

Application Brief

TPS6282xA と TPS62830x を使用した動的電圧スケーリング (DVS)



Moheddin Shaik

DVS とは

降圧コンバータの動的電圧スケーリング (DVS) は、負荷条件やシステム要件の変化に基づいて、コンバータの出力電圧をリアルタイムで動的に調整する制御手法です。この機能は、エネルギー効率の向上、消費電力の削減、さまざまな性能要求への対応に利用できます。たとえば、図 1 に示すように、軽負荷またはアイドル状態で電圧を下げることで電力を節約し、高性能タスク中に電圧を上げて、計算要求を満たします。

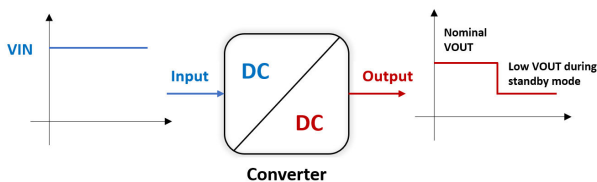


図 1. DC/DC コンバータの動的電圧スケーリング (DVS)

DVS の仕組み

定常状態動作時に降圧コンバータの出力電圧を調整する方法はいくつかあります。

デジタル インターフェイス

I²C や PMBus などのプロトコルや独自仕様のインターフェイスを採用しているので、システムは電圧調整コマンドを降圧コンバータ宛に送信できます。SSD (ソリッドステートドライブ)、スマートフォン、光学モジュールなどのアプリケーションは、これらのインターフェイスを使用してメインプロセッサのコア電圧を動的に調整し、性能と消費電力を最適化します。

帰還ピンの電流注入

出力電圧は、直列抵抗によるアナログ制御電圧を使用して、帰還ノードへの電流を外部からソースするかシンクすることで変更できます。このアナログ制御電圧は、以下から生成できます：

- ディスクリット電圧リファレンス (TLV431 など)
- MCU の内部電圧リファレンス
- DA コンバータ (DAC)
- RC ネットワークで PWM 信号をフィルタ処理

この方法では連続的な電圧調整が可能のため、低消費電力状態で電圧を下げ、高性能タスク中に増加する CPU などのアプリケーションにおける動的電圧スケーリング (DVS) に理想的です。

帰還抵抗分圧器の調整

この方法は、帰還分圧器回路の抵抗を変更することで出力電圧を調整します。以下の手順に従います：

- 下側帰還抵抗 (R_2) を調整する
- 上側帰還抵抗 (R_1) を調整する

出力電圧を変化させるために、スイッチ制御の抵抗 (R_1 または R_2 と並列に接続) を使用します。この方法は、USB Type-C® 電力供給や、アクティブモードとスリープモードの間を切り替える低消費電力 MCU など、2 つの固定電圧レベル (High と Low) を必要とするシステムに最適です。

このアプリケーションブリーフでは、図 2 に示すように、帰還回路でスイッチを切り換え、出力電圧を動的に変更する方法について説明します。この方式によって、コンバータの可能な限り低い出力電圧 (帰還電圧とより高いプリセット出力電圧) 間で、出力電圧を動的に遷移させることができます。スイッチに別の直列抵抗を追加すると、他の電圧の組み合わせが可能になります。

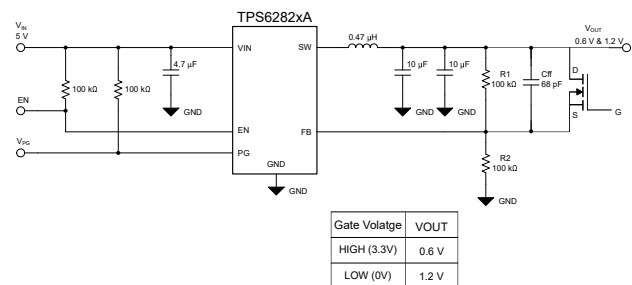


図 2. TPS62826A を使用した DVS のアプリケーション例

TPS6282x には 2 種類のバージョンがあります。第 1 のバージョンにはパワーセーブ モードがあり、自動的にこのモードに移行して、非常に軽い負荷までの範囲で高い効率を維持し、システムのバッテリー動作時間を延長します。第 2 のバージョンは、出力電圧のリプルを最小限に抑え、スイッチング周波数をほぼ一定に保つため、連続導通モードを維持する強制 PWM で動作します。

動的電圧スケーリング (DVS) では、出力コンデンサの急速かつ制御された放電を維持するために、高出力電圧から低出力への遷移中に強制 PWM 動作が必要です。電圧を降圧するときは、負のインダクタ電流をローサイド MOSFET 経由で GND に、ハイサイド MOSFET を経由して VIN にシンクすることで、出力コンデンサに蓄積されている過剰な電荷をアクティブに除去する必要があります。

強制 PWM でないモード (PFM または DCM) では、実際の出力電圧が帰還回路と内部リファレンス電圧で設定された目標出力よりも高いと、コンバータはスイッチングを停止します。これにより、出力コンデンサを放電するための低インピーダンスパスが残されず、寄生抵抗または負荷電流に依存する電圧減衰が低速になります。強制 PWM は連続導通を維持することでこの事態を回避し、専用の放電パスを確保して同期整流器を確実にアクティブ状態に維持します。

単純な N チャネル MOSFET (SI1300BDL) を上側帰還抵抗 (R1) と並列に接続して、動的電圧スケーリング (DVS) を有効にします。3.3V のゲート駆動 (GND を基準とする) が印加されると、MOSFET がオンになり R1 が短絡して、帰還ノードがリファレンス電圧 (0.6V) に強制的に制御されます。電圧遷移中に制御ループの安定性を維持し、急激なインピーダンス変化を補償し、過渡発振を緩和するためには、R1 の両端のフィードフォワードコンデンサ (CFF) が重要になります。

フィードフォワードコンデンサ (CFF) の値は、遷移速度とループ安定性のバランスを取るため、ベンチテスト中に経験的に調整する必要があります。値が小さすぎるとアンダーシュート/リングングが発生し、値が大きすぎると応答が遅くなります。最適な選択は、コンバータのクロスオーバー周波数、負荷ステップ特性、DVS 遷移時の過渡挙動によって異なります。

図 3 に、5V 入力電圧、0A 負荷電流、68 pF CFF での TPS62826A の DVS 動作を示します。

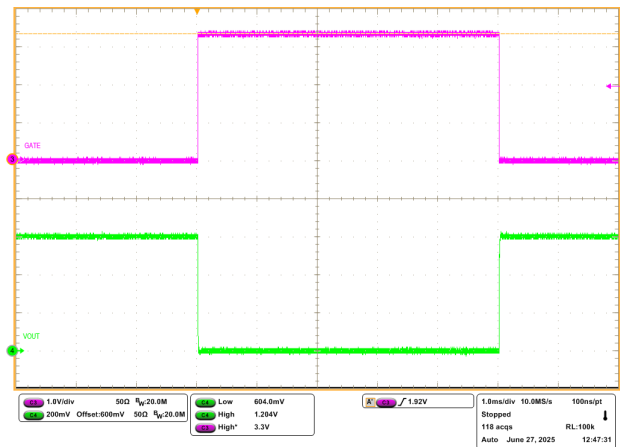


図 3. TPS62826A DVS

図 3 に DVS 動作を示します。3.3V ゲート駆動信号 (立ち上がり/立ち下がり時間 10ns) が N チャネル MOSFET に適用されるときに、出力電圧がデフォルトの 1.2V からフィードバック制御スタンバイ電圧 (0.6V) に低下します。

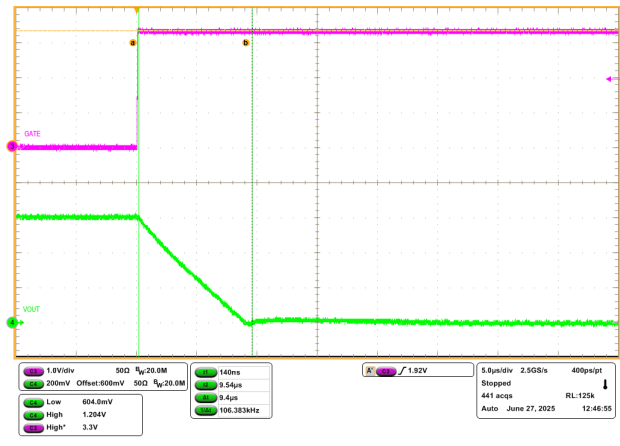


図 4. TPS62826A DVS (VOUT 立ち下がり遷移)

図 4 (VOUT 立ち下がりエッジズーム) は、10 μ s 以内の 1.2V から 0.6V への出力電圧の遷移を示しています。この時間は、出力コンデンサの放電中のローサイド FET の負電流制限に依存します。

図 5 (VOUT 立ち上がりエッジズーム) は、20 μ s 以内の 0.6V から 1.2V への出力電圧の遷移を示しています。出力コンデンサを新しい出力電圧まで充電するためのこの遷移時間は、CFF と制御ループ帯域幅によって決まります。

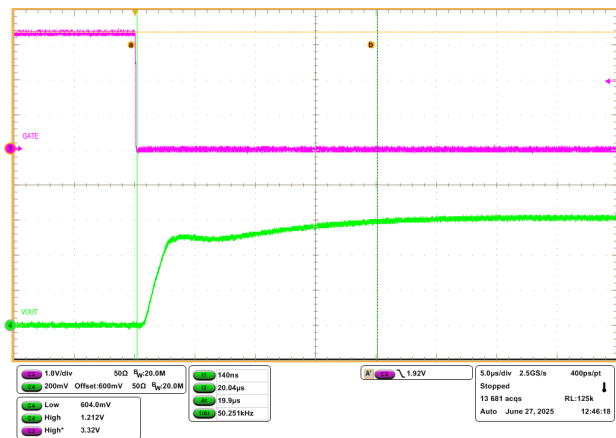


図 5. TPS62826A DVS (VOUT 立ち上がり遷移)

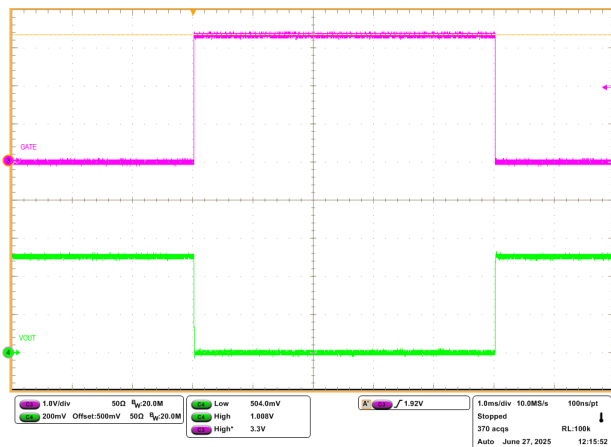


図 7. TPS628303 DVS

TPS62830x を使用した DVS の実装

TPS62830x には、TPS6282x と異なりデバイスの動作モードを制御する MODE ピンがあります。このピンを Low にプルすると、デバイスは PSM/PWM モードで動作し、High になると強制 PWM モードで動作します。デバイスの動作中にモード ピンを切り替えることもできます。

TPS62830x ファミリーは、フィードバックが VOUT に直接接続されている場合、0.5V の出力電圧をネイティブでサポートします。フィードバック ネットワークを使用した DVS 用の TPS628303 の回路図を図 6 に示します。

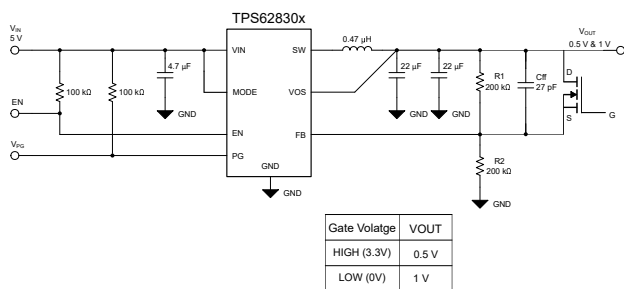


図 6. TPS628303 を使用した DVS のアプリケーション例

TPS62830x には内部フィードフォワード コンデンサが統合されているため、一般的なアプリケーションでは外部 Cff が不要になります。ただし、帰還回路調整を介して動的電圧スケーリング (DVS) を実装する場合、Low から High への電圧遷移 (0.5V ~ 1V) 中のオーバーシュートを防止するため、小型の外部フィードフォワードコンデンサが必要です。

図 7 に DVS 動作を示します。3.3V ゲート駆動信号 (立ち上がり/立ち下がり時間 10ns) が N チャネル MOSFET (SI1300BDL) に適用されるときに、出力電圧がデフォルトの 1V からフィードバック制御スタンバイ電圧 (0.5V) に低下します。

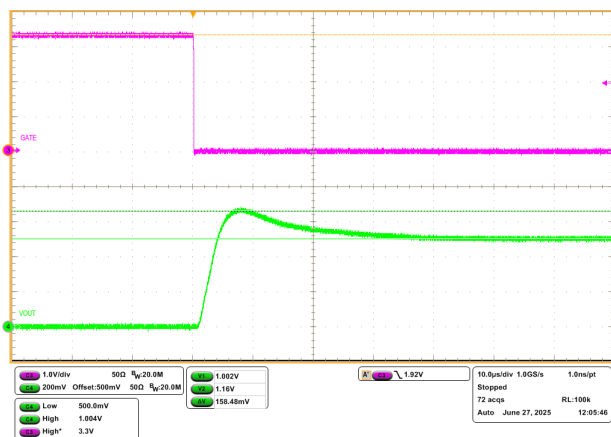


図 8. TPS628303 フィードフォワードコンデンサなしの DVS (CFF)

図 8 (VOUT 立ち上がりエッジズーム) は、外部フィードフォワードコンデンサ (Cff) なしで 0.5V から 1V への出力電圧の回復を示しています。遷移は約 4µs で完了しますが、160mV の過電圧が発生します。対照的に、図 9 は、10µs の最適な遷移時間を維持しながらオーバーシュートを排除し、上側帰還抵抗 (R1) 間に小型外部 Cff (27pF) を追加した後の同じ電圧遷移を示しています。

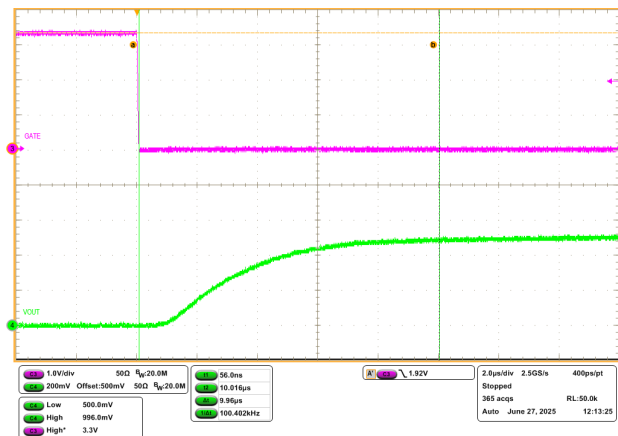


図 9. TPS628303 フィードフォワードコンデンサ (CFF) 付き DVS

TPS628303 は、出力電圧センス (VOS) 専用パスで過渡応答を改善しているため、TPS62826A に比べて遷移時間が短くなっています。専用 VOS ピンに加えて、帯域幅、補償など他の要因も TPS62830x のループ応答に影響を及ぼします。

TPS62830x – デュアル ソース パッケージ

TPS62830x デバイス ファミリーは、レイアウト互換の 2 種類のパッケージで供給されます (QFN と SOT583)。設計フェーズで検討すると、図 10 のように、基板設計者は両方のパッケージ フットプリントを重ねることができます。このオーバーラップにより、パッケージを切り替えて、電源の潜在的な問題を緩和できるフレキシビリティが得られます。

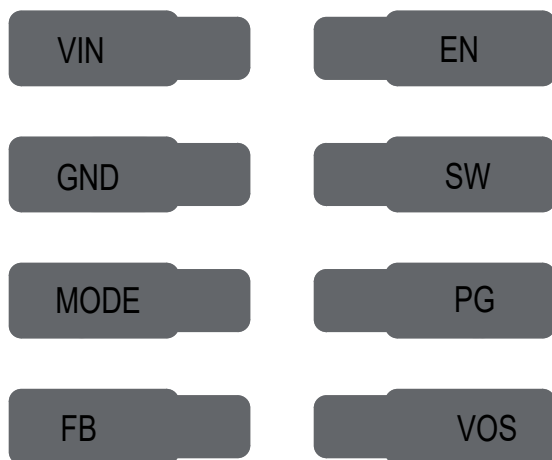


図 10. オーバーラップした QFN と SOT583 のフットプリント

商標

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用される テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツ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 © 2025, Texas Instruments Incorporated