

Design Guide: TIDA-010982

フィールドトランスミッタプラットフォーム: 4mA ~ 20mA ループ電源インターフェイスのリファレンス デザイン



説明

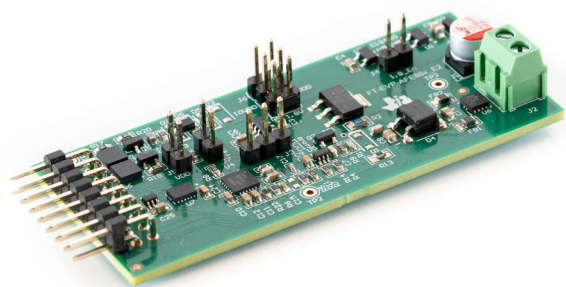
このリファレンス デザインでは、2 線式ループ電源センサ用の 4 ~ 20mA インターフェイスの実装例を示します。この設計を使用すると、1.8V 信号チェーンを使用した、低消費電力アプリケーションに似た環境で、AFE881H1 と AFE882H1 を評価できます。AFE881H1 と AFE882H1 は、高精度の 16 ビット DAC と HART® モデムを内蔵しています。このリファレンス デザインは、マイコンに接続するためのピン ヘッド上で、シリアル パリフェラル インターフェイス (SPI) と UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) インターフェイスを提供します。このピン ヘッドは、マイコンに電源を供給するために 3.3V と 1.8V を供給するほか、ADC に使用する 1.25V のリファレンス電圧を供給します。

リソース

TIDA-010982	デザイン フォルダ
AFE881H1、AFE882H1	プロダクト フォルダ
OPA391、TPS7A03	プロダクト フォルダ
REF35、TVS3301、ADS122S14	プロダクト フォルダ
TMUX1219、SN74LV8T165	プロダクト フォルダ
MSPM0-SDK、SNSR-DUAL-ADC-EVM	ツール フォルダ



テキサス・インスツルメンツの E2E™ サポート エキスパートにお問い合わせください。

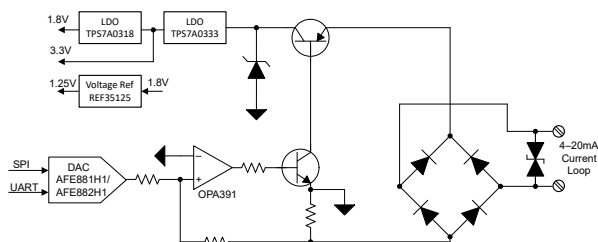


特長

- 2 線式ループ電源センサ用の 4 ~ 20mA ループ インターフェイスの実装
- 包括的な 1.8V 信号チェーンにより、低消費電力と高精度を維持可能
- AFE88xH1 リファレンス内蔵、HART モデム搭載、16 ビット DAC
- 電源出力 (リファレンス電圧 1.8V、3.3V、1.25V)、SPI、UART インターフェイスを供給するマイコン (MCU) インターフェイス

アプリケーション

- 流量トランスミッタ
- レベルトランスミッタ
- 圧力トランスミッタ
- 温度トランスミッタ
- アナログ出力モジュール



1 システムの説明

このリファレンス デザインは、ループ電源センサ用の 4 ~ 20mA 電流ループ インターフェイスを実装しています。この設計には、16 ビット DAC である AFE881H1 または AFE882H1 のいずれかが組み込まれています。DAC 出力電圧は OPA391 オペアンプを駆動し、電圧を電流に変換します。

この設計には、1.8V または 3.3V の出力オプションを備えた電源が統合されています。構成設定により、基板上のアナログ回路および接続された MCU の電源として 1.8V と 3.3V のどちらを使用するかが決まります。システムの電力効率を高めるために、低 I_Q の低ドロップアウト (LDO) レギュレータ (TPS7A0333 および TPS7A0318) が使用され、安定した効率的な電力出力を維持します。

この設計には、MCU 用のディスクリート P チャネル金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ (PMOSFET) CSD25404 パワー スイッチが搭載されています。このパワー スイッチは、MCU に接続されたコネクタ上の 1.8V と 3.3V 電源レールを制御します。追加のバルク容量により、ループ制限を超える起動電流がサポートされます。このコンデンサは、低消費電力モードに移行する前に MCU の初期化動作に電力を供給します。

1.1 主なシステム仕様

パラメータ	仕様
ループ電源電圧	8V ~ 30V
ループ電流範囲	3mA ~ 24mA
分解能	16 ビット
RMS ノイズ	0.5 μ A 未満
ピーク ツー ピーク ノイズ	3 μ A 未満
セトリング タイム	1ms 未満
電源出力	3.3V、1.8V
電源出力電流	2mA
リファレンス電圧出力	1.25V
MCU へのインターフェイス	SPI、UART

2 システム概要

2.1 ブロック図

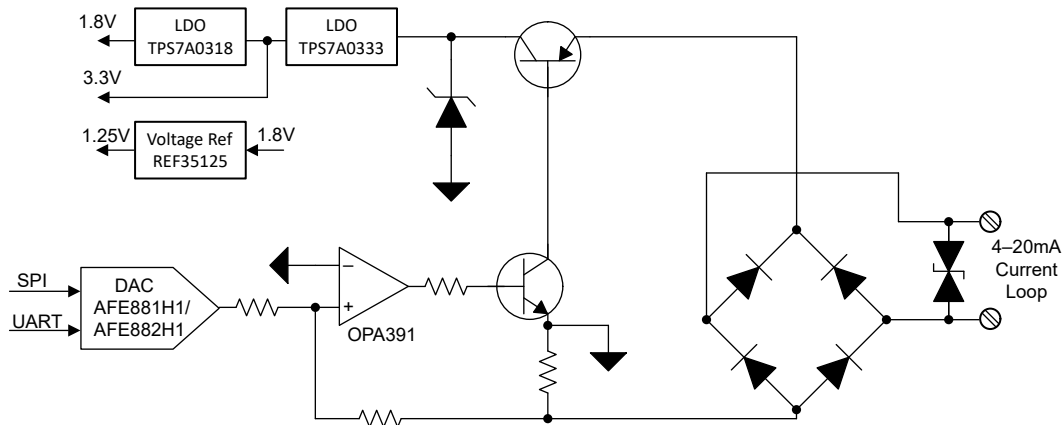


図 2-1. TIDA-010982 のブロック図

2.2 設計上の考慮事項

この設計は、フィールドトランスミッタとセンサ向けの 4mA ~ 20mA 出力段を実装しています。AFE881H1 と AFE882H1 は、最大 16 ビットの高分解能で D/A 変換機能を統合しています。低消費電力であるため、システムはループ電源から直接動作できます。さらに、この AFE には HART 通信機能を有効にするモデムが内蔵されています。AFE881H1 を使用すれば、設計全体は 1.8V 単一電源で動作可能です。

入力部のグレッツブリッジにより逆極性保護が実現し、どちらの極性でも動作が可能になります。過電圧保護は TVS3301 TVS ダイオードによって提供され、過剰な電圧レベルから保護します。フェライトビーズによって高周波ノイズが低減されます。

電流のレギュレーションは、パストランジスタとツェナーダイオード、および最初の LDO と組み合わせて行われます。このシステムでは一部の電流を消費し、残りの大部分をツェナーダイオードで消費するため、消費電力を複数のデバイス間で分散し、熱的ストレスを最小限に抑えることができます。専用のオペアンプは、DAC の出力電圧をループ電流に変換します。

システムの各部品には、LDO から供給される 2 つの電源 (1.8V および 3.3V) を使用できます。安定した 1.25V のリファレンス電圧が基板回路上で直接供給されます。リファレンス電圧の出力は、ピンヘッダ経由でも利用できます。

2.3 主な使用製品

2.3.1 TPS7A03

TPS7A03 は、非常に優れた過渡性能で 200mA を供給できる超小型超低静止電流の低ドロップアウトレギュレータ (LDO) です。

TPS7A03 は、 I_Q がわずか 200nA と非常に低く、静止電流の低さが重要となる用途に特化して設計されています。このデバイスはドロップアウトモードでも小さな I_Q 消費を維持するため、バッテリー動作時間をさらに延長できます。シャットダウンまたはディセーブルモードでは、わずか 3nA の I_Q しか消費しないため、バッテリーの保存寿命を延ばすのに役立ちます。

TPS7A03 は 0.8V ~ 5.0V の出力範囲を持ち、50mV 刻みで設定可能なため、近年のマイコン (MCU) の低いコア電圧に対応できます。

TPS7A03 は、スマートイネーブル回路を備え、内部で制御されるプルダウン抵抗により、EN ピンをフローティング状態のままにしても LDO をディセーブル状態に維持します。これにより、EN ピンのプルダウンに使用する外付け部品を最小限に抑えることができます。この回路は、デバイスが有効になっている時に外付けのプルダウン回路を通じて流れる電流を最小限に抑える助けにもなります。

2.3.2 REF35

REF35 は、ナノパワー、低ドリフト、高精度シリーズのリファレンス デバイスのファミリです。REF35 ファミリは、 $\pm 0.05\%$ の初期精度と 650nA の標準消費電力を特長としています。このデバイスの温度係数 (12ppm/°C) と長期安定性 (1000 時間で 40ppm) は、システムの安定性と信頼性の向上に役立ちます。低消費電力と高精度の仕様を組み合わせ、広範な携帯型 / 低-電流アプリケーション向けに設計されています。

REF35 は、3.3ppm_{p-p} ノイズおよび 20ppm/mA のロードレギュレーションで、最大 10mA の電流を供給します。この機能セットにより、REF35 は高精度センサと 12~16 ビット データコンバータ向けの強力な低ノイズで高精度の電源を実現します。

2.3.3 TVS3301

TVS3301 デバイスは、最大 27A の IEC 61000-4-5 フォルト電流をシャントし、大電力の過渡現象や落雷からシステムを保護します。このデバイスは、42Ω のインピーダンスで結合した 1kV IEC 61000-4-5 開路電圧の一般的な産業用信号線 EMC 要件に適合しています。TVS3301 は帰還機構を使用して、フォルト中の正確なフラット クランプを提供し、システムがさらされる電圧を、従来型の TVS ダイオードよりも低く保ちます。厳格な電圧レギュレーションにより、設計者は電圧許容誤差の狭いシステム部品を安心して選択できるため、堅牢性を損なうことなくシステムのコストと複雑さを低減できます。TVS3301 は $\pm 33V$ の範囲で動作するため、逆配線に対する保護を必要とするシステムでの動作も可能です。

さらに、TVS3301 はスペースの制約が厳しいアプリケーション用に設計された小型の SON フットプリントで供給されるため、標準の SMA および SMB パッケージと比較して大幅なサイズ低減が可能です。リーク電流と容量が小さいため、保護するラインへの影響も最小限です。製品のライフサイクル全体にわたり堅牢な保護を提供するため、テキサス インストルメンツは TVS3301 をテストし、125°C で 5000 回の反復サージに対してデバイス性能に変化がないことを確認しています。

2.3.4 OPA391

OPA391、OPA2391、OPA4391 (OPAx391) デバイスは、高帯域 (1MHz) と非常に低い静止電流 (24μA) を高精度アンプに独自に組み合わせた製品です。これらの機能とレールツーレール入出力を組み合わせることで、これらのデバイスは高ゲイン、低消費電力のアプリケーションで非常に優れた選択肢になります。10fA という非常に低い入力バイアス電流、わずか 45μV のオフセット (最大値)、および 1.2μV/°C の温度ドリフトにより、低消費電力要件を必要とするレシオメトリックおよびアンペロメトリックセンサ フロントエンドで高い精度を維持できます。

OPAx391 は、テキサス インストルメンツ独自の e-trim™ オペアンプ技術を採用しており、入力スイッチングやオートゼロ技術が必要とせず、超低オフセットと低入力オフセットドリフトという独自の組み合わせを実現できます。CMOS ベースのテクノロジー プラットフォームは、最新の堅牢な出力段設計も採用しています。この設計は、高い出力容量に耐えることができ、一般的な低消費電力アンプで共通にみられる安定性の問題を緩和します。

2.3.5 AFE881H1

16 ビットの AFE881H1 および 14 ビットの AFE781H1 (AFEx81H1) は、HART 対応センサトランスミッタ アプリケーション向けに設計された、高集積度、高精度、超低消費電力の電圧出力 D/A コンバータ (DAC) です。

AFEx81H1 デバイスには、4mA ~ 20mA の 2 線式 (ループ電源) センサトランスミッタを設計するために必要な構成要素のほとんどが含まれています。これらの部品には、高精度な DAC に加えて、HART 認証周波数偏移変調 (FSK) モデム、10ppm/°C の電圧リファレンス、および診断用 A/D コンバータ (ADC) が内蔵されています。内在的および機能安全上の問題に対応するには、外部の電圧電流変換と、電源のレギュレーションが必要です。

内蔵の診断 ADC は複数の内部ノードに多重化されており、自動的な自己ヘルスチェックを可能にしています。診断用 ADC、CRC フレームエラーチェック、あるいはウィンドウ付きのウォッチドッグ タイマから、いずれかの障害が検出された場合、本デバイスは (オプションとして) 割り込みの発行、あるいは標準の NAMUR 出力値またはユーザー指定のカスタム値に応じたフェイルセーフ状態への遷移、またはその両方を開始できます。

これらのデバイスは最小 1.71V の電源で動作し、最大静止電流は 220μA です。本デバイスの温度範囲は -40°C ~ +125°C で規定されていますが、-55°C ~ +125°C で機能することが可能です。

2.3.6 AFE882H1

16 ビットの AFE882H1 および 14 ビットの AFE782H1 (AFEx82H1) は、HART 対応のプロセス制御および産業用オートメーション アプリケーション向けに設計された高集積、高精度、超低消費電力の電圧出力 DAC です。

AFEx82H1 デバイスには、4mA ~ 20mA の 3 線式または 4 線式センサトランスミッタまたはアナログ出力モジュールを設計するために必要な構成要素のほとんどが含まれています。これらのデバイスには、高精度な DAC に加えて、HART® 準拠 FSK モデム、10ppm/°C の電圧リファレンス、および診断用 A/D コンバータ (ADC) が内蔵されています。内在的および機能安全上の問題に対応するには、外部の電圧電流変換と、電源のレギュレーションが必要です。

内蔵の診断 ADC は複数の内部ノードに多重化されており、自動的な自己ヘルス チェックを可能にしています。このチェックにより、内蔵のバイアス源や電源レギュレータ、電圧リファレンス、DAC 出力、ダイ温度に関するエラーや故障を検出でき、さらにオプションとして外部電圧源の問題も検出できます。診断用 ADC、CRC フレーム エラー チェック、あるいはウィンドウ付きのウォッチドッグ タイマから、いずれかの障害が検出された場合、本デバイスは (オプションとして) 割り込みの発行、あるいはユーザー指定のフェイルセーフ状態への遷移、またはその両方を開始できます。

2.3.7 SN74LV8T165

SN74LV8T165 デバイスは、並列またはシリアル入力、シリアル出力の 8 ビット シフトレジスタです。このデバイスには、ロード データとシフト データという 2 つの動作モードがあり、SH/LD 入力で制御されます。出力レベルは電源電圧 (VCC) を基準としており、1.8V、2.5V、3.3V、5V の CMOS レベルをサポートしています。

入力は、低電圧 CMOS 入力の昇圧変換 (例: 1.2V 入力から 1.8V 出力、または 1.8V 入力から 3.3V 出力) をサポートするため、低スレッショルド回路を使って設計されています。また、5V 許容の入力ピンにより、降圧変換 (例: 3.3V から 2.5V 出力) が可能です。

2.3.8 TMUX1219

TMUX1219 は、汎用の CMOS (相補型金属酸化膜半導体) 単極双投 (SPDT) スイッチです。TMUX1219 は、SEL ピンの状態に基づいて、2 つのソース入力間のスイッチングを行います。1.08V ~ 5.5V の広い動作電源電圧範囲により、個人用電子機器からビルディング オートメーションまで、幅広い用途に使用可能です。このデバイスは、ソース (Sx) およびドレイン (D) ピンで、GND から VDD までの範囲の双方向アナログおよびデジタル信号をサポートします。消費電流が 4nA と低いので、携帯型アプリケーションで使用できます。

すべてのロジック入力のスレッショルドは 1.8V ロジック互換で、有効な電源電圧範囲で動作していれば、TTL と CMOS の両方のロジックと互換性が確実に得られます。フェイルセーフ ロジック回路により、電源ピンよりも先に制御ピンに電圧が印加されるため、デバイスへの損傷の可能性が避けられます。

3 システム設計理論

このセクションでは、この設計の各ブロックに関する情報について説明します。図 3-1 に、これらのブロックの配置を示します。

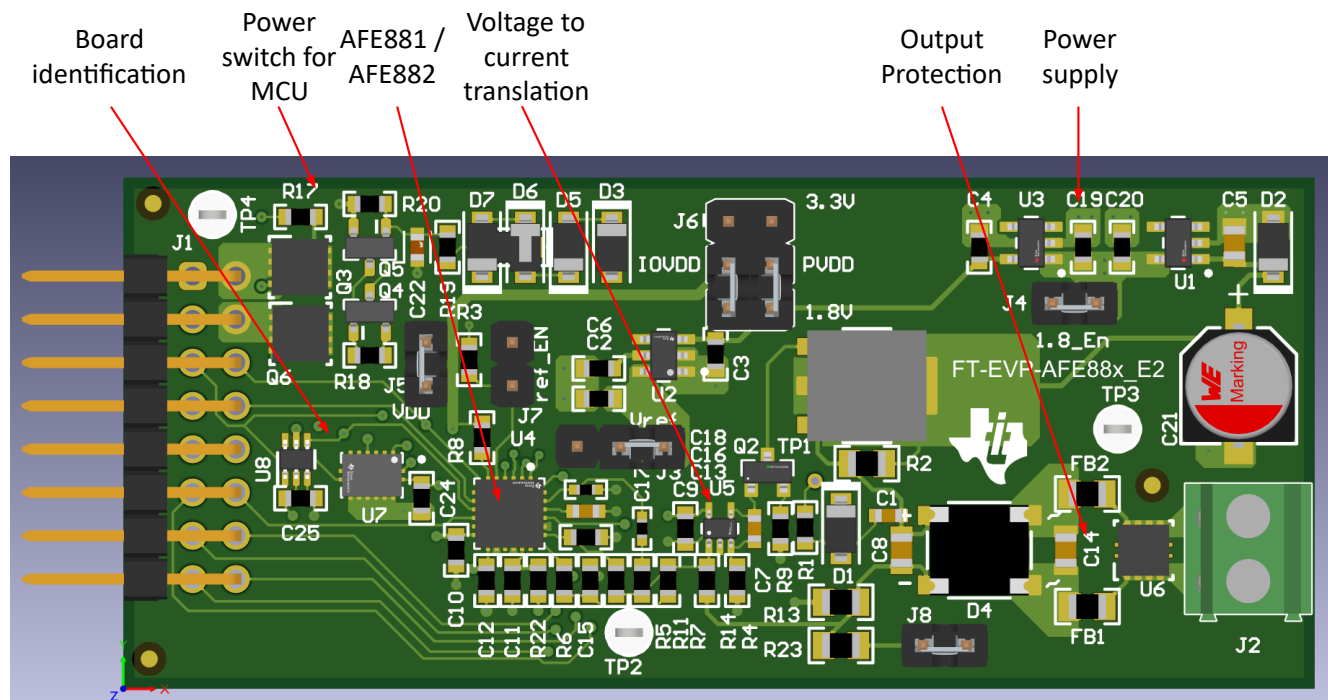


図 3-1. TIDA-010982 の機能ブロック

ソフトウェアから基板を識別できるように、各基板にはシフトレジスタが搭載されており、入力ピンによってボード ID 番号がコーディングされ、SPI 経由で MCU から読み取ることができます。

ヘッダで利用可能な 1.8V および 3.3V 電圧は、電圧が安定するとすぐにディスクリートのパワー スイッチとして PMOSFET を使用してオンになります。

AFE881H1 または AFE882H1 はこの設計の主要部品であり、HART モデムを内蔵した電圧 DAC です。出力電圧はオペアンプ、トランジスタ、およびいくつかのパッシブ部品を使用して電流に変換されます。

出力は、ブリッジ整流器を使用して逆極性から、TVS3301 TVS ダイオードを使用して過渡電圧から保護されています。フェライト ビーズを使用して高周波ノイズをフィルタリングできます。

電源には、ループ電圧から 3.3V と 1.8V を生成するための 2 つの LDO がオンボードで実装されています。

4 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

4.1 ハードウェア要件

基板を動作させるには、正しく接続を行い、それに応じてジャンパを設定する必要があります。図 4-1 に TIDA-010982 ジャンパを示し、表 4-1 にジャンパとコネクタの簡単な説明を示します。

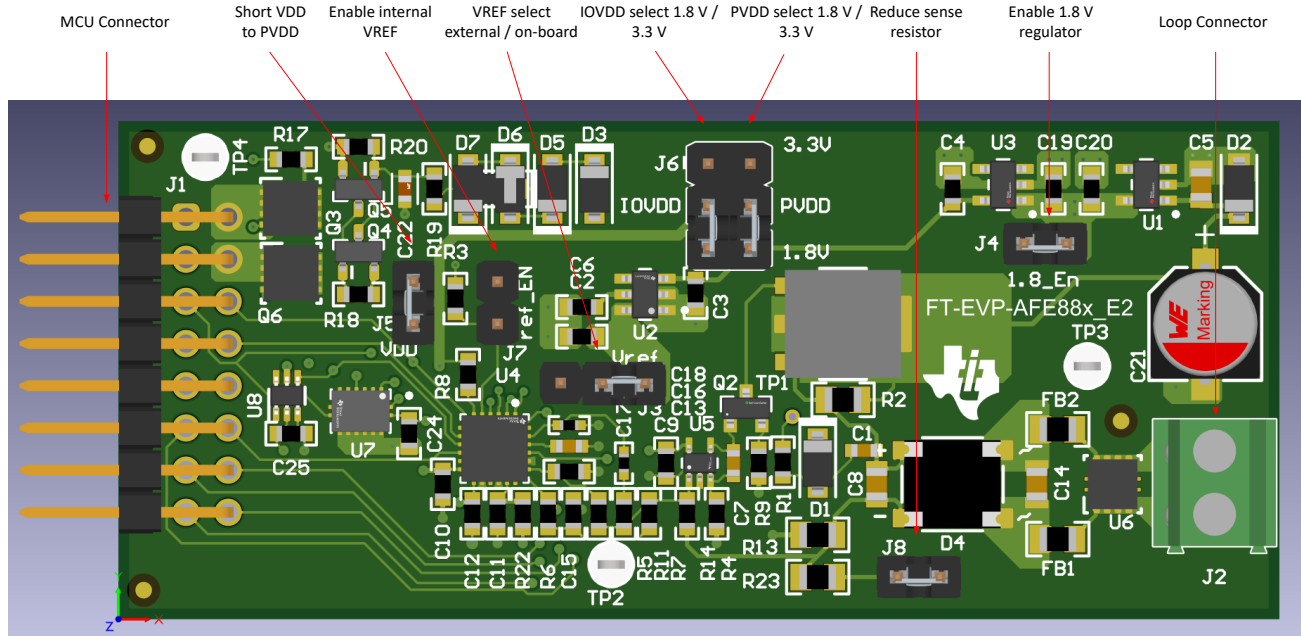


図 4-1. TIDA-010982 のジャンパ

表 4-1. ジャンパおよびコネクタの説明

記号	ジャンパ、コネクタ	説明
J1	MCU コネクタ	マイコン ボードへの接続
J5	VDD から PVDD への短絡	AFE881H1 を 1.8V で使用する場合は、これを短絡し、内部 LDO を無効にする必要があります
J7	内部 VREF の有効化	これを設定すると、AFE881H1 または AFE882H1 の内部リファレンス電圧が有効になります。
J3	VREF 選択	オンボードの REF35125 を使用するには、1-2 に設定します。MCU コネクタ J1 経由で供給される外部リファレンス電圧を使用するには、2-3 に設定します。
J6	IOVDD 選択	3.3V 動作では 1-3、1.8V では 3-5 に設定します。
J6	PVDD 選択	3.3V 動作では 2-4、1.8V では 4-6 に設定します。
J8	センス抵抗の低減	電圧電流変換のための帰還抵抗を低減します。1.8V 動作の場合は、このジャンパを設定する必要があります。
J4	1.8V レギュレータの有効化	このジャンパを設定して 1.8V LDO を有効にします
J2	ループ コネクタ	電流ループに接続します

動作電圧が異なる場合、デバイスを損傷しないようにジャンパも異なる設定にする必要があります。図 4-2 に、1.8V 動作時のジャンパを設定する方法を示します。図 4-3 に、3.3V 動作時のジャンパ構成を示します。赤いボックスは、3.3V 動作時のジャンパを設定する方法を示しています。

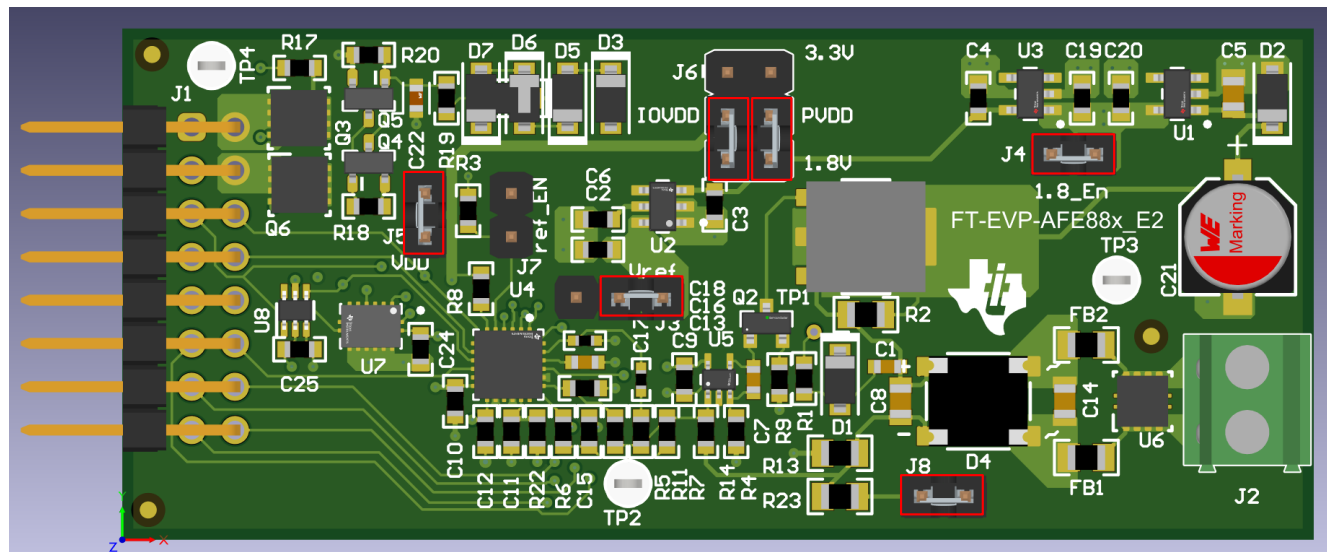


図 4-2. 1.8V 動作時の TIDA-010982 ジャンパ構成

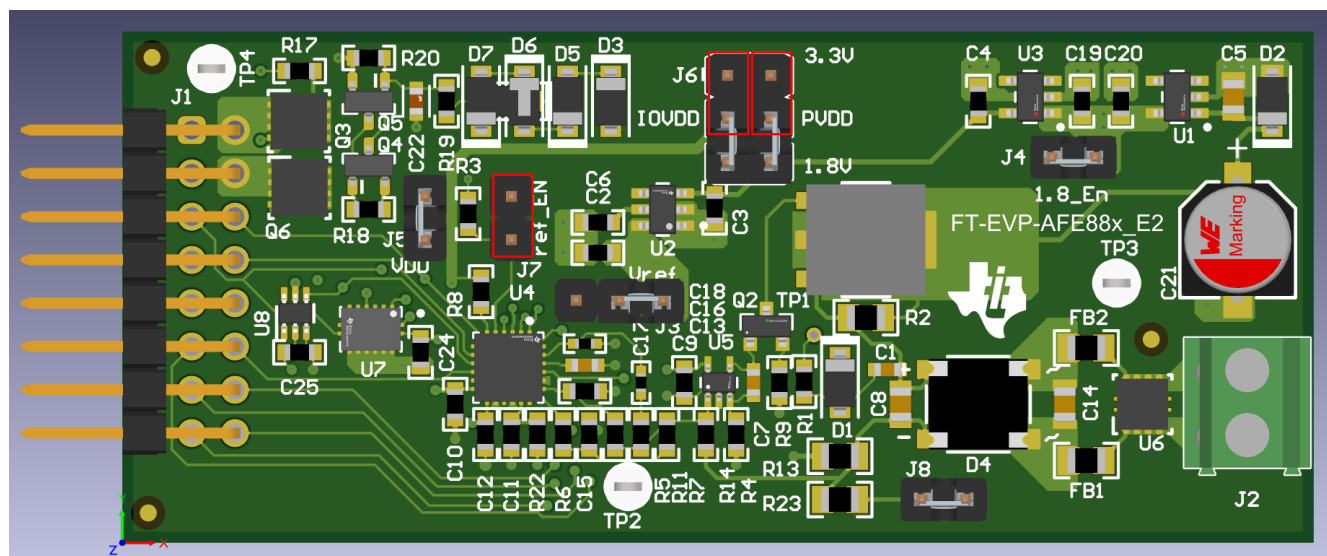


図 4-3. 3.3V 動作時の TIDA-010982 ジャンパ構成

コネクタ J1 は MCU ボードに接続されます。表 4-2 にピン配置を示します。ピン 1 は PCB でマークされています。

表 4-2. J1 コネクタのピン配置

ピン	信号
1	GND
2	VDD-3V3
3	VREF_EXT
4	VDD-1V8
5	ID0
6	SCLK
7	未使用
8	SDI
9	未使用
10	SDO
11	ALARM
12	CS
13	CD
14	DAC_HART_RX
15	RTS
16	DAC_HART_TX

4.2 テスト設定

すべてのテストにおいて、このリファレンス デザインは、MSPM0G1507 と 2 台の ADS122S14 ADC を搭載した SNSR-DUAL-ADC-EVM と組み合わせて使用されます。MSPM0G1507 は AFE と ADC を制御します。

評価に使用されるソフトウェアは、MSPM0-SDK に含まれるサンプルの一部であり、次の場所からインポートできます：
SDK_INSTALL_PATH\examples\nortos\LP_MSPM0G3507\demos\field_transmitter into Code Composer Studio

このソフトウェアは、シンプルなセンサ用の標準的なシグナル チェーンを実装しています。システムは ADC からデータを読み取り、値を線形化などで補正します。このソフトウェアは、4mA ～ 20mA の電流ループなどのインターフェイス向けに値をスケールリングします。このプロセスには、インターフェイス固有のキャリブレーション値が含まれており、出力段を制御します。ループ電源センサの消費電力を妥当な値に維持するために、マイコンは低消費電力モードになり、定義されたクロックレートでのみウェークアップしてシグナル チェーンを動作させます。図 4-4 に、ソフトウェアの流れ図とすべてのヘルパー関数を示します。

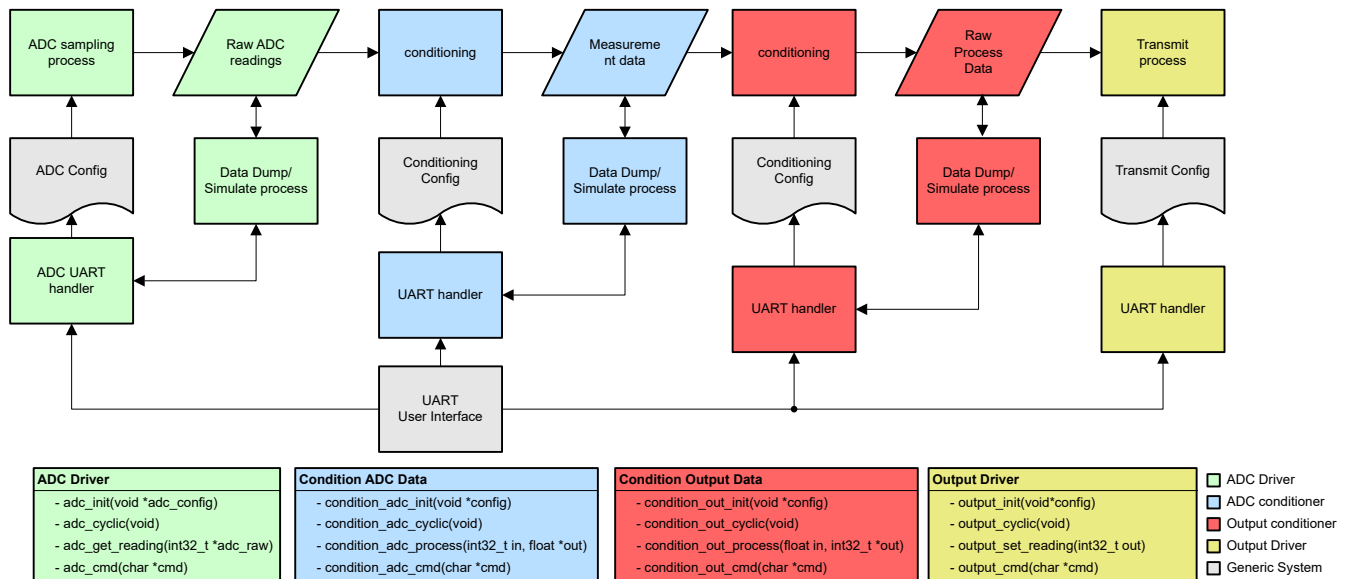


図 4-4. ソフトウェアの流れ図

このソフトウェアは、異なる ADC、インターフェイス、スケールリング関数に柔軟に対応できるように、関数ポインタを使用して主要なブロックを表現しています。ソフトウェアは起動時に、接続されたカードから読み取った ID に基づいて、これらのポインタに適切なドライバを割り当てます。関連する構造体は 2 つあります。1 つ目の構造体は、ADC 関数と入力スケールリング関数を持つアナログ入力側を定義します。2 つ目の構造体は出力側をカバーしており、CPU クロックを設定するための関数を指定する必要があります。

```
struct id_func_input_map_struct {
    /** adc initialisation function */
    adc_init_func adc_init;
    /** This function gets called regularly by the main function, do not block here */
    adc_cyclic_func adc_cyclic;
    /** read adc reading and return it */
    adc_get_reading_func adc_get_reading;
    /** handle uart commands and execute them */
    adc_cmd_func adc_cmd;

    /** adc conditioning init function */
    condition_adc_init_func condition_adc_init;
    /** adc conditioning cyclic function */
    condition_adc_cyclic_func condition_adc_cyclic;
    /** adc conditioning processing function */
    condition_adc_process_func condition_adc_process;
    /** adc conditioning uart cmd handler */
    condition_adc_cmd_func condition_adc_cmd;
};

struct id_func_output_map_struct {
    /** output conditioning init */
    condition_out_init_func condition_out_init;
    /** output conditioning cyclic function */
    condition_out_cyclic_func condition_out_cyclic;
    /** output conditioning processing function */
    condition_out_process_func condition_out_process;
    /** output conditioning uart cmd handler */
    condition_out_cmd_func condition_out_cmd;
};
```

```
condition_out_init_func condition_out_init;
/** output conditioning cyclic function */
condition_out_cyclic_func condition_out_cyclic;
/** output conditioning set the output value */
condition_out_process_func condition_out_process;
/** output conditioning uart cmd handler */
condition_out_cmd_func condition_out_cmd;

/** output stage init */
output_init_func output_init;
/** output cyclic function */
output_cyclic_func output_cyclic;
/** output setter */
output_set_reading_func output_set_reading;
/** output uart handler */
output_cmd_func output_cmd;

/** init cpu clock */
cpu_clock_init_func cpu_clock_init;
};
```

表 4-3 に示す各ドライバには、共通した 4 つの関数を実装する必要があります。

表 4-3. ドライバ関数

ドライバ名	機能
init	構成済みメモリ、周辺機器、変数など、必要なすべてのコンポーネントを初期化します
cyclic	メイン ループは、固定周期で毎サイクルこの関数を呼び出します。タイミングの生成や、周期的なポーリングを実行します。
get_reading, process, set_reading, set_reading	実際にデータを処理する関数です。ADC からデータを読み取り、スケーリングを実行して、出力値を DAC に設定します。
cmd	この関数は、コマンドライン インターフェイスを処理します。ユーザがこのドライバのコマンドを入力すると、システムはこの関数を呼び出します。

すべてのドライバには、他のドライバから使用できない独自の **static** 関数を実装できます。

このソフトウェアには、**USB UART** 経由のコマンドライン インターフェイスが備わっており、**ADC** やデータフローの制御ができます。すべてのコマンドは 2 段階のレベルで動作します。第 1 レベルでは、どのドライバがコマンドを受信するかを指定します。第 2 レベルには、特定のドライバに関連する実際のコマンドが含まれます。その他すべての処理は、ドライバの特定の関数により実行されます。すべてのレベルでヘルプ コマンドを利用できます (**help**、**adc help**)。

表 4-4 は、第 1 レベル コマンドの説明です。

表 4-4. 第 1 レベル コマンド

名称	説明	ファイル (正確なファイルは、ボード ID や構成により異なります)
sys	リセットやフラッシュなどのシステム関連コマンド	system/system.c
adc	ADC ドライバ固有のコマンド	adc/
out	出力固有のコマンド	output/
cin	ADC 入力コンディショニング固有のコマンド	condition/
cout	出力コンディショニング固有のコマンド	condition/

ADC サンプルを 1 つ取得するコマンド例として、**adc get** を使用すると、直前の ADC 読み取り値が **UART** に出力されます。ADC 読み取り値を連続的に取得するには、**adc stream** を使用してさらにテストを行います。

4.3 テスト結果

4.3.1 直線性テスト

このテストでは、このリファレンス デザインは **AFE** の **SPI** 用にマイコンに接続され、アナログ出力は電源と電流計に接続されます。システム全体はループ電流から動作し、絶縁型 **UART** を介して **PC** に接続されます。すべてのテストは **10V**

および 24V のループ電圧で行われ、AFE881H1 は 3.3V および 1.8V 構成、AFE882H1 は 3.3V 構成で行われます。DAC コードを段階的に変化させ、電流計での読み取り値が記録されます。

図 4-5 に包括的な設定を示します。

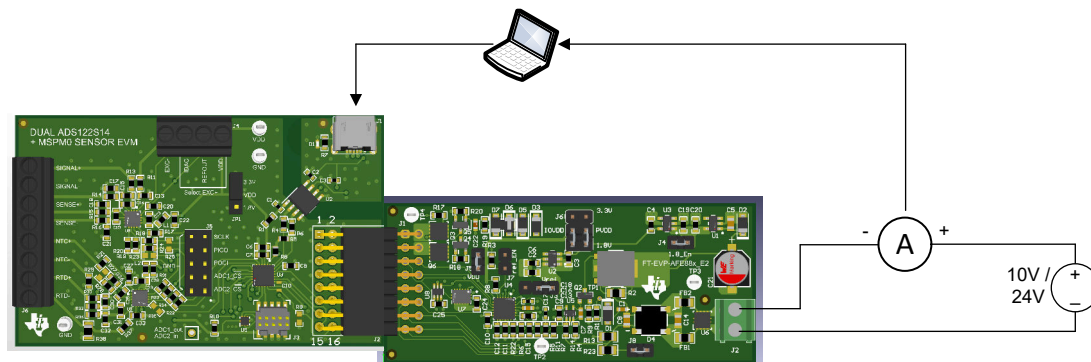


図 4-5. 直線性テストのテスト設定

図 4-6 から図 4-17 は、線形トレンドラインを含む直線性を示しており、このトレンドラインは誤差の算出にも使用されます。したがって、この式は理想的な電流を算出するために使用され、測定値との差分が示されます。10V および 24V の各構成については、同じ式を使用して誤差を算出し、あるバイアス ポイントでのキャリブレーションをシミュレーションしてから、別のバイアス ポイントで動作させています。参考として、それぞれの異なる式を以下に示します。

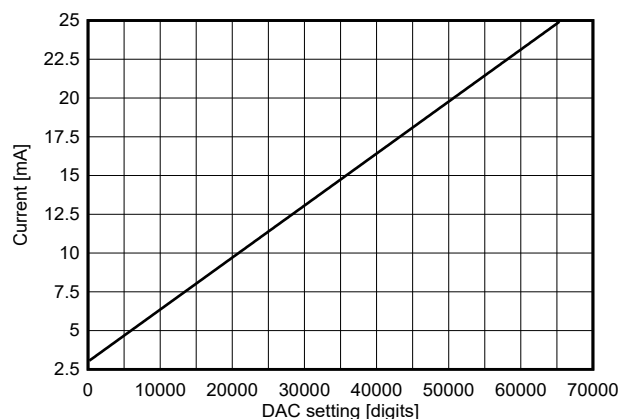


図 4-6. AFE881: 1.8V 電源、10V ループ直線性
 $y = 3.35466E-04x + 2.99760$

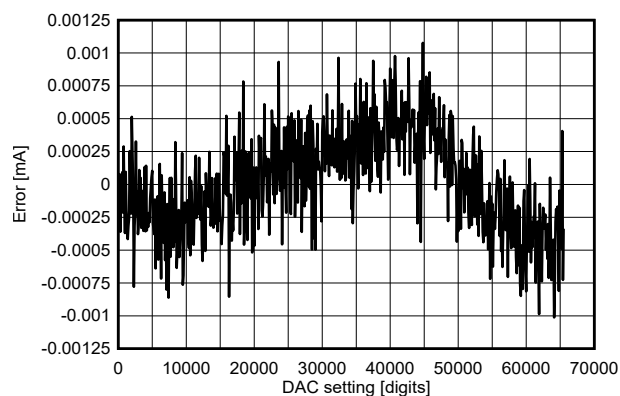


図 4-7. AFE881: 1.8V 電源、10V ループ誤差

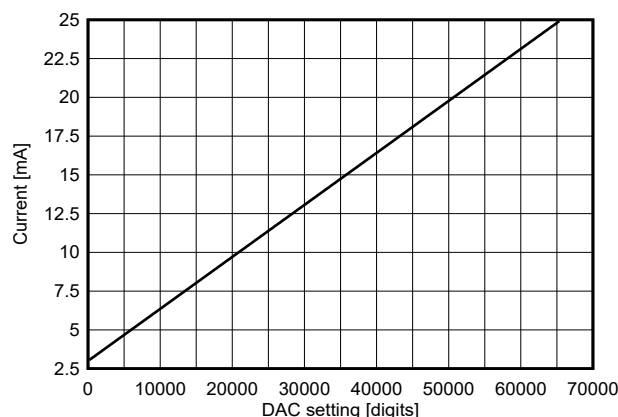


図 4-8. AFE881: 1.8V 電源、24V ループ直線性
 $y = 3.35485E-04x + 2.99755$

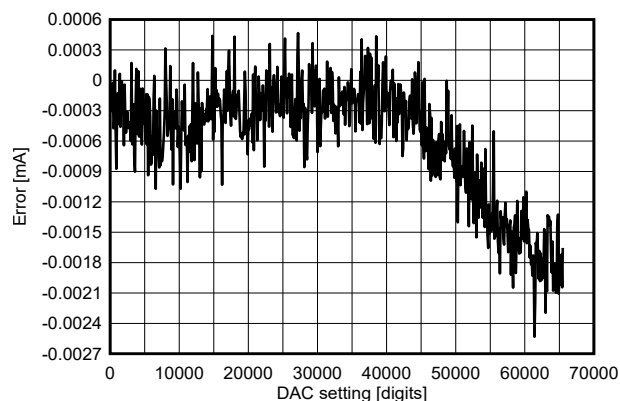


図 4-9. AFE881: 1.8V 電源、24V ループ誤差

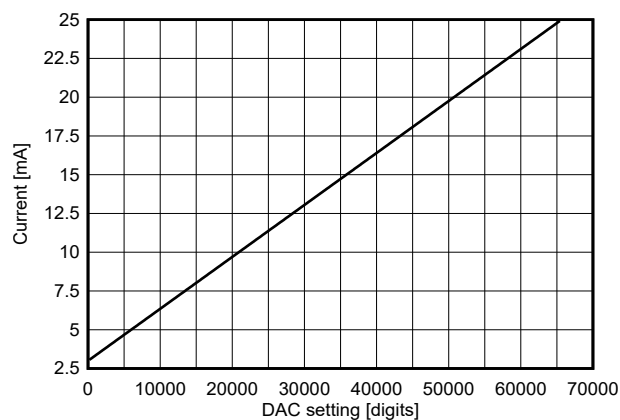


図 4-10. AFE881: 3.3V 電源、10V ループ直線性
 $y = 3.35189\text{E-}04x + 2.99416$

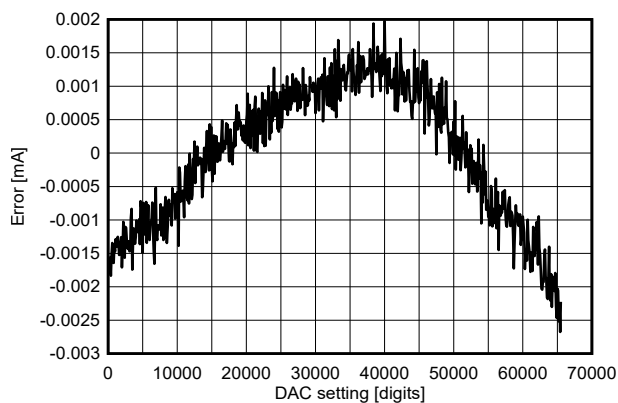


図 4-11. AFE881: 3.3V 電源、10V ループ誤差

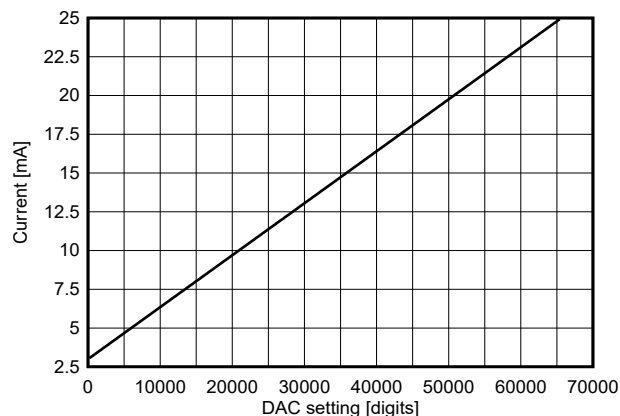


図 4-12. AFE881: 3.3V 電源、24V ループ直線性
 $y = 3.35312\text{E-}04x + 2.99208$

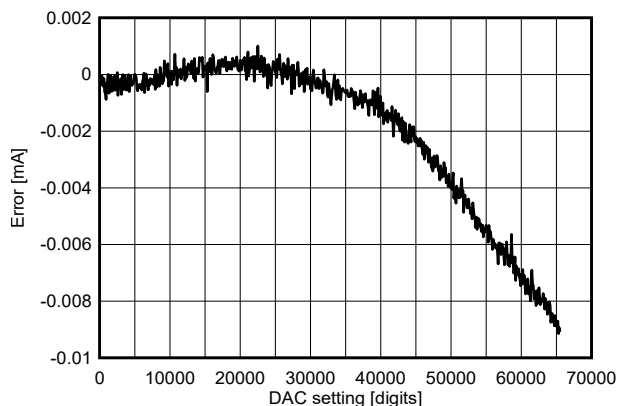


図 4-13. AFE881: 3.3V 電源、24V ループ誤差

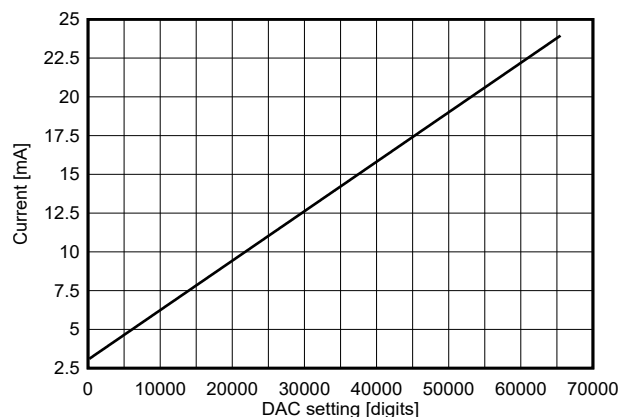


図 4-14. AFE882: 3.3V 電源、10V ループ直線性
 $y = 3.19149\text{E-}04x + 3.04646$

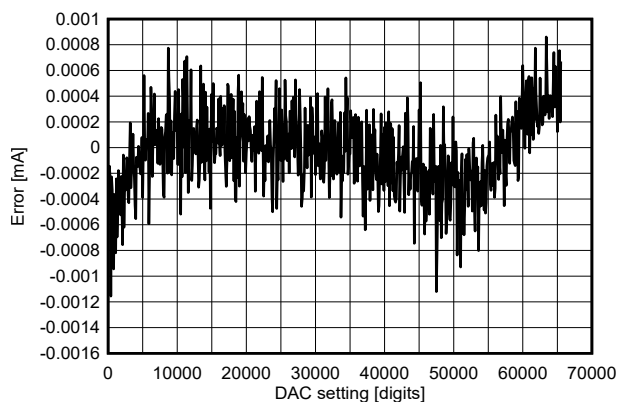


図 4-15. AFE882: 3.3V 電源、10V ループ誤差

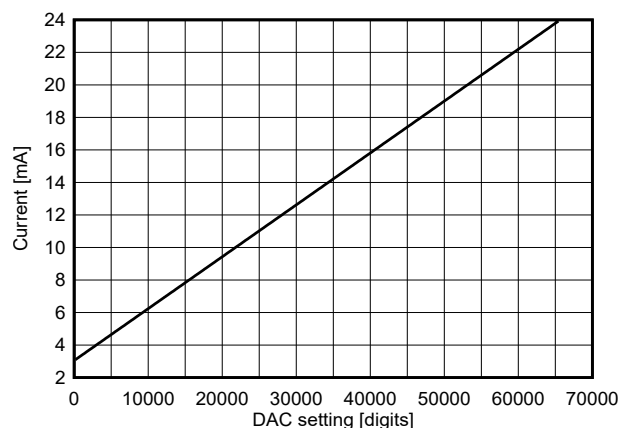


図 4-16. AFE882: 3.3V 電源、24V ループ直線性
 $y = 3.19127E-04x + 3.04673$

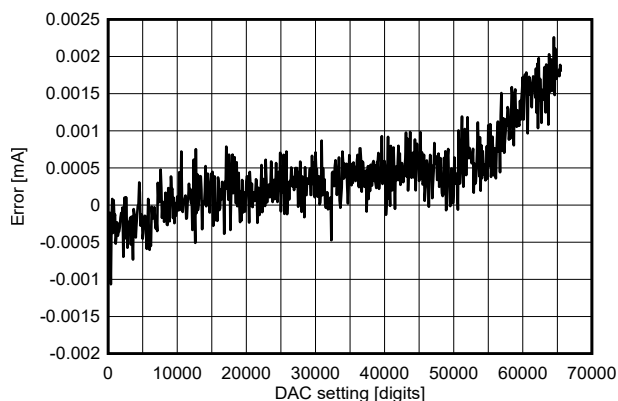


図 4-17. AFE882: 3.3V 電源、24V ループ誤差

4.3.1.1 直線性テストのまとめ

すべての構成において、結果はすべて仕様の範囲内に十分収まっており、どの構成にも不安定性やその他の非線形効果はみられません。AFE881 デバイスでは、3.3V 電源と同様の性能を 1.8V 電源でも得ることができます。

4.3.2 ノイズ テストと電流ヒストグラム

このテストでは、テスト設定はセクション 4.3.1 と同様です。性能を測定するために、DAC は 3 種類の出力電流 (ゼロ [最小]、中間、最大) に設定され、出力電流は 8192 回測定されます。これらの値からヒストグラムがプロットされ、いくつかの性能パラメータはこれらの測定値から計算されます。

図 4-18 に包括的な設定を示します。

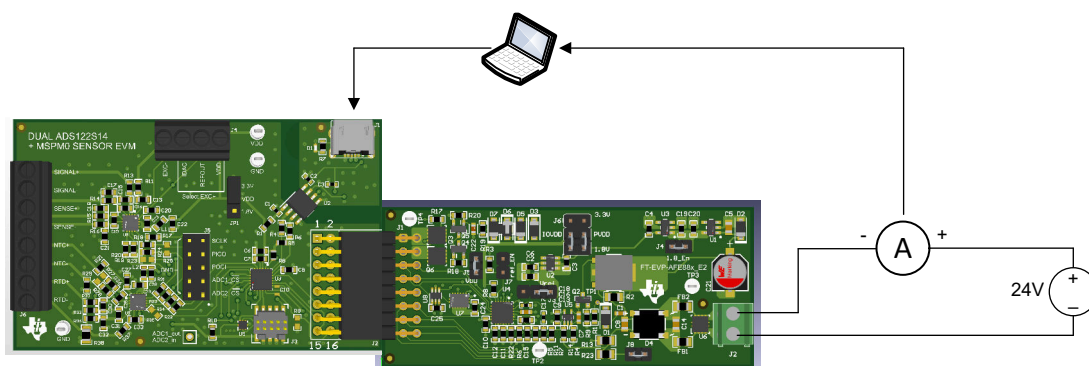


図 4-18. テスト設定の電流ノイズ

図 4-19 から 図 4-27 に、測定された電流のヒストグラムを示します。

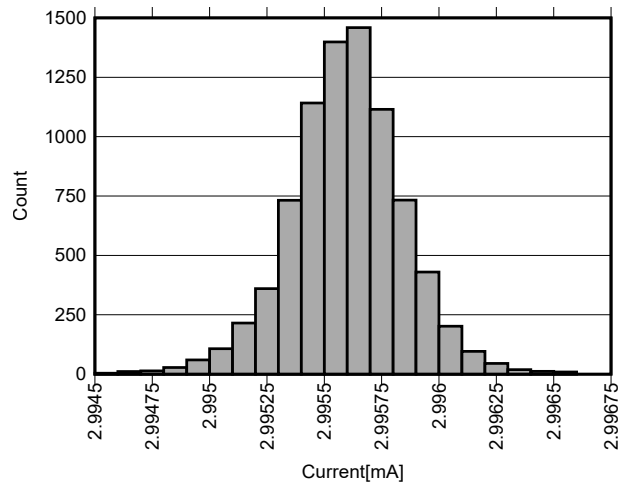


図 4-19. 1.8V で動作する DAC が最小設定の AFE881 のヒストグラム

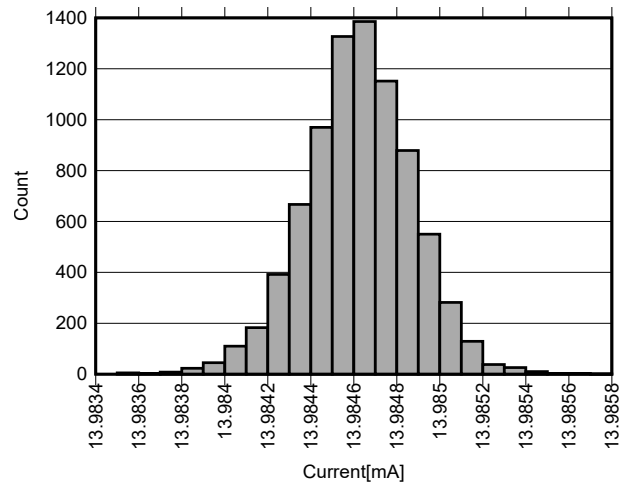


図 4-20. 1.8V で動作する DAC が中間設定の AFE881 のヒストグラム

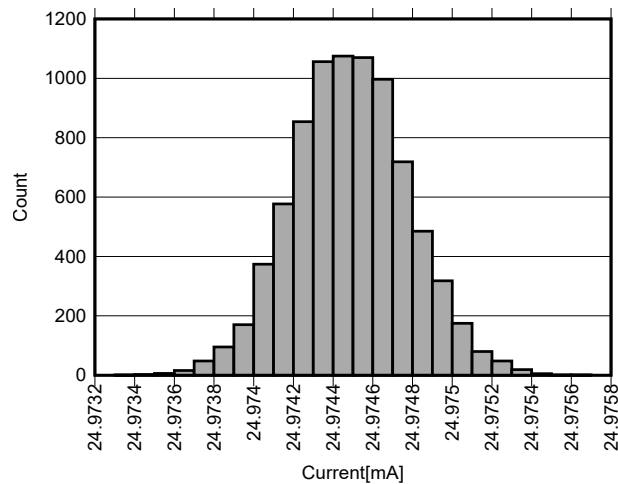


図 4-21. 1.8V で動作する DAC が最大設定の AFE881 のヒストグラム

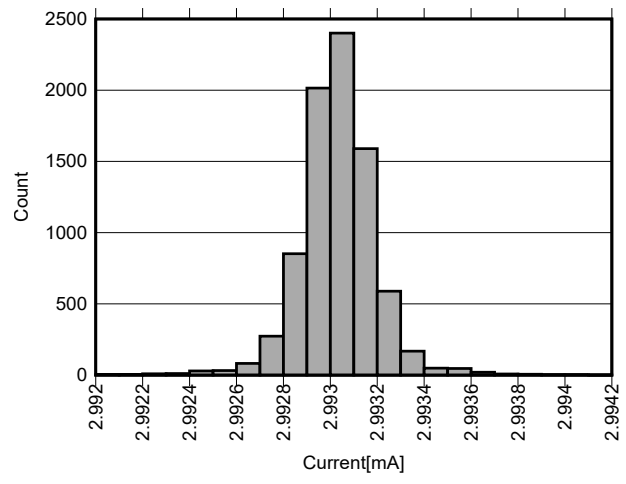


図 4-22. 3.3V で動作する DAC が最小設定の AFE881 のヒストグラム

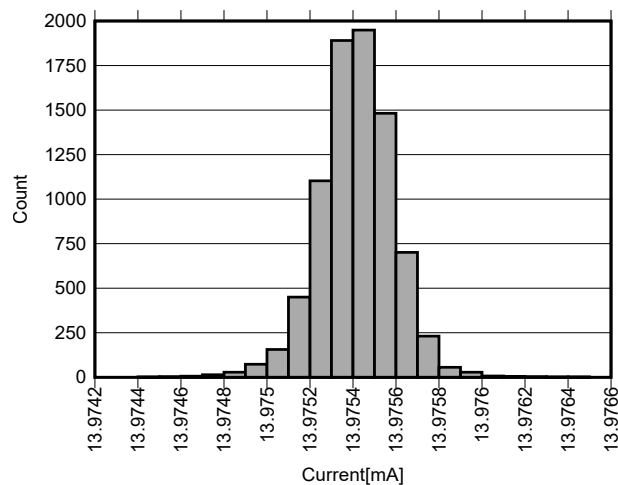


図 4-23. 3.3V で動作する DAC が中間設定の AFE881 のヒストグラム

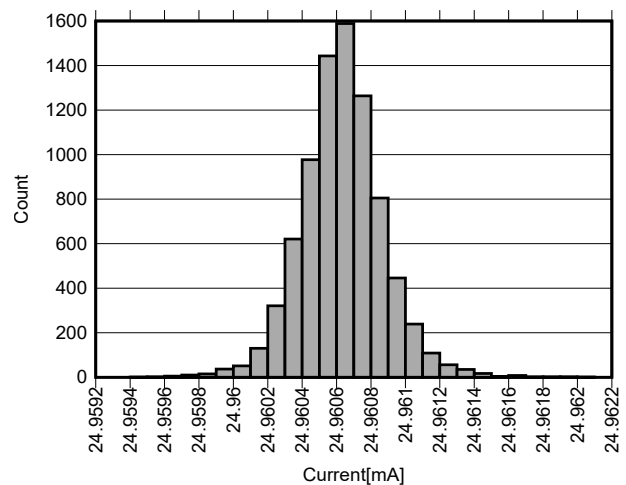


図 4-24. 3.3V で動作する DAC が最大設定の AFE881 のヒストグラム

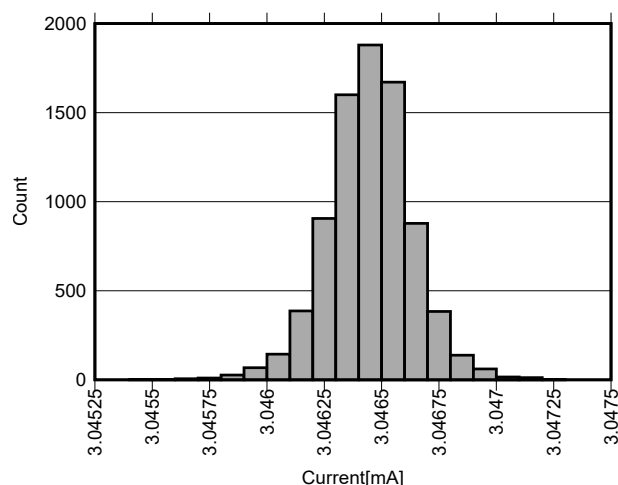


図 4-25. 3.3V で動作する DAC が最小設定の AFE882 のヒストグラム

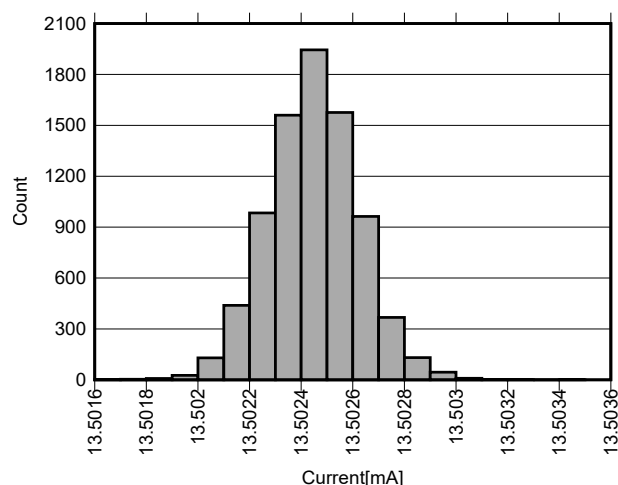


図 4-26. 3.3V で動作する DAC が中間設定の AFE882 のヒストグラム

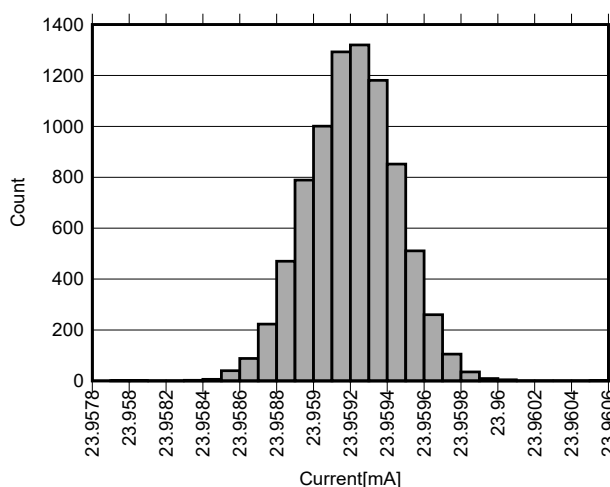


図 4-27. 3.3V で動作する DAC が最大設定の AFE882 のヒストグラム

4.3.2.1 ノイズテストと電流ヒストグラムのまとめ

表 4-5 に、図 4-19 から図 4-27 までの未加工データの計算結果を示します。

表 4-5. ノイズのまとめ

AFE	電源電圧 (V)	DAC 設定	最小電流 (mA)	平均電流 (mA)	最大電流 (mA)	ピークツーピークノイズ (μA)	RMS ノイズ (nA)	ノイズフリービット (NFB)	有効ビット数 (ENOB)
AFE881	1.8	0	2.9945	2.9956	2.9966	2.05	247	15.6	18.6
AFE881	1.8	32768	13.9836	13.9846	13.9858	2.19	250	15.5	18.6
AFE881	1.8	65535	24.9734	24.9745	24.9757	2.25	289	15.4	18.4
AFE881	3.3	0	2.9920	2.9930	2.9942	2.15	160	15.5	19.3
AFE881	3.3	32768	13.9744	13.9754	13.9764	2.04	173	15.6	19.1
AFE881	3.3	65535	24.9595	24.9606	24.9621	2.62	239	15.2	18.7
AFE882	3.3	0	3.0455	3.0464	3.0473	1.76	184	15.8	19.1
AFE882	3.3	32768	13.5016	13.5024	13.5035	1.81	173	15.8	19.1
AFE882	3.3	65535	23.9580	23.9592	23.9606	2.6	241	15.2	18.7

全体として、このヒストグラム プロットは、この種の信号に対して想定されるガウス分布を示しており、発振やその他の信号の乱れはみられません。これは、ウェイク アップ時に MCU が消費するピーク電流がループ上で観測されず、適切にレギュレーションされていることも証明されます。1.8V と 3.3V の信号チェーンの間に性能の違いはありません。

4.3.3 ステップ応答

回路のステップ応答をテストするため、この回路は再び 24V 電源に接続されます。電流の測定は、ループ配線をクランプに複数回巻き付けて感度を高めた電流クランプを使用して行われます。

このステップ信号は、PC から AFE88x に対応する DAC 値を送信すると生成されます。このテストでは、ゼロから最大値へのステップ、最大値からゼロへのステップ、および中間電流へのステップが実行されます。これにより、アナログ回路のスルー レートが示され、安定性もテストされます。

図 4-28 に包括的な設定を示します。

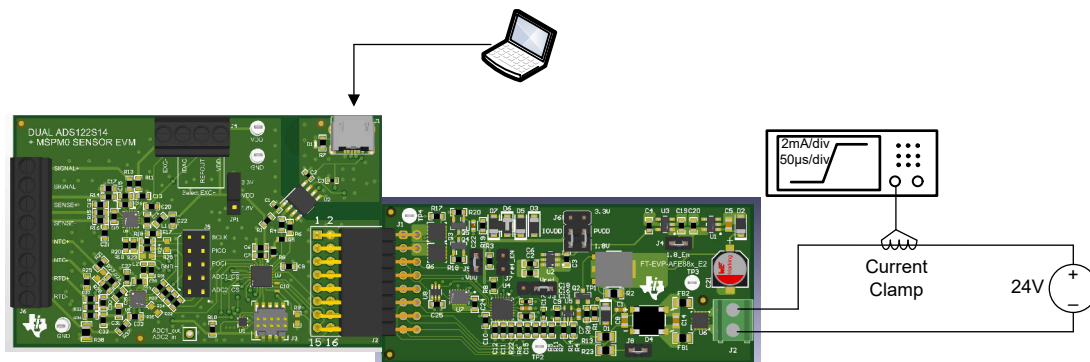


図 4-28. ステップ応答測定の設定

以下の図は電流のステップ応答を示しています。

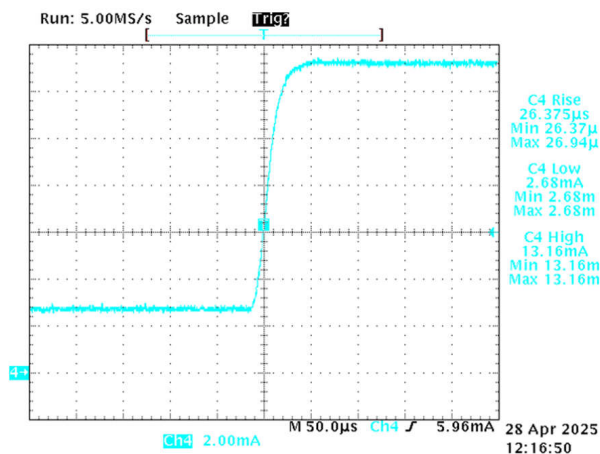


図 4-29. AFE881:3.3V、立ち上がり時間 0 ～ 65535

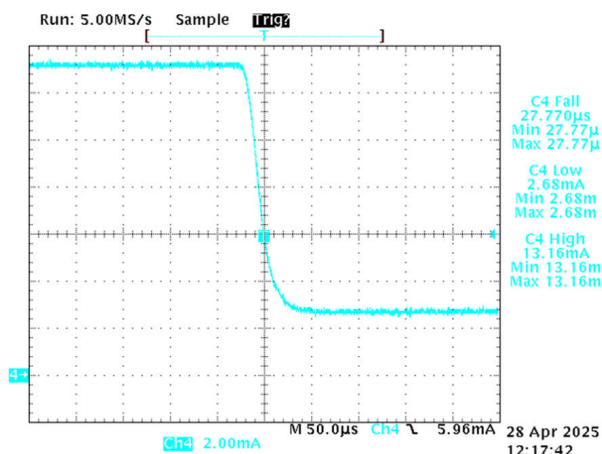


図 4-30. AFE881:3.3V、立ち下がり時間 65535 ～ 0

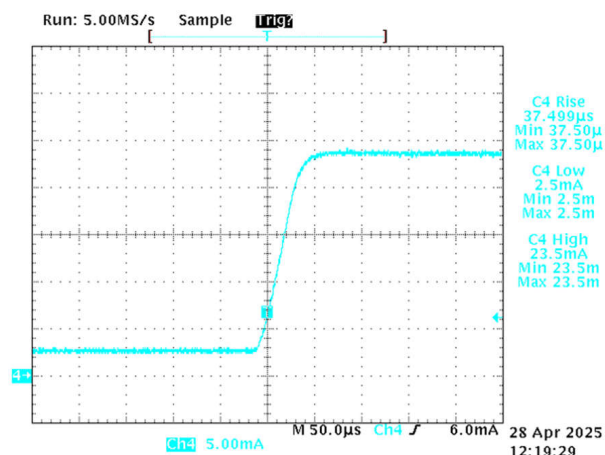


図 4-31. AFE881:3.3V、立ち上がり時間 0 ~ 32768

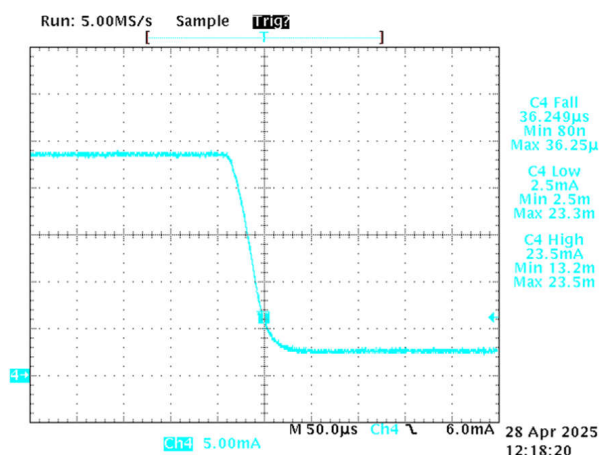


図 4-32. AFE881:3.3V、立ち下がり時間 32768 ~ 0

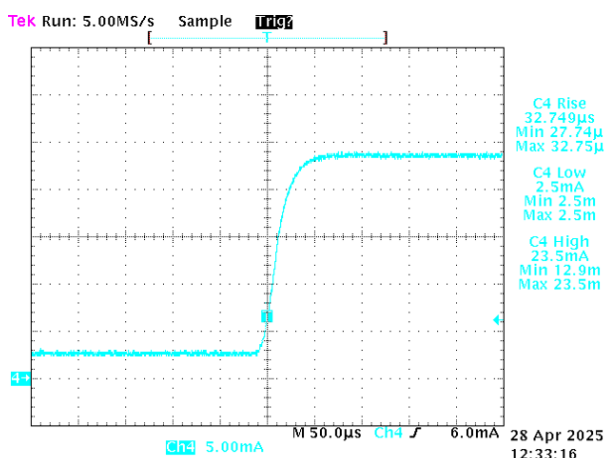


図 4-33. AFE881:1.8V、立ち上がり時間 0 ~ 65535

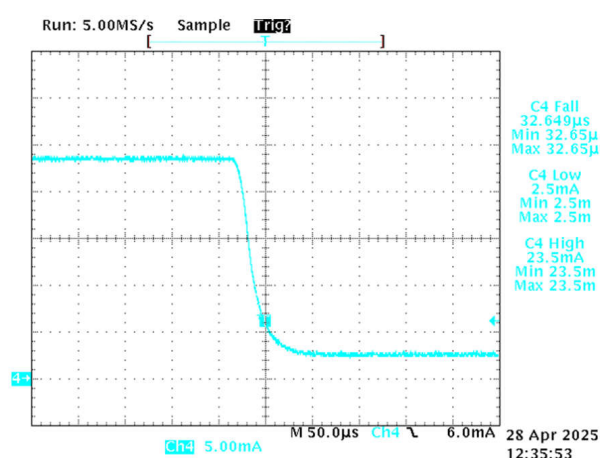


図 4-34. AFE881:1.8V、立ち下がり時間 65535 ~ 0

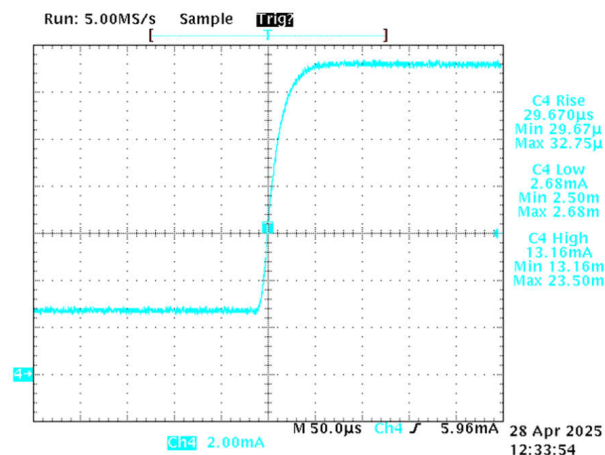


図 4-35. AFE881:1.8V、立ち上がり時間 0 ~ 32768

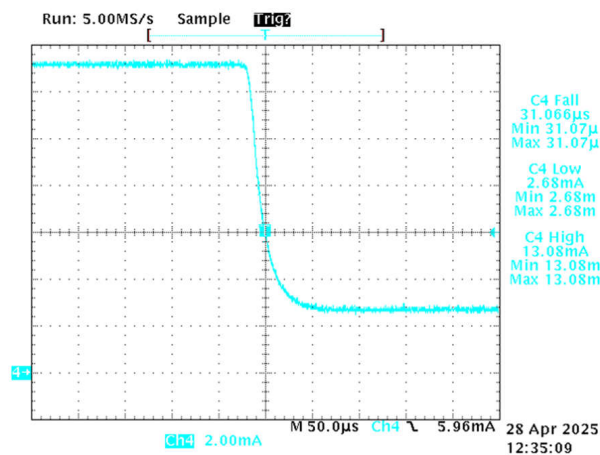


図 4-36. AFE881:1.8V、立ち下がり時間 32768 ~ 0

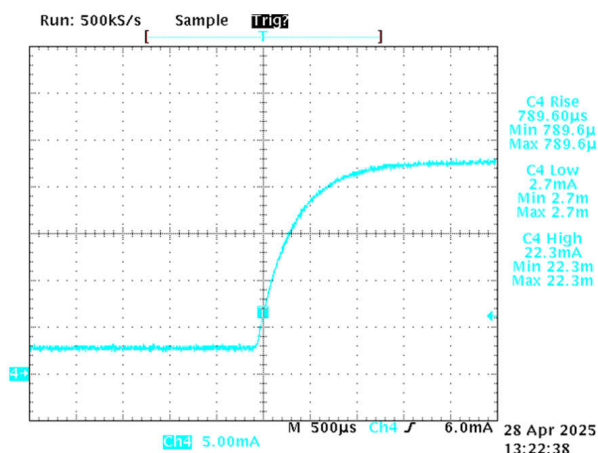


図 4-37. AFE882:3.3V、立ち上がり時間 0 ~ 65535

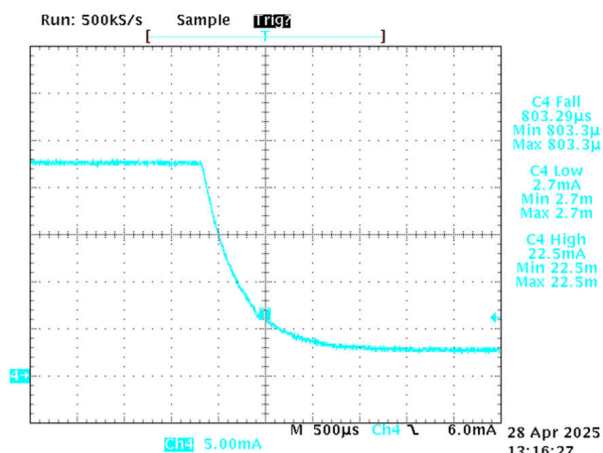


図 4-38. AFE882:3.3V、立ち下がり時間 65535 ~ 0

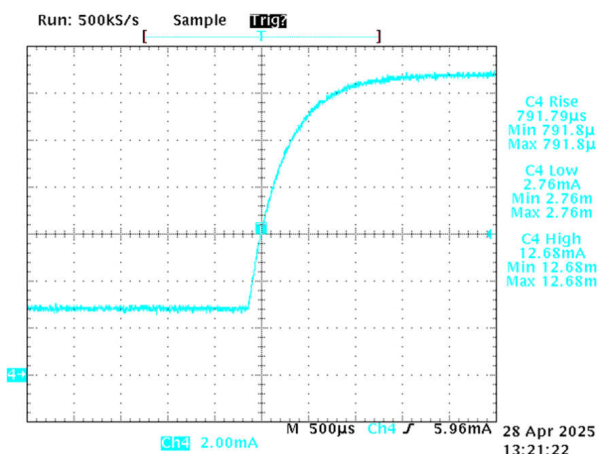


図 4-39. AFE882:3.3V、立ち上がり時間 0 ~ 32768

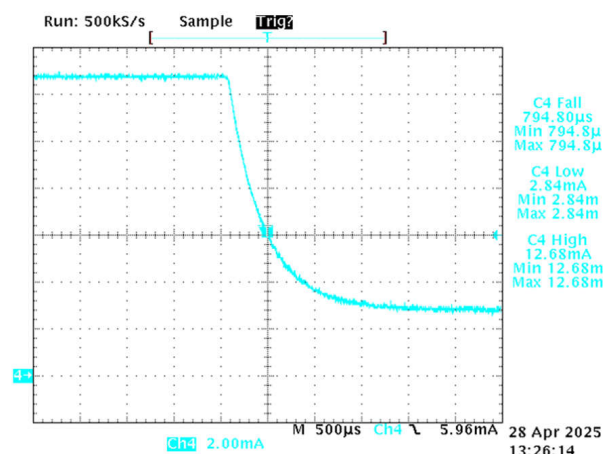


図 4-40. AFE882:3.3V、立ち下がり時間 32768 ~ 0

4.3.3.1 ステップ応答のまとめ

表 4-6 に、立ち上がり時間と立ち下がり時間のまとめを示します。AFE882H1 ハードウェアは、立ち上がり時間と立ち下がり時間が低速になるように設計されています。それでも、プロットはオーバーシュート、アンダーシュート、または発振がないことを示しています。

表 4-6. 立ち上がり時間と立ち下がり時間のまとめ

AFE	電源電圧 (V)	DAC 設定	立ち上がり時間 (µs)	立ち下がり時間 (µs)
AFE881	3.3	65535	26	28
AFE881	3.3	32768	38	36
AFE881	1.8	65535	33	33
AFE881	1.8	32768	30	31
AFE882	3.3	65535	790	803
AFE882	3.3	32768	792	795

4.3.4 スタートアップ

システムの起動動作を調べることも重要です。特に、起動フェーズ全体を通じて、4mA 未満の最小電流を維持できるかどうかや、起動フェーズに要する時間を特定することが重要です。図 4-41 に、最初のステップで起動がどのように監視されているかを示します。

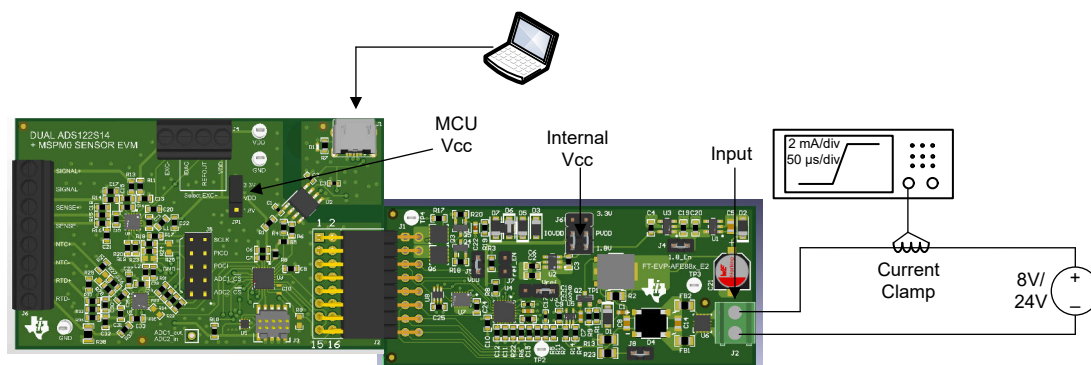


図 4-41. 起動測定の設定

図 4-41 の構成を使用して測定を行うと、図 4-42 に示すスコープ波形が得られます。

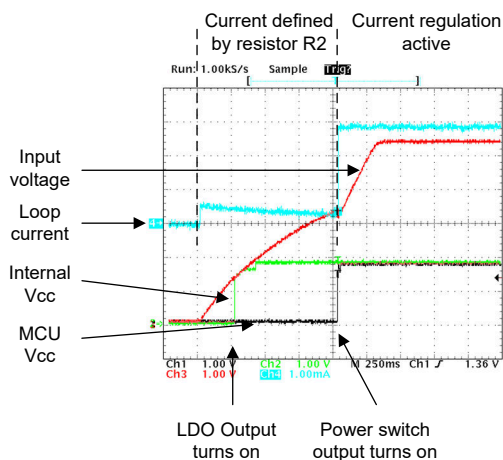


図 4-42. AFE881 の 1.8V ~ 8V ループ電圧での起動

図 4-43 は、電流が測定されたような形になる理由を示しています。最初の電流はバイパス抵抗 $R2$ のみによって決まります。これは内部電圧が立ち上がり、アンプが電源投入されて電流がレギュレーションされるようになるまでの間、電流を流すことができる唯一の部品です。

250ms 後、電圧が十分に高くなると、LDO がオンになり、1.8V を内部に供給します。750ms 以降、内部の電源スイッチがオンになります。このスイッチは中間の 3.3V 電源レールが安定しているかどうかを監視し、遅延を追加します。オンにすると、MCU と AFE の IO 電源レールが有効になります。これにより、AFE はパワー オンリセットを抜け、電流のレギュレーションが開始されますが、測定された入力電流は 3mA に段階的に変化します。

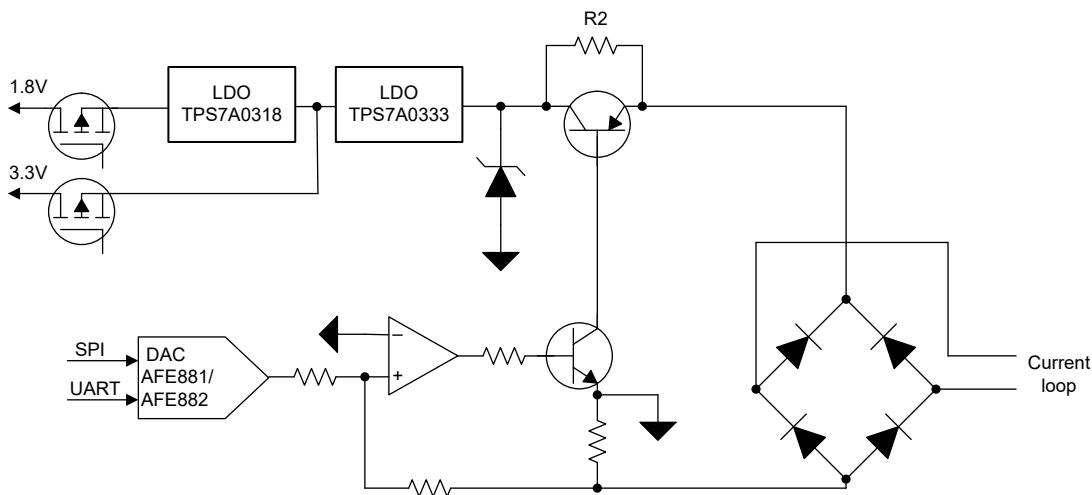


図 4-43. 概略回路図

24V の電源電圧を使用すると初期電流が大きくなるため、システムはより高速に起動します。図 4-44 は、24V ループ電圧を使用した場合と同じ測定値を示しています。電源投入シーケンス開始時の電流は、ほぼ 2mA です。MCU は約 150ms で起動プロセス全体を完了します。

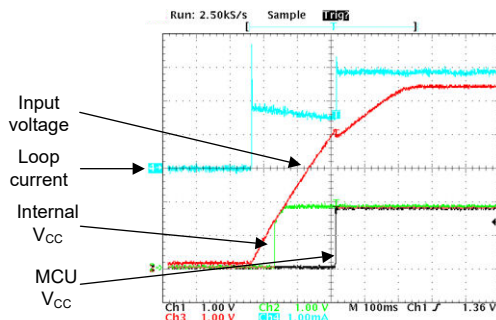


図 4-44. AFE881 の 1.8V ~ 24V ループ電圧での起動

図 4-45 から図 4-48 は、さまざまな構成で実施した同じテストを示しています。

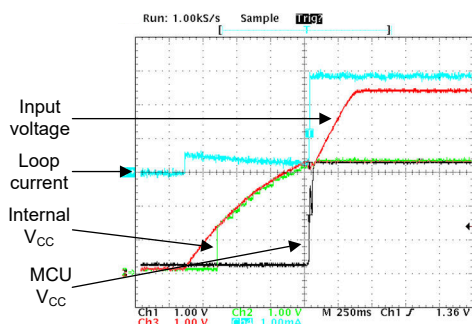


図 4-45. AFE881: 3.3V ~ 8V ループ電圧での起動

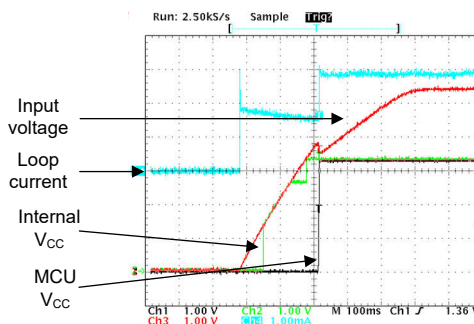


図 4-46. AFE881: 3.3V ~ 24V ループ電圧での起動

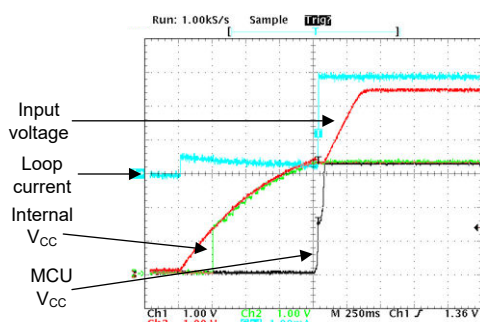


図 4-47. AFE882:3.3V ~ 8V ループ電圧での起動

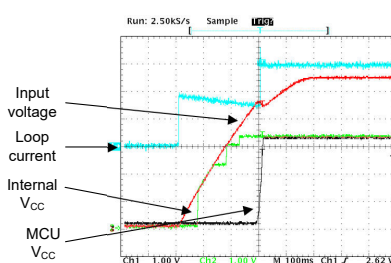


図 4-48. AFE882:3.3V ~ 24V ループ電圧での起動

4.3.5 MCU 電流

起動動作と電流に加えて、マイコンの電流プロファイルを詳しく調べることも重要です。

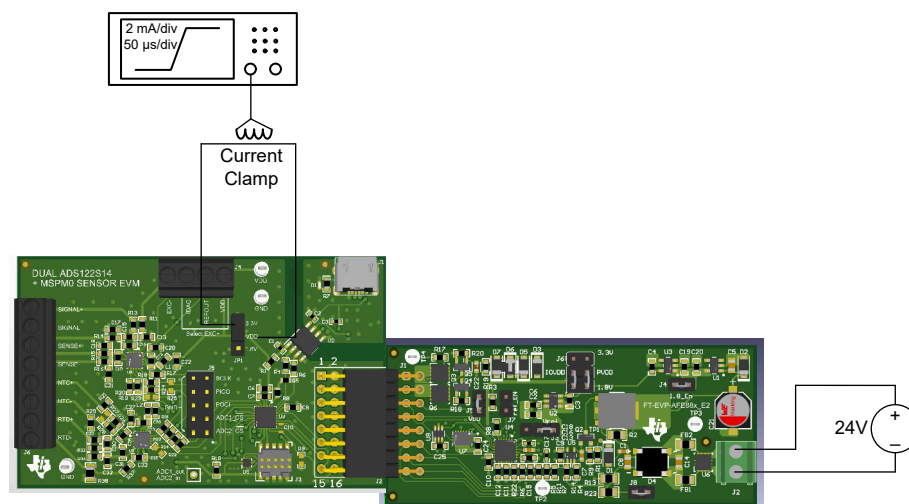


図 4-49. MSPM0 電流消費のテスト設定

図 4-49 に、この測定の設定を示します。システムは通常どおり 24V で電源投入され、MCU に流れ込む電流は MCU ボード上に直接取り付けられた電流クランプを使用して測定されます。測定には、MCU とバイパス コンデンサのみが含まれます。

図 4-50 から図 4-53 に、さまざまな条件およびズーム係数での MSPM0 の突入電流を示します。

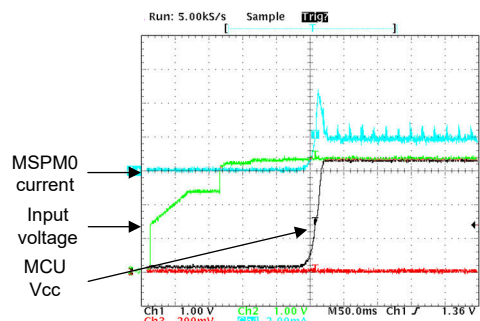


図 4-50. MSPM0 の起動用 3.3V 電源

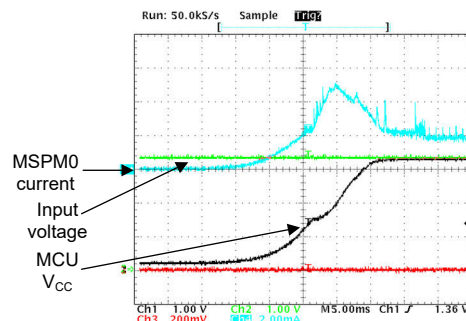


図 4-51. MSPM0 の起動用 3.3V 電源 - 詳細

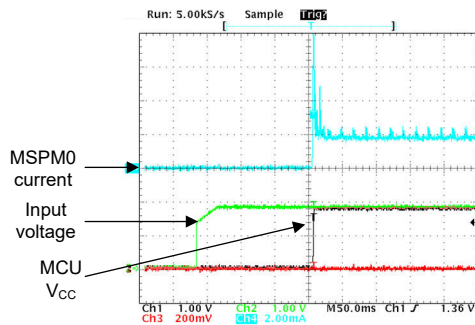


図 4-52. MSPM0 の起動用 1.8V 電源

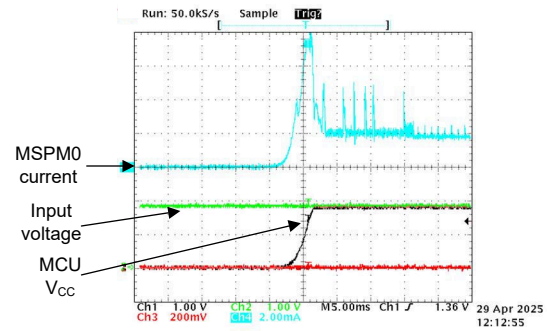


図 4-53. MSPM0 の起動用 1.8V 電源 - 詳細

4.3.5.1 MCU 電流のまとめ

図 4-50 から図 4-53 は、MSPM0 回路の突入電流が 4mA を容易に超えることを示しています。この電流のピークはシステム全体の入力部では確認されず、電流のレギュレーション回路にも干渉しません。

4.3.6 システム電流

システムのどの部分が消費電力に寄与しているかを確認するために、各電源レールの電流が測定されます。3.3V 構成では、AFE881 は内部電圧リファレンスと内部 LDO を使用して PVDD から VDD を生成します。一方、1.8V 構成では、外部リファレンス電圧を使用し、VDD 電源はシステムの 1.8V 電源レールから供給されます。

図 4-54 は、基板上で電流が測定される場所を示しています。図 4-55 は、1.8V 構成ではもう 1 つの電源レールが測定されることを示しています。

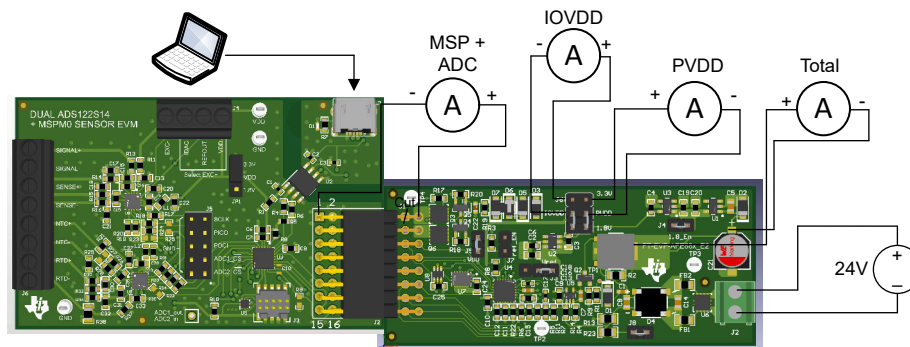


図 4-54. 電流測定のテスト設定: 3.3V

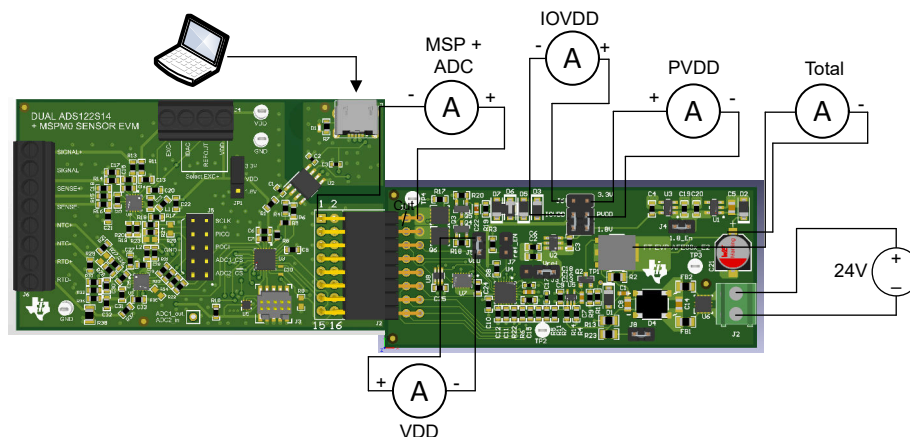


図 4-55. 電流測定のテスト設定: 1.8V

図 4-56 に、主要部品と電源レールの接続を示します。

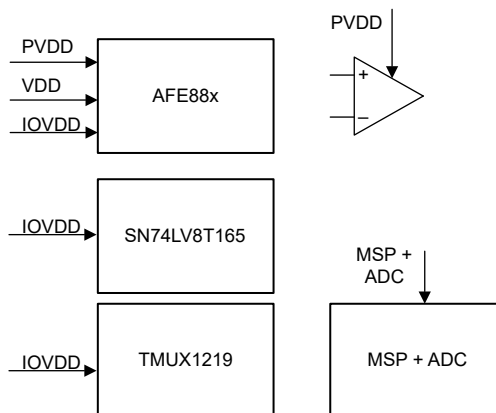


図 4-56. 簡易電源構成図

4.3.6.1 システム電流のまとめ

表 4-7 に、さまざまなシステム構成で測定された電流を示します。この表の合計電流は、ループ駆動トランジスタと LDO の入力の間で測定された、システムに流れ込む総電流の測定値です。この総電流の測定値には、個別には測定されていないすべての電流が含まれており、LDO やリファレンス電圧回路の静止電流も含まれます。

表 4-7. さまざまな構成で測定された電流

AFE	電源電圧 (V)	DAC 設定	P _{VDD} (μA)	IOVDD (μA)	MSP + ADC (mA)	VDD (μA)	合計 (mA)
AFE882	3.3	0	200	1.2	1.958	該当なし	2.214
	3.3	32768	217	1.2	1.958	該当なし	2.231
	3.3	65535	230	1.2	1.958	該当なし	2.244
AFE881	3.3	0	192	1.1	1.99	該当なし	2.266
	3.3	32768	203	1.1	1.99	該当なし	2.276
	3.3	65535	216	1.1	1.99	該当なし	2.289
	1.8	0	50	0.6	1.92	89	2.135
	1.8	32768	55.5	0.6	1.92	89	2.140
	1.8	65535	61.3	0.6	1.92	89	2.146

4.3.7 ADC 入力

ADC の直線性とオフセットをすばやく確認するために、ads122s14_ptx_daisychain.c の ADC 構成構造体をゲイン 128 かつ外部リファレンスから、ゲイン 1 かつ内部リファレンスに変更してください。次のコードブロックの変更点を参照してください。

```
volatile struct ads122s14_config_struct gADSDefault[2][9] = {
    ...
    // set external reference and enable reference buffers
    {REFERENCE_CFG_ADDRESS, REFERENCE_CFG_REFP_BUF_EN_ENABLED |
      REFERENCE_CFG_REFN_BUF_EN_ENABLED |
      REFERENCE_CFG_REF_SEL_EXTERNAL},
    // set gain to 128
    {GAIN_CFG_ADDRESS,      GAIN_CFG_GAIN_128},
    ...
};
```

```
volatile struct ads122s14_config_struct gADSDefault[2][9] = {
...
// set internal reference
{REFERENCE_CFG_ADDRESS, REFERENCE_CFG_REF_SEL_INTERNAL},

// set gain to 1
{GAIN_CFG_ADDRESS,      GAIN_CFG_GAIN_1},
...
};
```

ADC 電圧入力テストに示すように、アナログ入力を可変電圧源に接続し、ハードウェアをセットアップしてください。この場合、ソース メジャー ユニット (SMU) を使用します。ハードウェアと SMU を制御し、0V から 1.25V まで 50mV 刻みで電圧をスイープしてください。各ステップで 64 回の測定を行います。測定したデータを使用して、直線性、オフセット、ノイズを計算してください。

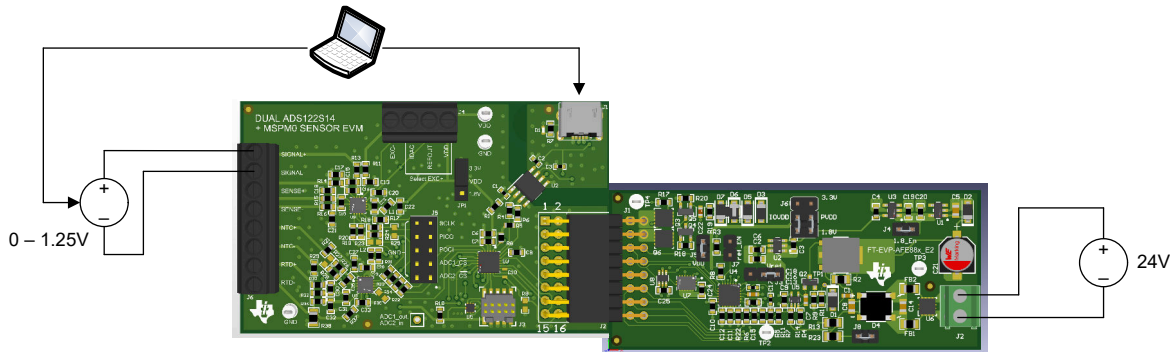


図 4-57. ADC 電圧入力テスト設定

印加電圧と計算された電圧とのオフセットを算出することで、キャリブレーション前の初期誤差を確認できます。図 4-58 に、測定値を示します。1250mV のとき、約 1mV の誤差があります。この誤差には、ADC のゲイン誤差とオフセット誤差に加え、内部リファレンスの誤差やテスト設定による誤差が含まれます。

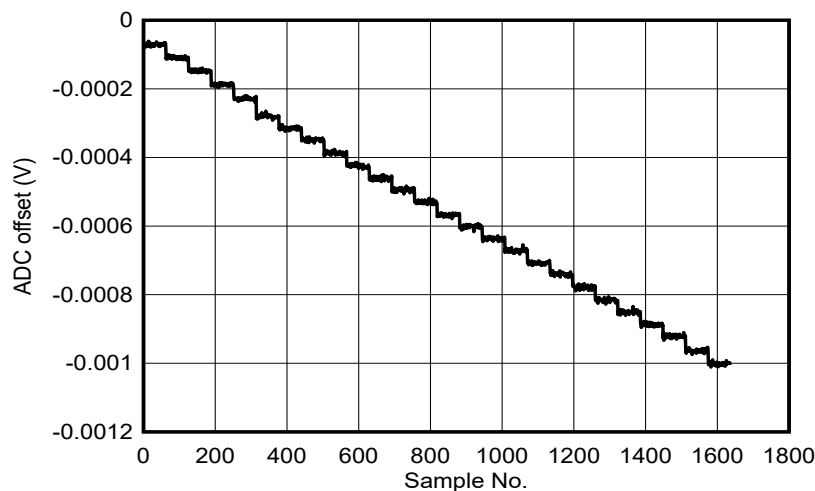


図 4-58. ADC 電圧入力 (キャリブレーション前)

図 4-59 に、ゲインおよびオフセット キャリブレーションを適用したときの ADC 精度を示します。

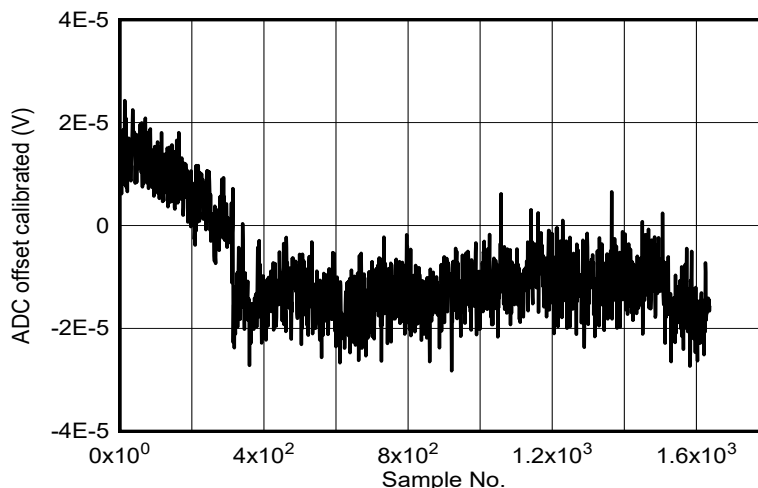


図 4-59. ADC 電圧入力 (キャリブレーション後)

キャリブレーション前のデータから導出したゲイン誤差とオフセット誤差は、勾配が 1.25 ではなく 1.2509、オフセットが 85 μ V です。

4.3.8 温度入力

RTD 入力をテストするには、図 4-60 に示すように、PT100 シミュレータを RTD コネクタに接続します。ソフトウェア上で、リファレンス抵抗にかかる電圧が、ADC で必要とされる最小値 (0.5V) を上回り、かつ IDAC コンプライアンス電圧を超えないような励起電流を選択してください。これらの仕様の詳細については、ADS122S14 データシートを参照してください。

デフォルトのアセンブリ オプションでは、PT100 センサに 4.02k Ω のリファレンス抵抗が使用されています。200 μ A の励起電流により、リファレンス入力に 800mV の電圧が発生します。この電流により、4mA ~ 20mA の電流ループでも動作できます。

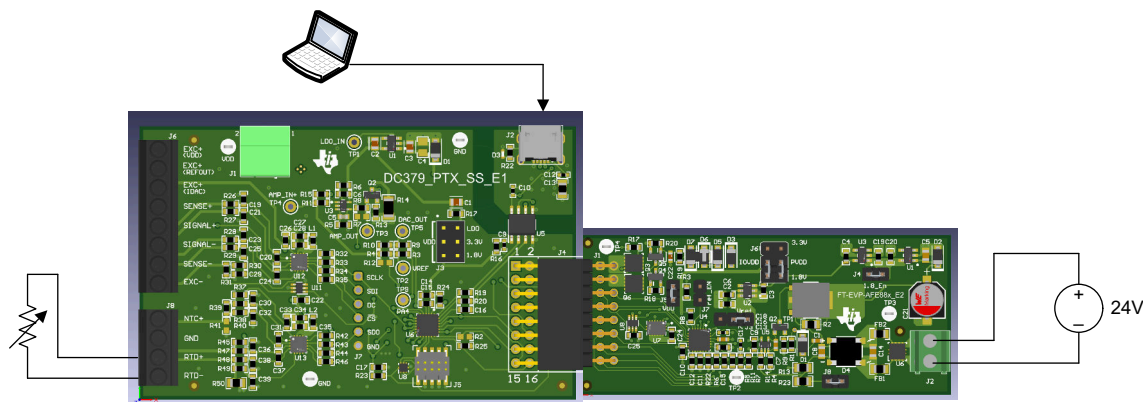


図 4-60. RTD 入力テスト設定

表 4-8 に、RTD シミュレータを使用したテスト結果を示します。約 100mΩ のノイズは、0.25°C の温度ノイズに相当します。

表 4-8. RTD シミュレータのテスト結果

RTD シミュ レータ設定	ADC 読み取り 値 (最小)	ADC 読み取り 値 (平均)	ADC 読み取り 値 (最大)	ADC ピークツ ーピークノイズ	ADC RMS ノイ ズ	ENOB	NFB	標準偏差	算出された RTD 抵抗値 (最小)	算出された RTD 抵抗値 (平均)	算出された RTD 抵抗値 (最大)	算出された RTD 抵抗 値のピーク ツー ピー ク偏差
-200	38366	38537.26	38620	254	32.23	18.99	16.01	32.26	18.39	18.47	18.51	0.12
-100	124793	124889.4	125009	216	31.29	19.03	16.25	31.32	59.80	59.85	59.91	0.10
-50	166270	166374.3	166487	217	29.36	19.12	16.24	29.39	79.68	79.73	79.78	0.10
-20	190696	190814	190919	223	30.42	19.07	16.20	30.45	91.39	91.44	91.49	0.11
-10	198874	198964.8	199069	195	29.47	19.12	16.39	29.50	95.30	95.35	95.40	0.09
0	207010	207127.6	207214	204	30.59	19.06	16.33	30.62	99.20	99.26	99.30	0.10
10	215092	215198.7	215288	196	30.68	19.06	16.39	30.71	103.08	103.13	103.17	0.09
20	223157	223257.5	223353	196	28.74	19.15	16.39	28.77	106.94	106.99	107.04	0.09
30	231204	231306.1	231415	211	30.65	19.06	16.28	30.68	110.80	110.85	110.90	0.10
40	239193	239299.8	239390	197	30.25	19.08	16.38	30.28	114.63	114.68	114.72	0.09
50	247147	247254.6	247355	208	31.92	19.00	16.30	31.95	118.44	118.49	118.54	0.10
60	255198	255304.3	255409	211	30.64	19.06	16.28	30.67	122.30	122.35	122.40	0.10
80	270994	271075.5	271177	183	29.74	19.11	16.48	29.77	129.87	129.91	129.95	0.09
100	286846	286979.6	287082	236	29.59	19.11	16.12	29.62	137.46	137.53	137.58	0.11
150	325776	325893.5	325977	201	29.15	19.13	16.35	29.17	156.12	156.18	156.22	0.10
200	363995	364094	364196	201	29.03	19.14	16.35	29.05	174.43	174.48	174.53	0.10
250	401674	401782.6	401893	219	29.54	19.12	16.23	29.56	192.49	192.54	192.60	0.10
300	438912	439000.3	439079	167	30.17	19.09	16.62	30.20	210.34	210.38	210.42	0.08
400	511381	511481.4	511593	212	30.40	19.07	16.27	30.43	245.06	245.11	245.17	0.10
500	581504	581627.7	581725	221	30.39	19.07	16.21	30.42	278.67	278.73	278.78	0.11
600	649426	649522.9	649642	216	29.82	19.10	16.25	29.86	311.22	311.27	311.32	0.10
700	714809	714911.4	715007	198	30.05	19.09	16.37	30.08	342.55	342.60	342.65	0.09
800	777632	777735.9	777881	249	29.62	19.11	16.04	29.65	372.66	372.71	372.78	0.12

4.3.9 シグナル チェーン全体

ADC、信号処理、AFE882H2 などのシグナル チェーン全体をテストするために、シンプルな圧力セルシミュレータで、3 段階の電圧ステップを生成します。このシミュレータでは、[図 4-61](#) に示す回路図を使用して、センサブリッジを模擬します。そして、低、中、最大の測定値を模擬する電圧ステップを生成します。

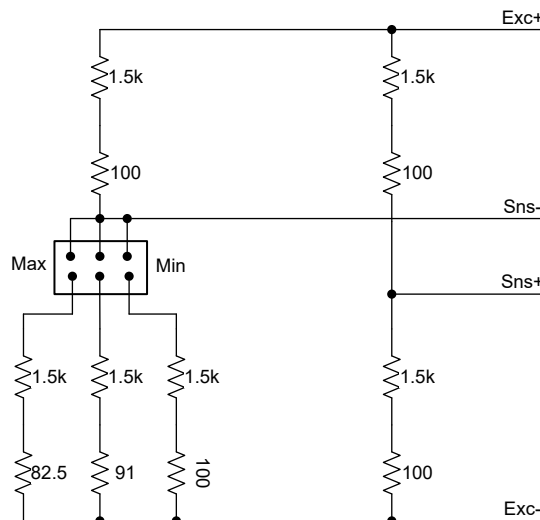


図 4-61. 圧力センサ シミュレータの回路図

最小電圧の目標は 0mV ですが、抵抗の許容誤差によってわずかに高い値となります。中の設定では 1.86mV が、最大の設定では 3.83mV が生成されます。

テストのために、シミュレータの 3 段階のステップについて、ADC の読み取り値に基づいてキャリブレーションの値を決定しました。また、目的の電流読み取り値に対応する DAC 設定を決定し、温度読み取り値を用いて線形化関数を適用します。[表 4-9](#) に、ADC 読み取り値および、ADC 電圧、ノイズの測定値を示します。DAC 設定は以前のテストに関連しています。すべてのテストにおいて、100Ω の抵抗を使用して RTD をシミュレートしています。

[図 4-62](#) にテスト構成を示します。

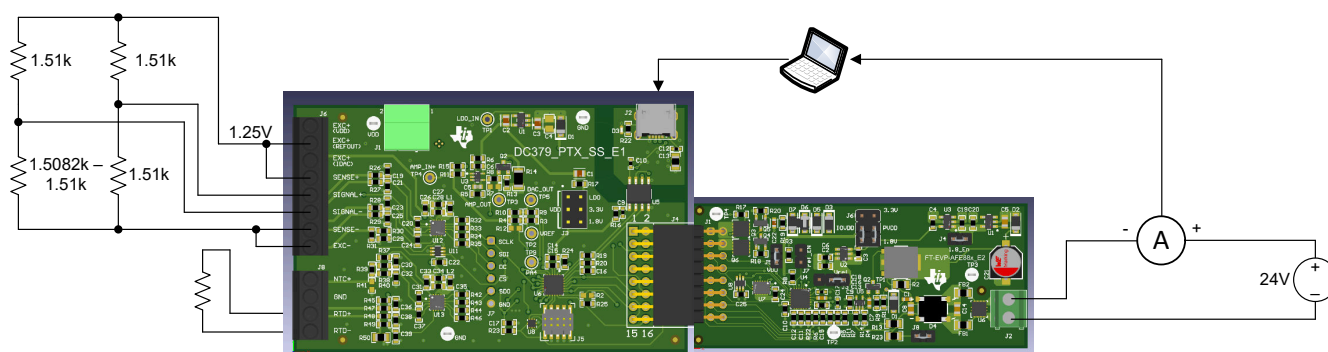


図 4-62. システムのテスト設定

表 4-9. ADC 読み取り値および、ADC 電圧、ノイズの測定値

シミュレータ設定	ADC 読み取り値 (16 進数)	ADC 電圧	ADC ピーク ツー ピークノイズ	目的の出力電流	DAC 設定
最小	0x4474e	0.32mV	5810 カウント (6.7μV)	4mA	0xbb8
中	0x1bbaf8	2.11mV	8093 カウント (9.4μV)	12mA	0x6df6
最大	0x31b87e	3.79mV	6763 カウント (7.8μV)	20mA	0xd034

pressure_temp_adc_condition.c ファイルには、結果として得られたキャリブレーション値とオフセット値が含まれています。

```
static int32_t h0 = 27340;
...
static int32_t g0 = 18135484;
...
static int32_t n0 = 421023099;
...
static int32_t P_offset = -1769446;
static int32_t T_offset = 0;
```

この構成により、3 つの異なるシミュレータ設定でシステム全体のループ電流を測定できます。

シミュレータを最小に設定すると、システムは想定通り 4mA の電流を生成します。図 4-63 ~ 図 4-66 の測定結果は、ノイズを含む生の ADC 読み取り値、ループ電流の測定値を、それぞれヒストグラム付きで示したものです。平均ループ電流は 4.00mA、ピーク ツー ピークノイズは 33μA です。

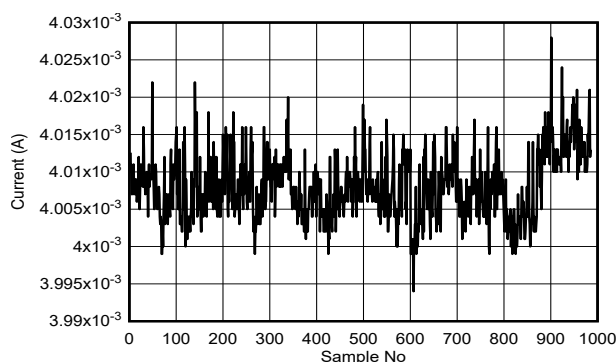


図 4-63. 最小設定時のループ電流

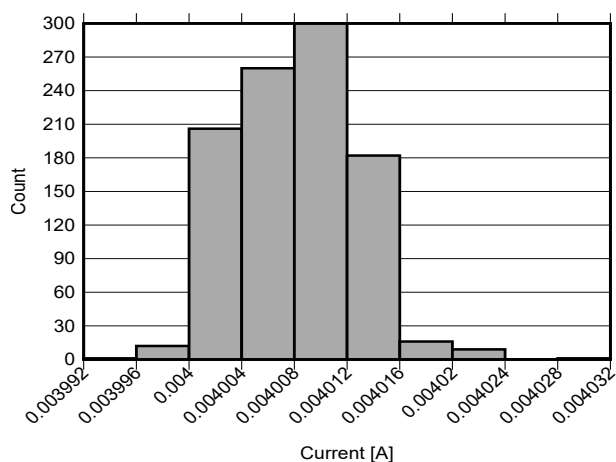


図 4-64. 最小設定時のループ電流ヒストグラム

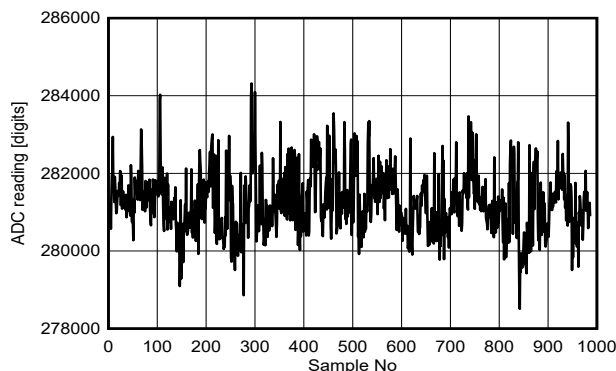


図 4-65. 最小設定時の ADC 読み取り値

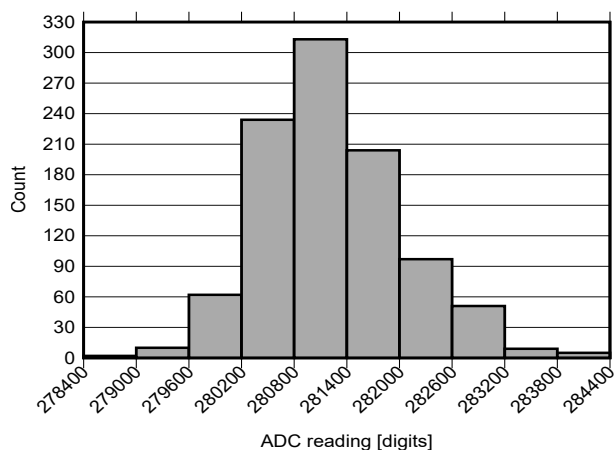


図 4-66. 最小設定時の ADC 読み取り値ヒストグラム

同じテストで中の設定を使用すると、想定される電流は 12mA です。図 4-67 ~ 図 4-70 の測定結果は、ノイズを含む生の ADC 読み取り値、ループ電流の測定値を、それぞれヒストグラム付きで示したものです。平均ループ電流は 12.02mA、ピーク ツー ピークノイズは 40μA です。

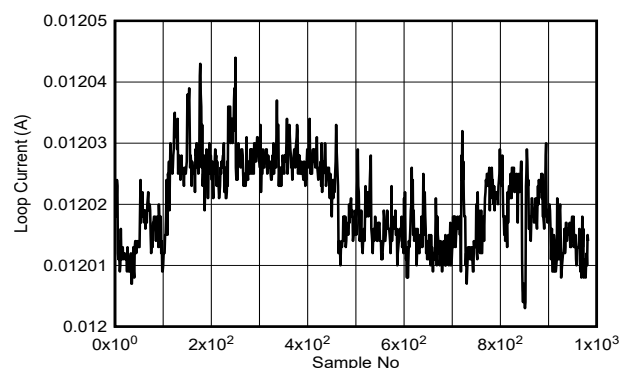


図 4-67. 中設定時のループ電流

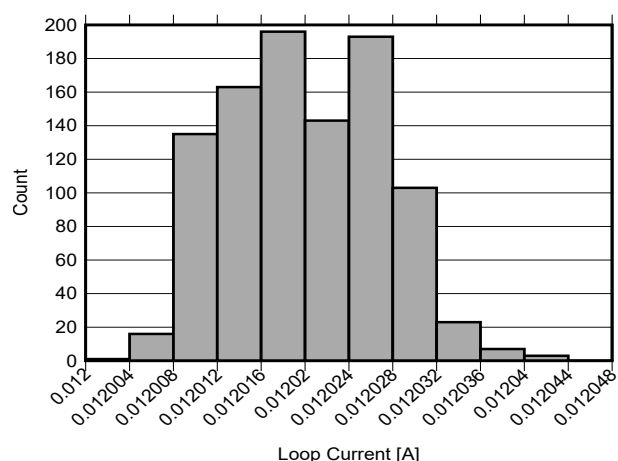


図 4-68. 中設定時のループ電流ヒストグラム

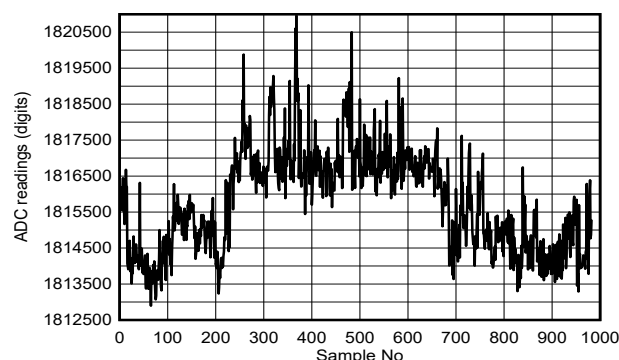


図 4-69. 中設定時の ADC 読み取り値

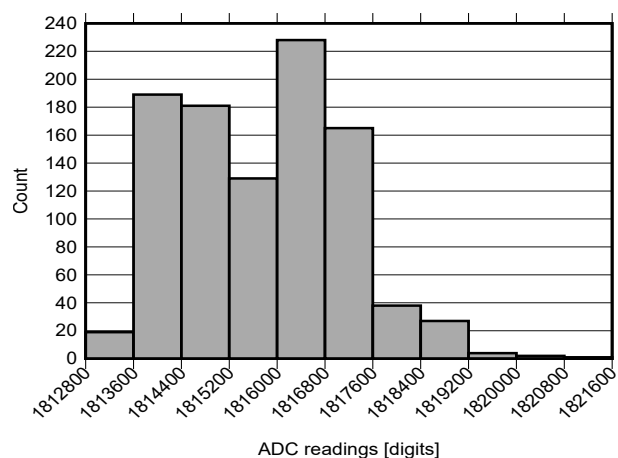


図 4-70. 中設定時の ADC 読み取り値ヒストグラム

このテストでは最大の設定も使用しており、想定される電流は 20mA です。図 4-71 ~ 図 4-74 の測定結果は、ノイズを含む生の ADC 読み取り値、ループ電流の測定値を、それぞれヒストグラム付きで示したものです。平均ループ電流は 20.06mA、ピークツーピークノイズは 37 μ A です。

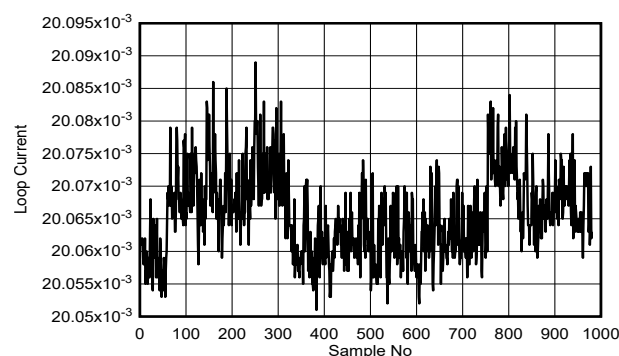


図 4-71. 最大設定時のループ電流

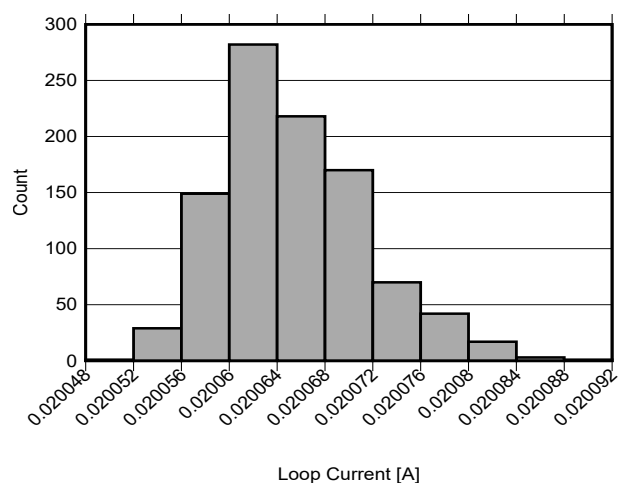


図 4-72. 最大設定時のループ電流ヒストグラム

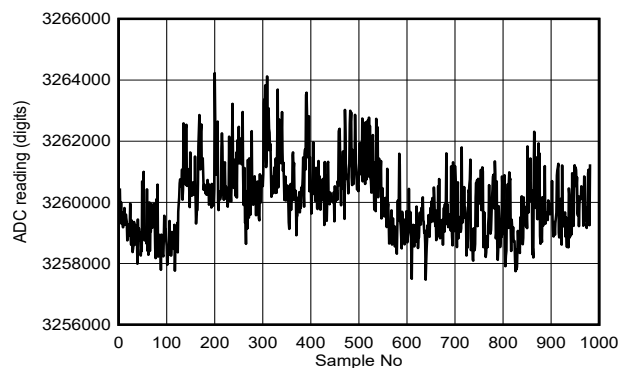


図 4-73. 最大設定時の ADC 読み取り値

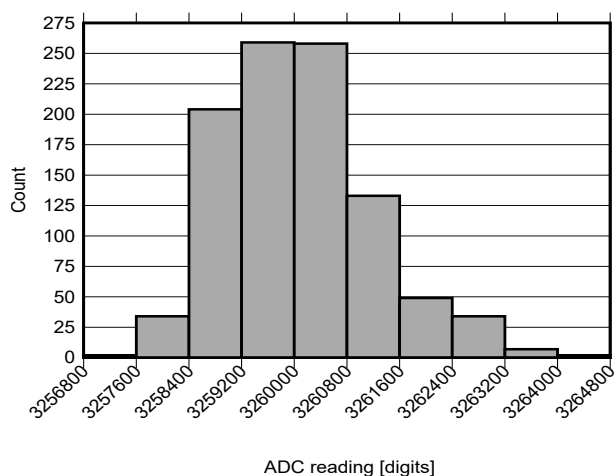


図 4-74. 最大設定時の ADC 読み取り値ヒストグラム

5 設計とドキュメントのサポート

5.1 デザイン ファイル

5.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010982](#) のデザイン ファイルを参照してください。

5.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-010982](#) のデザイン ファイルを参照してください。

5.1.3 PCB レイアウトに関する推奨事項

5.1.3.1 レイアウト プリント

レイヤ プロットをダウンロードするには、[TIDA-010982](#) のデザイン ファイルを参照してください。

5.2 ツールとソフトウェア

ツール

AFE881H1EVM	AFE881H1 16 ビット、電圧出力、高精度 DAC および 16 ビット ADC 用の評価基板
AFE882H1EVM	AFE882H1 16 ビット、電圧出力、高精度 DAC および 16 ビット ADC 用の評価基板
LP-MSPM0G3507	MSPM0G3507 80MHz Arm® Cortex®-M0+ マイコン向け LaunchPad™ 開発キット

ソフトウェア

MSPM0-SDK	MSPM0 ソフトウェア開発キット
---------------------------	-------------------

5.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス インスツルメンツ、『[AFEx81H1](#) 内蔵 HART® モデム、電圧リファレンス、および 4mA ~ 20mA ループ電源アプリケーション向け診断 A/D コンバータを備えた、16 ビットおよび 14 ビット低消費電力 D/A コンバータ』データシート
2. テキサス インスツルメンツ、『[AFEx82H1](#) 16 ビットおよび 14 ビット、低消費電力 D/A コンバータ (DAC)、HART® モデム、電圧リファレンス、プロセス制御用診断 ADC 内蔵』データシート
3. テキサス インスツルメンツ、『[OPAx391](#) 高精度、超低 I_Q 、低オフセット電圧、e-trim™ オペアンプ』データシート
4. テキサス インスツルメンツ、『[TPS7A03](#) ナノパワー I_Q 、200nA、200mA、高速過渡応答の低ドロップアウト電圧レギュレータ』データシート
5. テキサス インスツルメンツ、『[REF35](#) 超低消費電力、高精度電圧リファレンス』データシート
6. テキサス インスツルメンツ、『[TVS3301](#) 33V 双方向フラット クランプ サージ保護デバイス』データシート
7. テキサス インスツルメンツ、『[TMUX1219](#) 5V 双方向、2:1 汎用スイッチ』データシート
8. テキサス インスツルメンツ、『[SN74LV8T165](#) パラレル ロード 8 ビット シフトレジスタ』データシート

5.4 サポート・リソース

[テキサス・インスツルメンツ E2E™ サポート・フォーラム](#)は、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計に必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

5.5 商標

E2E™, e-trim™, LaunchPad™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

HART® is a registered trademark of FieldComm Group.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

6 著者

STEFFEN GRAF は、テキサス・インスツルメンツのシステム・エンジニアであり、産業用部門でのリファレンス・デザイン開発を担当しています。**Steffen** は、シングルペア・イーサネット、PoDL (Power Over Data Lines)、IO-Link などの分野で豊富な経験を持っています。彼は、ドイツのダルムシュタットにある応用科学大学で電気工学の修士号を取得しています。

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 * (July 2025) to Revision A (January 2026)	Page
• ADC のテストおよび測定 を追加。	24

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](https://www.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