

Analog Engineer's Circuit

低消費電力、双方向電流センシング回路



Chuck Sins

設計目標

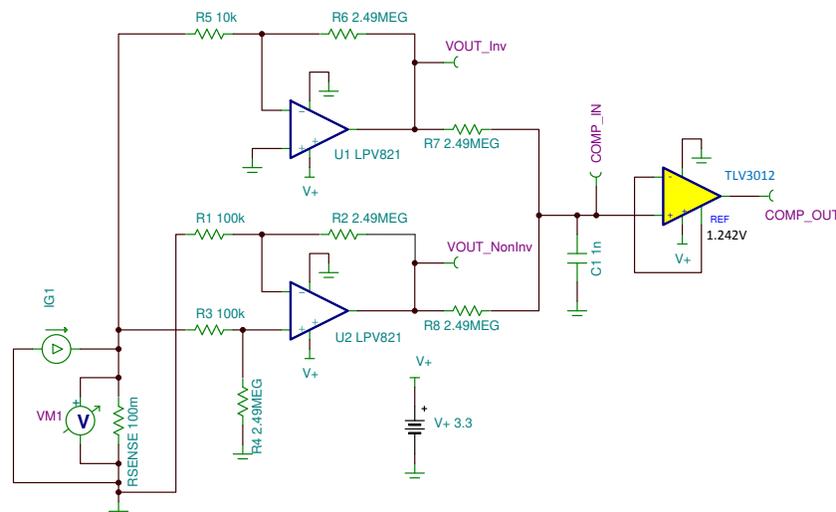
過電流レベル		電源	
I_{IN} (最小値)	I_{IN} (最大値)	V+	V-
-0.1A	1.0A	3.3V	0V

設計の説明

この低消費電力のローサイド双方向電流センシング方法は、2 個のナノパワー ゼロドリフト アンプ (LPV821) と、高精度の電圧リファレンスを内蔵した 1 個のマイクロパワー コンパレータ (TLV3012) を使用しています。この回路は、充電電流とシステム電流を正確に監視する必要があるバッテリー駆動デバイスに適しています。U1 と U2 のゲインは別々に設定できます。

アプリケーション回路に示すように、LPV821 アンプは、互いに逆方向の電流を増幅するために R_{SENSE} の両端に位相差を設けて接続されています。アンプ U1 はシステム (負の) 電流を線形増幅し、アンプ U2 は充電 (正の) 電流を線形増幅します。U2 が正の電流を監視するとき、U1 は出力をグランドへと駆動します。同様に、U1 が負の電流を監視するとき、U2 は出力をグランドへと駆動します。U1 または U2 のいずれかがグランド基準を提供する一方、アンプ出力は抵抗 R_7 および R_8 により OR 接続されてコンパレータが監視する 1 つの出力電圧を生成します。

レギュレーション済みの電源電圧またはリファレンス電圧がすでにシステム内で使用できる場合、TLV3012 を TLV7031 などのナノパワー コンパレータに置き換えることができます。さらに、充電電流とシステム電流の大きさが等しい場合、アンプ U1 および U2 のゲインを互いに同じに設定できます。アンプのゲインを同じにしても、アンプの出力を OR 接続することで、充電とシステムの両方の電流の過電流条件を 1 つのコンパレータで検出できます。



デザインノート

- エラーを最小化するため、高精度の抵抗を利用し、 $R_1 = R_3$ 、 $R_2 = R_4$ 、 $R_7 = R_8$ に設定します。
- 最大電流での電圧降下が最も小さくなり、最小電流レベルを監視するときのアンプのオフセット誤差が小さくなるように、 R_{SENSE} を選択します。
- 充電とシステムの電流が臨界値に達したときに $COMP_IN$ が 1.242V に達するようにアンプのゲインを選択し、アンプが線形範囲外で動作することを防止します。

設計手順

- $R_1 = R_3$ 、 $R_2 = R_4$ 、 $R_7 = R_8$ として伝達方程式を求めます。

反転経路

$$COMP_IN = -I_{G1} \times R_{SENSE} \times \left(-\frac{R_6}{R_5}\right) \times \left(\frac{R_8}{R_7 + R_8}\right)$$

非反転経路

$$COMP_IN = I_{G1} \times R_{SENSE} \times \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4}\right) \times \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1}\right) \times \left(\frac{R_7}{R_7 + R_8}\right)$$

- 充電電流が 1A、最小システム電流が 10mA の場合、最大電圧降下 (V_{SENSE}) が 100mV であると仮定して、 $SENSE$ 抵抗の値を選択します。

$$R_{SENSE}(\max) = \frac{V_{SENSE}(\max)}{I_{G1}(\max)} = \frac{100 \text{ mV}}{1\text{A}} = 100 \text{ m}\Omega$$

$$\text{with } I_{G1}(\min) = 10\text{mA}, V_{SENSE} = 10\text{mA} \times 100\text{m}\Omega = 1 \text{ mV} > > VOS(\max) = 10 \mu\text{V}$$

- $COMP_IN$ を生成するための OR 抵抗 R_7 および R_8 を選択します。
 - $R_7 = R_8$ であるため、コンパレータの入力には等しい減衰係数 2 が適用されます。アンプの出力からの消費電流を最小化するため、大きな値を選択します。
 - $COMP_IN$ の電圧を検証する場合、特に注意が必要です。 R_7 と R_8 は大きなインピーダンス値であるため、オシロスコープのプロープの入力インピーダンスやデジタル電圧計の入力が測定電圧に誤差を生じさせる可能性があります。一般的なプロープや電圧計の入力インピーダンスは 10M Ω であり、これによって測定信号が減衰します。

$$R_7 = R_8 = 2.49\text{M}\Omega,$$

$$COMP_IN = (VOUT_Inv \text{ or } VOUT_NonInv) \div 2$$

- 電流が臨界値に達したとき $COMP_IN$ が 1.242V になるように、アンプのゲインを選択します。

$$\text{Gain} = \frac{2 \times \text{Comparator REF}}{R_{SENSE} \times |I_{G1}(\max)|}$$

$$\text{Gain}(\text{Inv}) = \frac{2 \times 1.242}{0.1 \times (-0.1)} = \frac{(-R_6)}{R_5} \approx -249\frac{\text{V}}{\text{V}}$$

$$\text{Gain}(\text{NonInv}) = \frac{2 \times 1.242}{0.1 \times 1.0} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \times \frac{R_1 + R_2}{R_1} \approx 24.9\frac{\text{V}}{\text{V}}$$

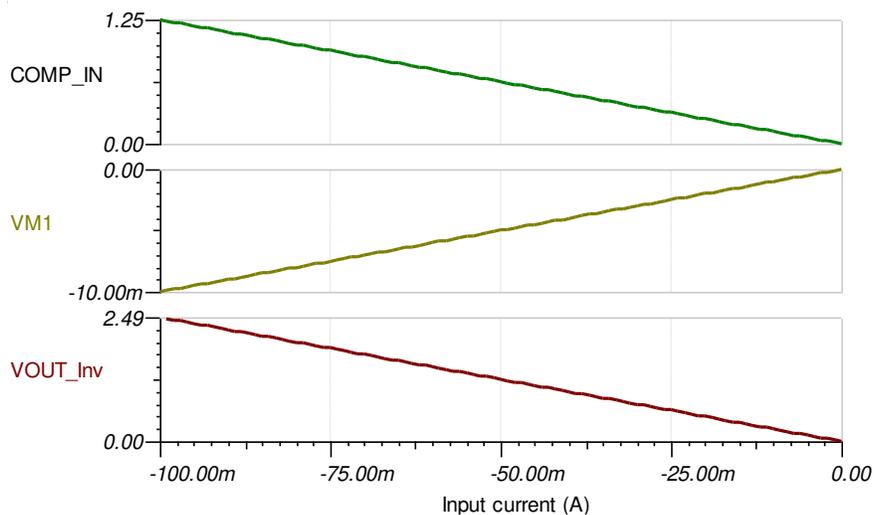
$$R_1 = R_3 = 100\text{k}\Omega \text{ (Standard Value)}$$

$$R_5 = 10\text{k}\Omega \text{ (Standard Value)}$$

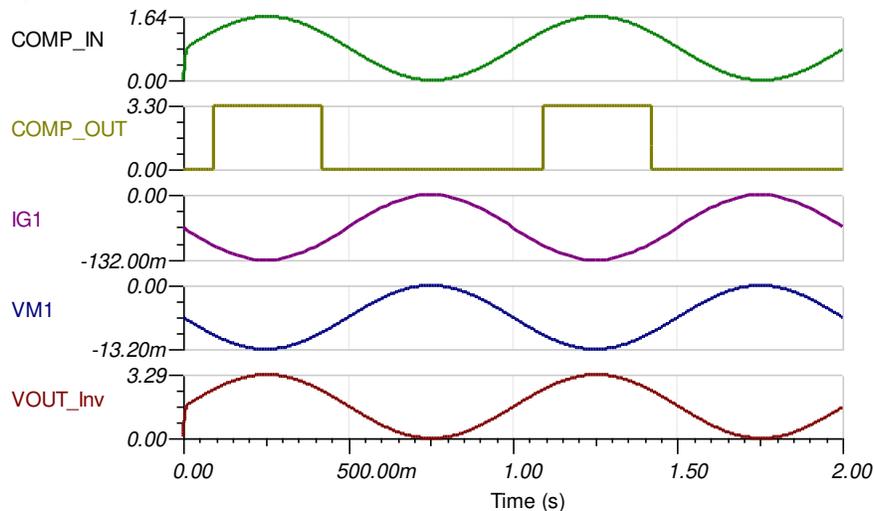
$$R_2 = R_4 = R_6 = 2.49\text{M}\Omega \text{ (Standard Value)}$$

設計シミュレーション

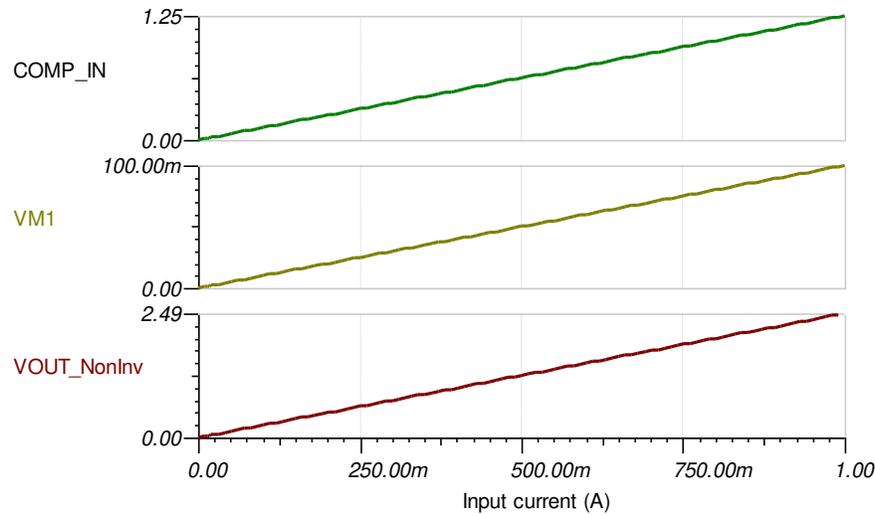
DC シミュレーションの結果 (VOUT_Inv)



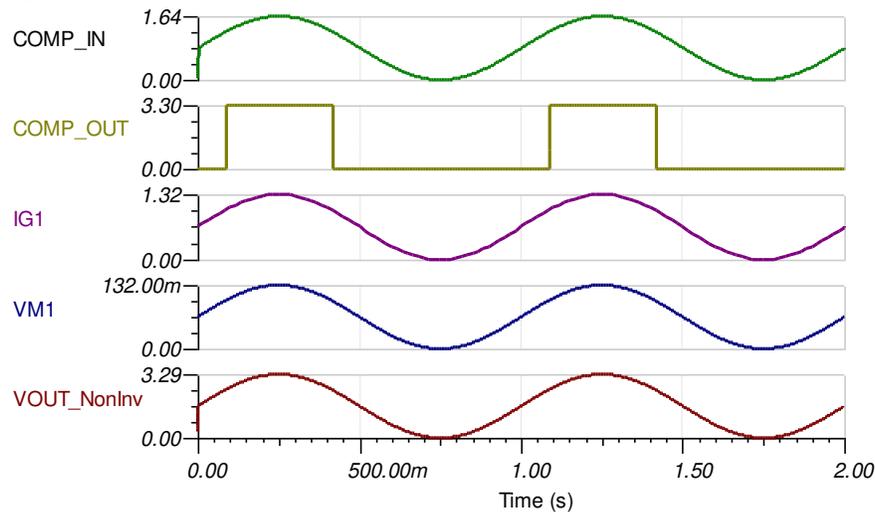
過渡シミュレーションの結果 (VOUT_Inv)



DC シミュレーションの結果 (VOUT_NonInv)



過渡シミュレーションの結果 (VOUT_NonInv)



技術資料とブログの参考資料

テキサス・インスツルメンツ、『[携帯電話のバッテリー監視でナノパワー ゼロドリフト アンプを使用する利点](#)』、アプリケーションノート

テキサス・インスツルメンツ、『[中立状態のないライト スイッチでの電流センシング](#)』、テクノロジー ブリーフ

テキサス・インスツルメンツ、『[GPIO Pins Power Signal Chain in Personal Electronics Running on Li-Ion Batteries](#)』、アプリケーション ブリーフ (英語)

設計に使用されているオペアンプ

LPV821	
V_S	1.7V~3.6V
入力 V_{CM}	レール ツー レール
V_{out}	レール ツー レール
V_{os}	1.5 μ V
V_{os} ドリフト	20nV/ $^{\circ}$ C
I_q	650nA/Ch
I_b	7pA
UGBW	8 kHz
チャンネル数	1
LPV821	

設計の代替オペアンプ

TLVx333	
V_S	1.8V~5.5V
入力 V_{CM}	レール ツー レール
V_{out}	レール ツー レール
V_{os}	2 μ V
V_{os} ドリフト	20nV/ $^{\circ}$ C
I_q	17 μ A/Ch
I_b	70pA
UGBW	350 kHz
チャンネル数	1、2、4
TLV333	

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision A (February 2019) to Revision B (October 2024) Page

- 文書全体にわたって表、図、相互参照の書式を更新..... 1

Changes from Revision * (March 2018) to Revision A (February 2019) Page

- タイトルを変更し、タイトルのロールを「アンプ」に変更し、回路クックブックのランディング ページへのリンクを追加..... 1

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 © 2024, Texas Instruments Incorporated

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](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 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。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。

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、TI 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated