

電源のヒント: 負荷過渡に対する容量の計算



John Betten

多くの場合、降圧コンバータにおける出力キャパシタンスの選択は、必要な出力リップル電圧のレベルに基づきます。多くの場合、計算された容量はかなり小さく、単層セラミックコンデンサのみを使用できます。また、セラミックコンデンサは等価直列抵抗 (ESR) が非常に低いため、出力リップルへの寄与は最小限に抑えられます。これは良いことです。コストを低く抑えられるからです。したがって、静電容量は小さい方が良いのです。

しかし、設計を進めた後、テスト中に負荷過渡によって出力電圧が許容できないほどのレベルに低下することが分かった場合はどうでしょうか？この場合の唯一のソリューションは、出力側にさらなる静電容量を追加することであり、それに伴い新しいプリント基板 (PCB) のレイアウトが必要です。

このような失敗を防げる簡単な計算があります。

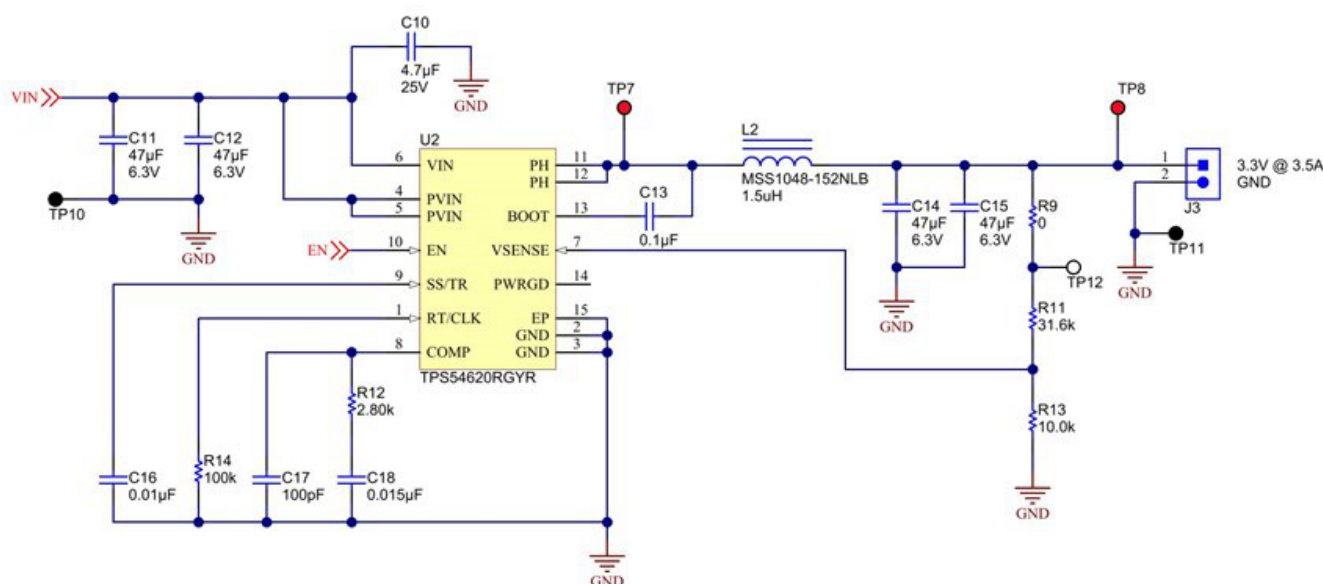


図 1. **TPS54620** セラミック出力コンデンサ付き同期整流降圧コンバータ

図 1 に、出力キャパシタンスが大幅に増加した更新済み設計の詳細を示します。負荷過渡性能の状況を実際に理解するために、図 2 に示すシミュレーション モデルを作成しました。このモデルを使用して、開ループと閉ループの出力インピーダンスとループ ゲイン (またはコンバータの帯域幅) をプロットしました。開ループ出力インピーダンスは、単純に、帰還が無効化されている状態でコンバータの出力を調べるインピーダンスです。この設計は電流モード制御を使用しているため、インダクタは定電流源として動作し、インピーダンス プロットには現れません。ただし、この設計に電圧モード制御を使用していた場合、開ループ出力インピーダンス プロットは L-C 共振周波数でピークになります。

このインダクタの影響は無視できません。インダクタンスの値を小さくすると、コンバータは過渡中に出力電流をより速く増加させることができます。また、帯域幅よりも遅くなるほど大きく設定しないでください。図 2 の開ループ出力インピーダンスプロットは、小さい ESR およびリード線のインダクタンスと直列に接続された単一の 58μF 出力コンデンサとしてモデル化されています。3.3VDC バイアスがある 2 つの 47μF 6.3V コンデンサに対する実効出力キャパシタンスは 58μF です。このプロットは、500KHz を超えて誘導性になるまで、傾きが -1 の容量性に見えます。

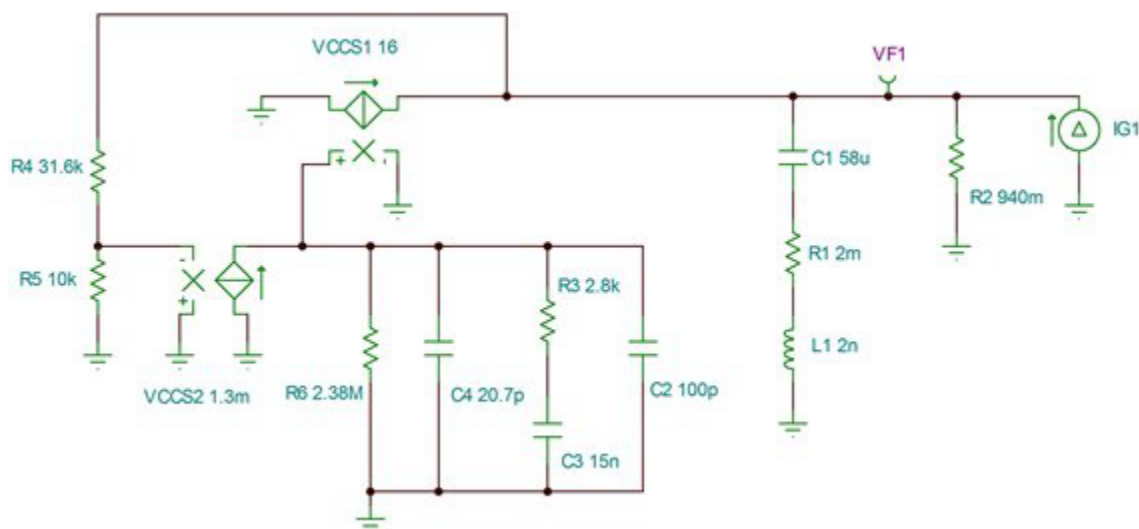


図 2. TPS54260 開ループ出力インピーダンスを示すシミュレーション モデル

閉ループ出力インピーダンスは、開ループ インピーダンスを $1 + \text{ループ ゲイン}$ で除算したものです。コンバータの帯域幅は、ループ ゲインが 1 に等しい場合のもので、この周波数を超えると、開ループ プロットと閉ループ プロットが収束するため、帰還が出力インピーダンスに与える利点はほとんどありません。コンバータの帯域幅を下回ると、帰還ループの大きなゲインにより、実効出力インピーダンスが低下します。閉ループ インピーダンスのピークは、ループ帯域幅と密接に相关しています。これは重要です。負荷過渡からの出力電圧に見られる変化が、インピーダンスに負荷ステップを掛けた値に等しくなるためです。このインピーダンスはコンバータの帯域幅における出力コンデンサのインピーダンスとほぼ同じ大きさなので、これを使用して負荷ステップ応答を概算できます。

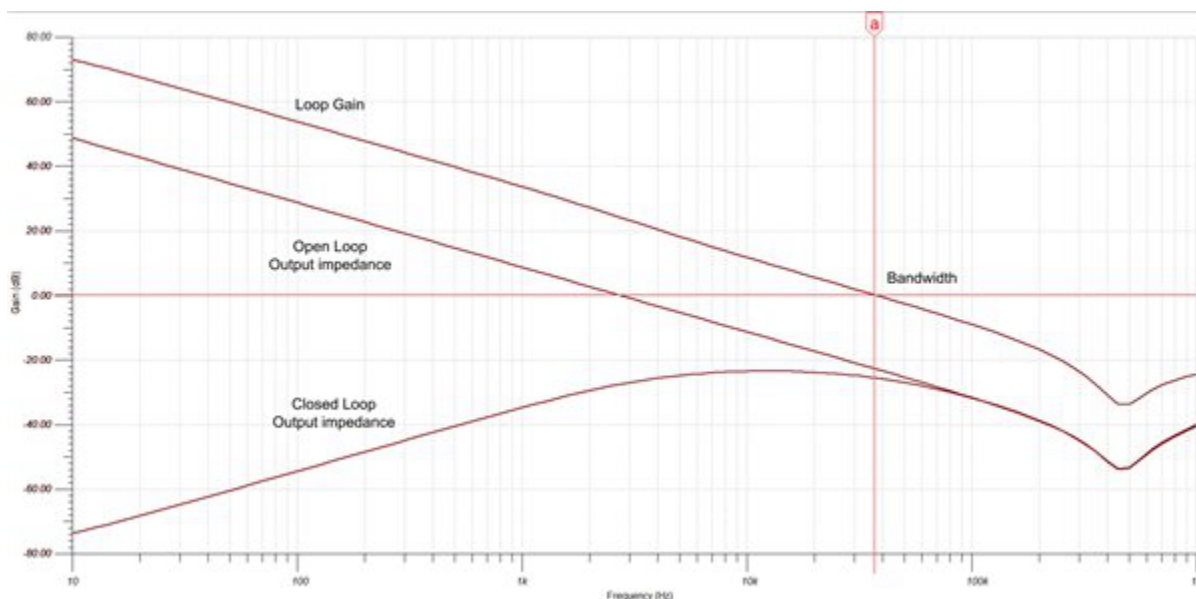


図 3. シミュレーションは、閉ループ出力インピーダンスがループ帯域幅周波数に近い最大値に達することを示しています

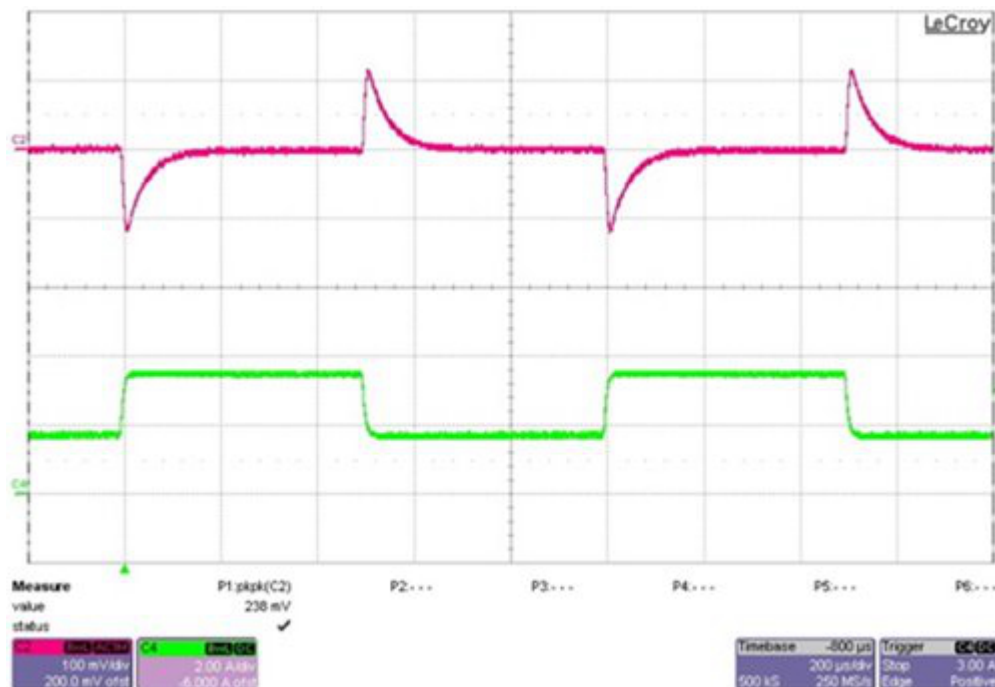


図 4. 1.75A 負荷過渡の回路テストの結果、出力電圧に 115mV の変化が生じます

コンデンサのインピーダンスは $Z = 1 / (2\pi \times f \times C)$ なので、これを $\Delta V_{out} / \Delta I_{tran}$ に設定すると、図 5 式で示す負荷ステップ近似が得られます:

$$\Delta V_{out} = \frac{\Delta I_{tran}}{2\pi f_{BW} C_{out}}$$

図 5. (1)

図 4 に、1.75A の負荷ステップと、対応する 115mV の出力電圧ドループのラボ テストを示します。式図 5 で、38KHz の帯域幅の測定値を用いると、推定値は 126mV となります。

式図 5 によって、負荷電流過渡に必要なセラミック出力キャパシタンスを妥当な値で見積もることができます。多くの場合、この計算された容量値は、定常状態のリプル電圧が低い場合に必要容量値よりも大幅に大きくなる可能性があります。必要なのは、コンバータの帯域幅の適切な推定値のみです。ESR が高いコンデンサ (または混合コンデンサ タイプを使用) では、予想電圧が上昇する可能性を考慮してください。そのため、特別な注意 (またはシミュレーション) が必要になる場合があります。

その他資料

- 最新の電源のヒント (Power Tips) ビデオ シリーズをご覧ください
- 『人気のある電源のヒント』(Best of Power Tips e-book) をご覧ください

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](https://www.ti.com) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。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。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月