

Design Guide: TIDA-010931

耐放射線特性、宇宙用バッテリー管理システム (BMS) のリファレンスデザイン



概要

このリファレンス デザインは、宇宙グレードのバッテリー管理システムを提示します。この回路は直列に接続された 8 個のバッテリー セルを測定し、バッテリーの健全性、充電状態、温度を監視します。

リソース

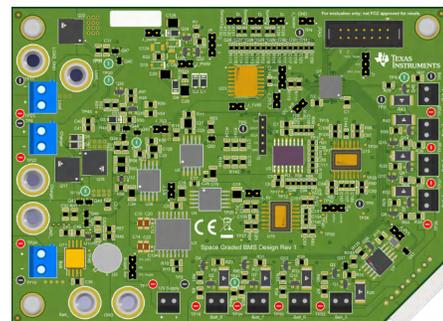
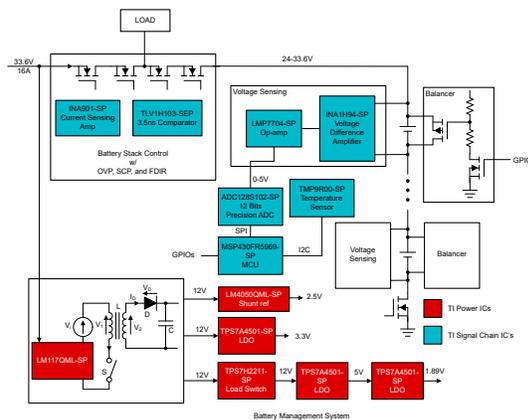
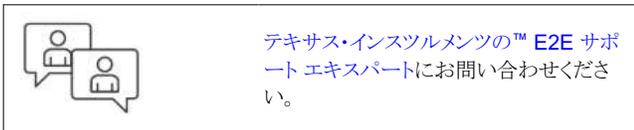
TIDA-010931	デザインフォルダ
MSP430FR5969-SP	プロダクトフォルダ
ADC128S102QML-SP	プロダクトフォルダ
TLV1H103-SEP	プロダクトフォルダ
TPS7H2211-SP	プロダクトフォルダ
TPS7A4501-SP	プロダクトフォルダ
LM4050QML-SP	プロダクトフォルダ
INA901-SP	プロダクトフォルダ
INA1H94-SP	プロダクトフォルダ
LMP7704-SP	プロダクトフォルダ
TMP9R00-SP	プロダクトフォルダ
LM117QML-SP	プロダクトフォルダ

特長

- 放射線性能: 75krad / 72MeV
- 8 個の 4.2V リチウムイオン バッテリーを管理
- バッテリー監視精度: $\pm 1\text{mV}$ (バッテリー = 3V~4.2V)
- GPIO 制御バッテリー バランシング回路
- 最大 28 個のバッテリーを測定できるスケーラビリティ
- 小さいリーク電流性能: 0.02 μA
- 基板寸法: 5.5in \times 4in

アプリケーション

- 宇宙船向けバッテリー管理システム (BMS)
- 衛星用電源システム (EPS)



1 システムの説明

表 2-1 および 図 2-1 に示すように、TIDA-010931 リファレンス デザインは、以下の多数のサブシステムで構成されています。

- バッテリー セル電圧監視システム
- バッテリー容量の最大化を実現するバッテリー セル バランサ
- バッテリー セルを監視するための温度センサ
- バッテリーおよび負荷を過充電や短絡から保護するバッテリー スタック制御機能

バッテリーの電圧、電流、および温度を監視する能力は、さまざまな価値を提供します。バッテリー管理システム (BMS) は、バッテリーの健全性および充電状態に関する重要な情報を提供します。これらは、衛星が信頼性の高いエネルギー源を維持するために不可欠です。現在、リチウムイオン バッテリーは、人工衛星のコストと重量を削減するために重要な役割を果たしていますが、安全に関する懸念も残っています。

リチウムイオンの高いエネルギー密度とバッテリーに関連する可燃性物質との組み合わせは、熱暴走、過充電、不適切なバランシング、および短絡の可能性により危険を及ぼす場合があります。現在、バッテリーの健全性および充電状態を検出する機能を持つ既知の放射線強化バランサ IC やモニタ IC はありません。バッテリーの個数と重量を低減するために、アプリケーションではより高い精度のセル電圧センシングが必要です。宇宙分野の BMS は、ロケット打ち上げのリードタイムの間もバッテリーが消耗せずに生き残るために、バッテリーからのリーク電流を小さくする必要があります。このデザインは、ディスクリート、自律型で、信頼性の高い BMS アプローチにより、高性能、高精度のセル電圧監視、高速過電流保護、温度センシング、バランシング機能を実現します。

MSP430FR5969-SP MCU は、電流、電圧、温度などのバッテリーセルの特性を測定し、BMS GUI (グラフィカル ユーザー インターフェイス) との通信を行います。MSP430FR5969-SP は、電源シーケンスのタイミングとロジックを提供するためにも使用され、また、昇圧回路に PWM スwitching 信号を供給します。MSP430FR5969-SP は、BMS GUI との互換性を確保するため、事前に書き込まれたファームウェアを使用してプログラミングすることができます。

このリファレンス デザインの電源設計により、低リーク電流能力を備えた電力制御を実現できます。MSP430FR5969-SP によって、さまざまな電源レールをイネーブルおよびディセーブルできます。

TIDA-010931 リファレンス デザインに電力を供給するには、12V 外部電源または 8 セル バッテリー パックが必要です。このデバイスには電源が内蔵されており、LM117QML-SP、TPS7H2211-SP、LM4050QML-SP、TPS7A4501-SP を使用して各サブコンポーネントに電力を供給し、異なる降圧電圧を生成します。正確な電圧と電源シーケンスの詳細については、「[設計上の考慮事項](#)」セクションを参照してください。

2 システム概要

表 2-1 に、システム仕様を示します。

表 2-1. システム仕様

パラメータ	値	単位
電源	12 または バッテリー パックから	V
バッテリーセルの数	8	-
バッテリーセル電圧	3~4.2	V
リーク電流	0.02	μA
バッテリーセル電圧の精度	±1	mV
バランス電流	120~169	mA

表 2-2 に、ジャンパおよびヘッダの説明を示します。

表 2-2. ジャンパおよびヘッダの説明

パラメータ	ネット名	説明
電源	12V Supply	12V 電源
	Supply Sel	バッテリー出力または外部 12V 電源から入力電源を選択します
JTAG	JTAG	JTAG 接続
PWM 制御	J_PWM	PWM 入力
入出力制御	J Pump	ポンプ入力
	チャージャ	チャージャ入力
	Batt	8 セルのバッテリー パック入力
	Load	負荷出力
電源電圧	J_LS	回路の残りの部分に対して負荷をイネーブルにします
	J4	バッテリー ポンプ用 12V または 5V 電源
	J_5V	LDO と 5V 負荷を分離
	J_1V85	LDO と 1.85V 負荷を分離
	J_3V3	3.3V LDO 出力と MSP430FR5969-SP を分離
	J_3V3_2	3.3V LDO と ADC128S102-SP を分離
	J_2V5	LDO と 2.5V 負荷を分離
通信	J_heater	バッテリー ヒーターのオン / オフの切り替えに割り当てられた GPIO
	J6	温度制御通信
	J2	デジタル アナライザに接続するための ADC 通信
バッテリー監視	J5	2.5Vref でのキャリブレーションによる電圧バランス
	BATT 1	バッテリー セル 1 への接続
	BATT 2	バッテリー セル 2 への接続
	BATT 3	バッテリー セル 3 への接続
	BATT 4	バッテリー セル 4 への接続
	BATT 5	バッテリー セル 5 への接続
	BATT 6	バッテリー セル 6 への接続
	BATT 7	バッテリー セル 7 への接続
温度監視	BATT 8	バッテリー セル 8 への接続
	Sensor 1	温度センサ 1
	Sensor 2	温度センサ 2
	Sensor 3	温度センサ 3
	I2C_pull	TMP9R00-SP の I2C 3.3V プルアップをイネーブルにします

表 2-3 に、テストポイントおよび想定される値を示します。

表 2-3. テストポイントの説明および想定される値

ネット名	説明	想定値
TP1	12V 電源	12 V
TP2	グラウンド	0 V
TP3、TP4、TP5、TP6、TP8、TP9、TP10、TP43	グラウンド	0 V
TP7	バッテリー 4 センシング アンプ出力	0.565 V~4.552V
TP11	負荷電圧	24 V
TP12	バッテリー 7 センシング アンプ出力	0.565 V~4.552V
TP13	バッテリー 3 センシング アンプ出力	0.565 V~4.552V
TP14	バッテリー 6 センシング アンプ出力	50.565 V~4.552V
TP15	バッテリー 2 センシング アンプ出力	0.565 V~4.552V
TP16	バッテリー出力電圧	33.6 V
TP17	バッテリー 8 センシング アンプ出力	0.565 V~4.552V
TP18	バッテリー 1 センシング アンプ出力	0.565 V~4.552V
TP19	ゲート電圧	27 V
TP20	短絡保護ゲート電圧	30 mV
TP21	ゲート電圧	5 V
TP22	チャージャ電圧入力	28 V
TP23	負荷電圧	28 V
TP24	バッテリー出力電圧	33.6 V
TP25	バッテリー 8 センシング初段アンプ出力	2.5 V
TP26	バッテリー 4 センシング初段アンプ出力	2.5 V
TP27	バッテリー 7 センシング初段アンプ出力	2.5 V
TP28	バッテリー 3 センシング初段アンプ出力	2.5 V
TP29	バッテリー 6 センシング初段アンプ出力	2.5 V
TP30	バッテリー 2 センシング初段アンプ出力	2.5 V
TP31	ゲート電圧	26.88 V
TP32	バッテリー 5 センシング アンプ出力	5 V
TP33	バッテリー 5 入力電圧	21 V
TP34	バッテリー 7 入力電圧	29.4 V
TP35	バッテリー 6 入力電圧	25.2 V
TP36	バッテリー 4 入力電圧	16.8 V
TP37	バッテリー 3 入力電圧	12.6 V
TP38	バッテリー 2 入力電圧	8.4 V
TP39	バッテリー 1 入力電圧	4.2 V
TP40	バッテリー 5 センシング初段アンプ出力	2.5 V
TP41	バッテリー 7 バランサ	29.4 V
TP43	グラウンド	0 V
TP45	INA901-SP 出力	0.6 V
TP46	INA901-SP 出力	0.6 V

2.1 ブロック図

図 2-1 に、TIDA-010931 システム ブロック図を示します。

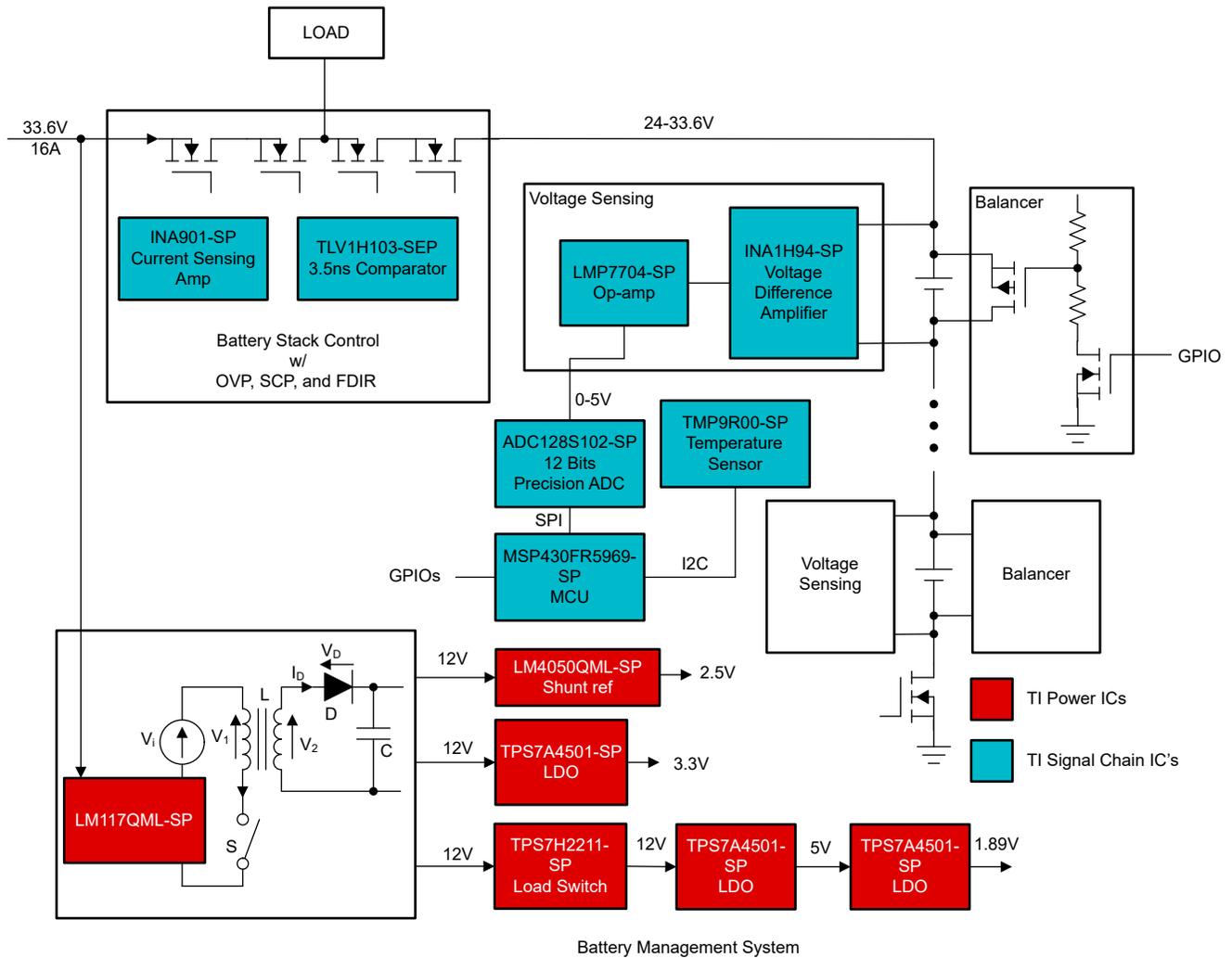


図 2-1. ブロック図

2.2 設計上の考慮事項

以下のセクションでは、最終用途アプリケーションに基づいて、このリファレンス デザインのサブシステムで役立つ基本的な設計上の考慮事項について説明します。

2.2.1 システム制御および処理

TIDA-010931 のシステム制御および処理は、MSP430FR5969-SP MCU の機能セットおよび性能に基づいています。MSP430FR5969-SP は、さまざまな専用デバイスと接続してバッテリーの温度、電流、電圧を検出し、測定値に基づいてシステムの機能を調整します。

また、MSP430FR5969-SP は、非安定化昇圧コントローラ回路用の PWM スイッチング信号も提供します。昇圧回路では、迅速なターン オフ能力を得るために、N-MOSFET を使用しています。昇圧レギュレータへの適切なゲート電圧では、N-MOS を使ってグラウンドへ短絡させることができます。

2.2.2 バッテリー セル監視

このリファレンス デザインは、標準的なリチウムイオン 4.2V バッテリー 8 個をサポートするように設計されています。このリファレンスデザインでは、LM117QML-SP リニアレギュレータを使用して、33.6V のバッテリー出力を 12V に降圧します。LM117QML-SP の最大入力定格は 40V です。より多くのバッテリーセルを使用する場合は、異なる降圧コンバータが必要です。

バッテリーセル監視機能は、バッテリーセルの電圧を 3V~4.2V の範囲内で監視するように設計されています。INA1H94-SP に続く LMP7704-SP アンプ回路のゲインを変更すれば、より広い範囲に対応することができます。この抵抗の変更は、SCISwitchValueChanged 関数を使用して BMS GUI にも反映する必要があります。

バッテリー監視回路 (図 2-2 を参照) は、高精度ユニティゲイン差動アンプである INA1H94-SP を利用して、2 個のバッテリーからの電圧を正確に測定する機能を果たします。INA1H94-SP は、最大 150V の同相信号に存在する小さい差動電圧を測定できます。R97 抵抗はゲインを変更する役割を持っています。LMP7704-SP を使用して信号の同相および範囲を調整し、ADC 入力のダイナミックレンジを最大化します。出力が MCU に送信され、GUI に表示されます。

INA1H94-SP は、この設計では単一電源動作であり、したがって、2.5V 基準電圧が追加されます。この IC にはレールツーレール入出力がなく、同相範囲を満たすための基準電圧が必要です。データシートでは、内部アンプの電圧は、電源電圧から 1.5V の範囲内であると規定されています。この要件を満たすために 2.5V の基準電圧を選択しましたが、1.5V までの低い基準電圧も許容されます。

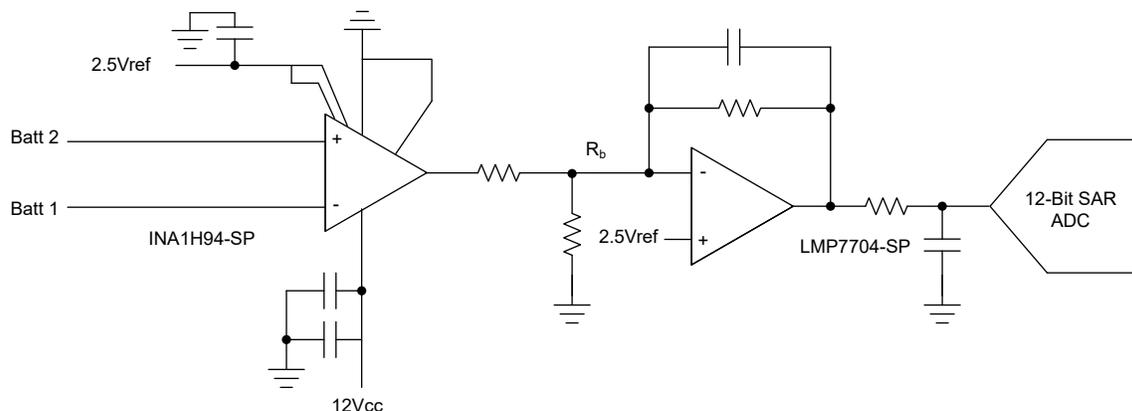


図 2-2. バッテリー監視

2.2.3 温度検出

温度検出は、バッテリーの寿命および正常動作を監視するために重要な役割を果たします。図 2-3 に、温度検出回路を示します。TMP9R00-SP は、-55°C~125°C の範囲の温度をローカルで監視し、-55°C~150°C の範囲の温度をリモートで監視できます。TMP9R00-SP は、8 つのリモートチャンネルをサポートし、組み合わせた最大電圧は 6V です。ローカルとリモートの両方のセンサについて、温度の測定値は 12 ビットのデジタル コードとして表現されます。

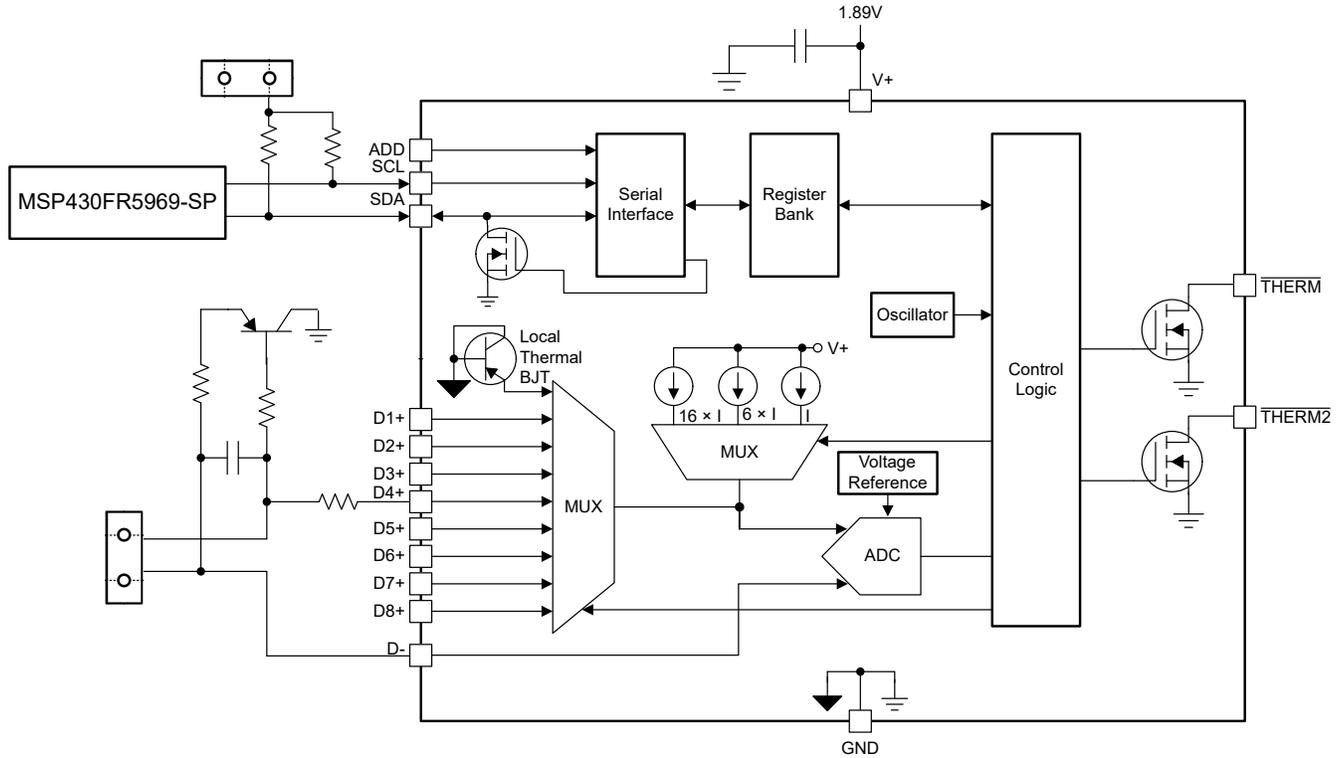


図 2-3. 温度検出

2.2.4 バッテリスタック制御

電流センスアンプ INA901-SP は、20V/V のゲインを内蔵しており、小さい電流検出抵抗を使用できるので、検出抵抗での電圧降下と電力損失を最小限に抑えることができます。INA901-SP は、TLV1H103-SEP 電圧コンパレータと組み合わせて MCU を駆動します (図 2-4 を参照)。

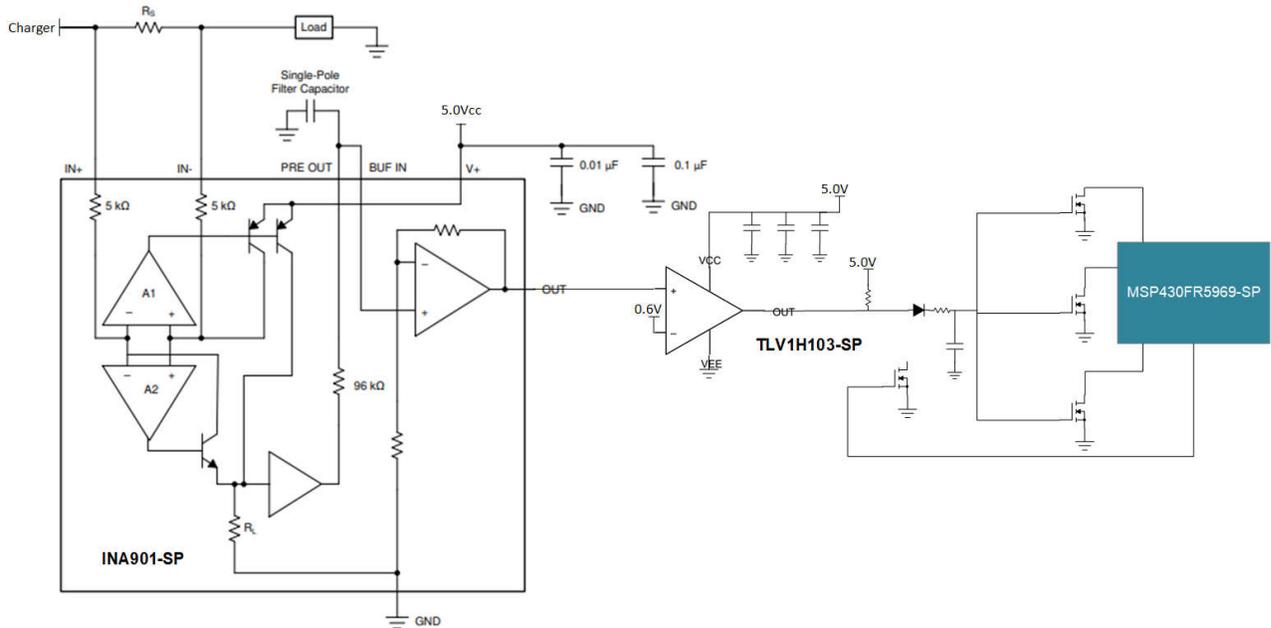


図 2-4. 短絡保護

2.2.5 バッテリ バランシング

バッテリーセル バランシングは、各バッテリーセルの容量と性能に重要な役割を果たします。このシステム (図 2-5 を参照) は、複雑度の低いパッシブ バランシング設計を採用しています。MCU からの GPIO が Low の場合は、バランシングが発生しないため、バッテリーセルから電流は流れません。MCU からの GPIO が High の場合は、トランジスタがオンになり、バッテリーセルから 15mA 程度の電流が流れます。

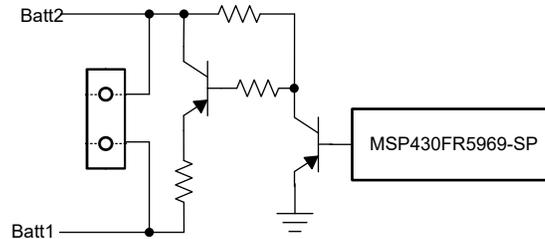


図 2-5. バッテリ バランシング

2.2.6 パワー ツリーと電源シーケンス

図 2-6 に、4 つの主要なコンポーネントで構成される電源ツリーを示します。TPS7H4010-SEP、LM4050QML-SP、TPSH2211-SP、TPS7A4501-SP の 4 種類のモジュール バリエーションがあります。

LM117QML-SP は、バッテリー パック (33.6V) からの電圧を 12V に変換します。LM117QML-SP は、使いやすく、入力電圧範囲の広い 1.5A リニアレギュレータで、各種のアプリケーション用に設計されています。LM4050QML-SP は、宇宙グレードの 2.5V ショント電圧リファレンスであり、バッテリーセル監視用の低ノイズリファレンスに電源を供給するために使用します。TPS7A4501-SP は、12V から 3.3V へ、12V から 5V へ、5V から 1.89V への電圧変換に使用する可変ドロップアウトレギュレータです。電源の各セクションは、MSP430 からイネーブルまたはディセーブルにすることができ、使用していないときの消費電流を低減できます。

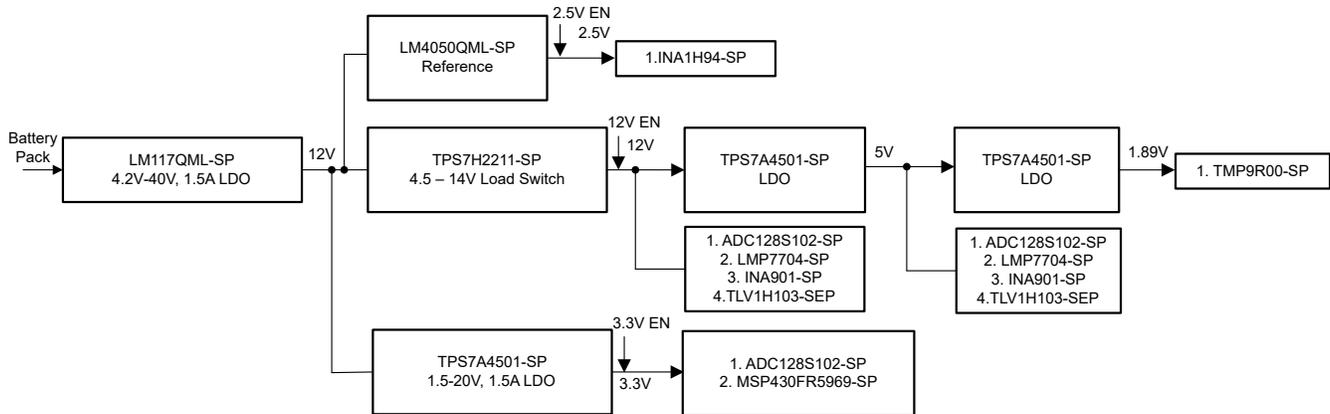


図 2-6. パワー マネージメント

2.3 主な使用製品

このセクションでは、バッテリー スタック制御、処理、バランシング、温度センシング、監視のためにリファレンス デザインで使用されている主な製品について説明します。

TIDA-010931	デザイン フォルダ
MSP430FR5969-SP	プロダクト フォルダ
ADC128S102QML-SP	プロダクト フォルダ
TLV1H103-SEP	プロダクト フォルダ
TPS7H2211-SP	プロダクト フォルダ
TPS7A4501-SP	プロダクト フォルダ
INA901-SP	プロダクト フォルダ
INA1H94-SP	プロダクト フォルダ
LMP7704-SP	プロダクト フォルダ
TMP9R00-SP	プロダクト フォルダ
LM117QML-SP	プロダクト フォルダ
LM4050QML-SP	プロダクト フォルダ

2.3.1 MSP430FR5969-SP

MSP430™ 超低消費電力 (ULP) FRAM プラットフォームは、独自の組み込み FRAM と包括的な超低消費電力システムアーキテクチャとを組み合わせ、より低いエネルギー バジレットで性能向上を可能にした、イノベータ向けの製品です。FRAM テクノロジーにより、SRAM の速度、柔軟性、耐久性と、フラッシュの安定性および信頼性の両方が、はるかに低い消費電力で得られます。

MSP430FR5969-SP の超低消費電力アーキテクチャには 7 つの低消費電力モードがあり、電力効率の高い分散テレメトリおよびハウスキーピング システムを実現するよう最適化されています。

MSP430FR5969-SP にはミクスト シグナル機能が内蔵されているため、次世代宇宙船の分散テレメトリ アプリケーションに最適です。このデバイスには、シングル イベント ラッチアップおよび総電離線量への強い耐性があるため、宇宙や放射線にさらされる各種環境で使用できます。

2.3.2 ADC128S102QML-SP

ADC128S102 デバイスは、50kSPS~1MSPS の変換スループットレートに対応した、低消費電力、8 チャンネル CMOS 12 ビット A/D コンバータです。このコンバータは、トラック アンド ホールド回路を備えた逐次比較型のアーキテクチャをベースとしています。IN0~IN7 の入力で最大 8 つの入力信号を受け取るように構成できます。

出力のシリアル データはストレート バイナリで、SPI、QSPI、MICROWIRE などいくつかの標準に加えて、多くの一般的な DSP シリアル インターフェイスと互換性があります。

ADC128S102 は、独立したアナログ電源とデジタル電源で動作できます。アナログ電源 (VA) は 2.7V~5.25V、デジタル電源 (VD) は 2.7V~VA に対応できます。3V 電源または 5V 電源による通常動作の消費電力は、それぞれ 2.3mW、10.7mW です。パワーダウン機能により、消費電力は 3V 電源で 0.06μW、5V 電源で 0.25μW に低減されます。

2.3.3 TLV1H103-SEP

TLV1H103-SEP は、レールツーレール入力、2.5ns の伝搬遅延時間、325MHz 動作の高速コンパレータです。本コンパレータは、速い応答と広い動作電圧範囲を備えており、レーダー画像処理および通信ペイロードシステムの狭信号パルス検出およびデータ/クロックリカバリアプリケーションに最適です。

TLV1H103-SEP のプッシュプル (シングルエンド) 出力を使うと、他の高速差動出力コンパレータに比べて消費電力を低減できるとともに、I/O インターフェイスの基板間配線を簡素化し、コストを削減できます。さらに、TLV1H103-SEP は可変ヒステリシス制御や出力ラッチ機能などの機能を備えています。このコンパレータは、下流でよく使われるほとんどのデジタルコントローラおよび IO エクスパンダと直接接続できます。

TLV1H103-SEP は、高速相補型 BiCMOS プロセスを使用し、6 ピンパッケージで供給されます。

2.3.4 TPS7H2211-SP

TPS7H2211-SP は、シングルチャネル eFuse (追加機能付き FET ロードスイッチを内蔵) で、逆電流保護、過電圧保護を備え、突入電流を最小化するために立ち上がり時間が設定可能な、ソフトスタートになっています。このデバイスは、4.5V~14V の入力電圧範囲で動作し、最大 3.5A の連続電流をサポートする P チャネル MOSFET を内蔵しています。

このスイッチは、オンオフ入力 (EN) により制御され、低電圧の制御信号と直接接続可能です。過電圧保護およびソフトスタートは、OVP および SS ピンを使って、少数の外付け部品でプログラム可能です。TPS7H2211-SP は、放熱性能向上のための露出したサーマルパッド付きセラミックおよび樹脂製パッケージで供給されます。QML 5962R1822001VXC では、SMD (Standard Microcircuit Drawing) を利用できます。-SEP バリエント V62/23609 では、VID (Vendor Item Drawing) を利用できます。

2.3.5 TPS7A4501-SP

TPS7A4501-SP は、高速過渡応答に最適化された低ドロップアウト (LDO) レギュレータです。59621222402VHA は、300mV のドロップアウト電圧で、750mA の出力電流を供給できます。5962R1222403VXC は、320mV のドロップアウト電圧で、1.5A の出力電流を供給できます。静止電流は適切に制御され、他の多くのレギュレータのようにドロップアウト時に静止電流が増加することはありません。高速の 20V までの過渡応答に加えて、TPS7A4501-SP レギュレータは出力ノイズが非常に低いため、ノイズに敏感な RF 電源アプリケーションに最適です。

2.3.6 INA901-SP

INA901-SP は、電源電圧にかかわらず -15V~65V の同相電圧でシャント抵抗両端の電圧降下を検出できる、電圧出力電流検出アンプです。INA901-SP は 2.7V~16V 単一電源で動作し、消費電流は 700 μ A (標準値) です。

INA901-SP のゲインは 20V/V です。130kHz の帯域幅により、電流制御ループでの使用が容易になります。ピン配置は、フィルタを簡単に接続できるよう設計されています。

このデバイスは、拡張動作温度範囲の -55°C~125°C で動作が規定されており、8 ピンの CFP パッケージで供給されます。

2.3.7 INA1H94-SP

INA1H94-SP は、放射線強化された高精度のユニティゲイン差動アンプであり、非常に高い同相入力電圧範囲を備えています。このデバイスは、高精度オペアンプと内蔵の薄膜抵抗ネットワークで構成されたシングルモノリシック IC です。このデバイスは、最大 ± 150 V の同相信号に存在する小さい差動電圧を正確に測定できます。

ガルバニック絶縁を必要としない多くのアプリケーションでは、INA1H94-SP を絶縁アンプの代わりに使用できます。この能力により、コストのかかる絶縁型入力側電源や、それに関連するリップル、ノイズ、静止電流をなくすことができます。

INA1H94-SP は、0.0005% (標準値) の非直線性と 500kHz の帯域幅を備え、従来の絶縁アンプよりも優れた選択肢となっています。

2.3.8 LMP7704-SP

LMP7704-SP は、低入力バイアス、低オフセット電圧、ゲイン帯域幅積 2.5MHz、電源電圧範囲の広い、高精度アンプです。本デバイスは、放射線耐性が強化されており、 -55°C ~ $+125^{\circ}\text{C}$ の軍用温度範囲で動作します。

優れた DC 精度 (特に、低いオフセット電圧 ($\pm 60\mu\text{V}$) および非常に小さい入力バイアス電流 ($\pm 500\text{fA}$)) を備えたこのアンプは、高い出力インピーダンスを持つ高精度センサとのインターフェイスに最適です。このアンプは、トランスデューサ、ブリッジ、ひずみゲージ、トランスインピーダンス アンプ用に構成できます。

2.3.9 TMP9R00-SP

TMP9R00-SP デバイスは、放射線耐性強化、マルチゾーン、高精度、低消費電力の温度センサで、2 線式の SMBus または I²C 互換インターフェイスを使用します。最大 8 つのリモートおよび 1 つのローカル温度ゾーンを同時に監視でき、システム内で温度測定を集約することにより、設計の複雑性を低減できます。代表的な使用例として、MCU、GPU、ADC、DAC、FPGA など、さまざまな高消費電力デバイスの温度監視があります。直列抵抗のキャンセル、プログラム可能な理想係数、温度オフセット補正、温度制限などの高度な機能が搭載されているため、堅牢な熱監視設計を実現できます。

各リモート チャネルとローカル チャネルには、個別にプログラム可能な 2 つのスレッシュホールドがあり、対応する温度が制限を超えたときにトリガされます。スレッシュホールド付近での頻繁な切り替わりを回避するため、ヒステリシス設定をプログラム可能です。

TMP9R00-SP は、高精度 ($\pm 1.5^{\circ}\text{C}$)、高分解能 (0.0625°C) の測定能力を備えています。このデバイスは、低電圧レール (1.7V ~ 2.0V)、一般的な 2 線式インターフェイス (1.7V ~ 3.6V)、 -55°C ~ 125°C の動作温度範囲、 -55°C ~ 150°C のリモート接合部温度範囲に対応しています。

2.3.10 LM117QML-SP

LM117QML-SP 3 端子正電圧リニアレギュレータは 1.2V ~ 37V の出力範囲で 0.5A または 1.5A を供給できます。本デバイスは簡単に使用でき、2 つの外付け抵抗だけで出力電圧を設定できます。

このレギュレータはフローティング状態であり、入出力電圧差だけが印加されるので、入出力電圧差の最大値を超過しない限り、数百ボルトの供給電圧であってもレギュレート可能です。

フライトで実証済みの LM117QML-SP には、電流制限、熱過負荷保護、安全領域保護など、完全な過負荷保護機能が搭載されています。本デバイスは非常に多目的であり、可変スイッチングレギュレータ、プログラマブル出力レギュレータ、高精度電流レギュレータなどとしても使用できます。

2.3.11 LM4050QML-SP

LM4050QML 高精度電圧リファレンスは、10 リードのセラミック CLGA パッケージで供給されます。LM4050QML の設計は、容量性負荷に対して 25°C での安定性を確保するとともに、安定化コンデンサを外付けする必要がないので、使いやすい製品になっています。LM4050-2.5QML の動作電流は、最小値 $60\mu\text{A}$ 、最大値 15mA です。LM4050-5.0QML の動作電流は、最小値 $74\mu\text{A}$ 、最大値 15mA です。

3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

3.1 ハードウェア要件

このリファレンス デザインには、以下に示す 5 つのハードウェアが必要です。

1. 12V 電源: 外部 12V 電源が必要であり、TIDA-010931 リファレンス デザインの Batt_Out 電源コネクタ経由で接続します
2. TIDA-010931: 宇宙用バッテリー管理システムのリファレンス デザイン
3. MSP430 プログラマおよびデバッガ: プログラミング用の JTAG デバッグ プロンプ
4. USB-TTL シリアル ケーブル: BMS GUI と TIDA-010931 の間の SCI 通信に使用します
5. 8 セル バッテリー パックまたはバッテリー シミュレータ

3.2 ソフトウェア要件

次の 3 つのソフトウェアが必要です。Code Composer Studio™ 統合開発環境 (IDE)、BMS ファームウェア、BMS GUI。

Code Composer Studio™ IDE は、テキサス・インスツルメンツの MCU および組み込みプロセッサのポートフォリオをサポートしています。このソフトウェアは、MSP430FR5969-SP をプログラミングするために必要です。フローは、GPIO、PWM、SPI、SCI、ADC の初期化から始まり、その次に GUI で制御される無限ループが続きます。プログラムは、最初に GUI コマンド受信を待機します。受信したコマンドに基づいて、プログラムは作業を実施して、次の GUI コマンドに備えてループの先頭に戻ります。

MSP430FR5969-SP にファームウェアをロードした後、USB-TTL シリアル ケーブルを経由して TIDA-010931 をコンピュータに接続します。このケーブルにより、MATLAB® GUI と TIDA-010931 の間のシリアル通信インターフェイス (SCI) が得られます。その後、GUI は、MCU からのフィードバックに基づいて、各バッテリー セルの電圧と電流を表示します。図 3-1 に GUI 画面を示します。

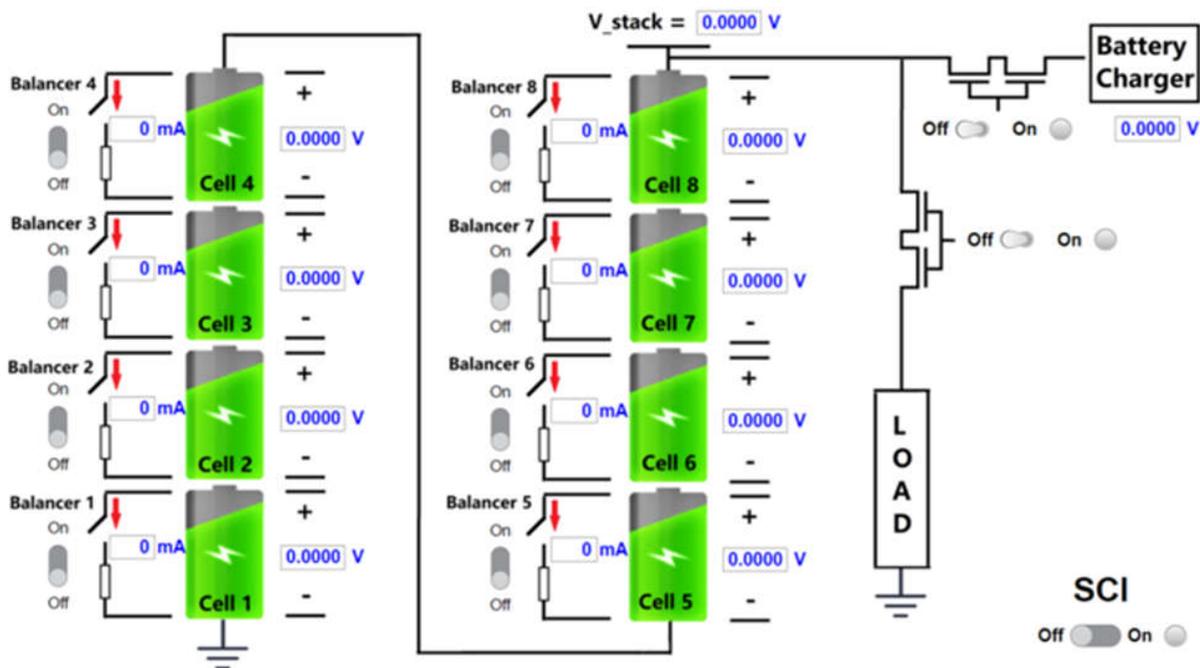


図 3-1. TIDA-010931 GUI

3.3 テスト構成

TIDA-010931 は、ファームウェアおよび GUI 付きの使いやすいリファレンス デザインです。BMS を設定するには、以下の手順に従ってください。

1. 必要なハードウェアとソフトウェアをすべて準備します
2. TIDA-010931 に 12V を供給します。2 つの選択肢があります。
 - a. バッテリからの出力により BMS に電力を供給し、Supply Sel ジャンパで 12V_LDO ピンを選択
 - b. 12V DC 電源を使用して、Supply Sel ジャンパで 12V_Supply ピンを選択
3. MSP430 デバッグ プローブ を TIDA-010931 JTAG ヘッダーに接続します
4. Code Composer Studio を使用して MSP430 MCU をプログラムします
5. JTAG ヘッダと USB-TTL シリアル ケーブルを PC に接続します
 - TTL シリアル ケーブルには、赤、緑、白、黒の 4 つのコネクタがあります。図 3-2 に示すように、緑、白、黒のコネクタのみを JTAG に接続します
6. BMS MATLAB GUI をインストールして実行します
7. GUI で SCI COM 番号を入力し、Connect ボタンをクリックします。接続すると、緑色のライトが表示され、GUI で TIDA-010931 を制御できるようになります
8. 5VCC ピンからの出力を測定し、GUI の値を更新して GUI を較正します。リファレンス ボード上の位置 J5 で 2.5Vref をキャリブレーションし、GUI の cal ボタンをクリックします。

図 3-2 に示すように、黒、緑、白のコネクタのみを接続します。赤のコネクタは、接続しなくてもかまいません。

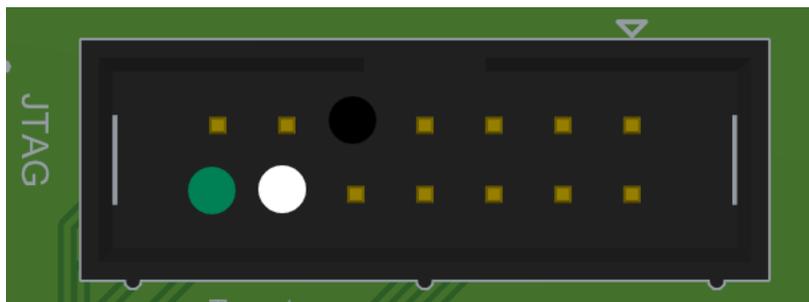


図 3-2. TTL シリアル ケーブル - JTAG 接続

3.4 テスト結果

図 3-3 に、オフセット キャリブレーション後のバッテリー セル監視誤差を示します。3.0V~4.2V のバッテリー電圧範囲で、誤差は $\pm 1\text{mV}$ 未満となります。

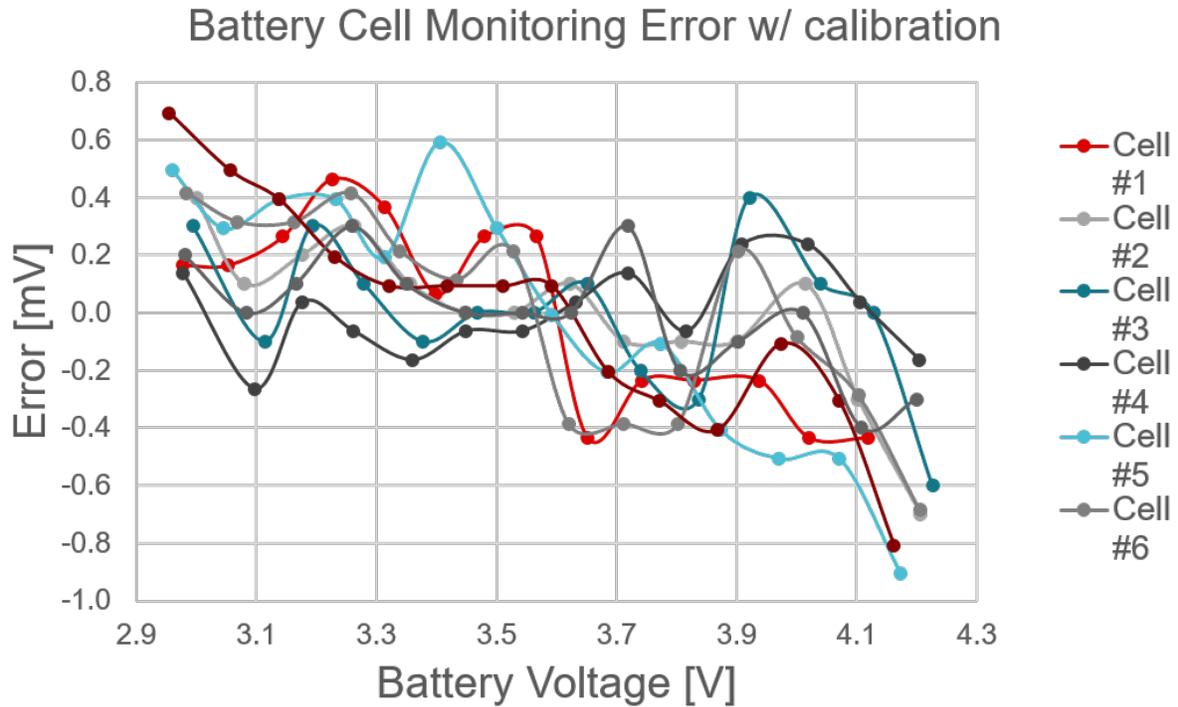


図 3-3. バッテリーセル監視誤差

図 3-4 に短絡保護を示します。ここでは、4.56 μs 遅延時間内に電源がオフになっています。

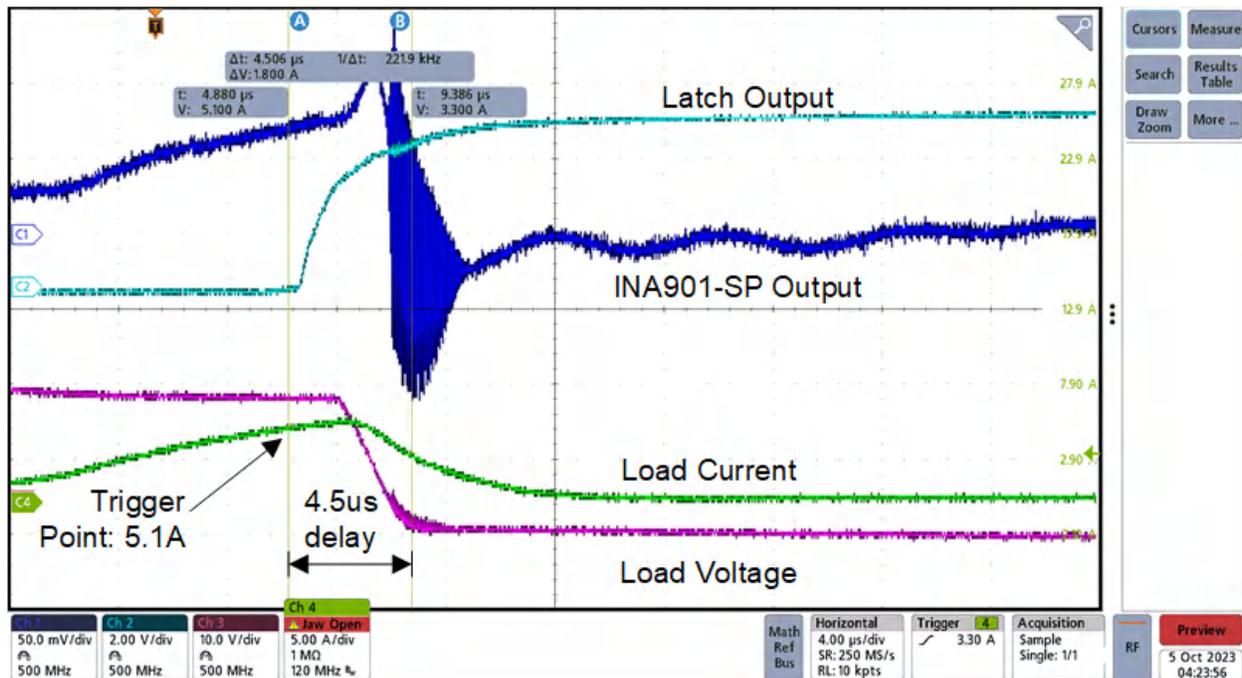


図 3-4. 短絡保護

4 設計とドキュメントのサポート

4.1 デザイン ファイル

4.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010931](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.1.2 BOM

部品表 (BOM) をダウンロードするには、[TIDA-010931](#) のデザイン ファイルを参照してください。

4.2 ツールとソフトウェア

ツール

MSP430 デバッガ	ファームウェア プログラミング用のデバッガ
USB-TTL ケーブル	リファレンス デザイン - GUI 接続ケーブル

ソフトウェア

BMS GUI

4.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス・インスツルメンツ、『[MSP430FR5969-SP 耐放射線特性、ミクスト シグナル マイクロコントローラ](#)』データシート
2. テキサス・インスツルメンツ、『[ADC128S102QML-SP 耐放射線特性、8 チャネル、50kSPS~1MSPS、12 ビット A/D コンバータ](#)』データシート
3. テキサス・インスツルメンツ、『[TLV1H103-SEP 耐放射線特性、高速コンパレータ、伝搬遅延時間 2.5ns](#)』データシート
4. テキサス・インスツルメンツ、『[TPS7H2211-SP および TPS7H2211-SEP 放射線耐性保証 \(RHA\)、14V、3.5A eFuse](#)』データシート
5. テキサス・インスツルメンツ、『[TPS7A4501-SP 低ドロップアウト電圧レギュレータ](#)』データシート
6. テキサス・インスツルメンツ、『[INA901-SP 耐放射線特性、-15V~65V 同相の単方向電流シャント モニタ](#)』データシート
7. テキサス・インスツルメンツ、『[INA1H94-SP 耐放射線特性、高同相電圧差動アンプ](#)』データシート
8. テキサス・インスツルメンツ、『[LMP7704-SP 放射線耐性保証 \(RHA\)、高精度、低入力バイアス、RRIO、電源電圧範囲の広いアンプ](#)』データシート
9. テキサス・インスツルメンツ、『[TMP9R00-SP 9 チャネル \(リモート 8、ローカル 1\)、高精度温度センサ](#)』データシート
10. テキサス・インスツルメンツ、『[LM117QML-SP RHA 4.25V~41.25V 3 端子可変レギュレータ](#)』データシート
11. テキサス・インスツルメンツ、『[LM4050QML 高精度マイクロパワー シャント電圧リファレンス](#)』データシート

4.4 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。

4.5 商標

テキサス・インスツルメンツの™, MSP430™, Code Composer Studio™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

MATLAB® is a registered trademark of The MathWorks, Inc.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

5 著者について

BHAVIKA KAGATHI はテキサス・インスツルメンツのシステム エンジニアで、宇宙向けシステム プログラムの開発を担当しています。Bhavika は 2023 年から テキサス・インスツルメンツに勤務しています。イリノイ大学アーバナ - シャンペーン校で理学士およびバイオエンジニアリングの修士の学位を取得しています。

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