

Application Brief

LM51772 での MODE 機能を使用した逆電流動作の実装



Hassan Jamal

はじめに

LM51772 は、MODE 機能により逆電流動作 (RCO) をサポートするように設計された、4 スイッチの昇降圧コントローラです。この機能により、コンバータは出力に過剰なエネルギーを蓄積できるため、エネルギー回収やバックアップ電源が必要なアプリケーションで非常に貴重です。一般的な使用例としては、モーターの制動時における回生エネルギーの回収や、主電源が停電した際のバッテリー バックアップ システムなどがあります。

このアプリケーション ブリーフでは、LM51772 で RCO 動作を有効にするために使用する MODE ピン制御の実装について説明します。このブリーフでは、MODE ピンは、単純なコンパレータ回路で構成されたヒステリシス コントローラによって駆動されます。出力電圧が定義されたスレッシュホールドを超えると、コントローラは RCO を有効にします。LM51772 では、帰還 (FB) 電圧がデバイスのリファレンス電圧 (V_{ref}) を下回ると RCO は自動的に無効になります。つまり、正常に動作させるためにヒステリシス制御は厳密には必要ありません。ただし、RCO の動作を安定させるためにヒステリシス MODE 制御を必要とする LM5177 および LM51770 デバイスとの設計互換性を維持するために、この実装にはヒステリシスコントローラが搭載されています。

LM51772 デバイスでは、R2D インターフェイスまたは I²C インターフェイスにより、RCO を構成できます。RCO の詳細な構成オプションについては、『LM51772 を使用したバッテリーまたはコンデンサ バックアップ動作』で説明されていますが、この概要では I²C インターフェイスを使用した RCO の構成に焦点を当てています。

MODE の機能

LM51772 デバイスは、パワーセーブ モード (PSM) と強制 PWM (FPWM) モードの 2 つの動作モードを備えています。これらのモードの詳細は、『LM51772 I2C インターフェイス搭載 55V 4 スイッチ昇降圧コントローラ』で詳しく説明されています。逆電流動作は、デバイスが FPWM モードで構成されている場合のみサポートされます。これらのモード選択は、MODE ピンによって制御されます。MODE ピンの電圧が正方向のスレッシュホールド (V_{T+MODE}) を上回ると、デバイスは PSM から FPWM モードに遷移し、RCO を有効にします。

RCO を開始するには、『LM51772 を使用したバッテリーまたはコンデンサ バックアップ動作』で詳しく説明されているように、表 1 に記載されている構成設定を適切に適用する必要があります。対応するピン接続を図 1 に示します。出力電源またはエネルギー ソースがリファレンス スレッシュホールド (V_{REF}) を超えて帰還 (FB) 電圧を上昇させると、MODE ピン制御により出力電圧の上昇が検出され、MODE ピンが V_{T+MODE} スレッシュホールドより高い電圧で High に駆動されます。この動作により、LM51772 デバイスは、コンバータの入力に接続されているストレージ素子に過剰な出力エネルギーを伝送できるようになります。

表 1. LM51772 デバイスのピン構成

MODE ピン	V_{T+MODE} スレッシュホールドを上回る
フィードバックピン (FB)	V_{ref} スレッシュホールドを上回る
nRST ピン	$V_{T+ (nRST)}$ スレッシュホールドを上回る
UVLO ピン	出力または外部電源に接続
BIAS ピン	出力または外部電源に接続
VDET	オフにする (入力ストレージ素子の電圧が VDET 正方向スレッシュホールドを下回っている場合)

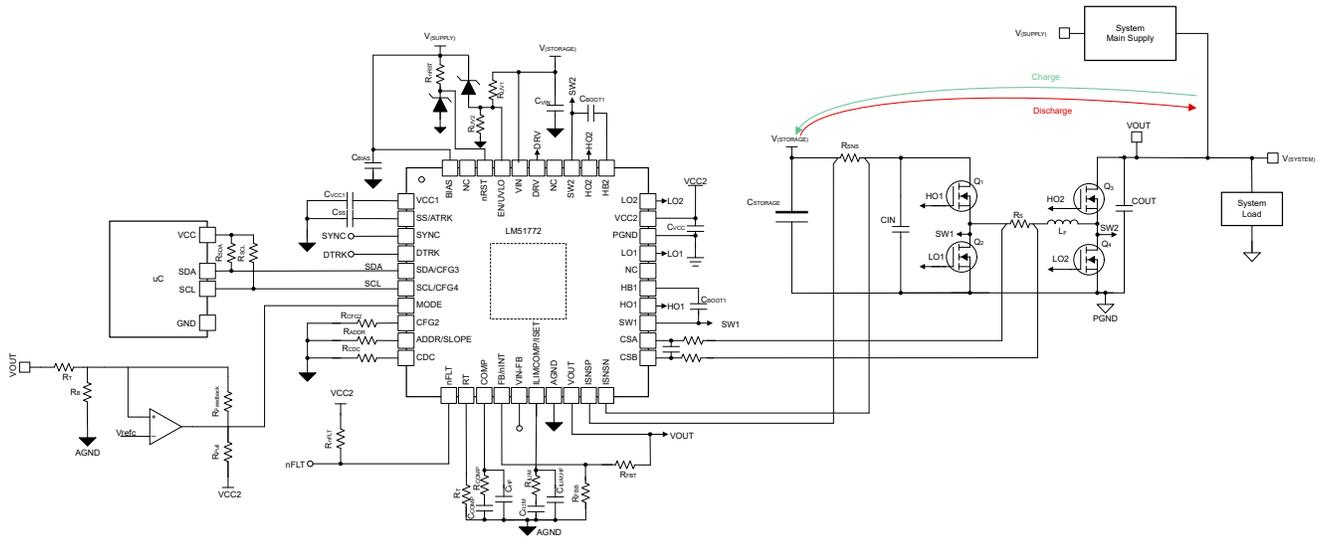


図 1. I²C 構成を介した RCO の回路図

表 1 の構成が完了し、MODE ピンの電圧が High になると、LM51772 は RCO 動作を有効にし、平均電流調整ループを通じて一定の負電流を調整します。この平均負電流の大きさは、ISNSx 入力ピンに接続された電流センス抵抗と、I²C インターフェイスによりプログラムされた平均電流リミッタ設定によって決定されます。

これらの設定は、LM51772 の内部 DAC、特に IMON_LIMITER_EN ビットと EN_NEG_CL_LIMIT ビットを使用して MFR_SPECIFIC_D0 レジスタをプログラムすることで変更できます。また、安定した平均電流制限動作を確認するため、ILIMCOMP ピンに接続された補償ネットワークが必要です。または、LM51772 の I_{SET} ピンの R2D インターフェイス経由で、平均電流リミッタを構成することもできます。このトピックについては、『LM51772 を使用したバッテリーまたはコンデンサバックアップ動作』で詳しく説明しています。

RCO が開始されると、デバイスはストレージ電圧が入力電圧レギュレーション (IVR) スレッショルドに達するまで、一定の負電流でストレージ素子を充電し続けます。この時点で、制御は IVR ループに遷移し、入力電圧をプログラムされた設定点に調整します。IVR 機能の詳細な構成ガイドラインについては、『LM51772 を使用したバッテリーまたはコンデンサバックアップ動作』を参照してください。

MODE ピン制御

MODE ピンの正確なトリガを確認するには、出力電圧 (V_{OUT}) に $\pm 250\text{mV}$ の小さなヒステリシスを印加します。これにより、上限スレッショルド $V_{\text{OUT (H)}} = V_{\text{OUT}} + 250\text{mV}$ 、下限スレッショルド $V_{\text{OUT (L)}} = V_{\text{OUT}} - 250\text{mV}$ が生成されます。出力電圧が上昇し、上限スレッショルド $V_{\text{OUT (H)}}$ に達すると、コントローラは MODE ピンを $V_{\text{T+MODE}}$ スレッショルドより高く駆動し、RCO を開始します。RCO が開始されると、それ以降の MODE ピンの状態の変化に関係なく、動作が継続されます。

RCO を終了するには、デバイスの出力電圧 (帰還信号 (FB) で表されます) がリファレンス電圧 (V_{REF}) スレッショルドを下回る必要があります。この状態は、コンバータ出力に接続された電源が消耗し、V_{out} が低下し始めた場合にのみ発生します。LM51772 の場合、この場合、V_{OUT (L)} スレッショルドが I²C インターフェイス経由でプログラムされた V_{out} と等しくなる必要があります。この条件が満たされていない場合、MODE ピンは負方向スレッショルド (V_{T-MODE}) を下回らず、コンバータは FPWM モードに保持されます。

これに対して、その他の LM5177x デバイスでは、MODE 信号が V_{T-MODE} スレッショルドを下回ると、RCO はただちに終了します。このようなデバイスでは、V_{OUT (L)} レベルは、帰還信号や V_{REF} スレッショルドとは無関係に選択できます。]

ヒステリシス コントローラ

すでに説明したように、LM51772 は MODE ピン制御に V_{OUT (L)} スレッショルドを必要としません。これは、FB 信号が V_{REF} スレッショルドを下回ったときのみ、RCO が終了するためです。その結果、LM51772 の MODE ピン制御には、ヒステリシスのないシンプルなコンパレータ回路を使用できるようになります。

しかし、LM5177 や LM51770 などの他のデバイスでは、RCO が適切に動作していることを確認するために、MODE ピンにヒステリシスが必要です。これらのデバイスをサポートするため、この設計にはヒステリシスコントローラが実装されています。このコントローラは、オープンドレインのコンパレータ (TLV3401) と正帰還ネットワーク抵抗を使用して、必要なヒステリシスを生成します。図 2 に実装されたヒステリシスコントローラの回路図を示します。

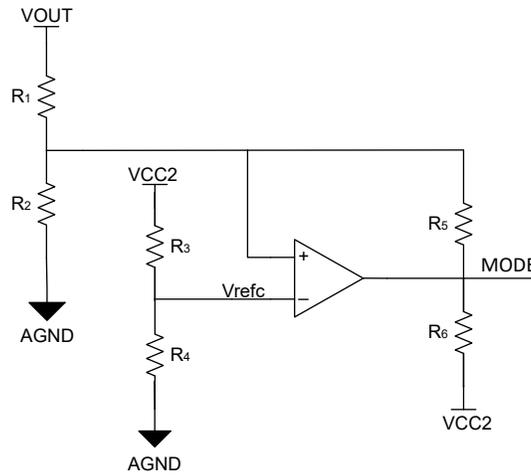


図 2. ヒステリシス コントローラ

コントローラは、非反転入力信号を、コンパレータの反転入力に印加されたリファレンス電圧 (V_{refc}) と比較します。非反転入力電圧が反転入力電圧を超えると、コンパレータの出力は High に移行します。それ以外の場合、入力電圧は Low に維持されます。非反転入力に印加される信号は、ヒステリシスの大きさを設定する抵抗 R_5 で定義される正帰還信号と、 R_1 と R_2 で形成される抵抗分圧器で決定される出力電圧の積の 2 つの要素で構成されています。式 1 を使用して目的の V_{refc} 値を計算し、式 2 と式 3 は V_{OUT} を基準としてそれぞれ上限 / 下限のヒステリシス スレッショルド $V_{OUT(H)}$ と $V_{OUT(L)}$ を決定します。

$$V_{refc} = \frac{R_4}{R_4 + R_3} * V_{CC2} \quad (1)$$

$$V_{out(H)} = \frac{V_{refc} * (R_2 R_5 + R_1 * (R_5 + R_2))}{R_2 R_5} \quad (2)$$

$$V_{out(L)} = \frac{R_1 * (V_{refc} * (R_6 + R_5) - R_2 * (V_{CC2} - V_{refc}))}{R_2 * (R_6 + R_5)} + V_{refc} \quad (3)$$

この設計では、 V_{OUT} を 21.75V に設定し、上限および下限スレッショルドを定義するために 250mV のヒステリシスが適用されます。その結果、 $V_{OUT(H)} = 22.25V$ 、 $V_{OUT(L)} = 21.75V$ になります。リファレンス電圧 V_{refc} は 2.5V に、電源電圧 V_{CC} は 5V に設定されます。これらのパラメータに基づき、抵抗 $R_1 \sim R_6$ の値は $R_1 = 102k\Omega$ 、 $R_2 = 13k\Omega$ 、 $R_3 = 102k\Omega$ 、 $R_4 = 102k\Omega$ 、 $R_5 = 1.07M\Omega$ 、および $R_6 = 20k\Omega$ のように計算されます。

結果

図 3 は、出力電圧が $V_{OUT(H)}$ スレッシュホールドを超えると RCO が開始されることを示しています。この時点で、コンパレータは MODE ピンを V_{T+MODE} スレッシュホールドより高く駆動し、RCO が有効になります。コンデンサを使用して実装したストレージ素子は、電圧が入力電圧レギュレーション (IVR) スレッシュホールドに達するまで、定電流によって充電され、その後 12V に調整されます。図 4 は、MODE ピンが V_{T-MODE} スレッシュホールドを下回っても、RCO 動作が変化しないことを示しています。図 5 は、MODE ピンが V_{T+MODE} スレッシュホールドを上回っている間に帰還信号が V_{ref} スレッシュホールドを下回ると、RCO が無効化されることを示しています。図 6 は、帰還信号が V_{ref} スレッシュホールドを下回ると、 $V_{out(L)}$ が設定出力電圧と等しくなるため、MODE ピンが V_{T-MODE} スレッシュホールドを下回ること示しています。

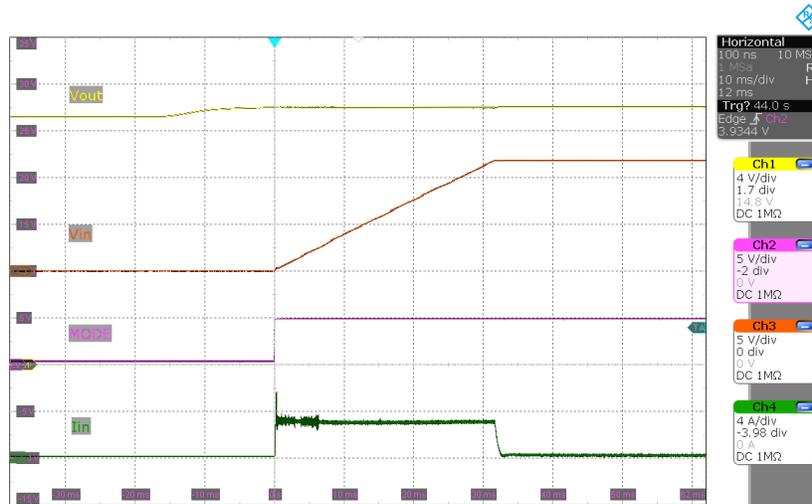


図 3. V_{T+MODE} スレッシュホールドを上回る MODE ピン

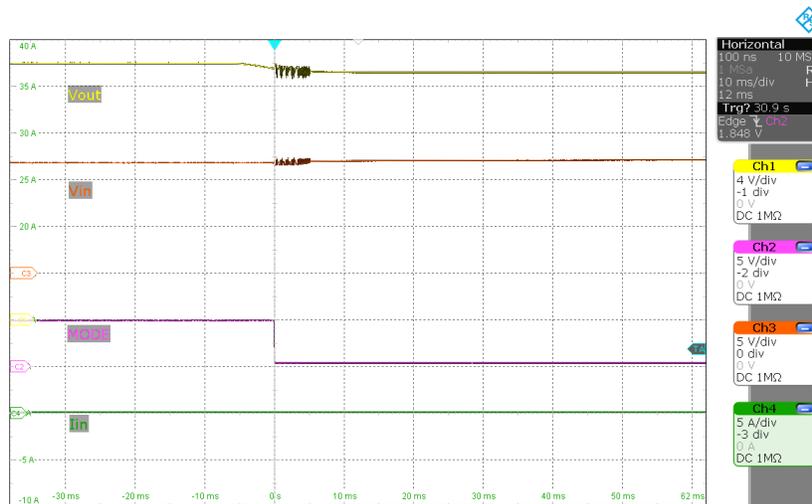


図 4. RCO 中に V_{T-MODE} スレッシュホールドを下回る MODE ピン

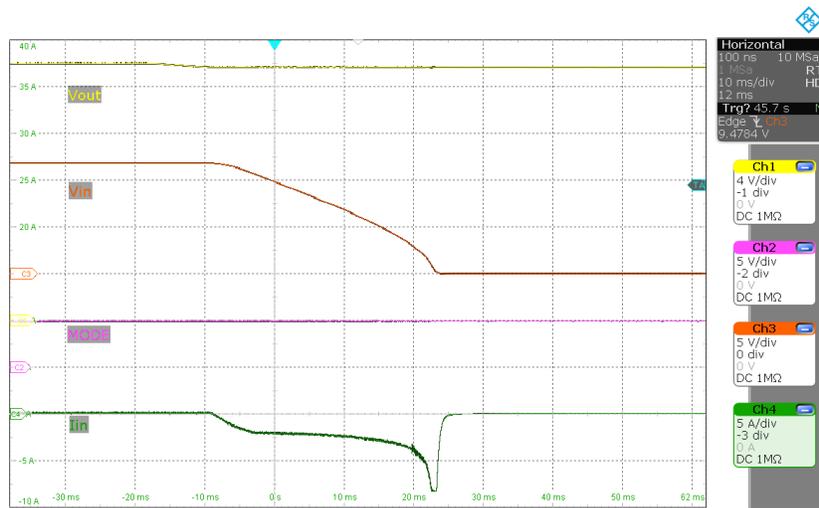


図 5. V_{ref} 信号未満の帰還信号 ($V_{out} < V_{out(L)}$)



図 6. MODE ピン電圧が V_{T-MODE} スレッショルド未満、 V_{out} 信号が $V_{out(L)}$ スレッショルド未満

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](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[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