

高精度 DAC を使用した LDO 用電源マーージング回路

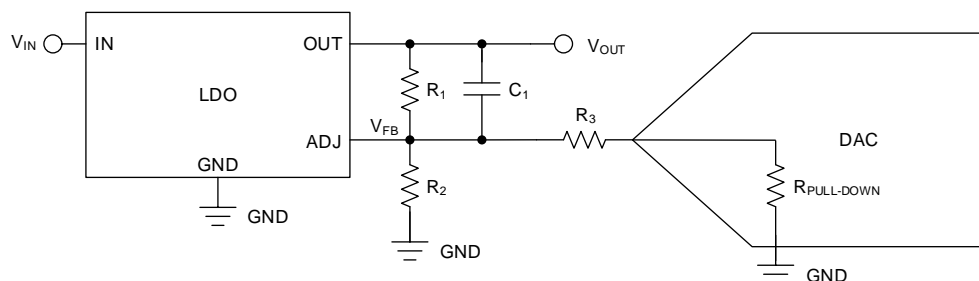
Uttama Kumar Sahu

設計目標

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

設計の説明

電源マーージング回路は、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するのに適しています。下図に、電源マーージング回路の例を示します。電源マーージングの一般的な用途は、**試験 / 測定**、**通信機器**、**パワー・デリバリー**です。



デザイン・ノート

1. 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。
2. DAC 出力と V_{OUT} の関係を導出します。
3. 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。
4. 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。
5. 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。
6. 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。
7. 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

1. 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に適しています。
2. 電源の出力電圧は次の式で与えられます。

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

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。

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

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。

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

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。

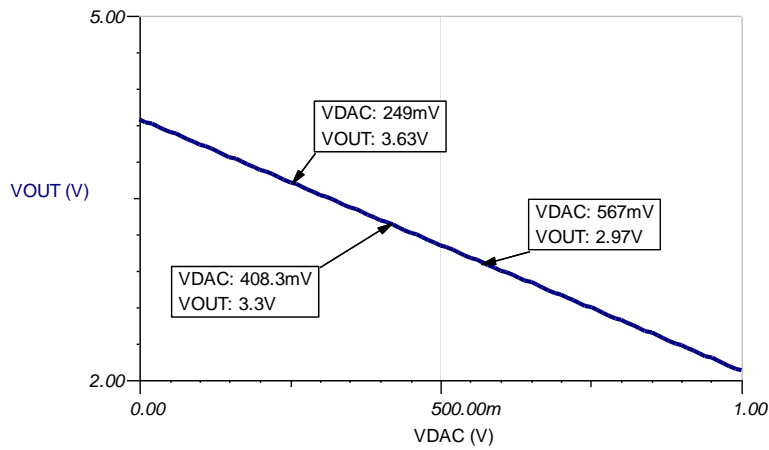
$$\frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} - \frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} = 7.95 \mu\text{A}$$

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。

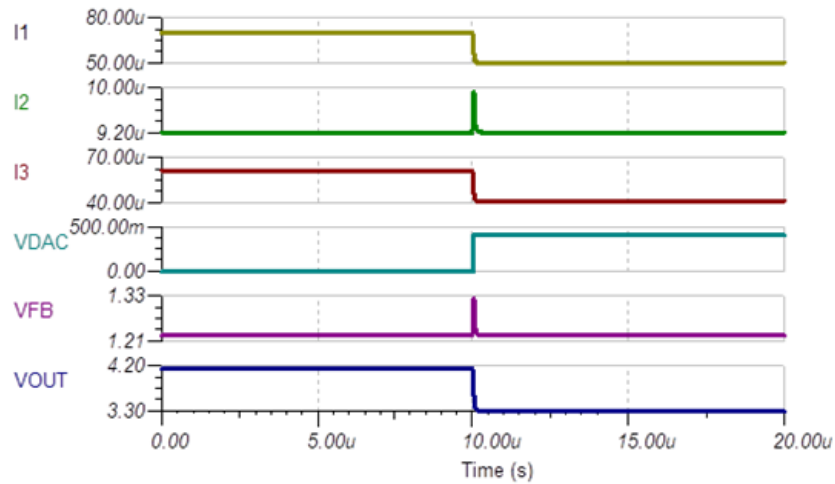
$$\frac{V_{\text{REF}}}{R_3 + 10 \text{ k}\Omega} - \frac{V_{\text{REF}} - V_{\text{DAC}}}{R_3} = 7.95 \mu\text{A}$$

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。

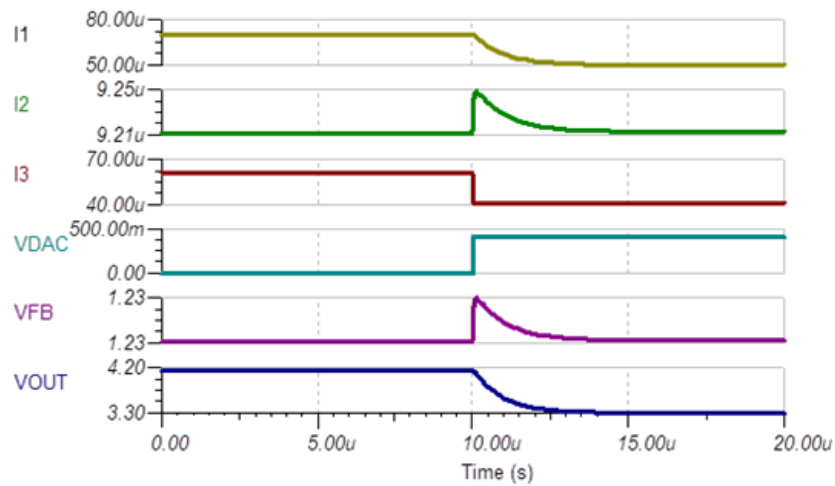
DC 伝達特性



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	http://www.ti.com/product/DAC53608
DAC60508	高精度基準電圧を内蔵した 8 チャンネル、真の 12 ビット、SPI、電圧出力 DAC	http://www.ti.com/product/DAC60508
DAC60501	高精度基準電圧を内蔵した 12 ビット、1LSB INL の DAC	http://www.ti.com/product/DAC60501
DAC8831	16 ビット、超低消費電力、電圧出力 DAC	http://www.ti.com/product/DAC8831
TPS79501-Q1	車載用カタログのシングル出力 LDO、500mA、可変出力 (1.2~5.5V)、低ノイズ、高 PSRR	http://www.ti.com/product/TPS79501-Q1

設計の参照資料

TI の総合的な回路ライブラリについては、「[アナログ・エンジニア向け回路クックブック](#)」を参照してください。

主要なファイルへのリンク

TINA ソース・ファイル - <http://www.ti.com/lit/zip/sbam415>

TI エンジニアから直接サポートを受けるには、**E2E** コミュニティをご利用ください。

e2e.ti.com

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が適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、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 の販売約款 (<https://www.tij.co.jp/ja-jp/legal/terms-of-sale.html>)、または [ti.com](https://www.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。

日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ合同会社
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated