

Application Note

電圧スーパーバイザへの抵抗分圧回路の入力設計における I_Q と精度のトレードオフ

Anthony Fagnani

Battery Power Products

概要

センス入力のスレッシュホールド電圧と、電源電圧スーパーバイザ (SVS) の電源異常入力 (PFI)、またはスイッチングレギュレータ デバイスのロー バッテリ入力 (LBI) を設定するために、一般に抵抗分圧回路をコンパレータへの入力時に使用します。スレッシュホールド電圧は、分圧回路の 2 つの抵抗の比によって設定されます。比率を一定に保つ場合、実際の抵抗値を選定する際に考慮する必要のあるトレードオフがあります。抵抗値が大きいと、コンパレータ入力のリーク電流がスレッシュホールド電圧の精度に影響を与える可能性があります。一方、抵抗値が小さいと、分圧回路を流れる電流が大きくなります。バッテリー駆動アプリケーションでは、この電流はバッテリー寿命や動作時間に大きな影響を与える可能性があります。このアプリケーション レポートでは、これらの制約を考慮して、最適なサイズの抵抗を選択する際に関係するいくつかの重要な要素について説明します。

目次

1 概要.....	2
2 TPS3808G01 を使用した設計.....	3
3 計算例.....	5
4 その他の精度低下の要因.....	7
5 まとめ.....	8
6 参考資料.....	9

図の一覧

図 2-1. SENSE ピン コンパレータへの抵抗分圧回路の例 (TPS3808G01 可変バージョン).....	3
図 3-1. 分圧回路による精度と電流の変動と R_2 の抵抗との関係.....	6

表の一覧

表 3-1. 計算結果.....	5
------------------	---

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

SVS は重要なシステム電圧を監視し、この電圧が過度に低い場合にリセットを発生させます。同様に、LBI ピンは電圧 (通常はバッテリー) を監視し、バッテリーが設定電圧を下回ったときにロー バッテリー出力 (LBO) ピンを Low に駆動します。PFI ピンはシステム電圧レベルを監視し、PFI 電圧が過度に低い場合に電源異常出力 (PFO) を駆動します。これらの 3 種類のピンは、単にコンパレータとリファレンス電圧であり、プロセッサが適切に動作していることを確認したり (SVS)、バッテリーの交換または再充電が必要なことをユーザーに警告したり (LBI)、ホストにシステム電圧が低すぎるため対処が必要なことを知らせる信号を送信したりします (PFI)。いずれの場合も、システム全体が適切に動作するために、監視対象のすべての電圧が重要です。

理想的には、コンパレータは無限の入力インピーダンスを持ち、入力に電流を生成しません。ただし、実際問題として、実際のコンパレータは測定可能な入力インピーダンスとある程度のリーク電流を有しています。これらの影響は、入力に分圧抵抗で設定されるトリップ ポイントの精度に影響を及ぼします。これは、このリーク電流を正確に測定できず、デバイスによって異なるためです。抵抗を選択する際に考慮すべき 2 つの極値があります。無限抵抗または非常に低い抵抗です。無限抵抗の場合、トリップ ポイントはリーク電流によって支配されます。通常、このリーク電流は変化し、精度に対して大きな損失を引き起こします。ただし、非常に低い抵抗では、アンペア単位の電流が分圧回路を通して引き込まれますが、これも許容できません。コンパレータ入力で抵抗分圧回路を使用する IC は、正確なトリップ ポイントを備え、かつ大量の電流を消費しない必要があります。

精度と消費電流のトレードオフを決定するための出発点として、分圧回路を流れる電流をリーク電流の 100 倍にすることを推奨します。ただし、用途によっては、より高い精度が必要な場合もあれば、精度を多少犠牲にしても電流を低く抑える必要がある場合もあります。このレポートでは、低静止電流でプログラマブル遅延機能を有する **TPS3808G01 SVS** を使用して、サンプル分圧回路を分析しています。なお、この式は、コンパレータ入力に分圧回路を使用する任意の IC または回路に適用できます。

2 TPS3808G01 を使用した設計

図 2-1 に示すように、TPS3808G01 の SENSE ピン入力を 0.405V の内部リファレンス (V_{REF}) と比較します。分圧回路は、監視対象電圧 (V_I) を SENSE ピンのレベルまで降圧するために使用されます。分圧比は、SVS がリセットを発生させる必要がある V_I の目標トリップ ポイントに基づいて選択されます。このトリップ ポイントは、スレッシュホールド電圧 V_{IT} です。システムのリセットが早すぎたり遅すぎたりしないようにするには、正確なトリップ ポイントが必要です。

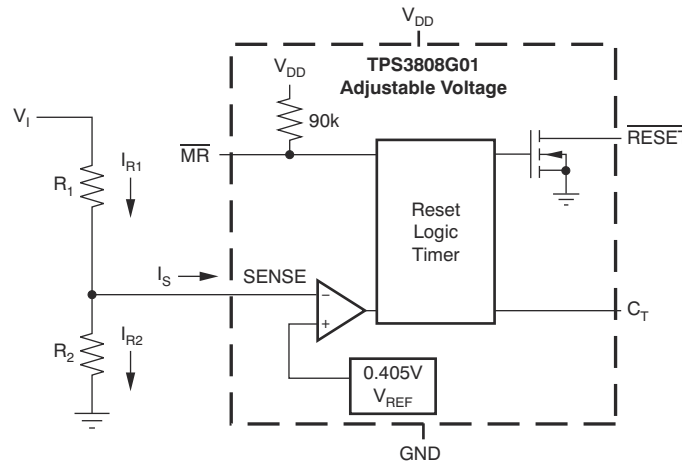


図 2-1. SENSE ピン コンパレータへの抵抗分圧回路の例 (TPS3808G01 可変バージョン)

使用する抵抗を選択するときは、最初に R_2 を選択してから、目的の V_{IT} を達成するために R_1 を求めます。式 1 は R_1 の計算において R_2 の値が与えられた場合の計算式を示しており、一方、式 2 は、 V_{IT} の実際の値を計算するもので、 R_1 および R_2 に対して選択された値に基づきます。

$$R_1 = R_2 \left(\frac{V_{IT}}{V_{REF}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$V_{IT} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) V_{REF} \quad (2)$$

ただし、リーク電流 (I_S) の結果により、SENSE ピンの電圧 (V_S) は、目的の V_{IT} で想定される値とは異なります。実際の V_S は、式 3 を使用して求めることができます。実際の入力スレッシュホールド電圧は、リーク電流によって変化するため、式 4 で計算できます。分圧回路の精度は、式 5 を使用して求められます。

$$V_S = R_2 \frac{(V_I - I_S R_1)}{(R_1 + R_2)} \quad (3)$$

$$V_{IT_Actual} = V_{REF} + R_1 \left(\frac{V_{REF}}{R_2} + I_S \right) \quad (4)$$

$$\% \text{ ACC} = \left(1 - \frac{V_{IT_Actual}}{V_{IT}} \right) \cdot 100\% = \frac{R_2 I_S \left(\frac{V_{IT}}{V_{REF}} - 1 \right)}{V_{IT}} \cdot 100\% \quad (5)$$

リーク電流の影響を考慮すると、分圧回路に流れる電流 I_{R1} は、単純に分圧回路内の上側の抵抗を通過する電流になります。この値は、式 6 を使用して求められます。分圧回路に流れ込む最大電流は、 I_S が正のときに発生します (ピンに流れ込む電流: 図 2-1 を参照)。式 6 に示すように、分圧回路から引き込まれた電流は、入力電圧に対してほぼ直線的に変動します。リーク電流が非常に小さい場合や、分圧回路内の抵抗が小さい場合、式 6 に示すようにオームの法則に簡素化されます。

$$I_{R1} = \frac{V_I - V_S}{R_1} = \frac{(V_I + I_S R_2)}{(R_1 + R_2)} \quad (6)$$

R_2 に対して式 5 を再編成して解くと、式 7 を求めることができます。この式を使って、目的の精度要件を満たす分圧回路を設計できます。負の精度は、負のリーク電流を使用するのと等価であり、精度とリーケージが正の場合も、同じ抵抗 (R_2) を生成することに注意します。異なる言い方をすると、リーク電流が負である (ピンから流れ出す) 場合、スレッショルド電圧は予想より低くなり、これは負の精度に相当します。

$$R_2 = \frac{V_{IT} \frac{|\% \text{ ACC}|}{100}}{|I_S| \left(\frac{V_{IT}}{V_{REF}} - 1 \right)} \quad (7)$$

R_2 に対して式 4 を再編成して解くと、式 8 を求めることができます。この式を使用して、目的の電流 I_{R1} を実現するために分圧回路を設計できます。

$$R_2 = \frac{V_I}{I_{R1} \frac{V_{IT}}{V_{REF}} - I_S} \quad (8)$$

3 計算例

表 3-1 に、1% 精度のスレッシュホールド電圧で SVS を使用する必要があるシステム要件を示します。電源電圧が 3.3V ～ 2.97V の公称値の 10% を下回ると、プロセッサはリセットされる必要があります。V_{REF} および I_S を、デバイスのデータシートから直接参照できます。

表 3-1. 計算結果

フィールド	値
IC	TPS3808G01
V _{REF}	0.405V
I _S	±25nA
V _I	3.3V
V _{IT}	2.97V
希望 % ACC	1%

まず、式 9 を使用して、R₂ を最も近い標準値に丸めます。

$$R_2 = \frac{V_{IT} \frac{|\% \text{ ACC}|}{100}}{|I_S| \left(\frac{V_{IT}}{V_{REF}} - 1 \right)} = \frac{2.97 \text{ V} \frac{1}{100}}{25 \text{ nA} \left(\frac{2.97 \text{ V}}{0.405 \text{ V}} - 1 \right)} = 187 \text{ k}\Omega \quad (9)$$

R₂ が分かれば、式 10 を使用して、R₁ を最も近い標準値に丸めます。

$$R_1 = R_2 \left(\frac{V_{IT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 187 \text{ k}\Omega \cdot \left(\frac{2.97 \text{ V}}{0.405 \text{ V}} - 1 \right) = 1.18 \text{ M}\Omega \quad (10)$$

標準値抵抗を使用する影響として、期待されるスレッシュホールド電圧は式 11 を使用して求められます。

$$V_{IT} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) V_{REF} = \left(1 + \frac{1.18 \text{ M}\Omega}{187 \text{ k}\Omega} \right) 0.405 \text{ V} = 2.974 \text{ V} \quad (11)$$

次に、式 6 を使用して、入力電流を求めます。I_S は正の値として評価され、分圧回路を流れる最大電流量を求めることができます。

$$I_{R1} = \frac{(V_I - I_S R_1)}{(R_1 + R_2)} = \frac{(3.3 \text{ V} - 25 \text{ nA} \cdot 187 \text{ k}\Omega)}{(1.18 \text{ M}\Omega + 187 \text{ k}\Omega)} = 2.41 \text{ }\mu\text{A} \quad (12)$$

この電流はリーケージの約 100 倍であることもわかります。これは、前述の経験則を検証したものです。

最後に、式 5 と式 6 を使用して、 $1\text{k}\Omega$ から $1\text{M}\Omega$ の範囲の R_2 でのワーストケース精度と分圧回路への入力電流の変動を図 3-1 に示します。精度は、新たに算出された V_{IT} を基準としていることに注意してください。2.974V

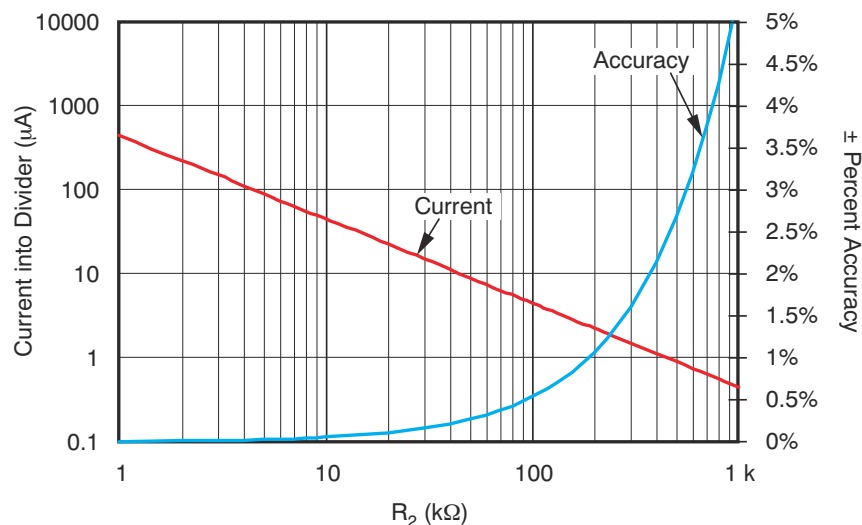


図 3-1. 分圧回路による精度と電流の変動と R_2 の抵抗との関係

また、図 3-1 は、 R_2 が精度とは線形関係、電流とは指数関係であることも明確に示しています (対数軸であることに注意)。この相関は、抵抗 R_2 の増加と減少の両方でリターンが減少することを示しています。より低い側では、精度がわずかに上昇するだけで、電流は大幅に増加します。より高い側では、電流がわずかに減少すると、精度は大幅に低下します。リーケージの量は常にワーストケース条件であるとは限らないため、このリーケージによる精度はほとんど常にグラフに示されている値よりも優れています。ただし、リーク電流は常に事実上、分圧回路に流れ込む電流のごく一部であるため、電流は大きく変化しません。

4 その他の精度低下の要因

ここに示す式、計算、グラフでは、抵抗の許容誤差も SENSE 電圧の許容誤差も考慮されていません。これらの要素は、 V_{IT} (以下に TOL_{VREF} と記載) の精度にも影響し、その許容誤差は式 13 を使用して推定できます。

$$\% \text{ ACC} = \% \text{ TOL}_{VREF} + 2 \cdot \left(1 - \frac{V_{REF}}{V_{IT}}\right) \cdot \% \text{ TOL}_R \quad (13)$$

TPS3808G01 の精度は、製品データシートに記載されている許容誤差 1% の抵抗 (TOL_R)、 V_{IT} に対する許容誤差 2% (TOL_{VREF}) を使用して評価できます。さらに、式 14 に示すように、これらの他の変動要因にも、リーク電流の結果として分圧回路の精度が追加されます。したがって、この例で設計された 1% 分圧回路のワーストケースの精度は 4.73% です。

$$\begin{aligned} \% \text{ ACC} &= 2\% + 2 \cdot \left(1 - \frac{0.405 \text{ V}}{2.97 \text{ V}}\right) \cdot 1\% = 3.73\% \\ \% \text{ ACC Total} &= 3.73\% + 1\% = 4.73\% \end{aligned} \quad (14)$$

もう 1 つの懸念は、値の大きい抵抗にノイズが、低い抵抗よりも簡単に結合される可能性があることです。このようなノイズが増えると、精度はさらに低下する可能性があります。ただし、内部分圧回路を備えた IC は、外部で設定される IC よりも消費電流が小さく、高い精度を実現することで、これらの懸念に対処できます。これらの抵抗が IC に内蔵されているため、カップリング ノードと静電容量がかなり小さく、ノイズ耐性に優れる結果となります。たとえば、TPS3808G33 は V_{IT} が 3.07V に固定されており、総合精度 $\pm 1.25\%$ (SENSE 電圧変動、リーク電流変動、内部抵抗の許容誤差を含む) でありながら、 $V_I = 3.3\text{V}$ で $0.86\mu\text{A}$ の消費電流を誇ります。この値は、理想的な SENSE 電圧および理想的な抵抗値を想定した前述の計算例よりも、1/3 の消費電流であり、精度は 25% 低下しています。これらの値の追加の変動を考慮すると、リーク電流誤差が追加される前でも、可変バージョンのこの例における総合精度は、固定バージョンの 1/3 です。

5 まとめ

調整可能な SVS は柔軟で単純な部品であり、設計者は精度と消費電流のトレードオフを考慮する必要があります。トリップポイントを生成する抵抗分圧回路を効果的に設計することで、システムに過負荷を生じさせないと同時に、回路の精度をできるだけ高くできます。すべてのコンパレータ入力 (SENSE、LBI、PFI など) にはリーク電流が存在するため、このリーク電流は精度低下の要因になります。抵抗分圧回路の値を適切に選択することで、精度と消費電流を最適化できます。このアプリケーション ノートに記載されている式を使用することで、アプリケーションの要求を満たすように分圧回路を微調整できます。

6 参考資料

これらのドキュメントは、TI の Web サイト (www.ti.com) からダウンロードできます。

- [TPS3808](#) 製品データシート、テキサス インストルメンツ文献番号 [SBVS050J](#)。
- Falin, J. (2006). 並列接続された 2 つの DC/DC コンバータ間の負荷分散を可能にするバラストレジスタ。テキサス インストルメンツ アプリケーション レポート、文献番号 [SLVA250](#)。

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