- $I_{OUT}$  は出力電流
- $L_1$  は昇圧コンバータのインダクタンス

図 9 から 図 14 に、非同期昇圧コンバータの FET、ダイオード、インダクタの CCM での電圧と電流の波形を示します。

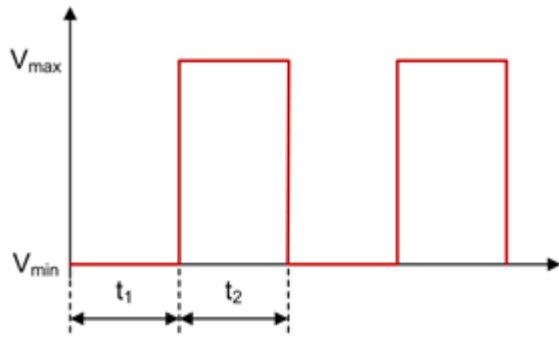


図 9. CCM での昇圧 FET 電圧波形

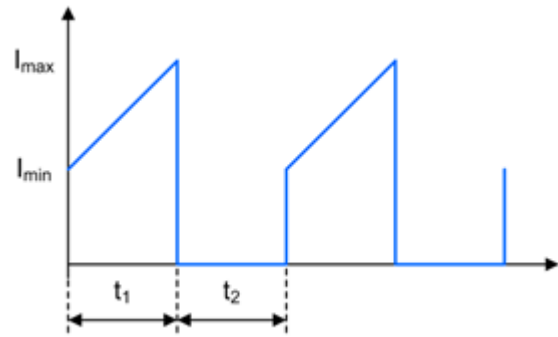


図 10. CCM での昇圧 FET 電流波形

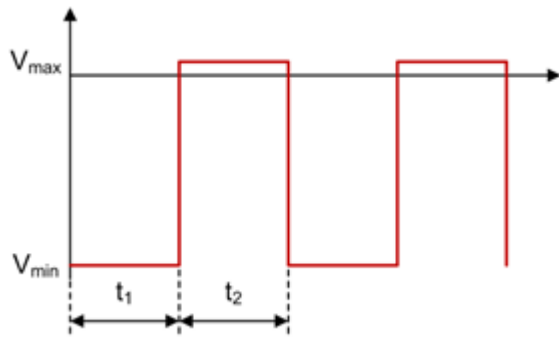


図 11. CCM でのブースト・ダイオード電圧波形

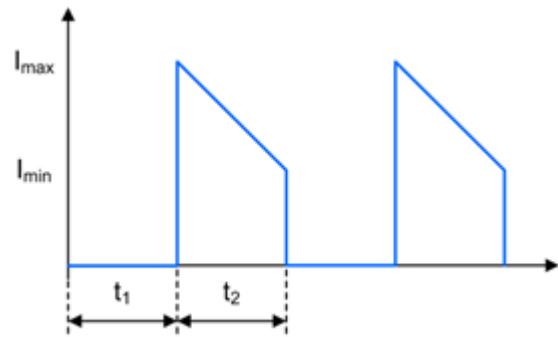


図 12. CCM でのブースト・ダイオード電流波形

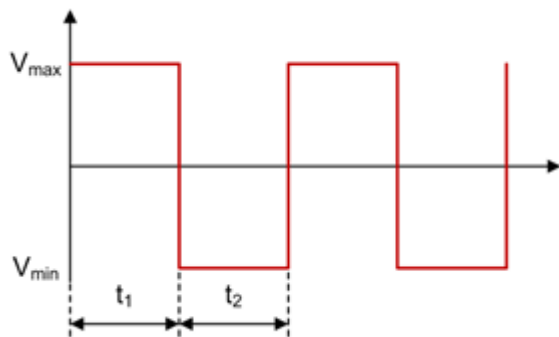


図 13. CCM での昇圧インダクタ電圧波形

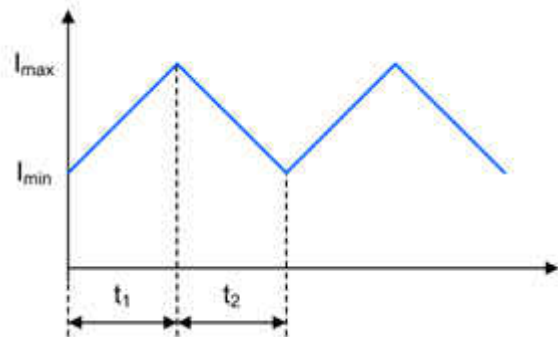


図 14. CCM での昇圧インダクタ電流の波形

## 昇降圧 (バック・ブースト) コンバータ

昇降圧コンバータは、同じインダクタを共有する降圧と昇圧の電力段を組み合わせたものです (図 15 を参照)。

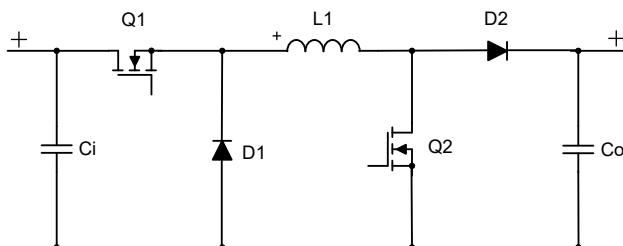


図 15. 2 スイッチ昇降圧コンバータの回路図

昇降圧トポロジは、入力電圧が出力電圧より小さくても、大きくても、等しくてもよく、必要な出力電力が 50W を上回っているため便利です。

50W 未満の出力電力の場合、このコンバータの部品使用量が少ないため、シングルエンドの 1 次側インダクタンス・コンバータ (SEPIC) がよりコスト効率の優れた選択肢になります。

昇降圧コンバータは、入力電圧が出力電圧よりも高い場合は降圧モードで動作し、出力電圧よりも小さい入力電圧の場合は昇圧モードで動作します。コンバータが伝達領域で動作している場合、つまり入力電圧が出力電圧の範囲内にある場合、これらの条件に対処する方法として 2 つの考え方があります。降圧段と昇圧段の両方が同時にアクティブになるか、降圧段と昇圧段の間でスイッチング・サイクルが交互になる (それぞれが通常のスイッチング周波数の半分で通常動作する) かのいずれかです。2 番目の考え方では出力に分数調波ノイズを発生させる可能性があり、出力電圧の精度は通常の降圧または昇圧動作に比べてわずかに精度が低下しますが、コンバータは最初の考え方に比べてはるかに効率的です。

昇降圧トポロジでは、一方向を向いている LC フィルタがないため、入力と出力でパルス電流が発生します。

昇降圧コンバータでは、それぞれ降圧と昇圧の電力段計算を使用できます。

2 個のスイッチを備えた昇降圧コンバータは、50W~100W (LM5118 など) の電力範囲向けに設計されており、最大 400W の同期整流が可能で (LM5175 など)。未結合の降圧および昇圧電力段と同じ電流制限を持つ同期整流器を使用することを推奨します。

RHPZ がレギュレータの帯域幅の制限要因であるため、昇圧段用の昇降圧コンバータの補償ネットワークを設計します。

パート 4 では、SEPIC および Zeta コンバータの機能と欠点について説明します。

### その他の資料

- 以下のテキサス・インスツルメンツのトレーニング・ビデオをご覧ください。
  - トポロジのチュートリアル: 降圧とは何か?
  - トポロジのチュートリアル: 昇圧とは何か?
  - トポロジのチュートリアル: 昇降圧とは何か?

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated