

Application Brief

LM74912-Q1 を用いた、広い温度範囲におけるシャントレス短絡保護回路の精度向上



Shiven Dhir, Praveen GD, Abhijeet Godbole

はじめに

車載アプリケーションでは、潜在的な損傷から下流の電子機器を保護するために、堅牢な逆接続保護が不可欠です。車両のバッテリ バスに直接接続されている先進運転支援システム (ADAS) などのシステムは、特にこのような障害の影響を受けやすくなります。この課題に対処するために、電源入力に理想ダイオード コントローラを採用し、外部の N チャネル MOSFET を駆動して低順方向電圧 (V_F) ダイオードをエミュレートします。

システムの消費電力が増加し続ける現状で、従来のショットキーダイオードは熱効率が不十分であり、そのため、消費電力の低減と放熱性能の強化を実現する理想ダイオード設計への置き換えが進んでいます。さらに、負荷電流が大きくなるにつれて、過電流および短絡保護メカニズムを実装することが重要になります。

これらの要件を満たすため、最新の理想ダイオード コントローラは高精度電流検出アンプを統合し、リアルタイムの電流監視と障害保護を実現しています。この統合により、コンパクトなシングル チップ保護設計が実現するため、BOM 数、PCB 面積、設計の複雑さを低減できます。

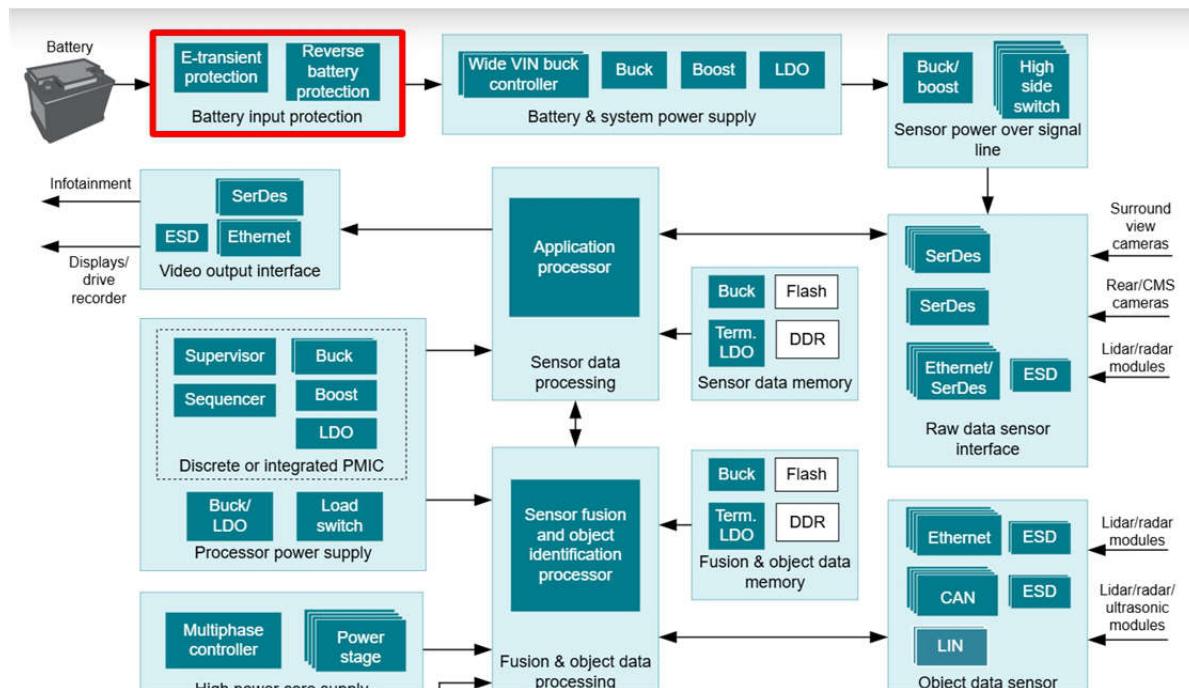


図 1. ADAS ドメイン コントローラ

LM749xx-Q1 理想ダイオード コントローラの概要

LM749xx-Q1 理想ダイオード コントローラ ファミリは、双方方向の外部 N チャネル MOSFET を駆動し、サーキットブレーカ、低電圧および過電圧保護機能により、低損失のパワー パス保護を実現します。入力電源電圧範囲が 3V ~ 65V と広いため、12V および 24V 車載用バッテリ駆動 ECU を保護および制御できます。このデバイスは最低 -65V の負の電源電圧に耐え、この電圧から負荷を保護できます。内蔵の理想ダイオード コントローラ (DGATE) は第 1 の MOSFET を駆動し、逆入力保護および出力電圧保持用のショットキー ダイオードを置き換えることができます。電力パスの第 2 の MOSFET により、HGATE 制御を使用した負荷の切断 (オン / オフ制御) と過電圧保護が可能です。このデバイスには可変過電圧カットオフ保護機能があります。共通ドレイン構成のパワー MOSFET の場合、もう 1 つの理想ダイオードを使用した OR 接続設計のために中間点が利用できます。LM749xx-Q1 の最高電圧定格は 65V です。このファミリには、LM74900-Q1 と LM74912-Q1 の 2 つの主要デバイスがあります。これらのデバイスは、デバイスが短絡保護回路によりどのように保護するかが異なります。

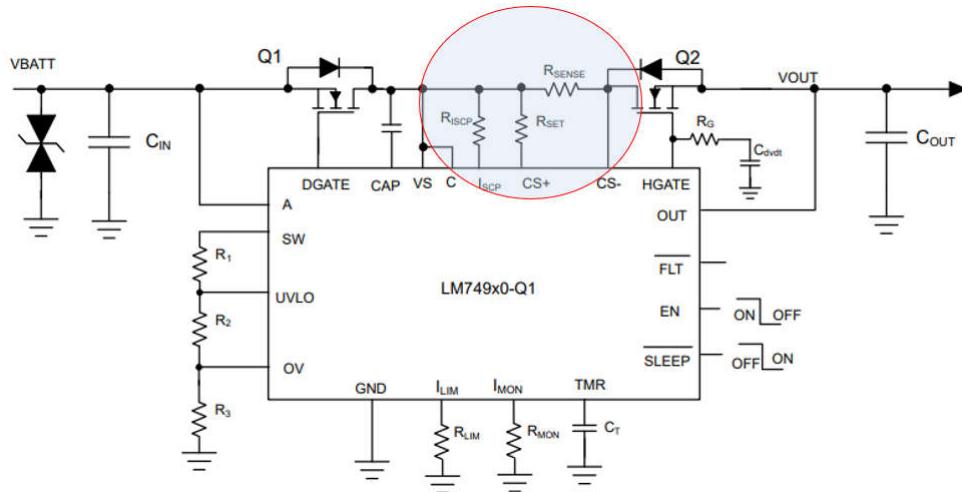


図 2. LM749x0-Q1 の代表的なアプリケーション図

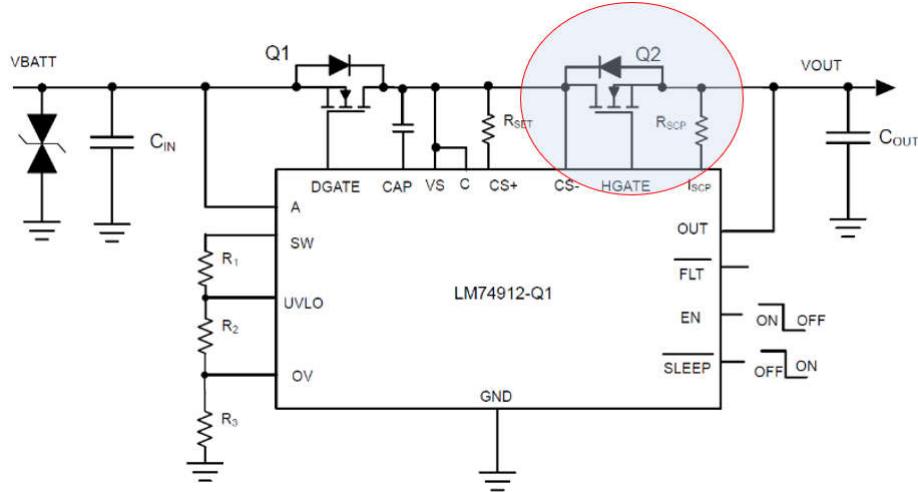


図 3. LM74912-Q1 の代表的なアプリケーション図

図 2 および 図 3 に示すように、LM749x0-Q1 はシャント抵抗を使用して内部電流検出アンプに情報を供給します。一方、LM74912-Q1 は同じ機能に MOSFET V_{DS} を使用します。

シャントは高精度ですが、設計のソリューションのサイズとコストも大きくなります。LM74912-Q1 はこれを解決しますが、MOSFET の特性により、温度によって精度が異なる可能性があります。

LM74912-Q1 を使った短絡に対する保護

LM74912-Q1 には、外部のハイサイド FET と下流の負荷を保護するための高速応答短絡保護メカニズムが内蔵されています。内部の短絡コンパレータは、HGATE-OUT 電圧が 6.4V (標準値) を超えるとアクティブになることで、FET が完全にオンになり、電源投入時の誤検出を回避します。CS+ と ISCP 間の差動電圧によって定義される短絡イベントが 50mV (標準値) を超えて短絡を検知すると、このデバイスは 2μs 以内に HGATE を OUT まで落とすことにより、HFET を素早くオフにしてストレスを抑えます。同時に、FLT ピンが Low にアサートされ障害状態をフラグ付けします。デバイスはラッチオフ状態に移行し、EN、SLEEP、または VS ピンがローからハイへ遷移するまで、Q2 はオフのままになります。

図 4 に示すように、短絡保護スレッショルドは、CS+ ピンからの外付け直列抵抗 R_{SET} または ISCP ピンからの R_{ISCP} を使用して、デフォルトの 50mV スレッショルドから増減できます。 R_{SET} 抵抗はスレッショルドを正の方向にシフトし、 R_{ISCP} 抵抗はスレッショルドを負の方向にシフトします。短絡保護スレッショルドのシフトは、式 1 を使用して計算できます。

$$V_{DS_SNS} = 50mV + (11\mu A \times R_{SET}) - (11\mu A \times R_{ISCP}) \quad (1)$$

ここでは、 V_{DS_SNS} が決定されると、短絡電流スレッショルドは FET の R_{DSon} にも依存します。

$$ISCP = \frac{V_{DS_SNS}}{R_{DSon}} \quad (2)$$

式 2 は短絡電流スレッショルドを表します。

式 2 は FET の R_{DSon} に依存するため、MOSFET の特性は重要です。

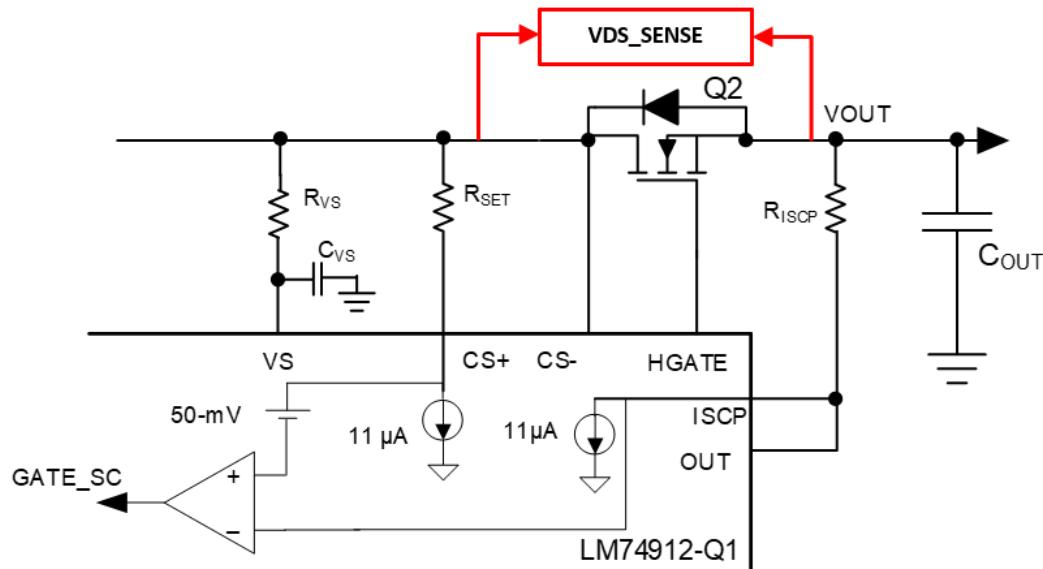


図 4. 短絡保護コンパレータ

MOSFET の依存性

パワー MOSFET のデータシートには、温度係数「 α 」と呼ばれる仕様があり、 R_{DSon} と接合部温度 T_J の関係を説明するために使用されます。MOSFET のドレンソース間オン抵抗 R_{DSon} は通常動作状態では正の温度係数を持ち、ダイの領域全体にわたる平衡電流分布に寄与します。正の係数の場合、ダイの最も高温になる部分の抵抗がより高くなり、流れる電流が減少し、その領域の温度が低下する傾向があります。このメカニズムにより、効果的な負のフィードバックが生成され、最終的に MOSFET の電流平衡が生じます。

$$R_{DSon(TJ)} = R_{DSon(25C)} \times [1 + \alpha \times (T_J - 25^\circ C)] \quad (3)$$

BUK7Y4R8-60E のデータシートでは、温度係数 α は R_{DSon} と接合部温度 T_J の関係を示しています。それは、 R_{DSon} の温度安定性、すなわち R_{DSon} が T_J の影響を受ける度合いを示します。 α が大きいほど、 R_{DSon} に対する温度の影響が大きくなります。MOSFET の抵抗は、式 3 に従って変化します。

さまざまな温度での抵抗値は、式 3 とデータシートのアルファ値の情報から導くことができます。図 5 に関係の一例を示します。

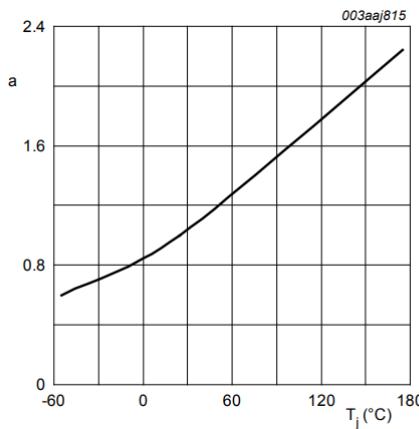


図 5. 温度による BUK7Y4R8-60E MOSFET の温度係数の変動

図 5 は、FET の R_{DSon} が $-40^\circ C$ から $125^\circ C$ まで約 2.5 倍に変化することを示しています。これは、車載用の使用事例でよく見られる過酷な条件下で使用する場合の、コントローラに求められる応答に影響を及ぼします。これにより、短絡保護は表 2 に示すように大きく変動する可能性があります。結果として、より大きな電流量に対応するために、コネクタサイズ、より高密度の銅基板、より大きい電流能力レイアウトの点で設計が過剰となり、設計のコストとサイズが増加します。

スレッショルド変動の低減による短絡保護の安全性向上

温度変化により R_{DSon} の変動が大きくなり、短絡電流スレッショルドに偏差が生じるため、NTC (負の温度係数) と FET で同様の温度変動が観測されるように、FET の近くに負の温度係数の抵抗を追加します。この R_{NTC} は、図 6 に示すように、 R_{ISCP} 抵抗と並列に接続して、コントローラの内部電流ソースと変化する R_{DSon} を組み合わせたときに、オフセット電圧を発生させる必要があります。MOSFET の温度に基づき、SCP スレッショルドを線形化する SCP コンパレータ基準電圧に可変オフセット電圧が加算されます。

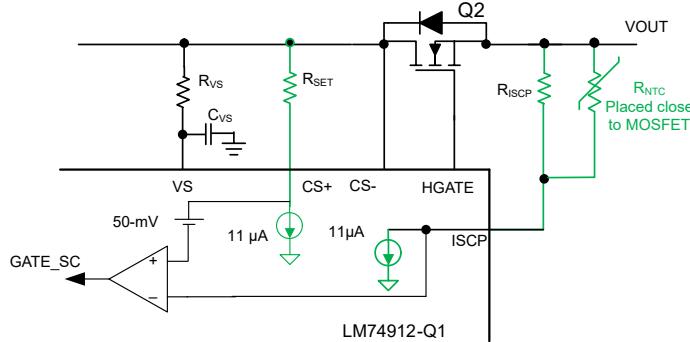


図 6. NTC を追加した代表的なアプリケーション図

動作原理

式 6 に、短絡電流スレッショルドを示します。

$$\frac{V_{DSNS}}{R_{DSon}} = \frac{[50mV + (11\mu A \times RSET) - (11\mu A \times RISCP || RNTC)]}{R_{DSon}} \quad (4)$$

高温 (125°C) では、 R_{NTC} は R_{ISCP} と比較して低インピーダンスであり、 R_{ISCP} 抵抗をほぼ短絡します。このため、電流ソースではオフセットは発生しません。 $RSET$ が短絡電流スレッショルドを決定するための唯一のパラメータです。

$$ISCP@125C = 50mV + 11\mu A \times \frac{RSET}{R_{DSon}@125C} \quad (5)$$

$$ISCP@-40C = 50mV + 11\mu A \times \frac{RSET - RISCP}{R_{DSon}@-40C} \quad (6)$$

温度が低い (-40°C) 場合、 R_{NTC} は R_{ISCP} よりもハイインピーダンスであり、システムのスレッショルドに及ぼす影響は非常に小さく、オフセットは主に $RSET$ と R_{ISCP} によって決定されます。

設計の例

15A の短絡保護スレッショルドを必要とする設計では、部品選定の手順は以下に従う必要があります。

選定された MOSFET: BUK7Y4R8-60E, R_{NTC} : NCU18XH103E60RB

ターゲットとする短絡保護スレッショルド: 15A

表 1 に、部品の目標値を計算するために重要な、温度による MOSFET と R_{NTC} の変動を示します。

表 1. 温度による FET の R_{DSon} と R_{NTC} の変動

温度 (°C)	BUK7Y4R8-60E		NCU18XH103E60RB	
	R_{DSon} (mΩ)	NTC 抵抗, kΩ	R_{DSon} (mΩ)	NTC 抵抗, kΩ
-40	1.885	200		
0	2.61	28		
25	2.9	10		
50	3.48	4		
100	4.64	1		
125	5.365	0.5		

従来のアプローチ

式 1 から、スレッショルドは 2 つの抵抗に依存することは明らかです。そのうちの 1 つは一定に保つことができ、残りの値は式を解くことで求められます。25°C で、このデザイン例では、 R_{ISCP} を 3kΩ の一定に保ち、 $R_{SET} = 2.4kΩ$ になります。

提案するアプローチ

式5から、高温(125°C)時、計算値は $R_{SET} = 2.77\text{k}\Omega$ となります

式6と、計算された R_{SET} 値を使用して、 $R_{ISCP} = 4.7\text{k}\Omega$ となります

LM74912-Q1 を R_{NTC} NCU18XH103F60RB および FET BUK7Y4R8-60E と組み合わせたとき、システムが 15A の短絡電流スレッショルドに設計されている場合、表 1 から、短絡電流スレッショルドは、表 2 に示すように変動する可能性があります。

表 2. 温度による短絡スレッショルドの変動

温度 (°C)	$R_{SET} = 2.4\text{k}\Omega$ 、 $R_{ISCP} = 3\text{k}\Omega$ の場合 (従来の方法)	$R_{SET} = 2.77\text{k}\Omega$ 、 $R_{NTC} = \text{NCU18XH103E60RB}$ (提案する方法)
	I_{SCP} (A)	I_{SCP} (A)
-40	23	15.89
0	16.6	13.87
25	14.96	15.62
50	12.471	16.35
100	9.35	15.38
125	8.08	14.07

性能

図 7 および図 8 に、15A リミット用に設計したときに、従来の方法と提案する方法をそれぞれ使用して 25°C でテストした場合のシステムの過負荷保護性能を示します。図 9 および図 10 に、100°C でテストしたときの、システムの過負荷保護性能を示します。R_{NTC} を使用しない場合、MOSFET の R_{DSon} が大きくなるため、保護スレッショルドが 50% 低下し、高負荷状況でパワー パスが誤ってオフになる可能性があります。

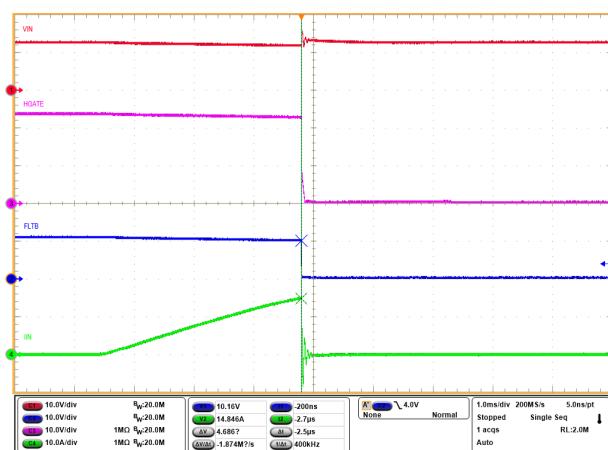


図 7. 25°C での RNTC を使用しない過負荷保護機能

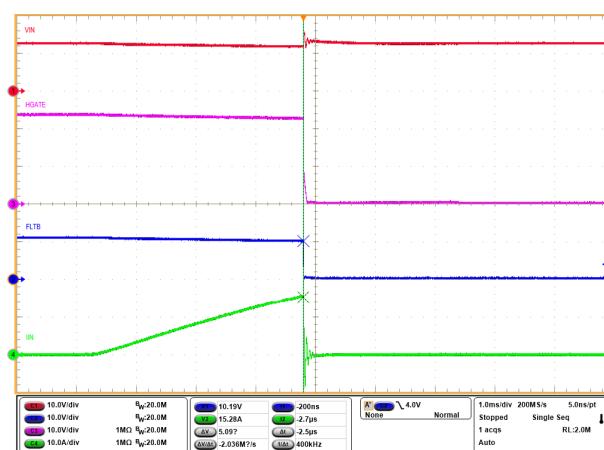


図 8. 25°C での RNTC を使用した過負荷保護機能

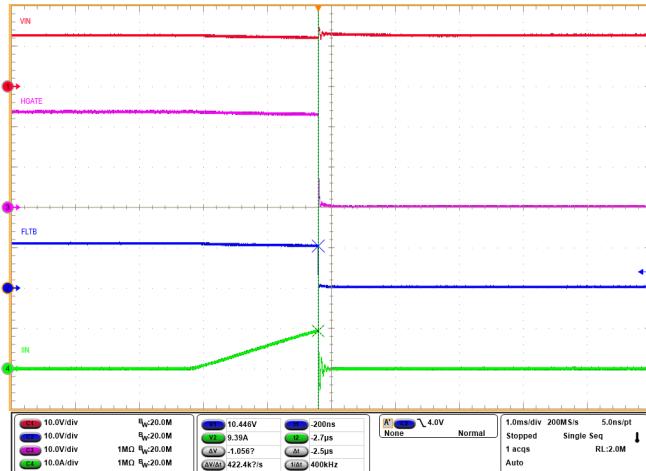


図 9. 100°C での RNTC を使用しない過負荷保護機能

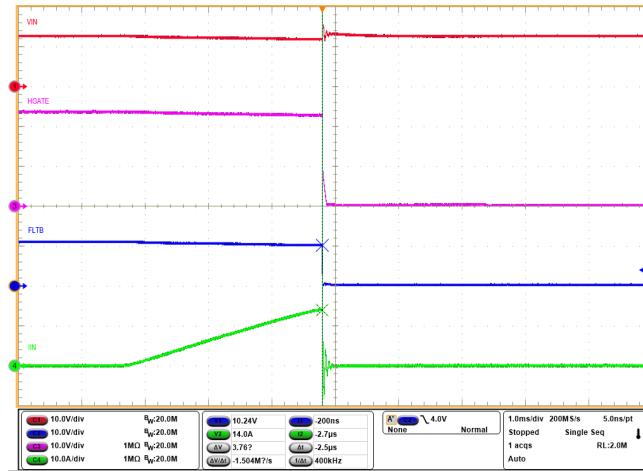


図 10. 100°C での RNTC を使用した過負荷保護機能

図 11 に、2 つの異なる方式によるスレッショルドの理論的偏差を示します。

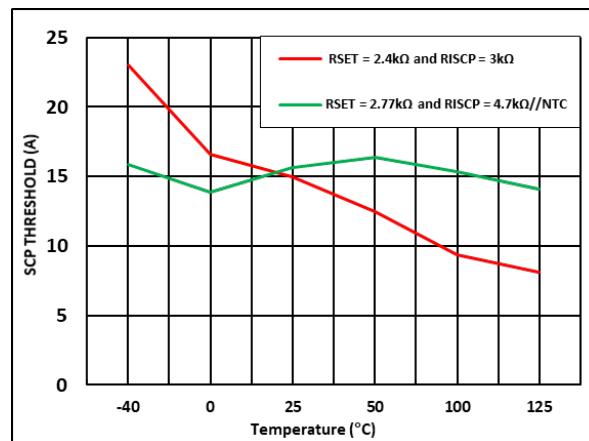


図 11. R_{NTC} の使用ありとなしの SCP スレッショルドの比較

まとめ

MOSFET の R_{DSon} は、構造的な原則により温度とともに上昇し、システムレベルの決定に R_{DSon} を使用した場合にはシステム保護に影響を与えます。FET の正の温度係数を負の温度係数の抵抗で補償することにより、安定した短絡電流スレッショルドを維持できます。この文書で提案する方法は、変動を約 184% から約 15.1% に減らすのに役立ちます。

参考資料

- テキサス インスツルメンツ、[LM74912-Q1 のデータシート、製品情報、サポート | TI.com](#)、製品フォルダ。
- テキサス インスツルメンツ、[LM74900-Q1 のデータシート、製品情報、サポート | TI.com](#)、製品フォルダ。
- テキサス インスツルメンツ、『パワー MOSFET のデータシートに記載されていない情報、パート 1: 温度依存性』、技術記事。

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默示保証、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、明示的または默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、(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、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 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月