

## Application Note

## 高品質、低ドロップアウトレギュレータの測定手法



Hannah Grace and Nicholas Butts

## 概要

このアプリケーション ノートは、低ドロップアウト (LDO) レギュレータの高品質な測定を行うためのベスト プラクティスについて詳述しています。この文書は、ラインおよび負荷の過渡現象を含む測定方法と、適切なオシロスコープの設定に関する追加情報について説明しています。

## 目次

1 はじめに.....	2
1.1 オシロスコープの基本.....	2
2 寄生容量の影響.....	3
3 オシロスコープに関する一般的な問題.....	4
3.1 オシロスコープ プローブの選択.....	4
3.2 十分なサンプリング.....	5
3.3 可視化.....	6
3.4 電流プローブを使用した電流の測定.....	7
3.5 帯域幅の制限と平均化.....	7
4 一般的な測定値に対する寄生効果.....	9
4.1 負荷過渡.....	9
4.2 電源除去比.....	9
4.3 出力ノイズ電圧.....	10
5 まとめ.....	11
6 参考資料.....	11
7 改訂履歴.....	11

## 図の一覧

図 3-1. ワニログラウンドクリップ接続を備えた TLV773 負荷過渡応答.....	4
図 3-2. TLV773 におけるワニログラウンド クリップ付きプローブのセットアップ.....	4
図 3-3. グランド スプリング接続を使用した TLV773 負荷過渡応答.....	5
図 3-4. TLV773 のグランド スプリング設定を行うプローブ.....	5
図 3-5. SMA 接続による TLV773 負荷過渡応答.....	5
図 3-6. TLV773 の SMA セットアップ.....	5
図 3-7. 500 個のサンプル.....	6
図 3-8. 50,000 個のサンプル.....	6
図 3-9. 視覚化が不十分.....	6
図 3-10. 立ち上がりエッジに注目.....	6
図 3-11. 長いケーブル接続による電流プローブ測定.....	7
図 3-12. 短いケーブル配線による電流プローブ測定.....	7
図 3-13. フル帯域幅 (500MHz) の立ち上がりエッジ信号.....	8
図 3-14. 帯域幅制限 (20MHz) の立ち上がりエッジ信号.....	8
図 3-15. 平均化なしでの負荷過渡.....	8
図 3-16. 5 個のサンプル平均での負荷過渡応答.....	8
図 4-1. TPS7A57 入力および出力に追加の寄生要素がある状態での負荷過渡応答.....	9
図 4-2. TPS7A57 入力および出力の寄生要素が最小限の状態での負荷過渡応答.....	9
図 4-3. 追加の寄生容量を備える TPS793 PSRR.....	10
図 4-4. TPS793: 追加の寄生容量を使用した出力電圧ノイズ.....	10

## 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 1 はじめに

**低ドロップアウト (LDO) レギュレータ**は、スイッチングレギュレータと同様に、高い入力電圧を低い出力電圧に調整します。スイッチングレギュレータとは異なり、LDO はデバイスフィルタとして機能し、現代の設計においてははるかにシンプルに実装できることが分かります。LDO の動作方法の詳細については、「[リニアレギュレータと低ドロップアウトレギュレータ \(LDO\) の基礎](#)」の動画を参照してください。高周波電源システム用途で低ノイズ部品の需要が高まる中、LDO はそのニーズを満たす上で重要な役割を果たしています。この役割を果たすことにより、デバッグのために基本的な測定が行われるようになり、適切で高品質な測定を行う方法を理解することがますます重要になっています。測定は難しいタスクになることがあるため、測定を行う前にハードウェアのセットアップとデバイスの構成に十分注意を払う必要があります。代表的な測定には、負荷過渡応答、ライン過渡応答、短絡試験、ブラウナウトなどが含まれますが、これらに限りません。

### 1.1 オシロスコープの基本

オシロスコープで測定を行う際は、以下の基本事項を忘れないでください：

1. オシロスコープをオンにする場合、これにはかなり時間がかかる場合があります。例えば、一部のオシロスコープは指定された精度に達するまでに 30 分以上かかることがあります。
2. 測定を行う前に、測定しようとしていることを理解してください。条件は何ですか？ また、どのチャンネルを使用していますか？
  - a.  $V_{IN}$ 、 $V_{OUT}$ 、負荷などの測定条件を特定します。
  - b. オシロスコープのチャンネルにラベルを追加して、チャンネルを簡単に識別できるようにします。ユーザは収集した波形を他のユーザーに見せることが多いため、各チャンネルの波形にラベルを付ける習慣をつけることで、他の人が情報を理解しやすくなります。
3. 必要に応じて LDO 端子を各オシロスコープチャンネルに接続します。測定する信号が  $50\Omega$  で終端されていない限り、チャンネルをハイインピーダンス終端モード ( $1M\Omega$ ) に設定することは良い出発点です。この場合、ハイインピーダンスモードが適切です。各チャンネルで AC 結合か DC 結合のどちらが適切かを判断します。例えば、測定対象の信号が 10V の DC 信号に重畳された 10mV の AC 信号ですか？ その場合、DC 結合で 10mV 信号を確認するのは困難な可能性があり、この場合は AC 結合が適切です。過渡測定に使用するオシロスコープの帯域幅と一致するプローブを選択します。各オシロスコープチャンネルが、LDO で設定している電圧および電流レベルに合った正しい値を表示していることを確認します。
  - a. オシロスコープのプローブ選びは難しいタスクになることがあります。そのため、オシロスコープのプローブを選択する場合は、測定に適した正しいプローブを選ぶことが重要です。オシロスコーププローブの選択の詳細については、『[オシロスコーププローブの選択](#)』を参照してください。
  - b. プローブを長いワイヤで接続する場合は注意してください。プローブの先端からグランドクリップを経由してプローブ本体に戻る長い帰還経路は、追加のノイズを拾いやすくなり、測定値に影響を与えることがあります。回路内の寄生成分が及ぼす影響の詳細については、[寄生成分の影響](#)を参照してください。
4. オシロスコープの電源を入れると、事前に設定された水平システムの時間スケールと垂直システムの電圧スケールの条件が画面に表示されます。水平時間スケール (秒/div) を調整して、時間軸をズームインまたはズームアウトします。
  - a. 水平時間スケールを調整すると波形がズームイン/ズームアウトされ、目的の信号活動周辺の波形全体を表示しやすくなります。例えば、ユーザーが約 100kHz の帯域幅を持つ制御ループのインパルス応答を測定する場合、時間スケールを 10 $\mu$ s/div に設定するのが良い出発点です。オシロスコープのスケールが正しくない例については、[表示](#)を参照してください。
  - b. オシロスコープのユーザーガイドを参照すると、測定値に合わせて設定を調整できます。
5. オシロスコープのキャプチャに最も適した信号を選定します。LDO の場合、関心のある過渡動作をトリガする信号は、多くの場合、イネーブル (EN) 信号の立ち上がりまたは立ち下がりエッジ、あるいは負荷電流の変化です。トリガ信号が決まったら、オシロスコープのトリガ設定に移動し、トリガ信号に対応するチャンネルを選択します。次に、トリガを信号のエッジ検出に設定します (テスト内容により立ち上がりエッジまたは立ち下がりエッジを選択します)。トリガレベルは、最小値と最大値のおおよそ中間の電圧または電流レベルに設定します。例えば、EN 信号が 0V から 2V に立ち上がる場合、EN 波形に対応するチャンネルのトリガを、電圧が 1V を超えたときの立ち上がりエッジ検出に設定します。

6. オシロスコープの設定とトリガが完了したら、目的の測定が達成できていますか？
  - a. 目的の測定が達成できていない場合は、垂直および水平のスケールを調整し、各チャンネルのボルト/目盛 (Volts/div) やオフセットを設定し続けます。
    - i. さらに、信号路補正を確認します。DC 測定精度が必要な場合は、自己較正を実行することを推奨します。オシロスコープのメーカーは、自己較正を実行する推奨頻度を示しています。
  - b. ユーザーは、トリガ イベントを画面中央でキャプチャする代わりに、水平遅延をかけて (例えば波形を左にシフトさせて) 画面スペースをより有効活用できます。
7. 適切な測定を行う例については、オシロスコープのユーザー ガイドを参照してください。
  - a. その他のリソースについては、オシロスコープのメーカーの Web サイトを参照してください。例えば、Teledyne Lecroy オシロスコープを使用する場合は、『[LeCroy カラー デジタル オシロスコープ実践ガイド](#)』を参照してください。

#### 注

最新のオシロスコープのすべてのチャンネルは共通のグランドを共有しています。オシロスコープのプロブ グランドを経由した短絡を避けるため、特別な注意が必要です。

## 2 寄生容量の影響

回路設計時に寄生容量を見落としがちですが、実際には常に寄生容量が存在し、予想される動作からのずれを引き起こし、データ収集に影響を及ぼすことがあります。これらの予期しない影響が発生した場合、どうなりますか？プリント基板 (PCB) を設計する際、すべての配線はわずかに抵抗性、容量性、インダクタンスを持つことを設計者は考慮する必要があります。これらの影響は、「寄生容量」とも呼びます。特に高周波測定では、寄生容量を考慮した設計が極めて重要で、LDO が期待通りに動作するかを検証するために欠かせません。抵抗性の寄生容量は、ゲイン誤差を引き起こし、DC 電圧の誤差を生み、LDO に内蔵されているゲイン アンプの入力での不整合を発生させることがあります。容量性および誘導性の寄生容量は、不要なノイズや信号結合を引き起こすことがあります。容量性の寄生容量は、回路の不安定性を引き起こすこともあります。誘導性の寄生容量は、帰還ループのインダクタンスを増加させ、過渡応答時に発振を引き起こす LC 共振を生じさせることがあります。

LDO では、高周波の測定を行うときにノイズの結合や不安定性が特に重要です。回路に寄生容量が存在すると、高周波測定時に電源のグランド プレーンを通じた余分なリンギングや発振、不要なノイズ結合が発生することがあります。回路内に寄生容量が存在する可能性がある状況の例を以下に示します。

1. マイクロストリップの銅のパターン：
  - a. マイクロストリップの銅のパターンは、通常高周波信号に用いられる銅のプレーンを基準とした転送ラインです。
2. 平行な銅プレーン
  - a. 並列銅プレーンは、PCB 内の大きな銅領域であり、数百ミリアンペアからアンペア単位の電力信号を伝送するために設けられています。並列銅プレーンは低インピーダンスで電源やグランドにアクセスするために使用されますが、しばしば容量性寄生容量を生じさせます。
3. ビア
  - a. ビアは PCB の異なる層間で信号を接続しますが、容量性および誘導性の寄生容量を生じることがよくあります。
4. 隣接する銅のパターン
  - a. 隣接する銅配線は、PCB 上で関連する信号群の配線を可能にしますが、容量性および誘導性の寄生容量を生じやすく、信号間の結合 (クロストーク) を引き起こすことがあります。トレースが近いほど、カップリングが強くなります。

測定を行う前に、誘導性および容量性の寄生容量を十分に制御することを強く推奨します。誘導性および容量性の寄生容量を制御するために、感度の高いテスト ノードの下にある銅プレーンや配線を切り離し、重要な信号配線でのビアの使用を最小限に抑えます。パワートレースでビアを避けられない場合は、複数のビアを使用することで、寄生効果を低減できます。さらに、不要なノイズ結合を最小限に抑えるために信号経路は短く直接的にし、隣接する配線間にはグラウンド銅箔を配置してクロストークを抑制します。これは、デュアル入力またはデュアル出力の LDO 設計時に特に重要です。インダクタンスを低減するためには、高周波過渡電流の帰路を電流が流れる配線と並行に配置する必要がありますが、これにより回路に寄生容量が増加することがあります。最後に、テスト対象デバイス (DUT) に接続されているケーブルを減らすことをお勧めします。

### 3 オシロスコープに関する一般的な問題

オシロスコープの設定は測定精度に大きな影響を及ぼします。ここでは、確認すべき一般的な測定に関する問題をいくつか取り上げます。

#### 3.1 オシロスコープ プローブの選択

測定を行う前に、測定に適したタイプのオシロスコープ プローブを選択します。測定する信号の帯域幅を歪みなく捉えるためには、オシロスコープとプローブの実効帯域幅が信号の帯域幅以上である必要があります。ほとんどのオシロスコープとプローブは実効帯域幅ではなく -3dB 帯域幅で指定されているため、測定対象信号の帯域幅の少なくとも 10 倍の帯域幅を持つオシロスコープとプローブを使用することで信号の歪みを防ぐことができます。例えば、10ns で直線的に立ち上がる信号の帯域幅は  $0.35/10\text{ns} = 35\text{MHz}$  (Bogatin) です。したがって、オシロスコープの帯域幅を 350MHz 以上に設定し、帯域幅 350MHz 以上のプローブを使用すれば十分です。

オシロスコープのプローブを選定するときは、プローブも寄生成分の影響を受けやすいことに注意してください。長いプローブ ケーブルは、過渡応答試験において電圧降下を過大に見せることがあります。静電容量式の 10X プローブを使用すると、LDO の出力信号にノイズが増える可能性があります。さらに、10X プローブ使用時に長いグラウンド ループが発生すると、測定に不要なノイズが加わる可能性があります。10X プローブは、信号を 10 分の 1 に減衰させ、その後オシロスコープがデジタルで 10 倍に増幅するため、実質的に信号対雑音比を向上させます。このため、小さな信号を測定する場合は、1X プローブを使用することが適している場合があります。1X プローブを使用する場合、オシロスコープ チャンネルに入力される電圧は分割されないため、チャンネルの定格電圧を超えないように注意が必要です。

このセクションでは、2 個のオシロスコープ プローブ、SMA プローブ、グラウンド クリップ付きプローブを評価し、負荷過渡測定を行います。

図 3-1 は、標準的なワニログランド クリップを使用した負荷過渡応答測定を示しています。図 3-2 は、プローブの先端とグラウンド クリップを接続できる便利なテスト ポイントがない場合の、標準的なワニログランド クリップのセットアップを示しています。使用可能なバナナ コネクタは、プローブへのワイヤを引き出すために使用されます。図 3-1 は、標準的なワニログランド クリップを使用すると測定が視覚的に非常にノイズが多く見え、ユーザーはデバイスがデータ シートに記載されているよりはるかにノイズが多いと誤解する可能性があることを示しています。

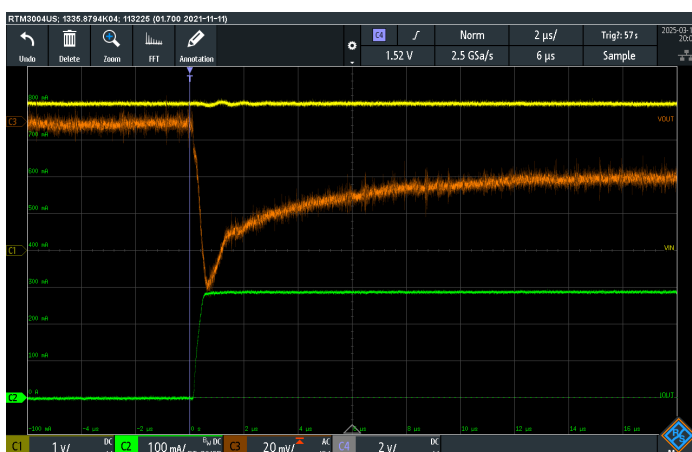


図 3-1. ワニログランドクリップ接続を備えた TLV773 負荷過渡応答

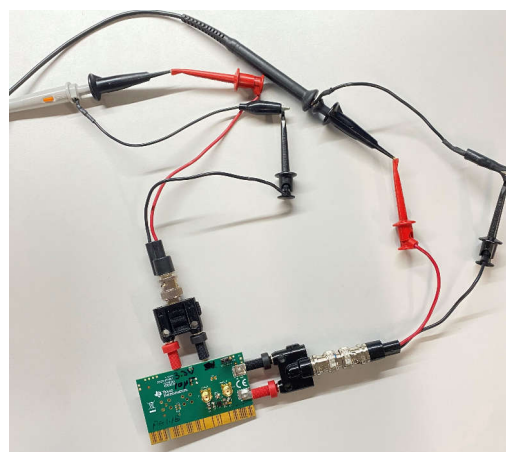


図 3-2. TLV773 におけるワニログランド クリップ付きプローブのセットアップ



図 3-3 は、オシロスコープ プローブにグラウンド スプリング アタッチメントを使用した際の負荷過渡応答を示しています。図 3-4 に、各オシロスコープ プローブに付属しているグラウンド スプリング コネクタの使用法を示します。基板に SMA コネクタがない場合、このグラウンド スプリング コネクタを使用することが、標準的なオシロスコープ プローブで最短のグラウンド 帰路を確保し、測定へのノイズ結合を最小限に抑える最良の方法です。図 3-3 に、グラウンド スプリング コネクタを使用した測定ノイズがはるかに少ないことを示します。

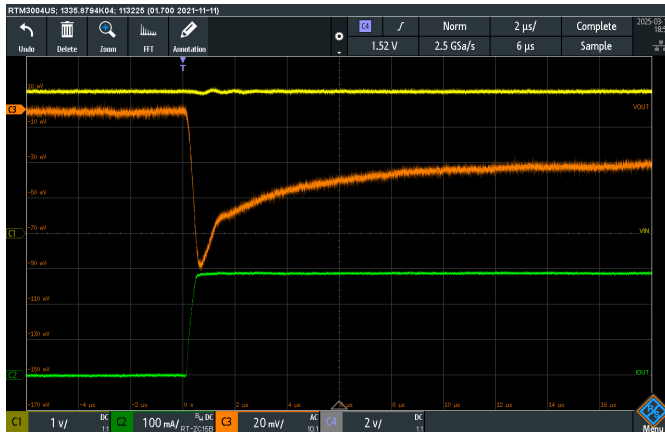


図 3-3. グラウンド スプリング接続を使用した TLV773 負荷過渡応答

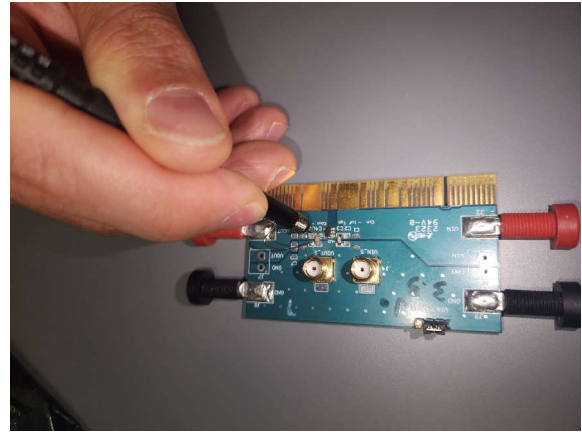


図 3-4. TLV773 のグラウンド スプリング設定を行うプローブ

図 3-5 に SMA コネクタの負荷過渡を示し、図 3-6 に SMA コネクタを使用するセットアップを示します。図 3-5 に、ノイズの少ない測定結果を示します。SMA コネクタはシールドされているため、ケーブルへのノイズ結合を低減し、グラウンド 帰還ループも最小限に抑えられます。その結果、非常に低ノイズの測定が実現できます。可能な限り、TI はノイズを最小限に抑えた測定を行うために SMA コネクタの使用を推奨しています。TI の多くの最新 LDO EVM では、デバイスピン近くの入力電圧や出力電圧などの重要ノードを測定するために SMA コネクタが採用されています。

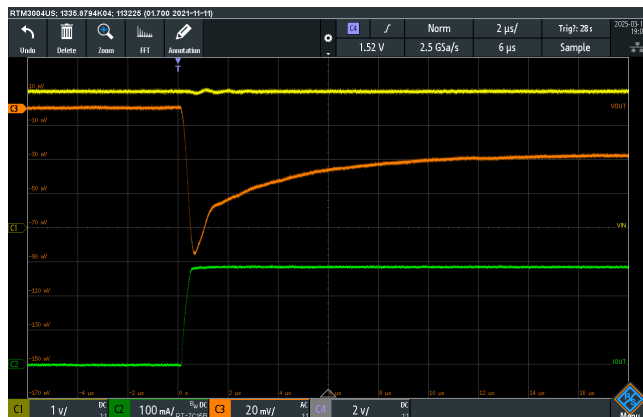


図 3-5. SMA 接続による TLV773 負荷過渡応答

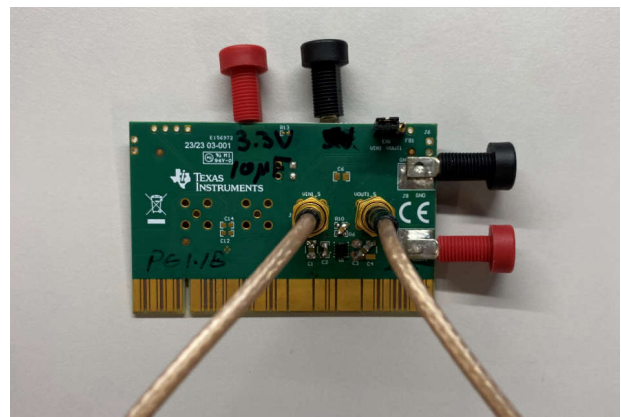


図 3-6. TLV773 の SMA セットアップ

## 3.2 十分なサンプリング

オシロスコープで測定を行うときは、ピーク過渡に対して十分なサンプリングが必要です。波形測定時にサンプリングが不十分だと、エイリアシングが発生し、測定データの一貫性が損なわれることがあります。エイリアシングはトリガに影響を及ぼし、波形の位置を水平にシフトする可能性があります。エイリアシングの詳細については、[Teledyne Lecroy オシロスコープの基本: サンプリングレート](#)を参照してください。サンプリングが不十分だと、過渡現象の測定時に偽のピークが現れることがあり、誤った測定データをもたらす可能性があります。サンプリングが不十分な場合は、図 3-7 に示すように、特定の信号のピークで収集されたデータに対して情報が不足する可能性もあります。

波形に十分なサンプリングがない場合、各チャンネルを視覚化するのがより困難です。次の画像を、500 個のサンプルの図 3-8 と 50,000 個のサンプルを備える図 3-7 と比較すると、500 個のサンプルを備える図 3-7 は、各チャンネルを可視化するのが非常に困難です。

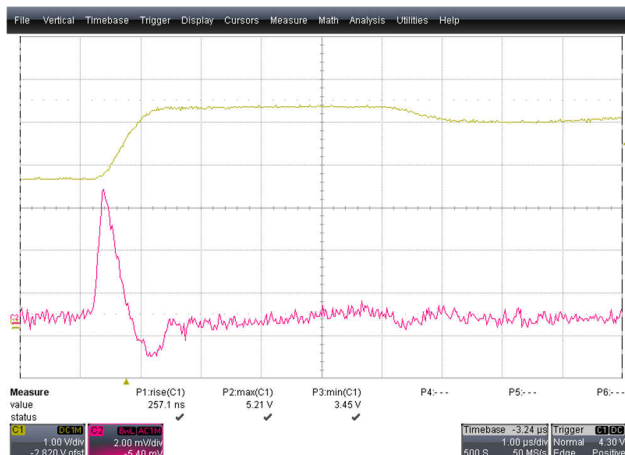


図 3-7. 500 個のサンプル

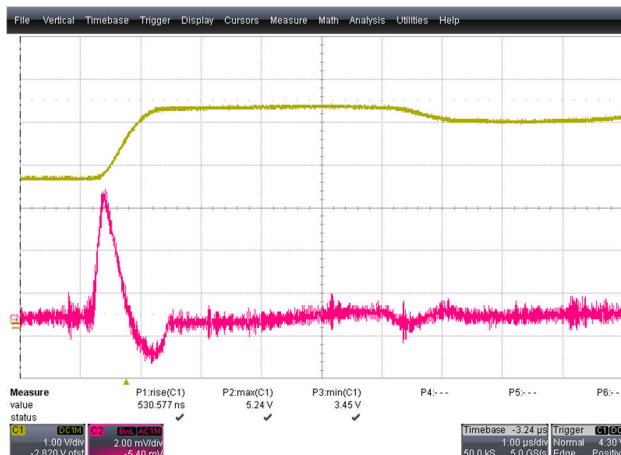


図 3-8. 50,000 個のサンプル

### 注

各オシロスコープが同じというわけではありません。複数のチャンネルを使用すると、実効帯域幅やサンプリングレートがチャンネル間で分割され、低下する場合があるオシロスコープもあります。

## 3.3 可視化

オシロスコープは、1s/div から 500ps/div まで、あるいは高性能モデルではそれよりも小さい時間スケールまで、何桁にもわたるズーム機能を備えています。そのため、取得した波形を効果的に可視化するには、適切な時間スケールを選ぶことが重要です。波形が視覚的に焦点が合っていない場合、立ち上がりエッジや立ち下がりエッジ部分のデータを見分けるのが難しくなることがあります。波形が判読できない場合、電気的動作の詳細が失われる可能性があります。適切に可視化されていない状態で測定を行うと、将来の開発に向けたデバッグ時に問題が生じる可能性があります。図 3-9 は、時間スケールが拡大されすぎていて、測定結果が判読できない負荷過渡応答の測定を示しています。図 3-10 は、立ち上がりエッジのデータを識別できるように時間軸を調整した負荷過渡応答の測定を示しています。図 3-10 は、視覚化に使用できる画像です。

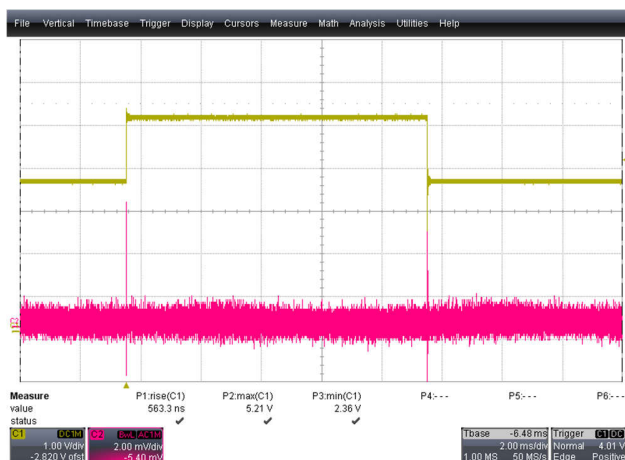


図 3-9. 視覚化が不十分

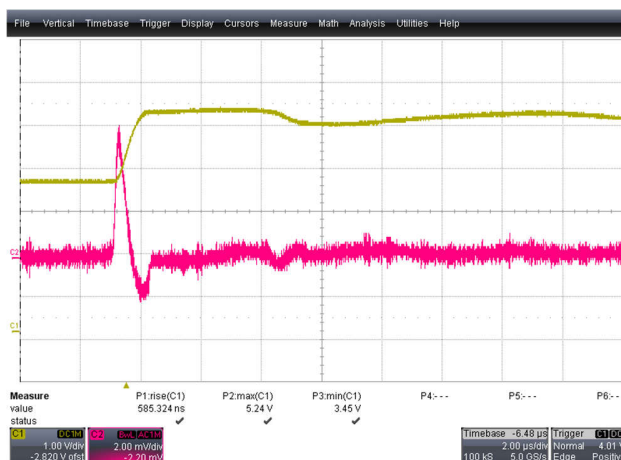


図 3-10. 立ち上がりエッジに注目

### 3.4 電流プローブを使用した電流の測定

LDO におけるもう一つの一般的な測定方法は、電流プローブを使用して入力電流および出力電流を測定することです。電流プローブを使って電流を測定するのは難しいことがあります。なぜなら、電流プローブでは測定対象の電流経路をプローブの中を通す必要があるからです。これを行うために、電流プローブを接続できるように導線を引き出してループを作成する必要があることがあります。これによって寄生インダクタンスが生じます。わずかな寄生インダクタンスでも過渡波形の形状に影響を与えます。また、寄生インダクタンスが十分に大きいと、共振による大きな電圧スパイクが発生し、デバイス本来の動作を歪めてしまうことがあります。TPS793 デバイスを使用して負荷過渡応答の測定を行い、電流プローブで出力電流を測定しました。図 3-11 上のチャンネル 4 (緑) に出力電流が表示されています。この負荷過渡は長いケーブル配線を使って集められたため、大きな寄生容量が発生しました。追加の寄生インダクタンスにより、デバイスの出力に大きな共振電圧スパイクが発生しました。図 3-12 は、配線を大幅に短くし、寄生インダクタンスを最小限に抑えた負荷過渡応答の測定を示しており、より正確な測定データにつながっています。負荷ステップに対するデバイスの真の応答を図 3-12 に示しますが、図 3-11 は示していません。

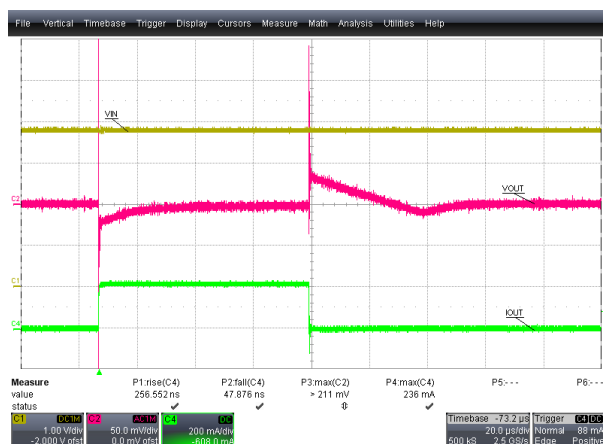


図 3-11. 長いケーブル接続による電流プローブ測定



図 3-12. 短いケーブル配線による電流プローブ測定

### 3.5 帯域幅の制限と平均化

帯域幅制限や平均化は、測定時のノイズを低減するために有効な手法ですが、注意して使用する必要があります。これらの手法は適切に使用すれば利点がありますが、測定内容を考慮せずに使用すると誤った印象を与えることがあります。

帯域幅制限は波形に含まれる高周波ノイズを大幅に低減しますが、一方で、オーバーシュートやアンダーシュートなど、デバッグに重要な波形成分も減衰またはフィルタリングしてしまうことがあります。これにより、図 3-13 と図 3-14 に示すように、測定値の精度が不正確になる可能性があります。測定対象に高周波成分が予想されない場合は、帯域幅制限を利用してノイズを減らし回路の電気的動作をより明確に把握できます。しかし、ノイズ結合や減衰不足のフィルタや寄生容量による共振などで予期しない高周波信号が存在する場合もあります。まずはフル帯域幅で測定を開始し、重要な高周波成分が含まれていないと確信できた後で帯域幅制限を適用することを推奨します。

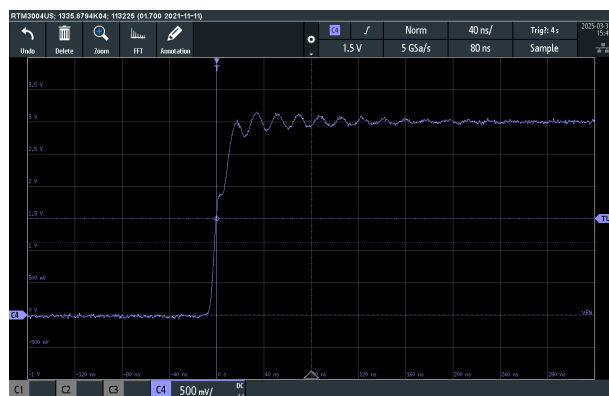


図 3-13. フル帯域幅 (500MHz) の立ち上がりエッジ信号

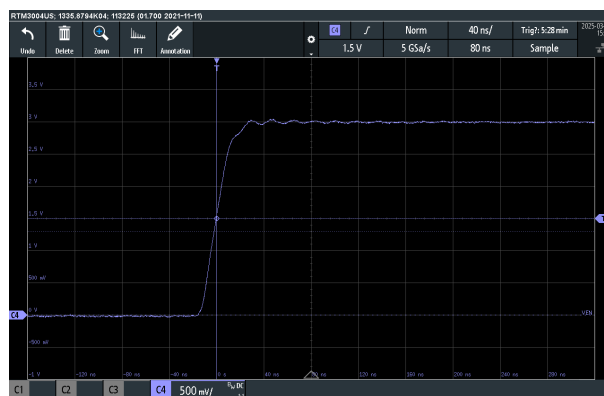


図 3-14. 帯域幅制限 (20MHz) の立ち上がりエッジ信号

長い測定ワイヤでノイズを低減する簡単な方法が存在しない場合、平均化は有用なツールとして利用できます。この方法では、測定する波形が測定間で一貫している必要があります。図 3-16 は、チャンネル 3 で示された負荷過渡応答の測定において、図 3-15 で示された測定のノイズが 5 回のサンプル平均化によってどのように低減されるかを示しています。

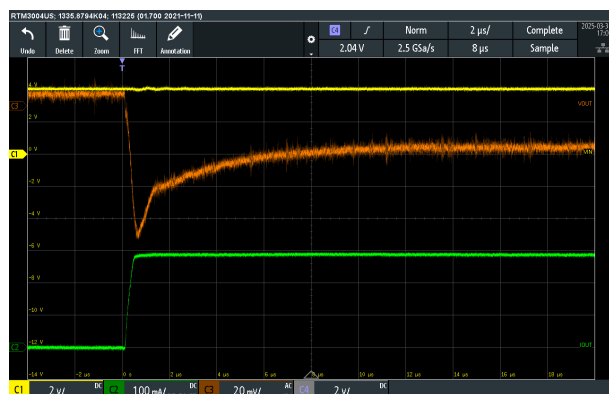


図 3-15. 平均化なしでの負荷過渡

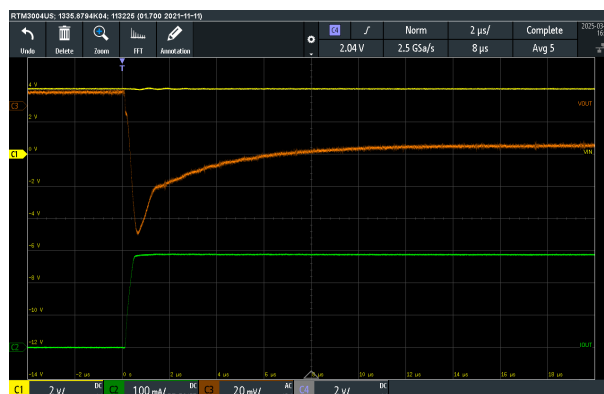


図 3-16. 5 個のサンプル平均での負荷過渡応答



## 4 一般的な測定値に対する寄生効果

### 4.1 負荷過渡

負荷過渡現象とは、負荷電流の急激な変化のことであり、LDO の負荷過渡応答は LDO の重要な特性のひとつです。負荷過渡応答は、LDO の内部補償、内部エラー アンプの動的帯域幅、さらに出力キャパシタンスや寄生要素の影響を受けます。負荷過渡応答が不良 (過度のアンダーシュート、オーバershoot、またはリンギング) であると、LDO が電力を供給する部品の動作に悪影響を及ぼす可能性があります。負荷過渡の詳細については、[LDO の負荷過渡応答に関するアナログ デザイン ジャーナル](#)を参照してください。

次のセクションでは、2 つの負荷過渡の設定条件について説明します。条件は、高速 LDO であるデバイス TPS7A57 を使用してテストされました。高速 LDO の場合、過渡測定では回路のインダクタンスが明らかになります。一方の条件は長い配線による大きなトレース寄生があり、もう一方の条件はトレース寄生が少なく、DUT への接続がより近いものです。

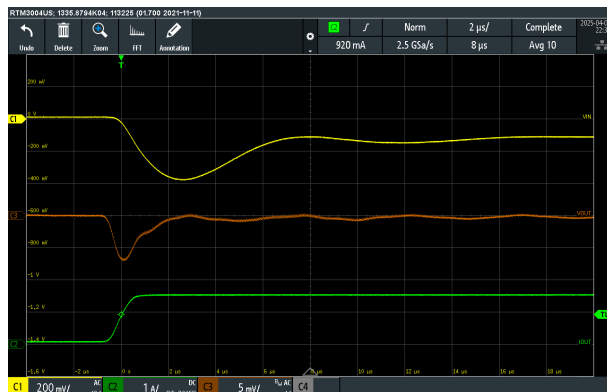


図 4-1. TPS7A57 入力および出力に追加の寄生要素がある状態での負荷過渡応答

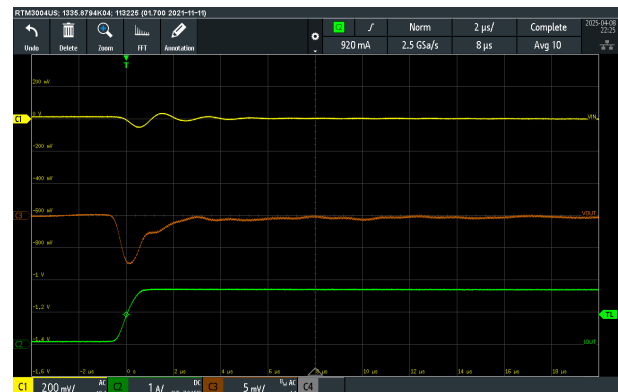


図 4-2. TPS7A57 入力および出力の寄生要素が最小限の状態での負荷過渡応答

### 4.2 電源除去比

LDO の電源除去比 (PSRR) は、入力の小信号リップルが出力時にどれだけ減衰されるかを表す尺度です。PSRR と PSRR 測定の詳細については、[LDO PSRR 測定簡易版](#)をご覧ください。

次のセクションでは、[図 4-3](#) から示すように、TPS793 デバイスで取得した 2 つの PSRR 測定セットアップ条件を確認します。赤いパターンで示されている条件 1 は、ケーブル長がかなり長い状態での PSRR 測定を示しており、緑のパターンで示されている条件 2 は、ケーブル長がかなり短い状態での PSRR 測定を示しています。PSRR 測定に寄生容量が加わると、赤いトレースで示されているように、高周波数で取得される PSRR 測定データが低くなるように見えます。高周波での測定、特に PSRR の場合、出力コンデンサの特性が測定値に大きな影響を及ぼします。出力コンデンサにより多くの寄生容量が結合されると、高周波数帯で収集されたデータは、寄生容量が加わったコンデンサの特性を示します。

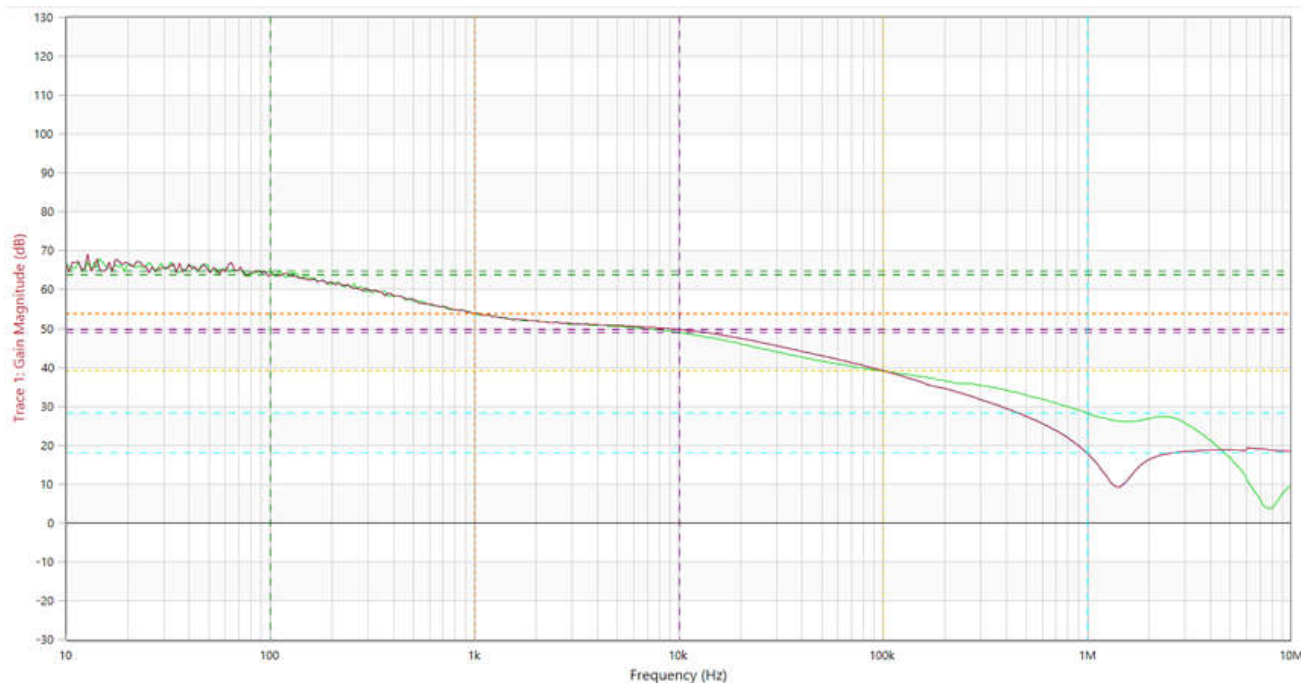


図 4-3. 追加の寄生容量を備える TPS793 PSRR

### 4.3 出力ノイズ電圧

出力ノイズ電圧は、一般的に 10Hz~100kHz の特定の周波数範囲における RMS 出力ノイズ電圧です。ノイズは、一定の出力電流およびリップルのない入力電圧の条件下で測定されます。出力ノイズ電圧と LDO ノイズ測定の詳細については、[LDO ノイズの測定方法](#)をご覧ください。

以下のセクションでは、2 つのノイズ測定セットアップ条件について説明します。条件は、TPS793 デバイスでテストされています。図 4-4 はケーブルを大幅に長くしたノイズ測定値を示し、図 4-5 はケーブル配線が大幅に短い場合のノイズ測定値を示します。図 4-4 に示すように、ノイズ測定に多くのケーブル接続が導入されると、寄生容量が発生します。これは、測定に多くのノイズが存在し、結果として得られるデータ収集に対応します。寄生容量を含む場合、図 4-4 で測定されたノイズは 69.9 $\mu$ Vrms であり、寄生容量が最小限のデータ図 4-5 では 68.9 $\mu$ Vrms であることがわかりました。この特定の用途ではノイズは大きく変わらず、わずか 1 $\mu$ Vrms の差でしたが、ノイズの低い用途では 1 $\mu$ Vrms の差がデバイスの性能に大きな影響を及ぼすことがあります。

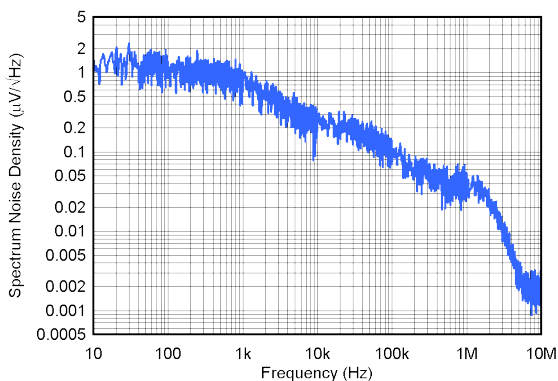


図 4-4. TPS793: 追加の寄生容量を使用した出力電圧ノイズ

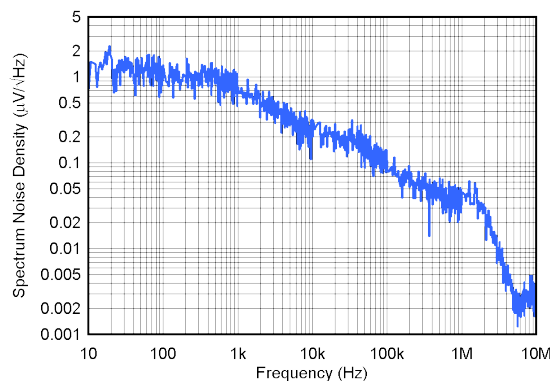


図 4-5. TPSS793: 寄生制限ありの出力電圧ノイズ

## 5 まとめ

LDO デバイスの仕様の精度を検証する際には、測定セットアップが重要です。測定を行う前に、不正確または歪んだ測定データをもたらす可能性のある特定の測定条件に注意してください。エイリアシングや視覚化の不良を避けるために、十分なサンプリングを必ず使用します。共振するリングングを減らすために、ケーブルを短くして回路のインダクタンスを制限します。最後に、オシロスコープの水平・垂直スケールを適切に調整し、測定値が最も見やすく表示されるようにします。LDO デバイスで測定を行う前に測定の設定を確認します。

## 6 参考資料

- Teledyne LeCroy、[オシロスコープの基本: サンプリングレート](#)を参照してください。
- テキサス インスツルメンツ、『[LDO の負荷過渡応答について](#)』、技術記事。
- テキサス インスツルメンツ、『[LDO 電圧レギュレータの用語および定義](#)』アプリケーション ノート。
- テキサス インスツルメンツ、『[LDO PSRR 測定の概略図](#)』アプリケーション ノート。
- テキサス インスツルメンツ、『[LDO ノイズの測定方法](#)』アプリケーション ノート。
- Bogatin, Eric. 「基本への立ち返り: 帯域幅と立ち上がり時間」*Signal Integrity Journal*、Signal Integrity Journal、2020 年 7 月 29 日、[www.signalintegrityjournal.com/blogs/12-fundamentals/post/853-back-to-basics-bandwidth-and-rise-time](http://www.signalintegrityjournal.com/blogs/12-fundamentals/post/853-back-to-basics-bandwidth-and-rise-time)。

## 7 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 * (February 2025) to Revision A (July 2025)	Page
• 技術的な正確性を反映するようにドキュメントを更新.....	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 © 2025, Texas Instruments Incorporated



## 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated