

Application Note

スマート e メーターで eFuse を使用したラッチ リレーの駆動



Sailendra, Harmeet Singh, Rakesh Panguloori

概要

リアルタイムの電力消費量を監視し、顧客への電力供給をリモートで接続または切断する機能は、スマート e メーターの基本的な機能です。電力事業者は、緊急時や安全上の差し迫った懸念への対応、料金の未払い、あるいはプリペイド式スマートメーターにおける料金チャージ後の供給再開などの理由で、スマートメーター内のラッチ リレーをリモートで操作して電気サービスの接続や切断を行います。このアプリケーション ノートでは、リレー動作中にソースから電力を供給できるように eFuse を使用する方法を説明します。これにより、ホールドアップに必要なエネルギー量が低減され、その結果、ホールドアップ コンデンサのサイズを縮小できます。また、このドキュメントでは、eFuse を使用することによる性能上の利点を示す設計および測定結果も提示しています。

目次

1 概要.....	2
2 従来型の RC 回路をベースとした設計.....	4
3 eFuse を採用した設計案.....	6
4 比較の概要と結論.....	10
5 参考資料.....	11

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

スマート e メーターの技術的な進歩により、高度な検針、需要に応じた料金設定、および管理用顧客向け表示機能の実現が可能になりました。これらの機能を運用するにあたっては、スマート e メーターの形状を維持しつつ、電力網からの消費電力を低く抑える必要があります。

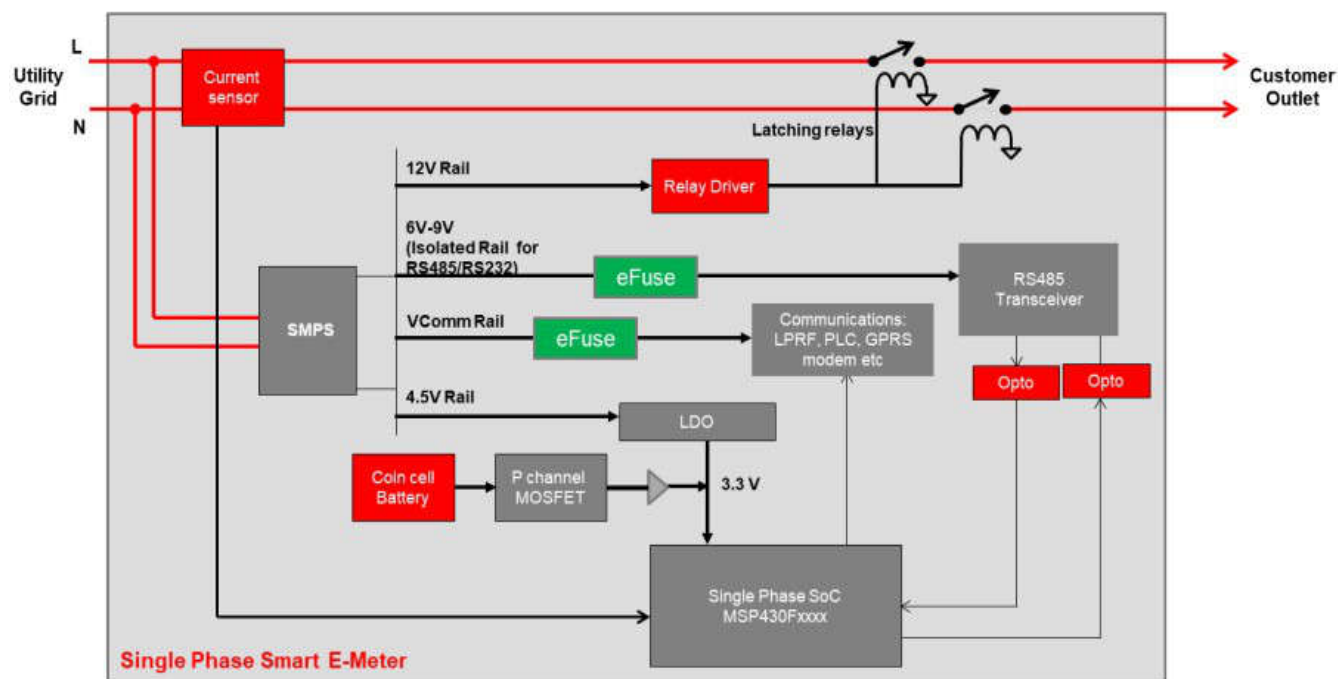


図 1-1. 単相スマート e メーターのブロック図

スマート e メーターは、図 1-1 に示すように、計測コア、中央プロセッサ、通信モデム、ラッチ リレーなど複数の内部モジュールを動作させます。標準的な動作は最小限の連続電力で済みますが、e メーターはワイヤレス データ送信時や、リレーの機械的ラッチ時に大きな電力を必要とします。スマート e メーターの電力要件を定量化する前に、ラッチ リレーの動作を理解しておくと便利です。ラッチ リレーの動作とそれに関連する電力要件を以下に示します。

ラッチ リレーは、電力事業者が緊急時や安全上の差し迫った懸念への対応、料金の未払い、あるいはプリペイド式アカウント (プリペイド式 e メーター) における料金チャージ後の供給再開などの理由で、電気サービスをリモートで接続 / 切断するために使用します。リレーは、電気サービスを接続および切断するために電流パルスを必要とします。この間、接続および切断イベントリレーはピーク電力を消費します。消費電力の詳細な分析を以下に示します。

- 通常、スマート e メーターでは 12V コイルのラッチ リレーを使用します。
- このようなリレーの電力要件は、単相スマート e メーターでは 100ms で 3W ~ 6W、3 相スマート e メーターでは 100ms で 4.5W ~ 9W の範囲です。
- パルス持続時間の要件は、リレー メーカーによって 50ms ~ 100ms の間で変動します。

Ivy Metering からの IM901 リレーの仕様は、表 1-1 に示されています。

表 1-1. IVY メーター IM901 リレーの仕様

公称コイル動作電圧 (V)	最小動作電圧 (V)	単一コイルの抵抗 (Ω)
6V	0.2V	24Ω
9V	6.3V	54Ω
12V	8.4V	96Ω
24V	16.8V	384Ω
48V	33.6V	1536Ω

一般的なスマート e メーターでは、通信モデムとラッチ リレーが重要な電力消費部品です。一般的な通信モデムとラッチ リレーは、それぞれ 8W と 6W のピーク電力を消費します。したがって、これらの負荷のピーク電力要件の合計は 14W です。

このピーク電力要件に対処するには、次の 2 つの方法があります。

1. オプション 1: カスタマイズされた 15W SMPS 設計

このアプローチでは、全ピーク電力要件を直接満たすように電源が設計されています。この設計では、15W スイッチ モード電源設計を採用する必要があります。この設計では、通常 EE22 ベースのトランス、2 個の 68 μ F 400V バルク コンデンサを直列接続しています。これにより、EMI フィルタが大型化し、PCB のサイズとコストが増加します。

2. オプション 2: 標準的な 11W SMPS 設計

このアプローチでは、電源の容量は平均負荷に合わせて選定され、リレー動作時のピーク エネルギーはホールドアップ コンデンサによってサポートされます。

サイズと費用対効果の面から、メーカーはオプション 2 を好みます。これらについては次のセクションで説明します。

2 従来型の RC 回路をベースとした設計

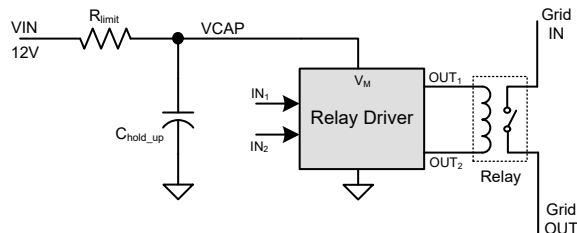


図 2-1. 従来型の RC 回路をベースとした設計のブロック図

この従来型の RC ベースの実装では、ラッチ リレーのピーク電力要件は、ホールドアップ コンデンサ「 C_{hold_up} 」と電源の両方から供給されます。図 2-1 に示すように、直列抵抗「 R_{limit} 」($22\Omega \sim$ 約 100Ω) を介して「 C_{hold_up} 」コンデンサを電源に接続し、突入電流を制限します。

代表的な単相スマート e メーターの場合：

- 公称電源電圧 = 12V
- リレー コイルの抵抗 = $96/2 = 48\Omega$
- パルス幅 = 50ms
- リレー動作電圧範囲 = 12V $\sim$ 8.4V
- $R_{limit} = 100\Omega$ により、突入電流を 120mA に制限

50ms のラッチ期間中は、コンデンサがリレーに必要なエネルギーを供給する間、コンデンサの両端の電圧が低下します。ラッチを確実に動作させるには、リレーの両端の電圧 (コンデンサの両端の電圧と等しい) が動作電圧範囲内にある必要があります。ラッチ動作を確実に完了させるには、ホールドアップ コンデンサはリレーで消費されるピークエネルギーをサポートし、またリレー電圧を動作範囲内に維持する必要があります。ラッチを確実に動作させるための最小ホールドアップ コンデンサは、式 1 を使用して計算されます。

$$C_{hold_up} = \frac{t_{pulse}}{\left(\frac{R_C \times R_{limit}}{R_C + R_{limit}} \right) \times \ln \left(\frac{V_{in} \times R_{limit}}{[V_{min} \times R_{limit}] - [V_{in} - V_{min}] \times R_C} \right)} \quad (1)$$

上記の典型的なシナリオでは、ラッチを確実に動作させるために式 1 を使用して計算された 3.3mF のコンデンサを取り付ける必要があります。電源から供給される電力は RC 構成の R_{lim} 抵抗によって制限されるため、ラッチ動作時にリレーへエネルギーを供給するには、通常直径 16mm、高さ 25mm の 3.3mF コンデンサが必要です。この大きなコンデンサは、スペースに制約のあるスマートメーターでかなりのスペースを占有します。3.3mF のホールドアップ コンデンサを使用した従来型の RC 回路のテスト結果を図 2-2 に示します。

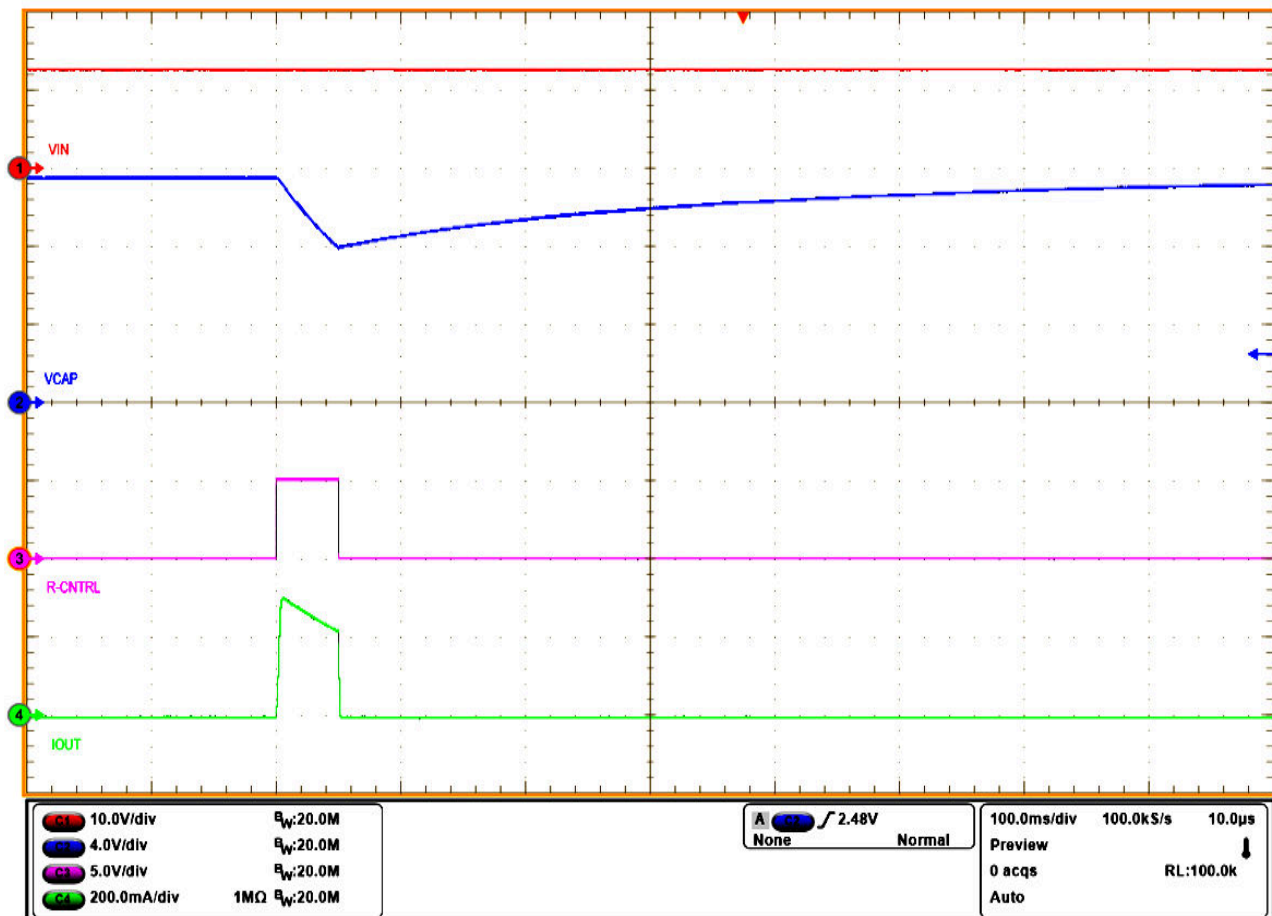


図 2-2. 3.3mF のホールドアップ コンデンサを使用した従来型の RC 回路のテスト結果

したがって、お客様が必要とするのは、以下のような設計です。

- 限られたスペースのエネルギー メーターにおいてボトルネックとなりがちなコンデンサのサイズを、リレーのエネルギー要件を満たしつつ縮小する
- SMPS から利用可能なエネルギーを活用できる
- これらのリレーに電力を供給する 12V レールに過負荷と短絡に対処する保護機能を提供する
- 主電源投入後、5 秒以内に e メーターを完全に動作可能な状態にする必要がある。したがって、ホールドアップ コンデンサの充電時間は 5 秒未満である必要がある

3 eFuse を採用した設計案

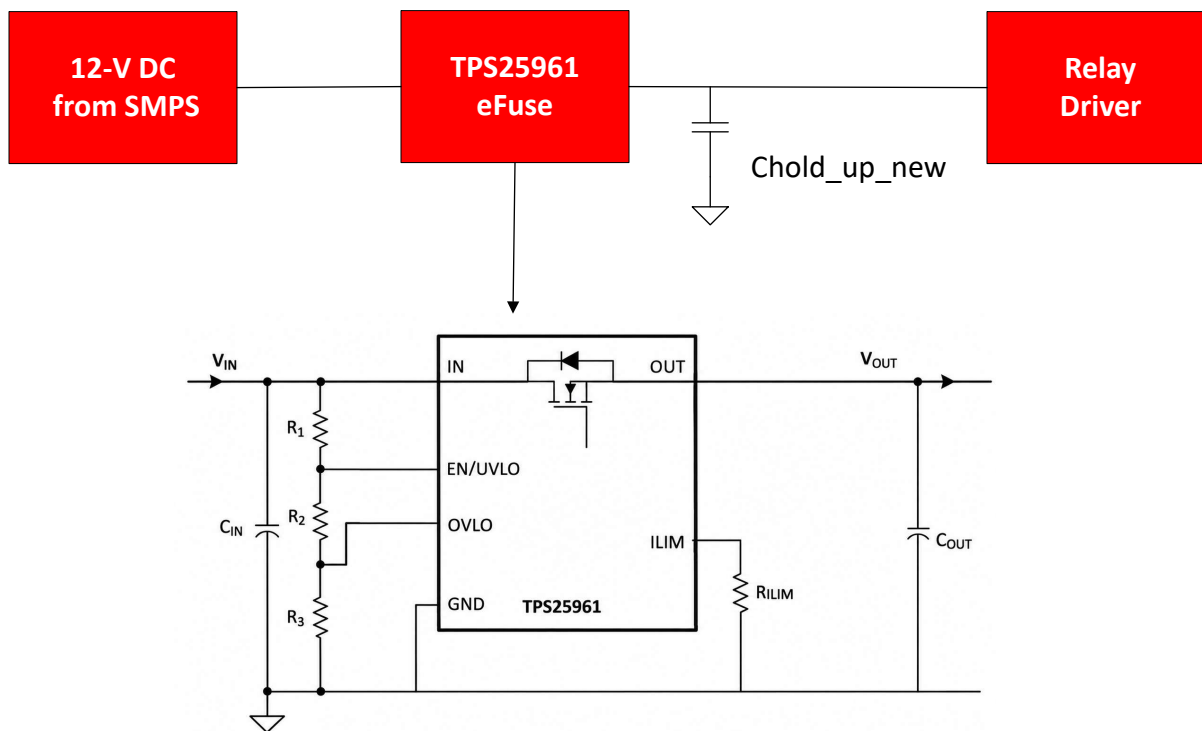


図 3-1. eFuse ベース設計のブロック図

図 3-1 に示すように、この設計案では R_{LIM} 抵抗を eFuse に置き換えます。電源電流が R_{LIM} によって制限される従来型の RC ベースの設計とは異なり、eFuse では $ILIM$ ピンにより電流制限をプログラムできます。電流制限が高いほど、電源はラッチ中により多くのエネルギーを供給できるため、必要なホールドアップ静電容量を低減できます。

必要なホールドアップ容量は式 2 を使って計算できます。

$$C_{hold_up_new} = \frac{t_{pulse}}{R_C \times \ln \left(\frac{V_{in} - i_{lim} \times R_C}{V_{min} - i_{lim} \times R_C} \right)} \quad (2)$$

代表的な単相スマート e メーターの場合：

- 公称電源電圧 = 12V
- リレー コイルの抵抗 = $96/2 = 48\Omega$
- パルス幅 = 50ms
- リレー動作電圧範囲 = 12V ~ 8.4V

上記の標準的な動作条件下で確実にラッチ動作を行うには、式 2 を用いて算出した、1.5mF のホールドアップ コンデンサが必要です。

eFuse の各電流制限の設定において必要とされる最小ホールドアップ容量を算出し、対応するテスト結果を図 3-2 から図 3-4 に示します。

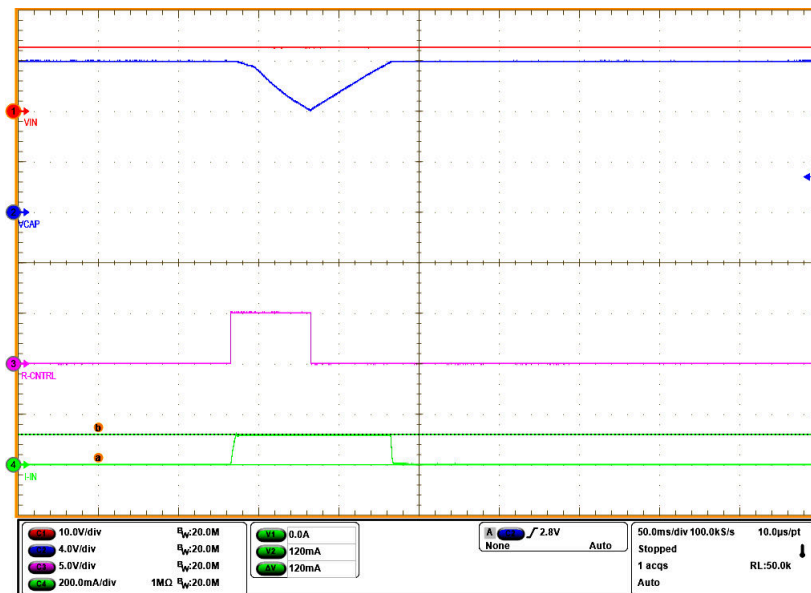


図 3-2. ホールドアップコンデンサ 1.48mF を使用した、固定 ILIM = 120mA のテスト結果

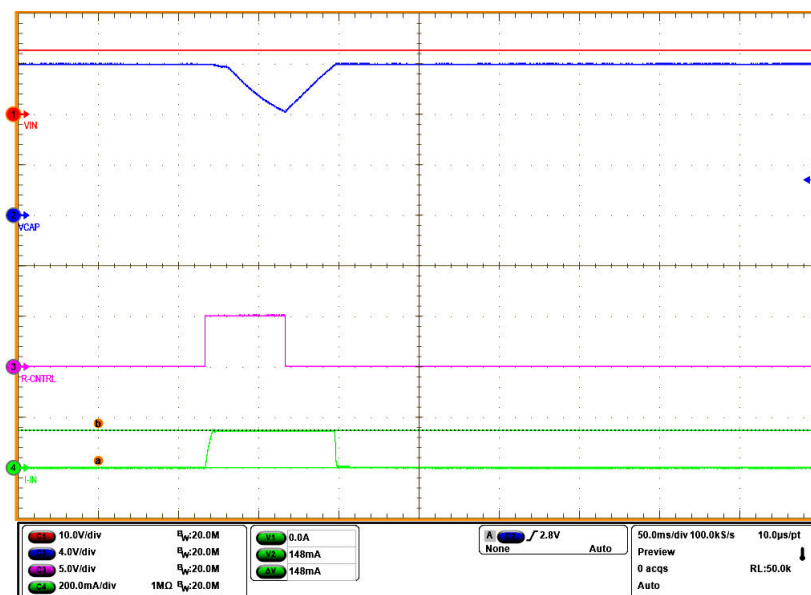


図 3-3. ホールドアップコンデンサ 1.16mF を使用した、固定 ILIM = 150mA のテスト結果

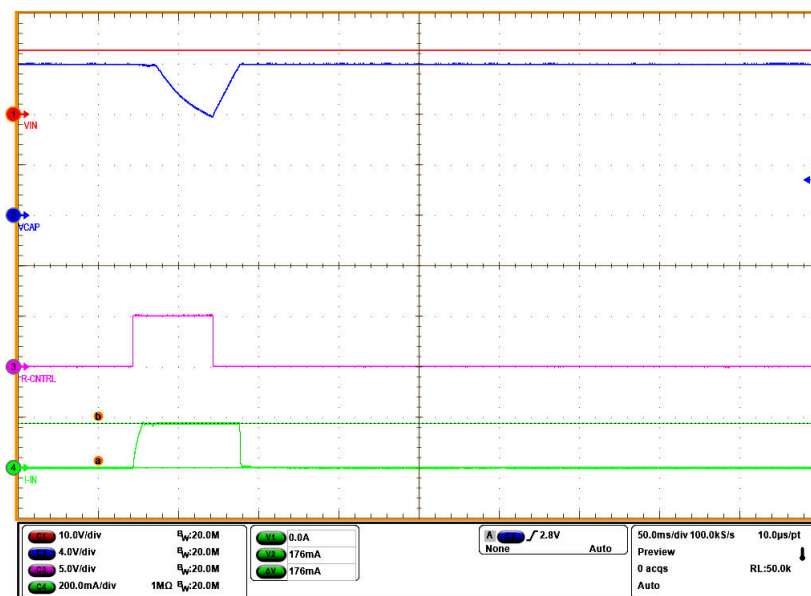


図 3-4. ホールドアップコンデンサ 0.69mF を使用した、固定 ILIM = 180mA のテスト結果

図 3-2 から図 3-4 に示すテスト結果は、電流制限を大きくすると必要なホールドアップ容量が低下することを示しています。したがって、コンデンサのサイズは主にラッチ フェーズ中の電流制限によって決定されます。

動的な電流制限方法により、ラッチ動作時には電流制限値を高く、定常動作時には低く設定することで、コンデンサのサイズと消費電力の両方をさらに最適化できます。これにより、SMPS はラッチ時に利用可能な最大のエネルギーを供給しながら、定常状態で定常電流を低減できます。動的電流の実装については以下に説明し、図 3-5 に示します。

動的な電流制限の実装:

- **電流制限構成:** ILIM ピンは RILIM_startup と RILIM_pulse に接続されており、2 つの電流制限設定を切り換えるために N チャネル MOSFET を使用しています。
- **ラッチ中:** リレーラッチ コマンドを受信すると、マイコンは N チャネル MOSFET をオンにし、RILIM_pulse をイネーブルにして、eFuse をより高い電流制限に設定します。
- **ラッチ後:** マイクロコントローラは MOSFET をオフにし、RILIM_pulse を無効化して、eFuse を RILIM_startup で設定された下限電流制限に戻します。

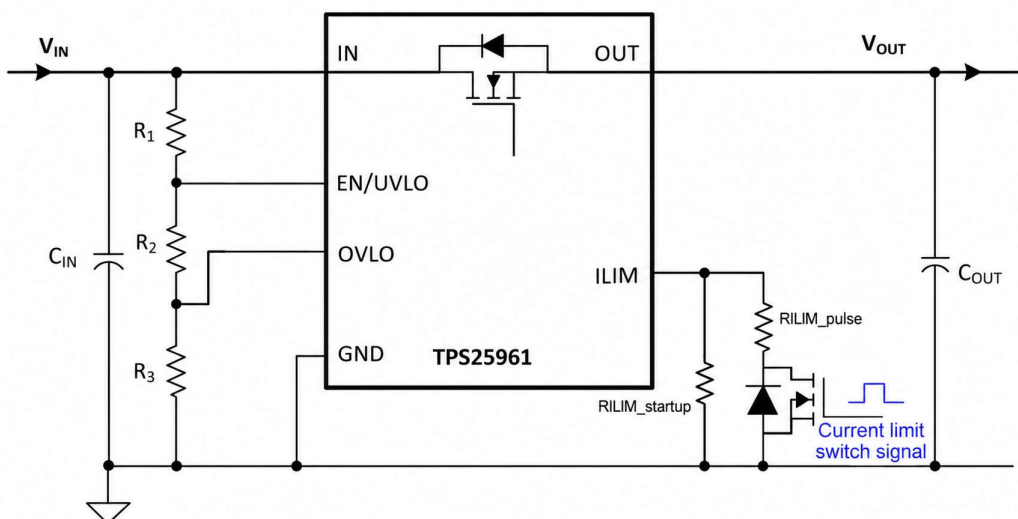


図 3-5. eFuse の動的な電流制限機能回路を使用した設計

動的な電流制限テストは、下限値を 120mA に固定し、上限値を変化させて実施しました。より高い電流制限を有効にするため、N チャネル MOSFET に 5V DC のゲート信号を 50ms にわたって印加しました。50ms 後、各テストで電流制限値は 120mA に戻ります。図 3-6 および図 3-7 に、該当するテスト結果を示します。

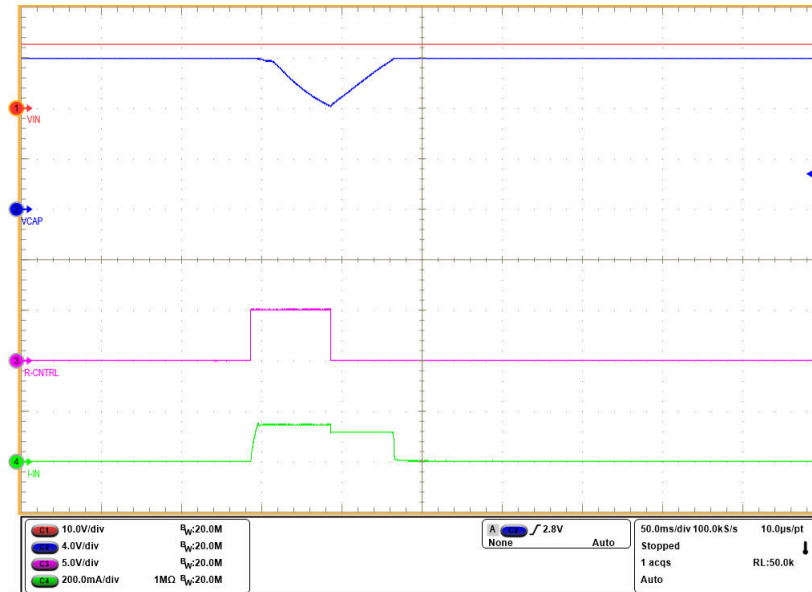


図 3-6. 1.16mF のホールドアップ コンデンサ使用時の動的 ILIM = 150mA のテスト結果

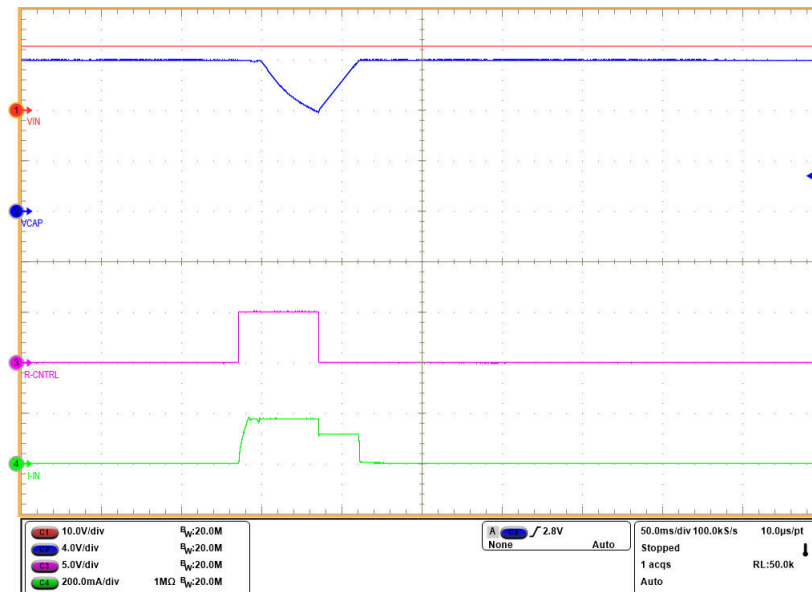


図 3-7. 0.69mF のホールドアップ コンデンサ使用時の動的 ILIM = 180mA のテスト結果

図 3-7 に示すテスト結果に対応する実装回路を検討してください。突入電流制限は 120mA に設定され、ラッチ位相電流制限は 180mA に設定されています。動的な電流制限を使用する場合、必要なホールドアップ コンデンサは 0.69mF となります。これに対し、従来の eFuse を使用しない設計では 3.3mF が必要でした。

4 比較の概要と結論

表 4-1. コンデンサのサイズの比較: 従来型の RC と eFuse ベースの設計の比較

ラッチ フェーズの電流制限 (mA)	従来型の RC ベース設計		eFuse ベースの設計	
	取り付けられたコンデンサ (uF)	コンデンサ サイズ (mm ²)	取り付けられたコンデンサ (uF)	コンデンサ サイズ (mm ²)
120	3300	400	1500	225
150	2200	313	1000	200
180	2200	313	470	125

表 4-1 は、さまざまなラッチ電流制限について、従来型の RC ベースおよび eFuse ベースの設計におけるコンデンサの要件を比較しています。eFuse ベースの設計では、必要なコンデンサ サイズが大幅に縮小されています。また、コンデンサの小型化によるコスト削減分で eFuse の追加コストを相殺できるため、設計全体のコストを削減できます。

eFuse は、パルス負荷時に利用可能な電力を活用することでホールドアップ コンデンサを補完し、所定のバックアップ時間に対して必要とされるコンデンサのサイズを低減します。動的な電流制限により、eFuse はラッチ動作時にはより低い電流制限値で、通常動作時にはより高い電流制限値で動作します。これにより、利用可能な電源を最大限に活用し、ホールドアップ コンデンサの要件をさらに低減できます。また、TPS25961 は、過電圧保護、過負荷、短絡保護機能も搭載しているため、システム全体の保護能力が向上します。

5 参考資料

- テキサス・インスツルメンツ、[TPS25961 調整可能な電流制限機能と短絡保護機能搭載の 2.7V ~ 19V、106mΩ、eFuse](#)、データシート
- テキサス インスツルメンツ、[『TPS25961 設計カリキュレータ』](#)

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](#) 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