

Analog Engineer's Circuit

高精度 DAC を使用した LDO 用電源マーージニング回路



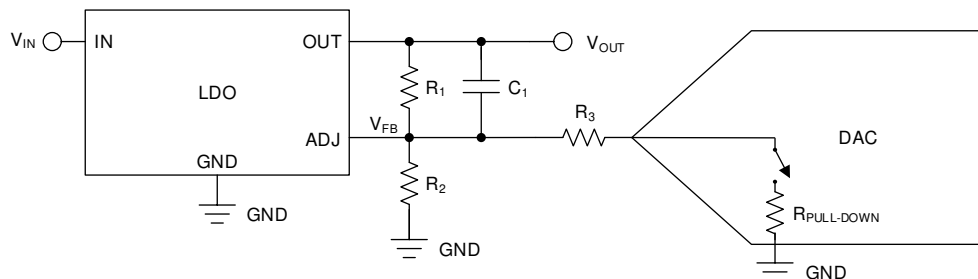
Uttama Kumar Sahu

設計目標

電源 (VDD)	公称出力	マーージン HIGH	マーージン LOW
5 V	3.3 V	3.3V + 10%	3.3V - 10%

設計の説明

電源マーージニング回路は、電力コンバータの出力の微調整に使用されます。これは、電源出力のオフセットとドリフトの調整と、出力の目標値の設定のどちらかのために行われます。低ドロップアウトレギュレータ (LDO) や DC/DC コンバータなどの可変電源には目的の出力電圧を設定するために使う帰還または調整用入力があります。高精度電圧出力デジタル/アナログコンバータ (DAC) は、電源出力を線形的に制御できるように設計されています。下図に、電源マーージニング回路の例を示します。電源マーージニングの一般的な用途は、[試験 / 測定](#)、[通信機器](#)、[パワー デリバリ](#)です。



デザイン ノート

- 必要な分解能、プルダウン抵抗値、出力範囲を持つ DAC を選択します。
- DAC 出力と V_{OUT} の関係を導出します。
- 帰還回路を流れる電流 (標準値) に基づいて R_1 を選択します。
- DAC の電源オフおよび電源オン条件を考慮して、 V_{DAC} のスタートアップ値または公称値を計算します。
- 目的の微調整範囲について DAC の出力電圧範囲とともに目的のスタートアップ出力電圧が満たされるように、 R_2 と R_3 を選択します。
- マーージン LOW およびマーージン HIGH の DAC 出力を計算します。
- 目的のステップ応答が得られるように補償コンデンサを選択します。

設計手順

- 計算のため、LDO TPS79501 デバイスを選択します。DAC53608 デバイスは非常に低コストの 10 ビット、8 チャネル、ユニポーラ出力の DAC であり、このようなアプリケーション向けに設計されています。
- 電源の出力電圧は次の式で与えられます。

$$V_{OUT} = V_{REF} + I_1 R_1 = V_{REF} + (I_2 + I_3) R_1$$

ここで、

- I_1 は、 R_1 を流れる電流
- I_2 は、 R_2 を流れる電流
- I_3 は、 R_3 を流れる電流

このアプリケーションの DAC には通常は電源オフ モードがあり、電圧出力にはプルダウン抵抗が内蔵されています。このため、前の式の電流値を置き換えると、次の式が得られます。

- DAC が電源オフ モードのとき

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{REF}} + \left(\left(\frac{V_{\text{REF}}}{R_2} \right) + \left(\frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + R_{\text{PULL-DOWN}}} \right) \right) R_1$$

- DAC 出力が電源オンのとき

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{REF}} + \left(\left(\frac{V_{\text{REF}}}{R_2} \right) + \left(\frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} \right) \right) R_1$$

DAC53608 の場合、 $R_{\text{PULL-DOWN}}$ は $10\text{k}\Omega$ です。この LDO (部品番号 TPS79501) では、 V_{REF} の値は 1.225V です。

3. R_1 は次の方法で計算できます。

TPS79501 の FB ピンに流れる電流は $1\mu\text{A}$ です。この電流を無視できるようにするため、 $I_1 \gg I_{\text{FB}}$ とする必要があります。 I_1 には $50\mu\text{A}$ を選択します。 R_1 は次のように計算します。

$$R_1 = \frac{V_{\text{OUT}} - V_{\text{REF}}}{I_1} = 41.5\text{ k}\Omega$$

I_1 の公称値は次の式で与えられます。

- DAC が電源オフモードのとき

$$I_{1-\text{Nom}} = \left(\frac{V_{\text{REF}}}{R_2} \right) + \left(\frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10\text{ k}\Omega} \right)$$

- DAC 出力が電源オンのとき

$$I_{1-\text{Nom}} = \left(\frac{V_{\text{REF}}}{R_2} \right) + \left(\frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} \right)$$

I_1 の値は、マージン HIGH およびマージン LOW 出力のとき、次の式で与えられます。

$$I_{1-\text{HIGH}} = \frac{V_{\text{OUT-HIGH}} - V_{\text{REF}}}{R_1} = 57.95\ \mu\text{A}$$

$$I_{1-\text{LOW}} = \frac{V_{\text{OUT-LOW}} - V_{\text{REF}}}{R_1} = 42.05\ \mu\text{A}$$

$$I_{1-\text{HIGH}} - I_{1-\text{Nom}} = I_{1-\text{Nom}} - I_{1-\text{LOW}} = 7.65\ \mu\text{A}$$

4. V_{DAC} の公称値またはスタートアップ値は、次の方法で計算できます。

DAC が電源オフから電源オンに移行するとき、 $10\text{k}\Omega$ の抵抗が影響しないようにするため、DAC 電圧の電源オン時のスタートアップ値は次の式で計算できます。

$$\frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10\text{ k}\Omega} = \frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3}$$

前の数式は、さらに次のように単純化できます。

$$V_{DAC} = V_{REF} \left(\frac{10 \text{ k}\Omega}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} \right)$$

5. R_2 および R_3 の値は、次のように計算できます。

V_{DAC} の電源オン時のスタートアップ値または公称値が V_{REF} の 1/3、すなわち 408.3mV に保たれる場合、 R_3 は $2 \times 10\text{k}\Omega = 20\text{k}\Omega$ です。 R_2 は次のように計算できます。

$$\frac{V_{REF}}{R_2} + \frac{V_{REF}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} = 50 \mu\text{A}$$

R_3 に値を代入すると、 R_2 の値は 133k Ω と計算されます。

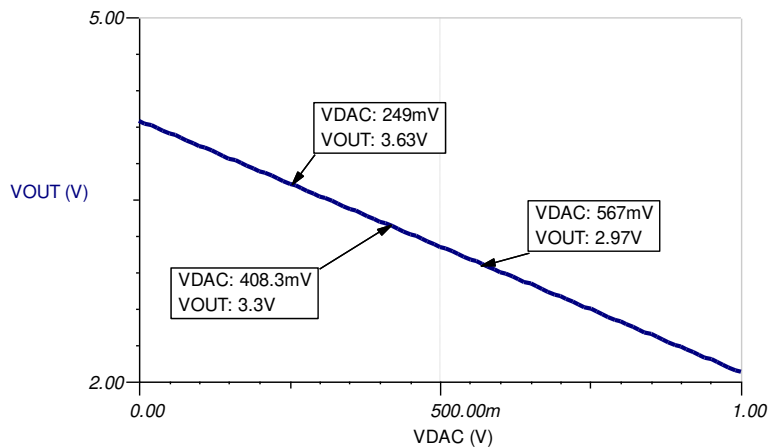
6. I_1 のマージン HIGH 値と公称値、対応する式を減算すると、次の値が得られます。

$$\frac{V_{REF} - V_{DAC}}{R_3} - \frac{V_{REF}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} = 7.95 \mu\text{A}$$

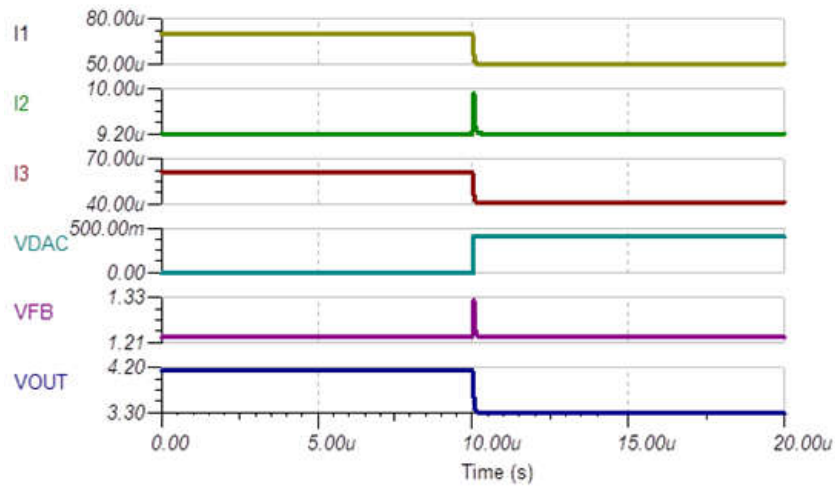
ここから、次の式により V_{DAC} のマージン HIGH 値は 249mV、同様にマージン LOW 値は 567mV と計算されます。

$$\frac{V_{REF}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} - \frac{V_{REF} - V_{DAC}}{R_3} = 7.95 \mu\text{A}$$

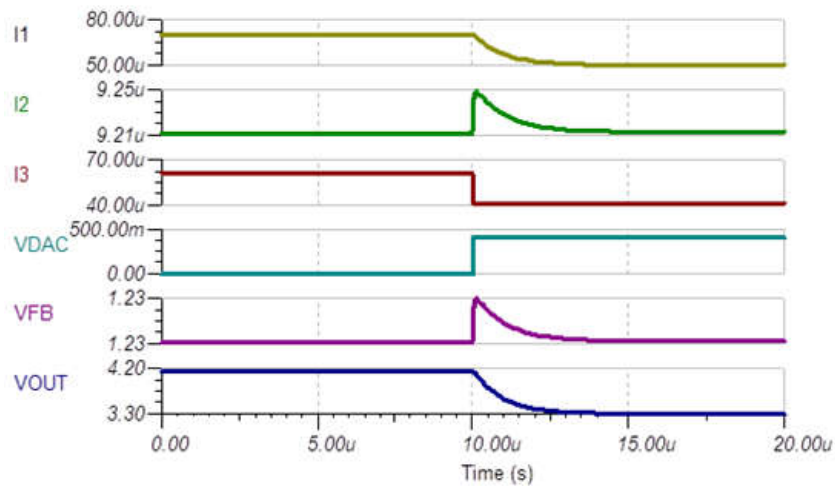
7. 補償コンデンサを使用しない場合、この回路のステップ応答には以下の曲線に示すような多少のオーバーシュートとリングが発生します。この種の過渡応答は、負荷回路で誤動作を発生させることがあります。この問題を最小化するには、補償コンデンサ C_1 を使用します。このコンデンサの値は通常、シミュレーションにより得られます。比較対象として、22pF の補償コンデンサを使用した場合の出力波形を示します。



DC 伝達特性



補償なしでの小信号ステップ応答



$C_1 = 22\text{pF}$ での小信号ステップ応答

設計に使用しているデバイスと代替部品

デバイス	主な特長	リンク
DAC53608	8 チャンネル、10 ビット、I2C インターフェイス、バッファ付きの電圧出力 DAC	超小型 QFN パッケージ、10 ビット、8 チャンネル、I2C、電圧出力 DAC
DAC60508	高精度リファレンス内蔵 8 チャンネル、真の 12 ビット、SPI、電圧出力 DAC	超小型 WCSP パッケージ封止、高精度内部リファレンス搭載、真の 12 ビット、8 チャンネル、SPI 対応、電圧出力 (Vout) DAC
DAC60501	高精度基準電圧を内蔵した 12 ビット、1LSB INL の DAC	WSON パッケージ封止、高精度内部リファレンス搭載、真の 12 ビット、1 チャンネル、SPI/I2C 対応、電圧出力 DAC
DAC8831	16 ビット、超低消費電力、電圧出力 DAC	16 ビット、超低消費電力、電圧出力 D/A コンバータ
TPS79501-Q1	車載用カタログのシングル出力 LDO、500mA、可変 (1.2~5.5V)、低ノイズ、高 PSRR	車載、イネーブル搭載、500mA、調整可能な低ドロップアウト電圧レギュレータ

設計の参照資料

テキサス・インスツルメンツ、[SBAM415 TINA ソース ファイル](#)、ソフトウェア サポート

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 (September 2019) to Revision B (September 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 * (January 2019) to Revision A (September 2019)	Page
--	-------------

- | | |
|-----------------|---|
| • 回路図と式を更新..... | 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