

TI Designs

ホール・センサを使用した非接触高精度AC電流センシング

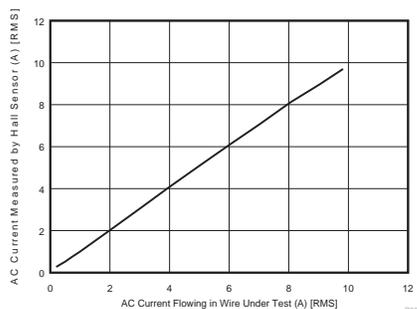


TI Designs

TI Designsは、システムをすばやく評価してカスタマイズするために必要な、手法、テスト、デザイン・ファイルなどの基盤を提供し、開発期間の短縮に役立ちます。

デザイン・リソース

TIDA-00218	デザイン・ファイルを含む ツール・フォルダ
DRV5053	製品フォルダ
MSP430F5529	製品フォルダ
LP2985-33	製品フォルダ
TPS7A1633	製品フォルダ
TMP103	製品フォルダ
TPD3E001	製品フォルダ



デザインの特長

このリファレンス・デザインでは、ホール・センサ・サブシステムを使用した非接触高精度AC電流センシングにより、ワイヤ周囲の絶縁を維持しながらAC電流を測定することが可能です。

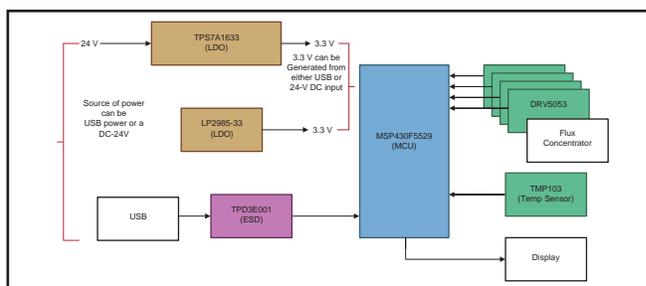
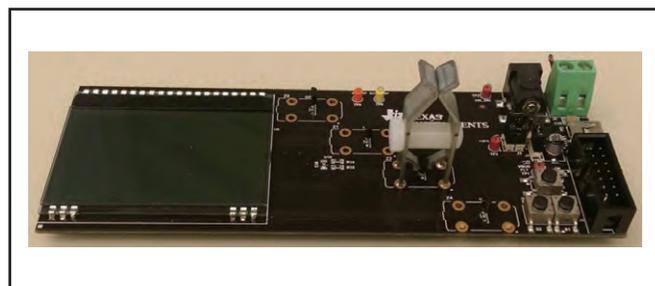
- 三相AC入力電流に対する非接触近接電流センシング
- 1A~10A RMSで最大測定誤差が5%未満
- このデザインで示す磁束コンセンレータの使用により磁束密度が6倍 (15dB) 向上
- 最大電流範囲で1点のみによるゲイン補正 - ファームウェアで2次曲線補正を実現
- 磁束コンセンレータの設計を変更することで、センシング可能な最大電流を調整可能

主なアプリケーション

- ビルディング・オートメーション
- 回路ブレーカ
- 電気パネル
- 制御パネル



ASK Our E2E Experts
[WEBENCH® Calculator Tools](#)



An IMPORTANT NOTICE at the end of this TI reference design addresses authorized use, intellectual property matters and other important disclaimers and information.

PowerPADは、テキサス・インスツルメンツの商標です。SMBusは、インテル社の商標です。すべて商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

この資料は、Texas Instruments Incorporated (TI) が英文で記述した資料を、皆様のご理解の一助として頂くために日本テキサス・インスツルメンツ (日本TI) が英文から和文へ翻訳して作成したものです。
資料によっては正規英語版資料の更新に対応していないものがあります。日本TIによる和文資料は、あくまでもTI正規英語版をご理解頂くための補助的参考資料としてご使用下さい。
製品のご検討およびご採用にあたりましては必ず正規英語版の最新資料をご確認下さい。
TIおよび日本TIは、正規英語版にて更新の情報を提供しているにもかかわらず、更新以前の情報に基づいて発生した問題や障害等につきましては如何なる責任も負いません。

TIDU522A 翻訳版

最新の英語版資料
<http://www.ti.com/lit/tidu522>

主なシステム仕様

PARAMETER	SPECIFICATION	DETAILS
Current sensing	Contactless Hall Sensor based, with flux concentrator concentrating the flux	See Section 3.3 , Section 3.4 , and Section 3.5
Current sensing range	In this design implementation, 500-mA to 10-A AC RMS, however, the maximum current range is dependent on the flux concentrator	See Section 3.4 , Section 5.2 , and Section 5.3
Flux concentrator material	1010 Cold Rolled Steel (CRS)	See Section 3.5
Input operating voltage	USB powered or 12-V to 24-V DC powered	See Section 4.1 and Section 4.2
Operating temperature	-40 to 85°C	
Cross talk across channels	Negligible	
Temperature effect on Hall Sensor		See Section 5.4
Calibration	Single-point at the maximum current	See Section 3.8.1 and Section 5.1
Maximum measured error	Less than 5%	See Section 5.1
Operating maximum current with this existing flux concentrator design	Approximately 13-A AC RMS	See Section 5.1
Algorithm for current determination	Second-order curve fit that determines current based on Hall Sensor output voltage after gain correction	See Section 5.1
Output	On-board display	See Section 4.1

1 システム説明

このリファレンス・デザインでは、ホール・センサ・サブシステムを使用した非接触高精度AC電流センシングにより、ワイヤを流れるAC電流の大きさを物理的な干渉なしで測定するソリューションを提供します。システムのデバッグ中には、ワイヤにAC電流が流れているかどうかの確認が必要になる場合があります。非接触AC電流センシング・サブシステムのリファレンス・デザインを使用すると、以下のことが可能になります。

- 過電流アラーム状態の通知
- ソース電流を監視して負荷の特性を確認
- 監視対象ワイヤに電流が流れていないときにアラーム状態を通知
- デバッグまたはデータ・ログ用に電力の三相すべてを監視

このサブシステムの設計プロセス中に重要となった課題は、AC電流の状態を非接触で確認するということです。これは、ACワイヤのプラスチック絶縁を維持しながらAC電流を確認することを意味します。

そのような場合、AC電流を確認するための1つのオプションは、AC電流ワイヤの周囲の磁束を検出することです。ただし、この方法には、1つの問題があります。ワイヤに10Aという高いAC電流が流れている場合であっても、表面に生成される磁束は、18ゲージのワイヤで4ガウスなど、わずかな大きさにしかなりません。

この問題に対処するため、このサブシステム・デザインでは、図8に示すように、磁束コンセントレータを実装しています。非接触の磁束コンセントレータを追加する目的は、AC電流が流れるワイヤの周囲の磁束を大気中に逃がさずに集中させ、ホール・センサへと向けることです。この磁束コンセントレータによって、磁束の集中が15dB以上向上しています（3節を参照）。これにより、ホール・センサとアナログ出力を利用して、ホール・センサの出力電圧に比例するAC電流の強度を示すことができます。

磁束コンセントレータの設計に関する主な要件（3節を参照）

- 透磁率の高い材質
- AC電流ワイヤがその材質で覆われるようにする設計
- クリップの先端でホール・センサに触れることができる柔軟な設計

ホール・センサの主な要件

- スルーホール・パッケージの使用により、磁束コンセントレータと組み合わせる際の柔軟性を高める
- 磁束の集中状況を示すアナログ出力

このデザインでは、上記の要件を満たすTIのDRV5053デバイスが選択されています（3節を参照）。

マイコンの主な要件

- ADC入力チャネル
- 参照テーブル機能と線形補間を実現するために十分なメモリとリソース

TIのMSP430F5529デバイスは、上記の要件を満たしています（3節を参照）。

1.1 DRV5053

DRV5053デバイスは、磁気センシング・ソリューションのためのチョッパ安定化型ホールICであり、温度に対する感度安定性に優れ、内蔵の保護機能を備えています。0~2Vのアナログ出力により、印加された磁束密度に対してリニアに応答し、磁束方向の極性を区別します。2.5~38Vという広い動作電圧範囲と、最大-22Vの逆極性保護により、幅広い範囲の産業用および民生用アプリケーションに最適です。

逆電源状態、負荷ダンブ、および出力短絡または過電流に対して内部保護機能を備えています。

1.2 MSP430F5529

TIが提供するMSP430™ファミリの超低電力マイコン（MCU）は、さまざまなアプリケーション向けに異なる周辺機能を搭載したいくつかのデバイスから構成されています。アーキテクチャは、広範な低電力モードとの組み合わせにより、ポータブル計測アプリケーションで長いバッテリー寿命を実現できるように最適化されています。このデバイスは、強力な16ビットRISC CPU、16ビットレジスタ、およびコード効率の最大化に貢献する定数ジェネレータを備えています。デジタル制御発振器（DCO）により、低電力モードからアクティブ・モードへのウェイクアップを3.5μs（標準）で実現します。

MSP430F5529、MSP430F5527、MSP430F5525、MSP430F5521の各デバイスは、USBとPHYを内蔵したマイコン構成であり、USB 2.0、4個の16ビット・タイマ、高性能12ビットA/Dコンバータ（ADC）、2つのUSCI（Universal Serial Communication Interface）インターフェイス、ハードウェア乗算器、DMA、アラーム機能付きのリアルタイム・クロック・モジュール、および63本のI/Oピンをサポートしています。MSP430F5528、MSP430F5526、MSP430F5524、MSP430F5522は、これらのペリフェラルをすべて搭載していますが、I/Oピンは47本です。

MSP430F5519、MSP430F5517、MSP430F5515は、USBとPHYを内蔵したマイコン構成であり、USB 2.0、4個の16ビット・タイマ、2つのUSCIインターフェイス、ハードウェア乗算器、DMA、アラーム機能付きのリアルタイム・クロック・モジュール、および63本のI/Oピンをサポートしています。MSP430F5514およびMSP430FF5513は、これらのペリフェラルをすべて搭載していますが、I/Oピンは47本です。

標準的なアプリケーションとしては、アナログおよびデジタル・センサ・システム、データ・ロガー、および各種USBホストへの接続を必要とするさまざまなアプリケーションがあります。

1.3 LP2985-33

LP2985ファミリの固定出力/低ドロップアウト・レギュレータは、ポータブル・アプリケーションと非ポータブル・アプリケーションのいずれに対しても、卓越したコスト・パフォーマンスを提供します。1.8V、2.5V、2.8V、2.9V、3V、3.1V、3.3V、5V、10Vの各電圧が用意され、Aバージョンの出力公差は1%（非Aバージョンでは1.5%）で、150mAの連続負荷電流を供給できます。過電流保護や過熱保護などの標準レギュレータ機能を搭載しています。

LP2985デバイスは、各種ポータブル・アプリケーションに最適なレギュレータとしての機能を多数備えています。これには次のような機能が含まれます。

- 低ドロップアウト：PNPパス素子によって、標準ドロップアウトは150mAの負荷電流で280mV、1mAの負荷で7mVです。
- 低い静止電流：縦型PNPプロセスの使用により、従来の横型PNPレギュレータと比較して静止電流がずっと低くなっています。
- 低ドロップアウト：PNPパス素子によって、標準ドロップアウトは150mAの負荷電流で280mV、1mAの負荷で7mVです。

- 低い静止電流：縦型PNPプロセスの使用により、従来の横型PNPレギュレータと比較して静止電流がずっと低くなっています。
- シャットダウン：シャットダウン機能を備え、ON/OFFピンがLowのときにはわずか0.01 μ Aしか消費しません。
- 低ESRコンデンサに対応：低ESRのコンデンサで安定して動作するため、コスト要件の厳しいアプリケーションでは、小型で安価なセラミック・コンデンサを使用できます。
- 低ノイズ：BYPASSピンによって低ノイズ動作が可能であり、10nFのバイパス・コンデンサを使用した場合、標準出力ノイズは30 μ VRMSとなります。
- 小型パッケージ：スペースに制約のある用途のために、SOT-23パッケージで供給されます。

1.4 TPS7A1633

TPS7A16ファミリの超低電力/低ドロップアウト(LDO)電圧レギュレータは、超低静止電流、高入力電圧、小型で熱特性の優れたパッケージといった利点を備えています。TPS7A16ファミリのデバイスは、システムのバッテリー寿命を延ばすために超低静止電流が不可欠であるような、連続的または散発的(電源バックアップ)なバッテリー駆動アプリケーション向けに設計されています。TPS7A16ファミリは、標準CMOSロジック互換のイネーブル・ピン(EN)を備え、遅延時間をユーザーがプログラミングできる、オープン・ドレインのアクティブ・ハイ・パワーグッド出力(PG)を内蔵しています。これらのピンは、電源レール・シーケンシングを必要とする、マイコン・ベースのバッテリー駆動アプリケーションでの使用を意図しています。また、TPS7A16は、セル数の多い電動工具パックから車載アプリケーションに至るまで、各種のマルチセル・ソリューションから低電圧電源を生成するのに理想的です。適切にレギュレーションされた電圧レールを提供できるだけでなく、過渡電圧時にもレギュレーションを維持できます。これらの特長により、よりシンプルでコスト効果の高いサージ保護回路を実現できます。

1.5 TMP103

TMP103デバイスは、4ボールのウェハー・チップ・スケール・パッケージ(WCSP)で供給されるデジタル出力温度センサです。1°Cの分解能で温度を読み取ることができます。TMP103デバイスは、I²CとSMBusの両方のインターフェイスと互換性を持つ2線式インターフェイスを搭載しています。また、マルチ・デバイス・アクセス(MDA)コマンドもサポートすることで、マスタがバス上の複数のデバイスと同時に通信でき、バス上の各TMP103デバイスに個別のコマンドを送信する必要がなくなります。最大8個のTMP103デバイスを並列に接続でき、ホストから簡単に読み出しが可能です。TMP103デバイスは、複数の温度測定域を監視する必要があるアプリケーションで、スペースに制約があり、消費電力の条件が厳しい場合などに、特に適しています。TMP103デバイスは、-40°C~125°Cの温度範囲で仕様が規定されています。

1.6 TPD3E001

TPD3E001は、通信ラインに接続された敏感な電子機器を保護するために設計された、低容量の \pm 15kV ESD保護ダイオード・アレイです。各チャンネルは、ESD電流パルスをV_{CC}またはGNDへと導く2個のダイオードから構成されます。TPD3E001デバイスは、IEC 61000-4-2で規定される、最大 \pm 15kVの人体モデル(HBM)、 \pm 8kVの接触放電、および \pm 15kVのエアギャップ放電のESDパルスに対して保護を提供します。チャンネル毎の容量は1.5pFであり、高速データIOインターフェイスでの使用に最適です。

TPD3E001デバイスは、USB On-the-Go (OTG) およびビデオ・アプリケーション向けに設計されたトリプルESD構造を備えています。TPD3E001デバイスは、DRL、DRY、および薄型QFNパッケージで供給され、-40°C~85°Cで仕様が規定されています。

2 システム説明

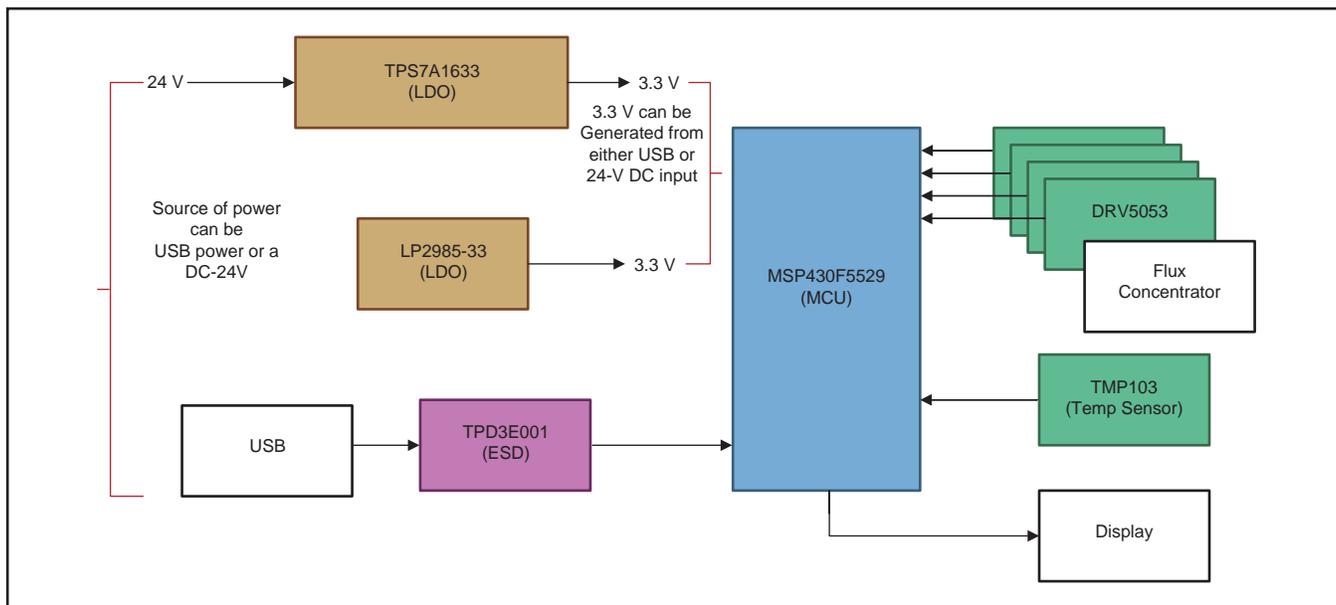


図 1. ホール・センサを使用した非接触高精度AC電流センシングのブロック図

2.1 使用製品

ホール・センサを使用した非接触高精度AC電流センシングのリファレンス・デザインでは、以下のデバイスを使用しています。

- DRV5053
 - 2.5V~38Vのアナログ・バイポーラ・ホール効果センサ
- MSP430F5529
 - 16ビットの超低電力マイコン、128kBのフラッシュ、8kBのRAM、USB、12ビットADC、2つのUSCI、32ビットHW MPY
- LP2985-33
 - シングル出力LDO、150mA、固定 (3.3V)、公差1.5%、低静止電流、低ノイズ
- TPS7A1633
 - 60V、5 μ A I_Q 、低ドロップアウト100mAリニア・レギュレータ、イネーブルおよびパワーグッド付き
- TMP103
 - デジタル温度センサ、 $^{\circ}$ CおよびSMBUS拡張インターフェイス付き
- TPD3E001
 - 低容量、3チャンネル、 \pm 15KV ESD保護アレイ、高速データ・インターフェイス用

各デバイスの詳細については、www.ti.comにある各製品フォルダ、または7節に記載されているリソースを参照してください。

2.1.1 DRV5053

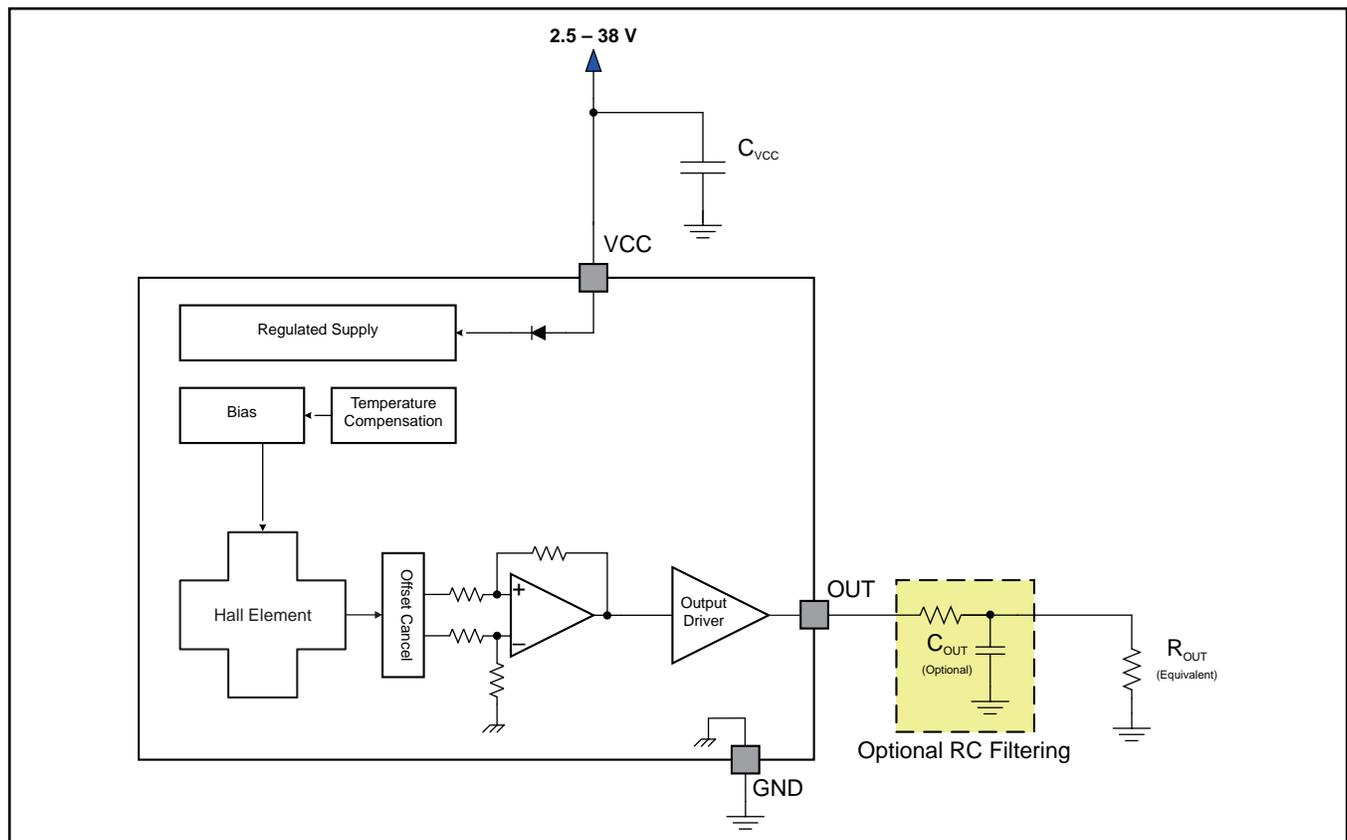


図 2. DRV5053の機能ブロック図

DRV5053の特長を以下に示します。

- リニア出力ホール・センサ
- 優れた温度安定性
 - 感度: $\pm 10\%$ (対温度)
- 高感度オプション:
 - -11mV/mT (OA)
 - -23mV/mT (PA)
 - -45mV/mT (RA)
 - -90mV/mT (VA)
 - $+23\text{mV/mT}$ (CA)
 - $+45\text{mV/mT}$ (EA)
- 幅広い電圧範囲をサポート
 - 2.5~38V
 - 外部レギュレータが不要
- 広い動作温度範囲
 - $T_A = -40\sim 125^\circ\text{C}$ (Q)
- 増幅された出力段
 - 2.3mAシンク、300 μA ソース
- 出力電圧: 0.2~1.8V

- B = 0mT, OUT = 1V
- 高速パワーオン：35 μ s
- 小型パッケージ
 - 表面実装3ピンSOT-23(DBZ)
- 2.92mm × 2.37mm
 - スルーホール3ピンSIP(LPG)
- 4mm × 3.15mm
- 保護機能：
 - 逆電圧保護 (最大-22V)
 - 最大40Vの負荷ダンプをサポート
 - 出力短絡保護
 - 出力電流制限

2.1.2 MSP430F5529

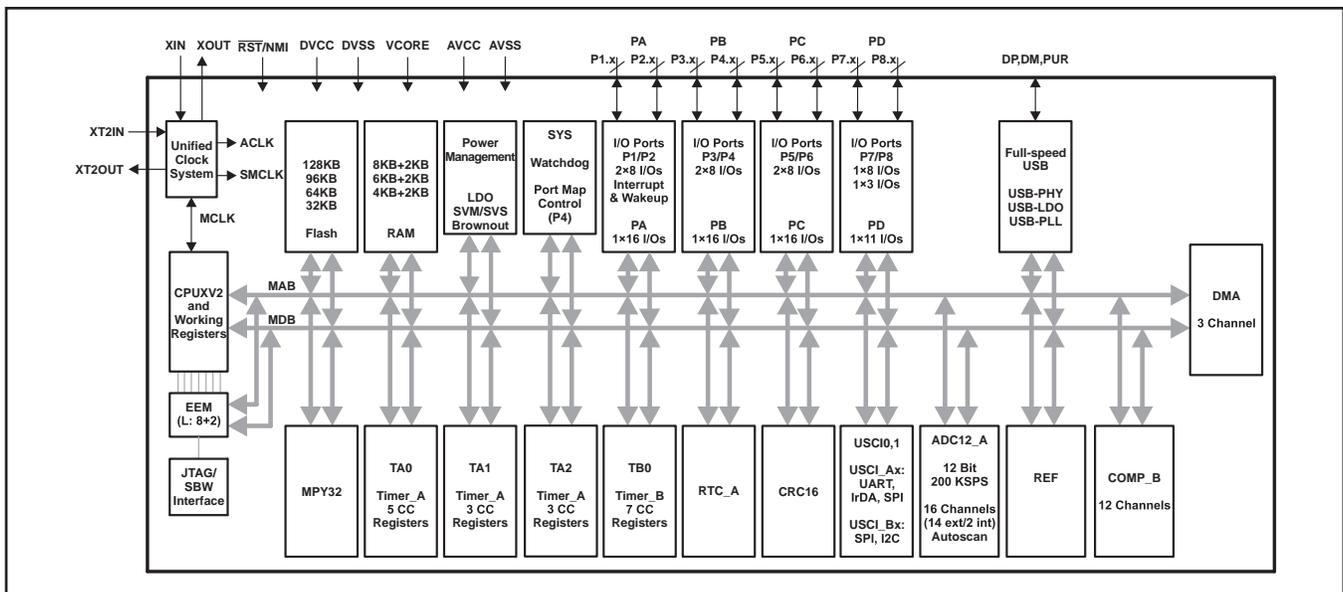


図 3. MSP430F5529の機能ブロック図

MSP430F5529の特長を以下に示します。

- 低い電源電圧範囲：3.6Vから最小1.8Vまで
- 超低消費電力
 - アクティブ・モード (AM)：すべてのシステム・クロックがアクティブ、290 μ A/MHz、8MHz、3V、フラッシュ・プログラム実行 (標準)、150 μ A/MHz、8MHz、3V、RAMプログラム実行 (標準)
 - スタンバイ・モード(LPM3)：クリスタルによるリアルタイム・クロック、ウォッチドッグ、および電源スーパーバイザが動作、RAMの完全な保持、高速ウェイクアップ：2.2Vで1.9 μ A、3Vで2.1 μ A (標準)、低電力発振器 (VLO)、汎用カウンタ、ウォッチドッグ、および電源スーパーバイザが動作、RAMの完全な保持、高速ウェイクアップ：3Vで1.4 μ A (標準)
 - オフ・モード(LPM4)：RAMの完全な保持、電源スーパーバイザが動作、高速ウェイクアップ：3Vで1.1 μ A (標準)
 - シャットダウン・モード (LPM4.5)：3Vで0.18 μ A (標準)
- スタンバイ・モードからのウェイクアップ時間：3.5 μ s (標準)
- 16ビットRISCアーキテクチャ、拡張メモリ、最大25MHzのシステム・クロック
- 柔軟な電源管理システム

- プログラミング可能なレギュレーション済みコア電源電圧を備えた、完全統合型LDO
- 電源電圧スーパーバイザ、監視、ブラウンアウト
- 統合クロック・システム
 - 周波数安定化用のFLL制御ループ
 - 低電力、低周波数の内部クロック・ソース (VLO)
 - 低周波数の調整済み内部リファレンス・ソース (REFO)
 - 32kHzの時計用クリスタル (XT1)
 - 最大32MHz (XT2)の高周波クリスタル
- 16ビット・タイマTA0、5個のキャプチャ/コンペア・レジスタを備えたTimer_A
- 16ビット・タイマTA1、3個のキャプチャ/コンペア・レジスタを備えたTimer_A
- 16ビット・タイマTA2、3個のキャプチャ/コンペア・レジスタを備えたTimer_A
- 16ビット・タイマTB0、7個のキャプチャ/コンペア・シャドウ・レジスタを備えたTimer_B
- 2つのユニバーサル・シリアル通信インターフェイス
 - USCI_A0およびUSCI_A1はそれぞれ以下をサポート：
 - 拡張UARTによる自動ボーレート検出のサポート
 - IrDAエンコーダおよびデコーダ
 - 同期SPI
 - USCI_B0およびUSCI_B1はそれぞれ以下をサポート：
 - I²C
 - 同期SPI
- フルスピードUSB (Universal Serial Bus)
 - 内蔵USB-PHY
 - 内蔵3.3Vおよび1.8V USB電源システム
 - 内蔵USB-PLL
 - 8個の入力エンドポイント、8個の出力エンドポイント
- 12ビットA/Dコンバータ (ADC) (MSP430F552xのみ)：内部リファレンス、サンプル/ホールド、および自動スキャン機能付き
- コンパレータ
- ハードウェア乗算器で32ビット動作をサポート
- シリアル・オンボード・プログラミング：外部プログラミング電圧は不要
- 3チャンネル内部DMA
- リアルタイム・クロック機能付きの基本タイマ
- このデバイス・ファミリのデバイス一覧については、データシート (SLAS590)を参照してください。
- モジュール全体の説明については、“MSP430x5xx and MSP430x6xx Family User's Guide” (SLAU208)を参照してください。

2.1.3 LP2985-33

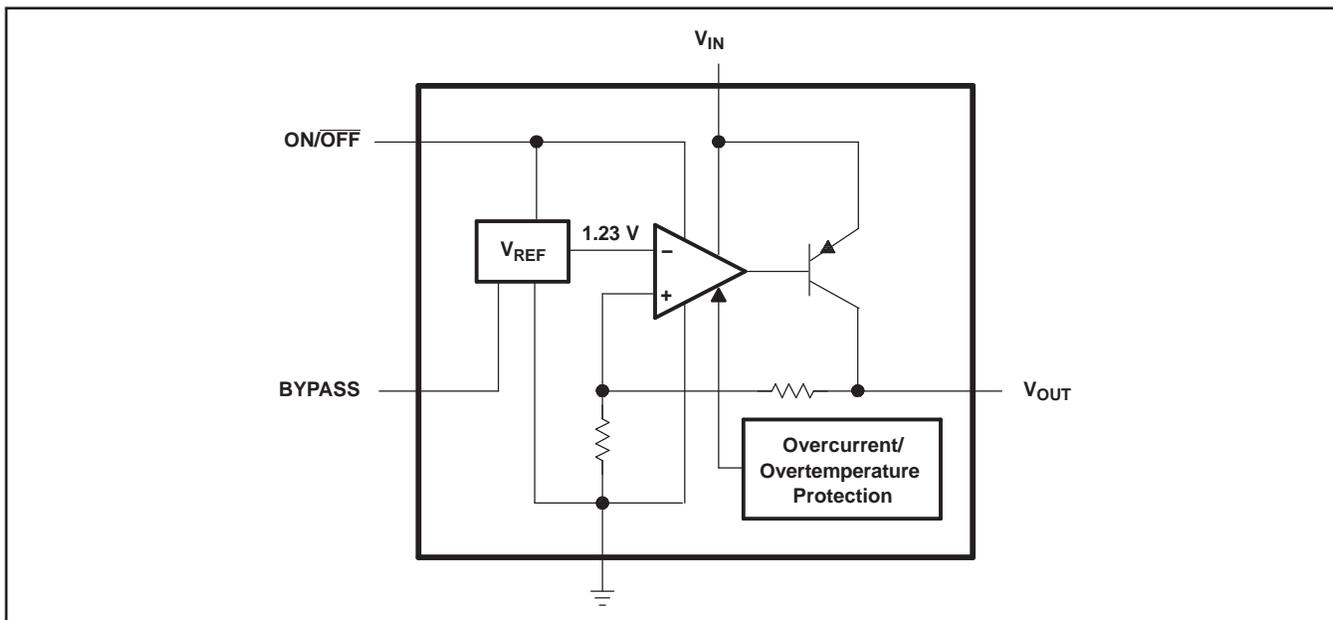


図 4. LP2985の機能ブロック図

LP2985の特長を以下に示します。

- 出力公差
 - 1%(Aグレード)
 - 1.5%(標準グレード)
- 超低ドロップアウト
 - 150mAの全負荷で280mV (標準)
 - 1mAで7mV (標準)
- 広い V_{IN} 範囲：最大16V
- 低 I_Q ：150mAの全負荷で850 μ A
- シャットダウン電流：0.01 μ A (標準)
- 低ノイズ：30 μ V_{RMS} (10nFのバイパス・コンデンサ使用時)
- セラミックを含む低ESRのコンデンサで安定
- 過電流保護および過熱保護
- 高いピーク電流能力
- JESD 22基準を上回るESD保護
 - 2000V人体モデル (A114-A)
 - 200Vマシン・モデル (A115-A)

2.1.4 TPS7A1633

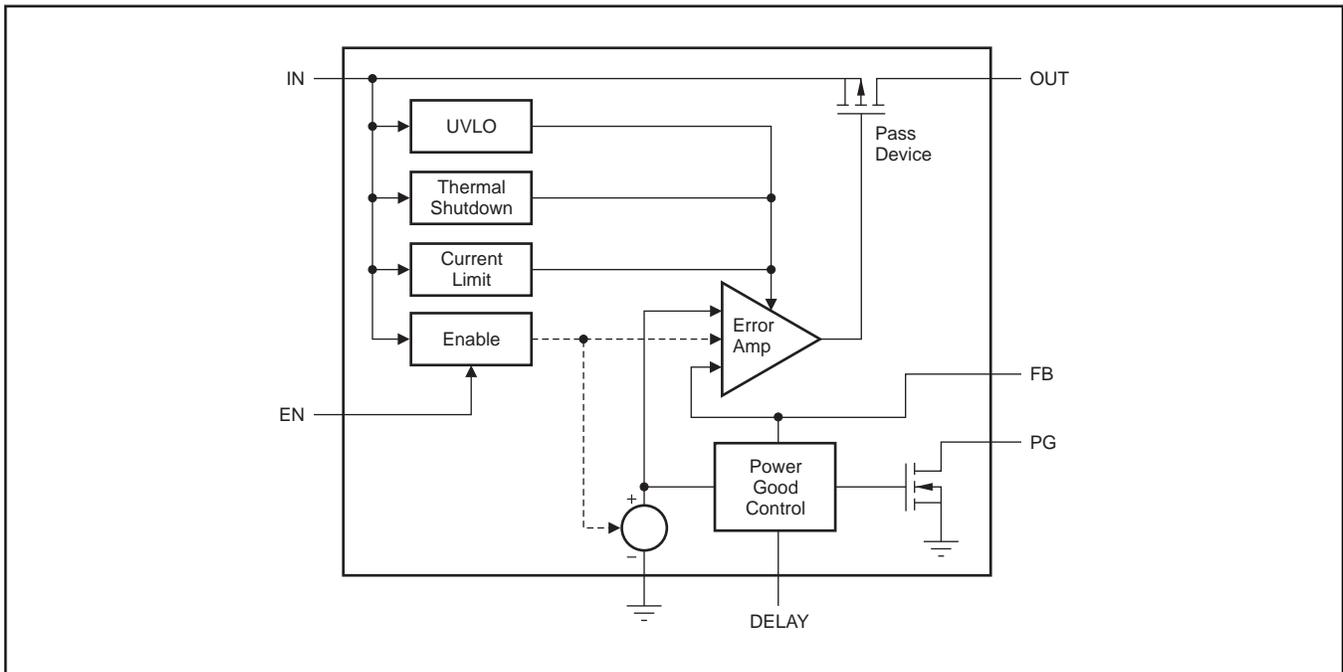


図 5. TPS7A1633の機能ブロック図

TPS7A1633の特長を以下に示します。

- 広い入力電圧範囲：3~60V
- 超低静止電流：5 μ A
- シャットダウン時静止電流：1 μ A
- 出力電流：100mA
- 低ドロップアウト電圧：20mAで60mV
- 精度：2%
- 以下のバージョンを提供：
 - 固定出力電圧：3.3V、5V
 - 可変出力電圧：1.2~18.5V
- 遅延時間をプログラミング可能なパワーグッド
- 電流制限および過熱シャットダウン保護
- セラミック出力コンデンサで安定：2.2 μ F以上
- パッケージ：熱特性の優れたMSOP-8およびSON-8 PowerPAD™
- 動作温度範囲：-40°C~125°C

2.1.5 TMP103

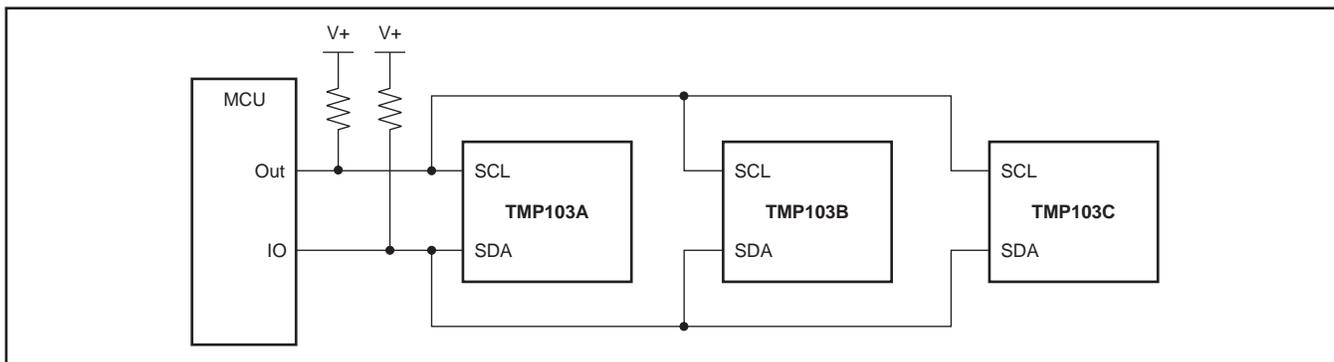


図 6. TMP103のピン構成

TMP103の特長を以下に示します。

- マルチ・デバイス・アクセス (MDA) :
 - グローバル読み取り/書き込み動作
- I²CおよびSMBus™互換インターフェイス
- 分解能：8ビット
- 精度：±1°C (標準) (−10°C~100°C)
- 低い静止電流 :
 - 3μA (0.25HzでのアクティブI_Q電流)
 - 1μA (シャットダウン時電流)
- 電源範囲：1.4~3.6V
- デジタル出力
- パッケージ：4ボールWCSP (DSBGA)

2.1.6 TPD3E001

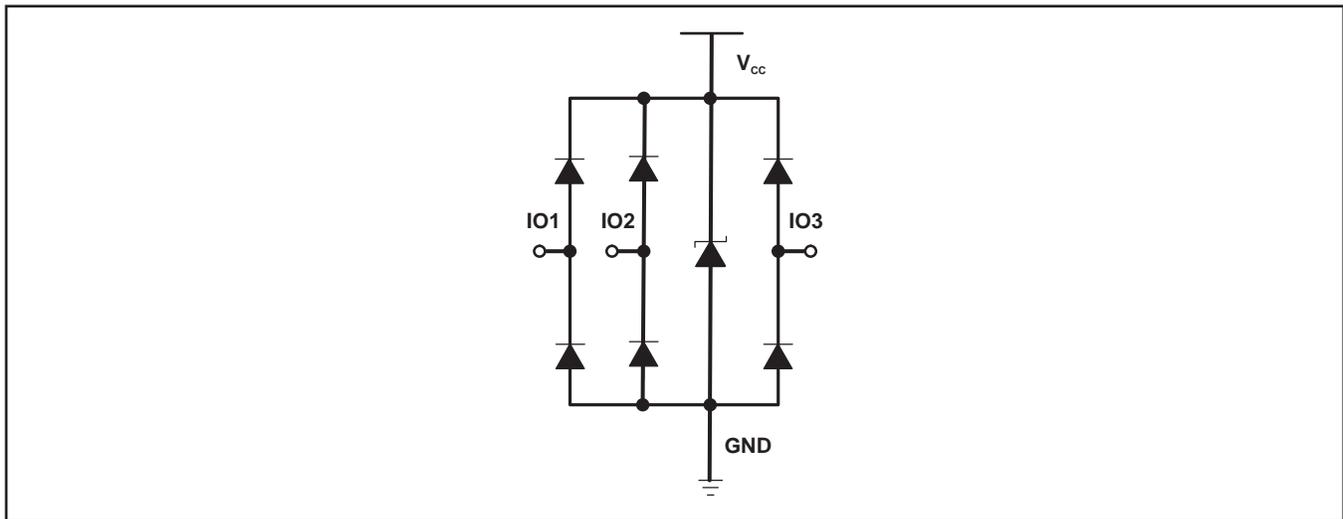


図 7. TPD3E001のロジック・ブロック図

TPD3E001の特長を以下に示します。

- 3チャンネルのESDクランプ・アレイによってシステム・レベルのESD保護を強化
- IEC61000-4-2 (レベル4)の要件を上回るESD保護
 - IEC 61000-4-2接触放電：±8kV
 - IEC 61000-4-2エアギャップ放電：±15kV
- 人体モデル (HBM)：±15kV
- ピーク・パルス電流：5.5A (8/20μsパルス)
- 低い入力/出力容量：1.5pF
- 低リーク電流：1nA (最大)
- 電源電圧範囲：0.9V～5.5V
- 省スペースのDRY、DRL、およびDRSパッケージ・オプション
- 2、4、6チャンネルのオプションも選択可能：TPD2E001、TPD4E001、TPD6E001

3 システム設計理論

3.1 磁場

電流が流れている長いワイヤの周囲には、磁力線が同心円状に生成されます。磁場の方向はワイヤに垂直であり、電流の流れる方向は右手の法則に従います。ワイヤを右手で包み、4本の指を磁場の方向に沿って曲げるようにすると、親指の指している方向が、電流の流れる方向になります。無限の長さを持つ直線のワイヤに生じる磁場は、アンペールの法則を適用して求めることができます。式 (1) に、この磁場の式を示します。

$$B = \frac{\mu \times I}{2 \times \pi \times r} \quad (1)$$

ここで

- B = 磁場
- I = 電流 (A)
- R = 半径距離 (m)
- μ = 自由空間での透磁率: $4\pi 10^{-7}$ T.m/A

式 (1) に示されるように、電流の流れるワイヤによって生成される磁気エネルギーは、18AWGのワイヤに10Aが流れている場合であっても、低い値です。その場合の磁場はわずか4ガウスです。

3.2 透磁率

透磁率は、磁場への反応として物質に生じる磁化の度合いです。透磁率は、物質に磁場が印加されたときに生じます。

この節と3.1節の情報に基づき、AC電流を示すホール・センサ出力からダイナミック・レンジの広い応答が得られるように、AC電流が流れるワイヤからの磁束を集中させる必要があります。

3.3 磁束コンセンレータ

複数のフェライト・コアが図8に示すような形状に構成されています。この形状の目的は、AC電流が流れるワイヤを磁束コンセンレータの開口部に通して、ワイヤを磁束コンセンレータで包み込むようにすることです。磁束コンセンレータには傾斜が付いているため、磁束はホール・センサであるDRV5053デバイスのスルーホール・パッケージへと導かれます。

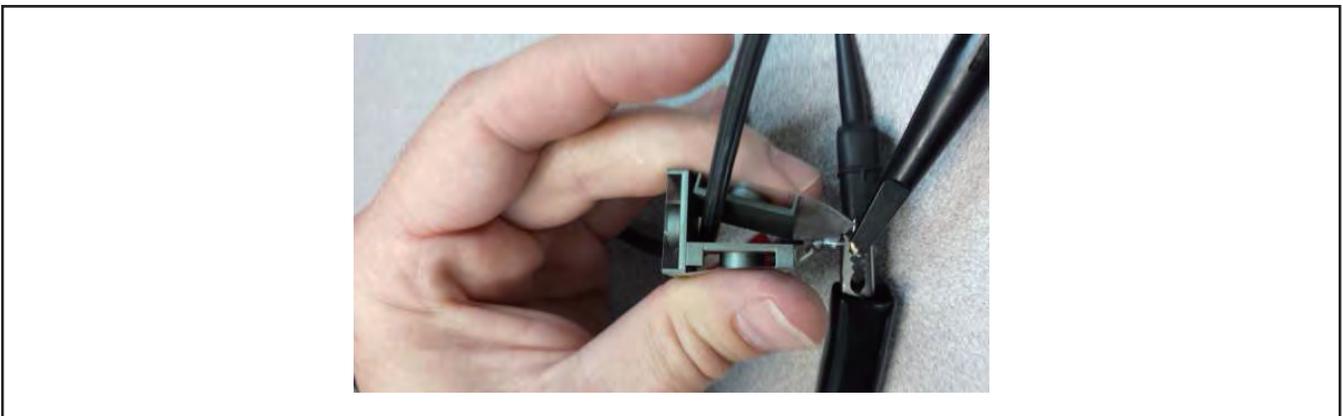


図 8. 磁束コンセンレータの概念

3.4 磁束コンセンレータの有無によるAC電流磁束の変化

ここでは、磁束コンセンレータを使用することで得られる特性の向上について示します。これらの結果は、以下の手順で生成されています。

- 抵抗性負荷としてスペース・ヒーターを使用。図8に示すように、ヒーターのコード(ACライン)からの電流を磁束コンセンレータに印加。
- スペース・ヒーターを弱設定(電流計では6.8Aを計測)で使用(図9)。ホール効果センサでは272mV_{PP}を測定。
- 磁束コンセンレータが有効であることを確認するために、同じ電流を使用して、磁束コンセンレータを除去。ホール効果センサをコードの横に配置。

図10に結果を示します。ピーク・ツー・ピーク(pp)振幅の測定値はわずか46mVでした。

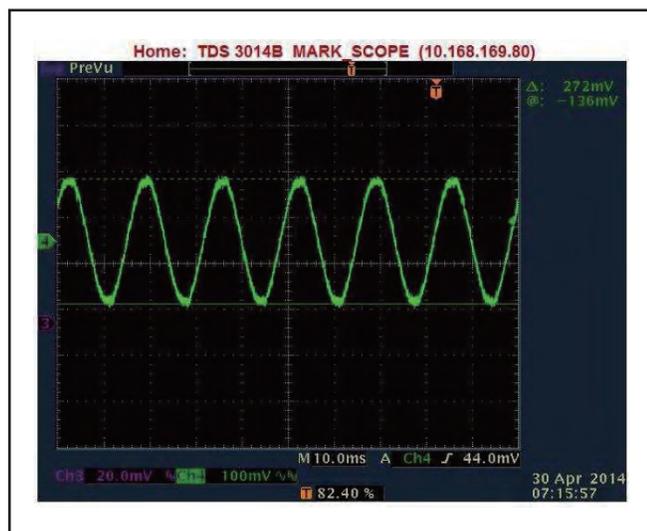


図 9. 磁束コンセンレータあり

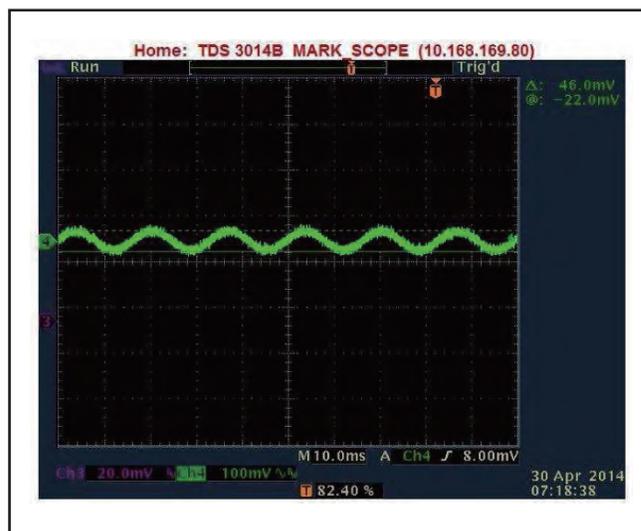


図 10. 磁束コンセンレータなし

これらの結果により、磁束コンセンレータの設計における最初の試行で、磁束が約15dB増加したことが確認されました。これは、ホール・センサのDRV5053デバイスで、ダイナミック・レンジの広いAC電流に対して、より正確な応答が得られることを意味します。

3.5 磁束コンセンレータの設計

与えられた公差に従って磁束コンセンレータを製造できるように、図11および図12に示す詳細なCAD図面を生成しました。磁束コンセンレータは、1010 CRSマテリアルを使用して設計されています。

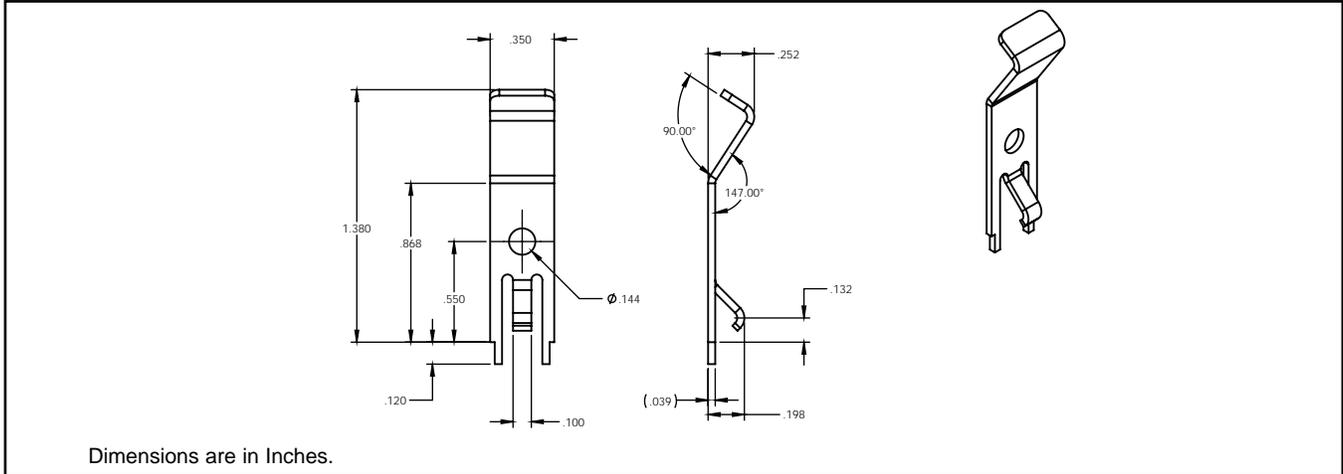


図 11. 磁束コンセンレータの図面

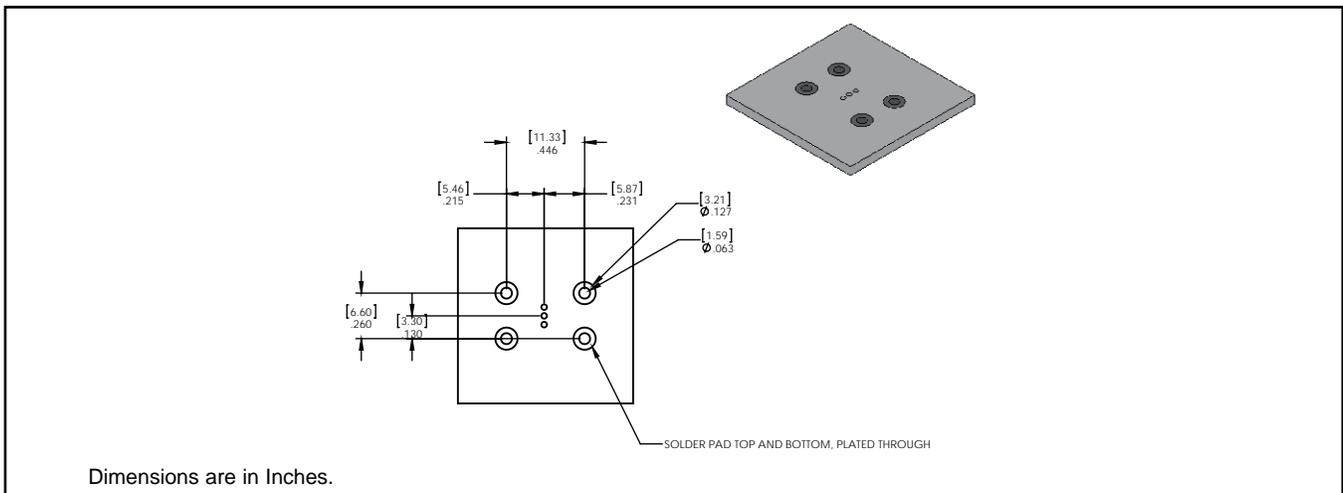


図 12. 磁束コンセンレータのPCB用半田パッド

3.6 DRV5053アナログ出力のローパス・フィルタ

DRV5053デバイスの出力帯域幅は20kHzです。測定対象のAC電流は60Hzです。DRV5053の出力にはローパス・フィルタが接続され、カットオフ周波数は225Hzです。このローパス・フィルタの目的は、DRV5053デバイスのアナログ出力ラインから、測定対象周波数（ここでは60Hz）の3～4倍の高周波ノイズを除去することです。

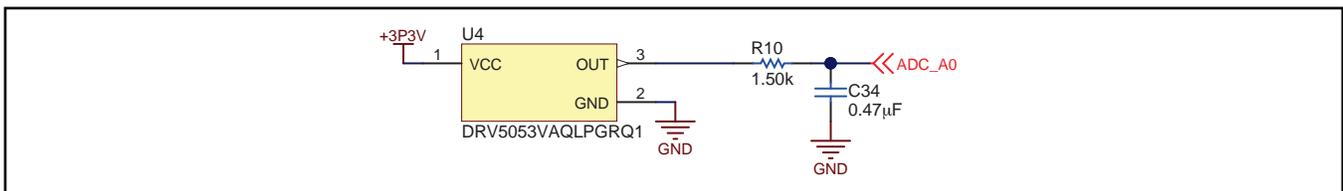


図 13. DRV5053アナログ出力のローパス・フィルタ

3.7 DRV5053アナログ・ラインのレイアウト

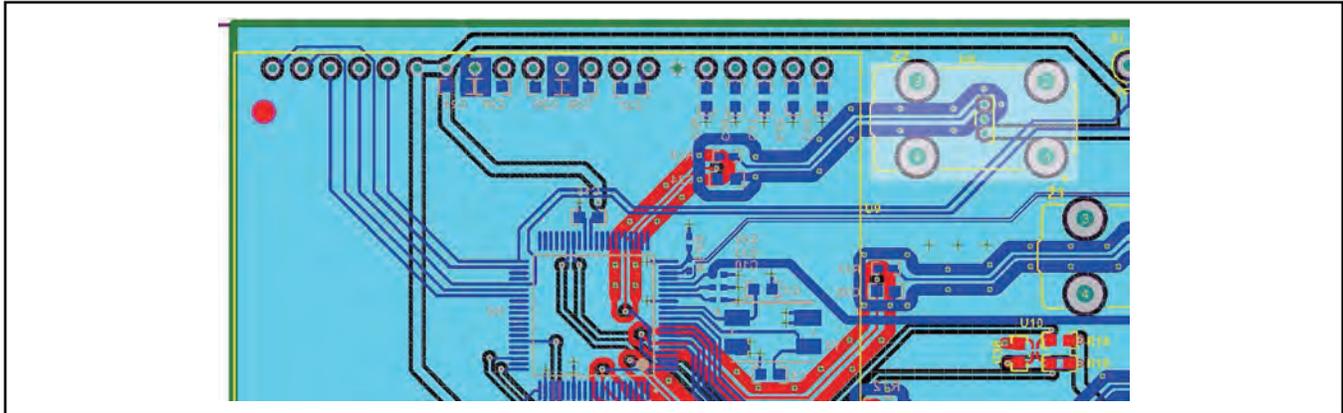


図 14. DRV5053アナログ出力のレイアウト

DRV5053のアナログ出力に対しては、アナログ・レイアウトの設計ガイドラインに従っています。図14に示すように、アナログ出力ラインはピア・スティッチングを含むグランド・プレーンによって囲まれ、周囲の回路や他のソースからのノイズをアナログ出力ラインから分離できるようになっています。

MSP430 ADC入力ピンの近くにローパス・フィルタが配置されています。

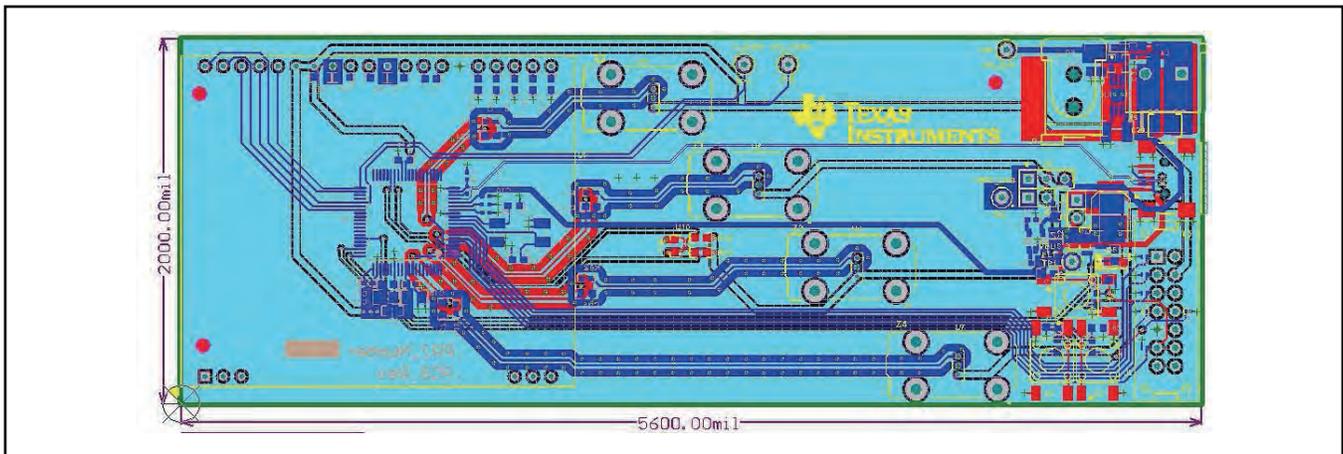


図 15. 入力電源を基準とした磁束コンセントレータとホール・センサの配置

図15に示すように、ホール・センサは磁束コンセントレータの直下に、電源およびEP部分から離して配置されています。

3.8 MSP430のADCに関するリソース

MSP430F5529デバイスは、内部に12ビットの逐次比較型 (SAR) A/Dコンバータ(ADC)を搭載しています。内部ADCは、各チャネルでDRV5053デバイスをサンプリングします。次の式により、DRV5053デバイスからの実際の電圧信号に基づいてADCカウント値を計算します。

$$\text{ADCカウント} = (3.3\text{V} \times \text{サンプル}) / 4095$$

図13に示すように、ADCの外リファレンス電圧は3.3Vに設定されています。内部ADCの精度は12ビットであるため、値4095を使用します ($2^{12} = 4096$)。

3.8.1 ファームウェアの説明

3つのメイン・クロック、ACLK、SMCLK、およびMCLKは、外部の24MHzクリスタルを基準としています。ACLKクロックは3MHz、SMCLKクロックは6MHz、MCLKクロックは24MHzで発振します。オープン・ソースのTIライブラリであるIQMathを使用すれば、RMS値を短時間で計算できます。IQMathライブラリは、www.ti.com/tool/msp430-iqmathlibでダウンロードできます。

スタートアップ時に校正シーケンスが実行され、平均ノイズを求めるのに2秒間のデータを必要とします。各サンプルから平均ノイズの値を除いた後で、合計実行時間に加算されます。

ADCで該当するバッファが設定され、約5940サンプル/秒のサンプリング・レートが設定されたら、校正は完了です。サンプル・バッファが1秒間のデータ(5940サンプル)を完了するまで、メイン・ループは待機します。サンプルを読み出し可能になると、ADCは割り込みを発行します。この時点で、サンプルが2乗されて、現在の合計に加算されます。5940個のサンプルが取得された後、合計が別のバッファにコピーされます。以前の合計がクリアされ、ADCは新しいデータを受信可能になります。新たなADC割り込みを待機する間、式 (2)に示すように、新しいバッファでRMSの計算を実行できます。

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_n x^2} \quad (2)$$

平方和は合計とともに既に計算されているため、除算と平方根だけを計算する必要があります。ADCの割り込み処理ルーチンのサンプリング・ステージ中にピーク・ツー・ピーク値が格納され、計算されたRMSおよび電流値とともに1秒毎に更新されます。

4 ハードウェアの概要

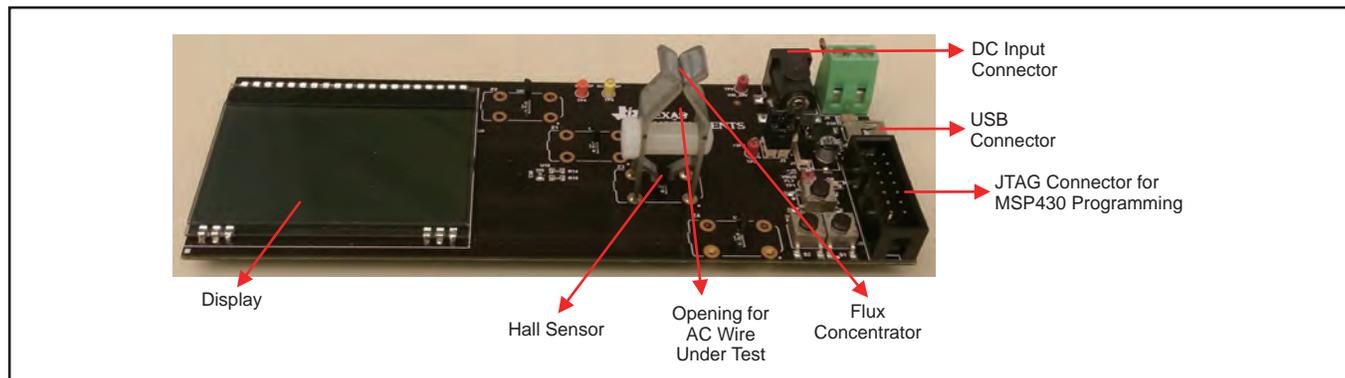


図 16. ハードウェアの説明

4.1 USB電源

USB電源を設定するには、次の手順に従います。

- ジャンパJ1およびJ3を取り付けます。
- J4ジャンパをピン1とピン2の間に取り付けます。

ファームウェアのデフォルト値は、DRV5053デバイスのアナログ出力から読み取られたRMS電圧に対して、スレッショルドが15mVになるよう設定されています。このデフォルト値は、ライン上のノイズが15mV未満であれば、電流の読み取り値が0Aであることを意味します。

- 図21に示すように、電流の流れるワイヤを磁束コンセンレータの開口部に通します。
- ACワイヤのプラスチック絶縁がそのまま保持されていることを確認します。

MSP430ファームウェアによって、サンプル・サイズの移動平均が計算されます。サンプル周波数は、約5940サンプル/秒です。RMSの計算完了後、表示は約1秒毎に更新されます。

表示される値の説明については、図17を参照してください。

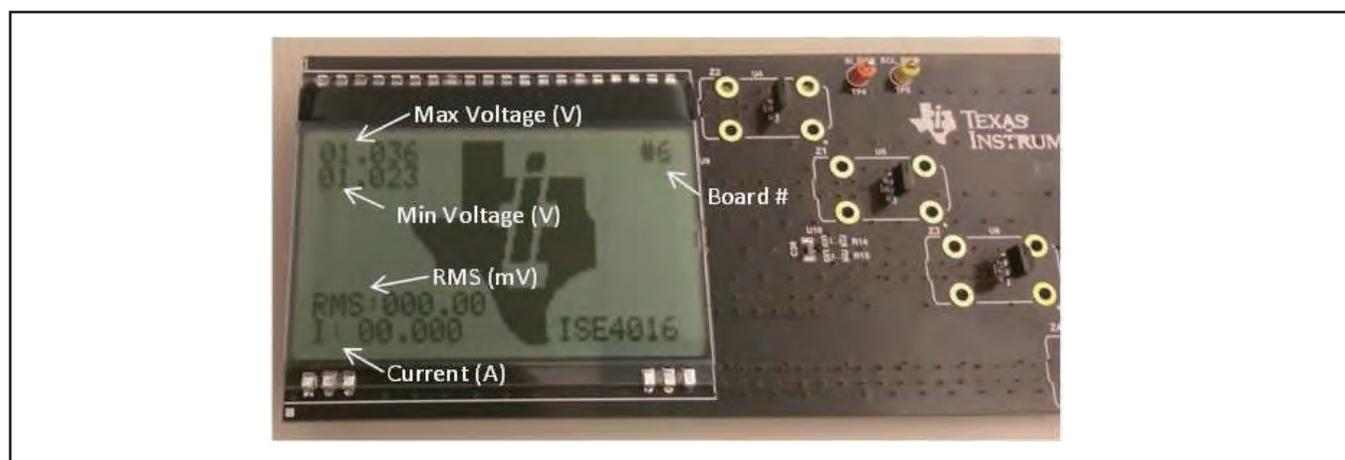


図 17. 表示される値の説明

4.2 24V DC電源

24V DC電源を設定するには、次の手順に従います。

- ジャンパJ1およびJ3を取り付けます。
- J4ジャンパをピン2とピン3の間に取り付けます。
- 以降の手順については、4.1節を参照してください。

5 Test Data

5.1 Maximum Measured Error



Figure 18. Power Source

A Kikusui PCR1000M power source was used to source the variable AC currents. The AC voltage was kept low for safety reasons and to ensure that the power across resistor loads was kept low.



Figure 19. Power Meter

A Volttek PM1000+ power meter was made available if needed. However, for this test, the use of a current probe was needed for data logging purposes. The corresponding AC peak-to-peak, RMS readings, and the Hall voltage output was recorded across different settings.

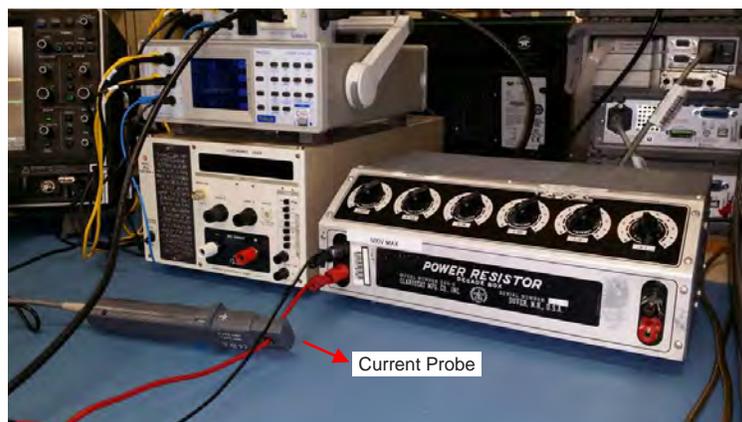


Figure 20. Hardware Description

A Clarostat decade box was used as a resistive load across different AC input-current settings.



Figure 21. Complete Setup

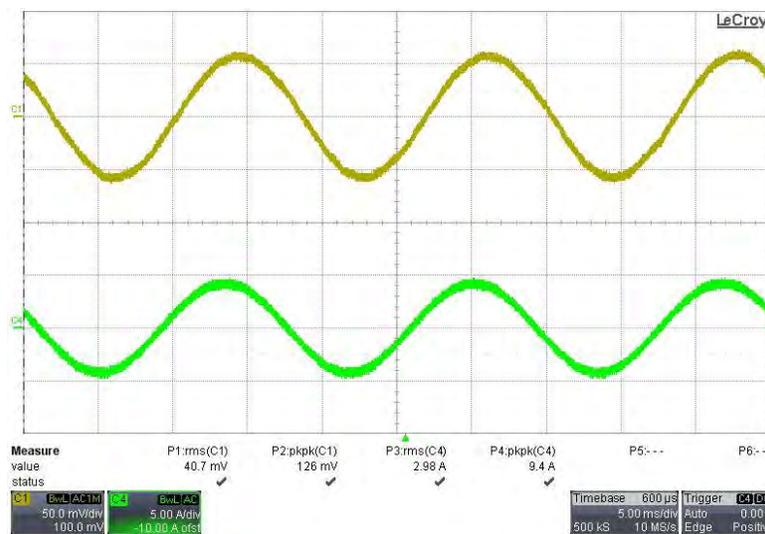


Figure 22. AC Current Probe Measurement and Hall Sensor Output Voltage

Measurements of the Hall Sensor output voltage were taken across different AC current settings as shown in Figure 22. Table 1 lists the RMS and pp values for the AC input current and the Hall Sensor output voltage for each measurement.

Table 1. Sensor Output Voltage Across Different AC input Currents

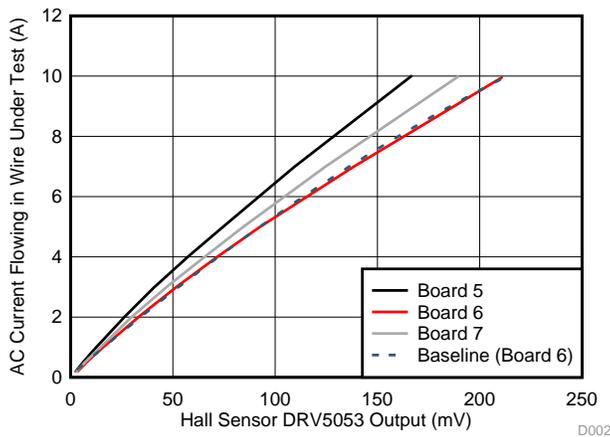
TEMP.	BOARD 5				BOARD 6 ⁽¹⁾				BOARD 7			
	CURRENT FLOWING IN WIRE		HALL SENSOR MEASUREMENT		CURRENT FLOWING IN WIRE		HALL SENSOR MEASUREMENT		CURRENT FLOWING IN WIRE		HALL SENSOR MEASUREMENT	
°C	pp (A)	RMS (A)	pp (mV)	RMS (mV)	pp (A)	RMS (A)	pp (mV)	RMS (mV)	pp (A)	RMS (A)	pp (mV)	RMS (mV)
Room	0.66	0.2	14.1	2.53	0.66	0.2	16.6	3.42	0.69	0.2	14.1	2.92
Room	1.6	0.49	24.3	5.94	1.63	0.5	29.4	7.78	1.63	0.5	27.5	7
Room	2.34	0.75	32	9.26	2.34	0.75	39.7	11.77	2.37	0.75	35.8	10.88
Room	3.04	1	42.2	12.54	3.01	0.99	51.2	15.61	3.01	1	53	14.6
Room	6.02	2	85	26.2	6.14	2.04	115	33.8	6.08	2	96	29.9
Room	9.4	2.98	126	40.7	9.4	3.01	166	51.9	9.4	3.01	146	47.1
Room	12.3	4.01	174	57.5	12.3	4	224	71.7	12.3	3.99	205	65.3
Room	15	4.96	227	73.9	15	4.98	282	92.3	15.2	5	259	84.4
Room	21.8	6.98	330	109.3	21.8	6.99	429	138.4	21.8	6.99	371	124.5
Room	30.4	10.0	506	166.6	30.1	9.95	634	210.8	30.4	9.98	570	189.3

⁽¹⁾ Board 6 was used as the baseline for the curve fit and gain error correction.

As listed in [Table 1](#), for this particular set of data collection, a maximum current of 10 A was used (limited by the test equipment). The maximum current measured was not limited by the Hall Sensor capability (see [Section 5.2](#)).

To calibrate the Hall Sensor across different systems, a single-point gain calibration is proposed.

In this setup, the gain calibration of 10 A was used across board 5 and board 7 for gain correction with board 6 as the baseline. [Figure 23](#) shows a second-order polynomial.



$$y = -0.0000554x^2 + 0.0583711x + 0.0712513, R^2 = 0.9997402$$

Figure 23. Hall Sensor Output Response Across Different Boards and Curve Fit

Table 2. Measured Error of Board 5 After Gain Calibration and Curve Fit Equation of Board 6 as Reference

BOARD 5			
HALL SENSOR MEASUREMENT			
GAIN CORRECTED HALL SENSOR OUTPUT VOLTAGE (mV)	REFERENCE CURRENT FLOWING IN WIRE RMS (A)	2ND ORDER CURVE FIT TO PREDICT CURRENT (A)	ERROR
3.22	0.2	0.26	29.24%
7.55	0.49	0.51	3.67%
11.78	0.75	0.75	0.01%
15.95	1	0.99	1.5%
33.32	2	1.95	2.03%
51.76	2.98	2.94	1.21%
73.12	4.01	4.04	0.83%
93.98	4.96	5.07	2.17%
138.99	6.98	7.11	1.92%
211.86	10	9.95	0.49%

As shown in [Table 2](#), the measured error on board 5 is only 2.17% from 1 A to 10 A with board 6 curve fit equation and after gain calibration.

Table 3. Measured Error of Board 7 After Gain Calibration and Curve Fit Equation of Board 6 as Reference

BOARD 7			
HALL SENSOR MEASUREMENT			
GAIN CORRECTED HALL SENSOR OUTPUT VOLTAGE (mV)	REFERENCE CURRENT FLOWING IN WIRE RMS (A)	2ND ORDER CURVE FIT TO PREDICT CURRENT (A)	ERROR
3.26	0.2	0.26	30.52%
7.82	0.49	0.52	4.85%
12.15	0.75	0.77	2.71%
16.31	1	1.01	0.64%
33.4	2	1.96	2.2%
52.61	2.98	2.99	0.71%
72.94	4.01	4.03	1.1%
94.27	4.96	5.08	1.63%
139.06	6.98	7.12	1.82%
211.44	10	9.94	0.44%

As shown in [Table 3](#), the measured error on board 7 is only 2.2% from 1 A to 10 A using board 6 curve fit equation and after gain calibration.

The equation used to calculate current from the RMS value was adjusted to allow for current measurement down to 0.5 A.

In this setup, measurements were taken from 0.5 A to 10 A using board 7. [Figure 24](#) shows a second-order polynomial fit.

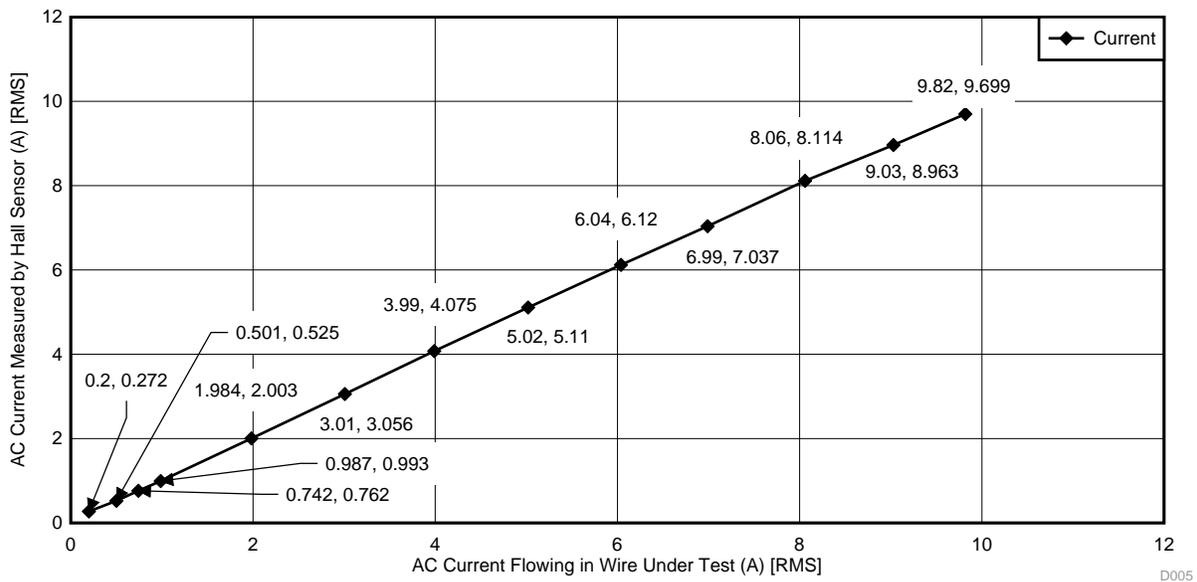


Figure 24. Hall Sensor Response to AC Current Flowing in a Wire from 0.5 A to 10 A

Table 4. Board 7 After Curve Fit from 0.5 A to 10 A

BOARD 7 HALL SENSOR MEASUREMENT		
REFERENCE CURRENT FLOWING IN WIRE (A)	HALL SENSOR 2ND ORDER CURVE FIT TO PREDICT CURRENT (A)	ERROR
0.2	0.272	-36%
0.501	0.525	-5%
0.742	0.762	-3%
0.987	0.993	-1%
1.984	2.003	-1%
3.01	3.056	-2%
3.99	4.075	-2%
5.02	5.11	-2%
6.04	6.12	-1%
6.99	7.037	-1%
8.06	8.114	-1%
9.03	8.963	1%
9.82	9.699	1%

As listed in [Table 4](#), the measured error on board 7 is within 5% of the actual AC current through the wire from 1 A to 10 A.

5.2 Maximum Current Range

To ensure that the Hall Sensor output is not saturated, putting the maximum current specification that the system can sense based on the overall sensitivity specification of the Hall Sensor is important.

For the DRV5053 device the sensitivity is from -140 mV/mT to -35 mV/mT based on the device data sheet.

To ensure that the output is not saturated at the maximum current across the device range, use the known B field versus output voltage of the Hall Sensor data that was collected on a unit (referred here as calibrated unit) as listed in [Table 5](#).

Table 5. Sensitivity Data Across Known B Field

MAGNETIC FIELD (B) MEASURED	HALL SENSOR OUTPUT VOLTAGE	SENSITIVITY
+0 mT	1.003 V	
+0.55 mT	1.05 V	
+1.15 mT	1.102 V	-86.7 mV/mT
+1.75 mT	1.15 V	-80 mV/mT
+2.37 mT	1.2 V	-80.6 mV/mT
+2.98 mT	1.252 V	-85.2 mV/mT
+4.5 mT	1.375 V	-80.9 mV/mT
+6 mT	1.5 V	-83.3 mV/mT
+7.53 mT	1.624 V	-81 mV/mT
+9.03 mT	1.749 V	-83.3 mV/mT

This particular unit was then soldered on board 7 and, with the same setup (see [Section 5.1](#)), data was collected across different known currents as listed in [Table 6](#).

Table 6. Output Voltage versus AC Current

TEMPERATURE	BOARD 7 WITH CALIBRATED UNIT SOLDERED			
	CURRENT FLOWING IN WIRE		HALL SENSOR MEASUREMENT	
	pp (A)	RMS (A)	pp (mV)	RMS (mV)
°C				
Room	1.5	0.5	33.3	7.24
Room	3.04	1	58	14.5
Room	6.08	2.01	101	30.5
Room	9.4	2.99	152	47.8
Room	12.5	4.02	211	65.8
Room	15.2	5.01	262	84.9
Room	21.8	7	390	124.7
Room	30.4	10.01	582	191.9

As listed in [Table 6](#), the pp range for the 10-A range is 582 mV. As listed in [Table 5](#), this value corresponds to approximately +7 mT in the mT range.

Assuming the worst case with a device that has sensitivity of -140 mV/mT, then the overall mT range is approximately +10 mT, assuming a total V_{OUT} range of 1.4 V for the Hall Sensor (assuming a V_{OUT} common mode of 1.1 V and maximum pp of 1.8 V).

Therefore, in a worst-case scenario with a device sensitivity of -140 mV/mT, the maximum current that can be sensed with this existing flux concentrator design is approximately 14 A before saturation.

However, the flux concentrator design can easily be changed (either the material or design) to increase the maximum current range if desired.

5.3 Minimum Current Range

The minimum current of the system is determined by the noise of the Hall Sensor output under quiescent conditions. As previously stated, a low-pass filter is included in this design to ensure that the high frequencies can be filtered off. The peak-to-peak noise that was measured on the Hall Sensor output with no current flowing in the wire was 1.73 mV_{RMS} as shown in Figure 25. As listed in Table 1, the minimum current-limit of 1.5 times the quiescent noise with no field ensures that no false triggers are generated and that reliable current measurements occur at the low end of the range.

$$1.5 \times 1.73 = 2.6\text{-mV}_{\text{RMS}} \tag{3}$$

Based on the second-order curve fit shown in Figure 23, the corresponding minimum current is 220 mA.

However, as described in Section 5.1, the accuracy at the low-end of the current is low.

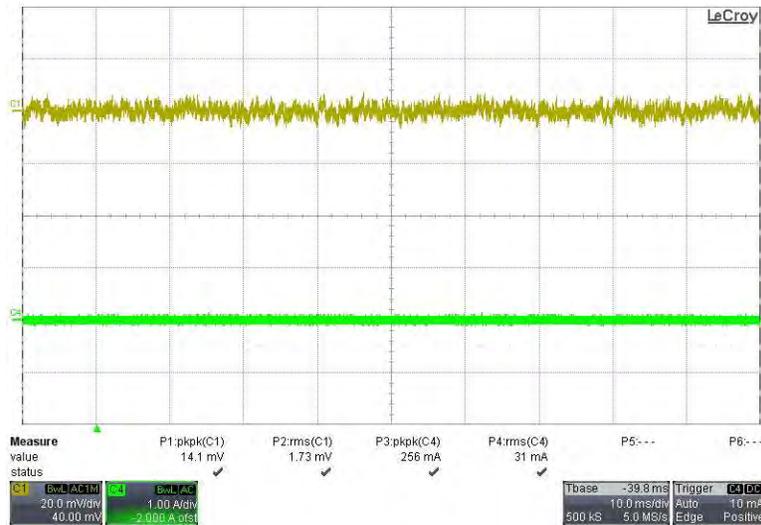


Figure 25. Hall Sensor Output With No current Flowing

5.4 Temperature Data

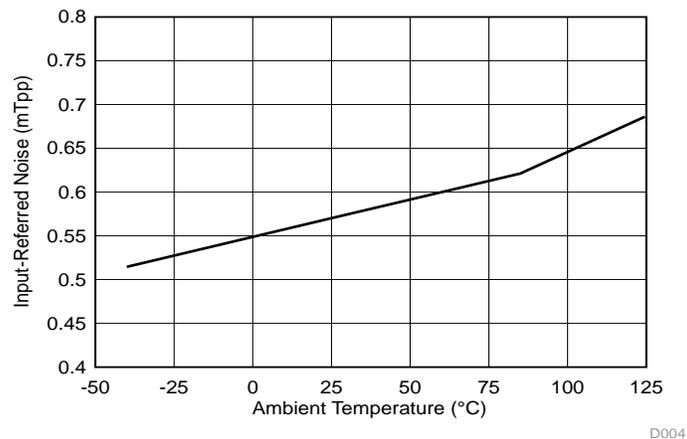


Figure 26. Input Referred Noise vs Ambient Temperature

As shown in [Figure 26](#), a variation of approximately 3.4% occurs from -40°C to 125°C . If the system requires better accuracy over temperature, the on-board temperature sensor, TMP103, can be used to compensate for the variation of temperature versus input-referred noise as shown in [Figure 27](#).

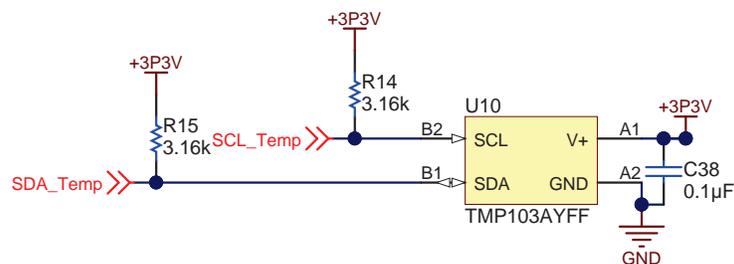


Figure 27. On-Board Temperature Sensor for temperature Compensation

5.5 Life-Time Stress Data (HTOL)

No measurable shift was observed during life time stress of the DRV5053 device.

6 Design Files

6.1 Schematics

The schematics are presented in the following order:

1. MSP430, Hall Sensor (see [Figure 28](#))
2. Power Section, Display (see [Figure 29](#))

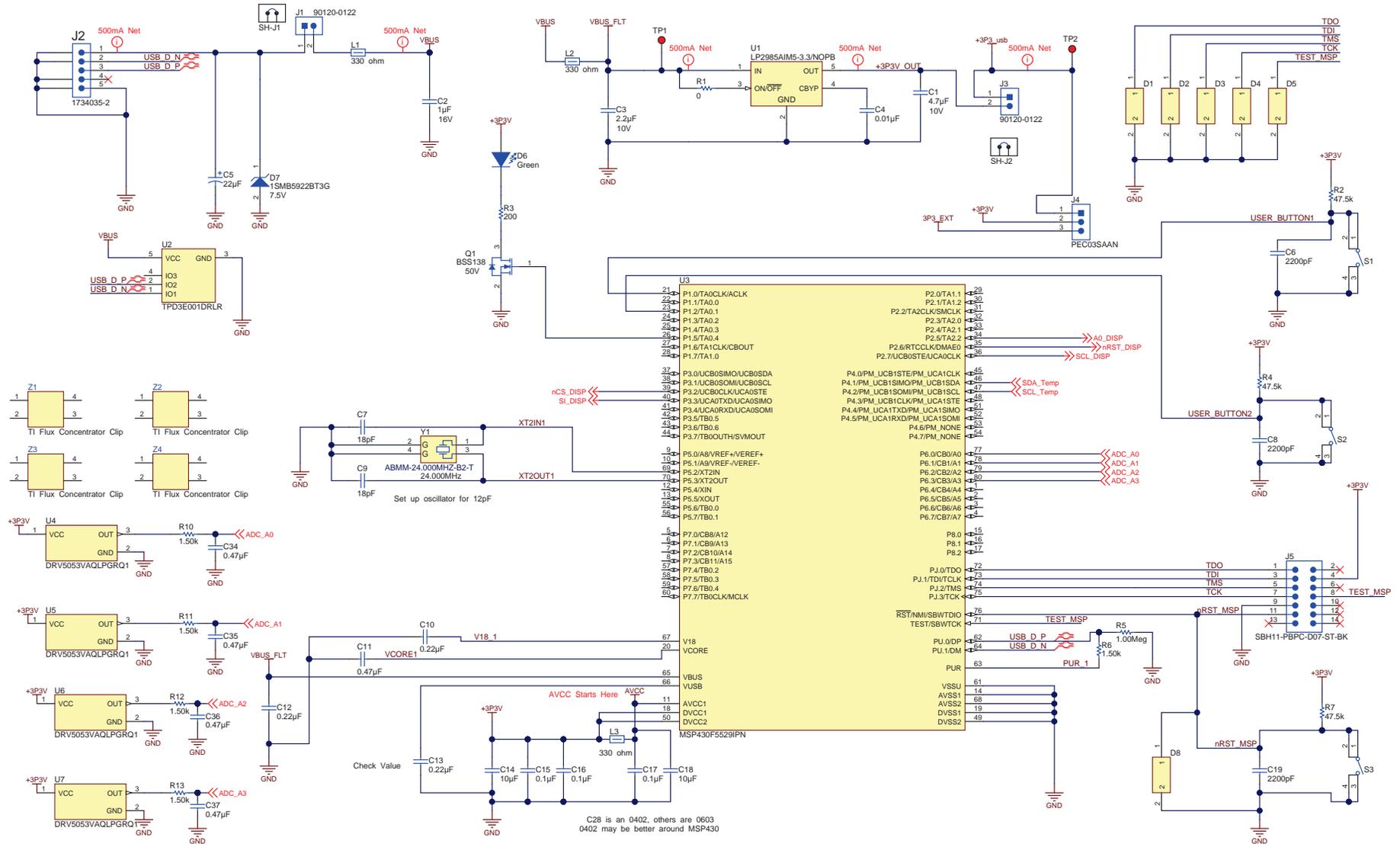
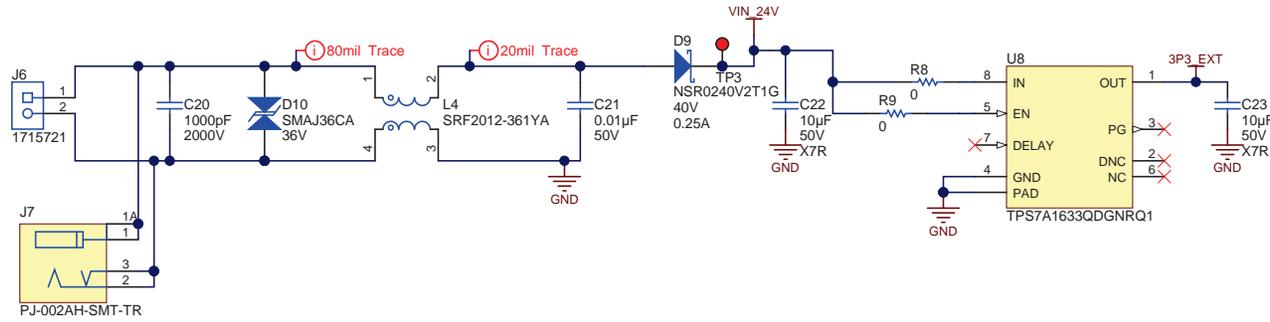


Figure 28. Schematic Section – MSP430, Hall Sensor

Vin Connectors & EMI Protection



DISPLAY

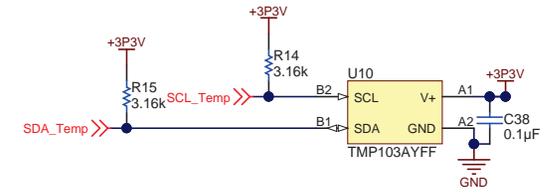
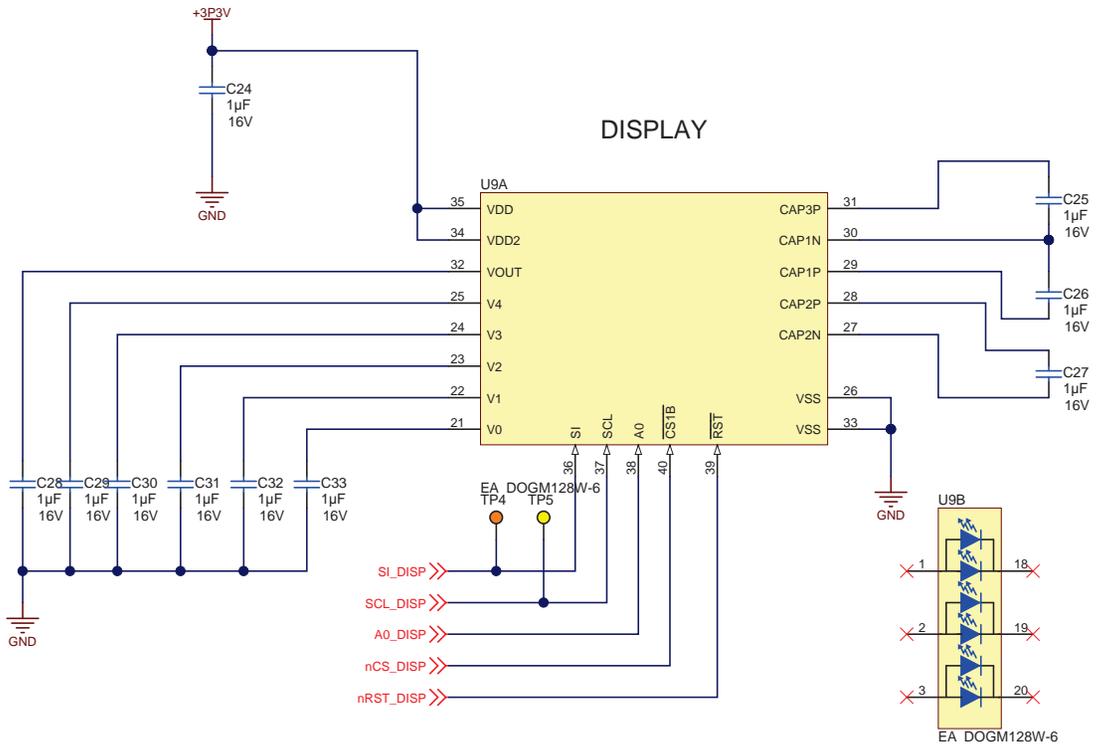


Figure 29. Power Section, Display

6.2 Bill of Materials

To download the bill of materials (BOM), see the design files at [TIDA-00218](#). Table tbd shows the BOM for the Contactless and Precise AC Current Sensing using Hall Sensor Reference Design.

Table 7. BOM

DESIGNATOR	QUANTITY	VALUE	DESCRIPTION	PACKAGE REFERENCE	PART NUMBER	MANUFACTURER
!PCB1	1		Printed Circuit Board		ISE4016	Any
C1	1	4.7µF	CAP, CERM, 4.7µF, 10V, ±10%, X5R, 0805	0805	0805ZD475KAT2A	AVX
C2, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31, C32, C33	11	1µF	CAP, CERM, 1µF, 16V, ±10%, X7R, 0603	0603	C1608X7R1C105K	TDK
C3	1	2.2µF	CAP, CERM, 2.2µF, 10V, ±10%, X5R, 0805	0805	C0805C225K8PACTU	Kemet
C4	1	0.01 µF	CAP, CERM, 0.01 µF, 16V, ±10%, X7R, 0402	0402	GRM155R71C103KA01D	MuRata
C5	1	22µF	CAP ALUM 22UF 10V 20% SMD	E55	EEE-1AA220WR	Panasonic - ECG
C6, C8, C19	3	2200pF	CAP, CERM, 2200pF, 100V, ±5%, X7R, 0603	0603	06031C222JAT2A	AVX
C7, C9	2	18pF	CAP, CERM, 18pF, 50V, ±5%, C0G/NP0, 0603	0603	06035A180JAT2A	AVX
C10, C12, C13	3	0.22µF	CAP, CERM, 0.22µF, 10V, ±10%, X5R, 0402	0402	GRM155R61A224KE19D	MuRata
C11, C34, C35, C36, C37	5	0.47µF	CAP, CERM, 0.47µF, 10V, ±10%, X5R, 0402	0402	GRM155R61A474KE15D	MuRata
C14, C18	2	10µF	CAP, CERM, 10µF, 10V, ±10%, X5R, 0805	0805	C0805C106K8PACTU	Kemet
C15, C16, C38	3	0.1 µF	CAP, CERM, 0.1 µF, 25V, ±5%, X7R, 0603	0603	06033C104JAT2A	AVX
C17	1	0.1 µF	CAP, CERM, 0.1 µF, 16V, ±10%, X5R, 0402	0402	GRM155R61C104KA88D	MuRata
C20	1	1000pF	CAP, CERM, 1000pF, 2000V, ±10%, X7R, 1210	1210	C1210C102KGRACTU	Kemet
C21	1	0.01 µF	CAP, CERM, 0.01 µF, 50V, ±10%, C0G/NP0, 0402	0402	GCM155R71H103KA55D	MuRata
C22, C23	2	10µF	CAP, CERM, 10µF, 50V, ±10%, X7R, 1210	1210	GRM32ER71H106KA12L	MuRata
D1, D2, D3, D4, D5, D8	6		ESD in 0402 Package with 10 pF Capacitance and 6 V Breakdown, 1 Channel, -40 to +125 °C, 2-pin X2SON (DPY), Green (RoHS & no Sb/Br)	DPY0002A	TPD1E10B06DPYR	Texas Instruments
D6	1	Green	LED, Green, SMD	1.6x0.8x0.8mm	LTST-C190GKT	Lite-On
D7	1	7.5V	Diode, Zener, 7.5V, 550mW, SMB	SMB	1SMB5922BT3G	ON Semiconductor
D9	1	40V	Diode, Schottky, 40V, 0.25A, SOD-523	SOD-523	NSR0240V2T1G	ON Semiconductor
D10	1	36V	Diode, TVS, Bi, 36V, 400W, SMA	SMA	SMAJ36CA	Littelfuse
J1, J3	2		Header, 100mil, 2x1, Tin plated, TH	Header 2x1	90120-0122	Molex
J2	1		Connector, Receptacle, Mini-USB Type B, R/A, Top Mount SMT	USB Mini Type B	1734035-2	TE Connectivity
J4	1		Header, 100mil, 3x1, Tin plated, TH	Header, 3 PIN, 100mil, Tin	PEC03SAAN	Sullins Connector Solutions
J5	1		Header (shrouded), 100 mil, 7x2, Gold plated, TH	7x2 Shrouded Header	SBH11-PBPC-D07-ST-BK	Sullins Connector Solutions
J6	1	2x1	Conn Term Block, 2POS, 5.08mm, TH	2POS Terminal Block	1715721	Phoenix Contact
J7	1		Power Jack, SMT	14.8x11x12.6mm	PJ-002AH-SMT-TR	CUI Inc.
L1, L2, L3	3	330 ohm	1.5A Ferrite Bead, 330 ohm @ 100MHz, SMD	0603	BLM18SG331TN1D	MuRata
L4	1		Inductor, Wirewound, Ferrite, , 0.3A, 0.45 ohm, SMD	2.0x1.2x1.2mm	SRF2012-361YA	Bourns

Table 7. BOM (continued)

DESIGNATOR	QUANTITY	VALUE	DESCRIPTION	PACKAGE REFERENCE	PART NUMBER	MANUFACTURER
Q1	1	50V	MOSFET, N-CH, 50V, 0.22A, SOT-23	SOT-23	BSS138	Fairchild Semiconductor
R1	1	0	RES, 0 ohm, 5%, 0.063W, 0402	0402	CRCW04020000Z0ED	Vishay-Dale
R2, R4, R7	3	47.5k	RES, 47.5k ohm, 1%, 0.1W, 0603	0603	CRCW060347K5FKEA	Vishay-Dale
R3	1	200	RES, 200 ohm, 5%, 0.1W, 0603	0603	CRCW0603200RJNEA	Vishay-Dale
R5	1	1.00Meg	RES, 1.00Meg ohm, 1%, 0.063W, 0402	0402	CRCW04021M00FKED	Vishay-Dale
R6	1	1.50k	RES, 1.50k ohm, 1%, 0.063W, 0402	0402	CRCW04021K50FKED	Vishay-Dale
R8, R9	2	0	RES, 0 ohm, 5%, 0.063W, 0402	0402	ERJ-2GE0R00X	Panasonic
R10, R11, R12, R13	4	1.50k	RES, 1.50 k, 1%, 0.063 W, 0402	0402	CRCW04021K50FKED	Vishay-Dale
R14, R15	2	3.16k	RES, 3.16k ohm, 1%, 0.1W, 0603	0603	CRCW06033K16FKEA	Vishay-Dale
S1, S2, S3	3		Switch, Tactile, SPST-NO, 0.05A, 12V, SMT	SW, SPST 6x6 mm	4-1437565-1	TE Connectivity
SH-J1, SH-J2	2	1x2	Shunt, 2mm, Gold plated, Black	2mm Shunt, Closed Top	2SN-BK-G	Samtec
TP1, TP2, TP3	3	Red	Test Point, Miniature, Red, TH	Red Miniature Testpoint	5000	Keystone
TP4	1	Orange	Test Point, Miniature, Orange, TH	Orange Miniature Testpoint	5003	Keystone
TP5	1	Yellow	Test Point, Miniature, Yellow, TH	Yellow Miniature Testpoint	5004	Keystone
U1	1		Micropower 150 mA Low-Noise Ultra Low-Dropout Regulator, 5-pin SOT-23, Pb-Free	MF05A	LP2985AIM5-3.3/NOPB	National Semiconductor
U2	1		Low-Capacitance + / - 15 kV ESD-Protection Array for High-Speed Data Interfaces, 3 Channels, -40 to +85 °C, 5-pin SOT (DRL), Green (RoHS & no Sb/Br)	DRL0005A	TPD3E001DRLR	Texas Instruments
U3	1		Mixed Signal MicroController, PN0080A	PN0080A	MSP430F5529IPN	Texas Instruments
U4, U5, U6, U7	4		Analog Linear Hall -80 mV/mt-40 - 125°C, LPG0003A	LPG0003A	DRV5053VAQLPGRQ1	Texas Instruments
U8	1		60-V, 5-µA IQ, 100-mA, Low-Dropout VOLTAGE REGULATOR With Enable and Power-Good, DGN0008C	DGN0008C	TPS7A1633QDGNRQ1	Texas Instruments
U9	1		Module, 128x64-pixel graphics display	LCD Module	EA DOGM128W-6	Electronic Assembly
U10	1		Low-Power, Digital Temperature Sensor with Two-Wire Interface in WCSP, YFF0004AAAA	YFF0004AAAA	TMP103AYFF	Texas Instruments
Y1	1		Crystal, 24.000MHz, 18pF, SMD	Xtal, 7.2x1.3x5.2mm	ABMM-24.000MHZ-B2-T	Abracon Corporation
Z1, Z2, Z3, Z4	4		TI Flux Concentrator Clip		TI Flux Concentrator Clip	Produkt Works
FID1, FID2, FID3, FID4, FID5, FID6	0		Fiducial mark. There is nothing to buy or mount.	Fiducial	N/A	N/A

6.3 Layer Plots

To download the layer plots, see the design files at [TIDA-00218](http://www.ti.com/lit/zip/TIDA-00218).

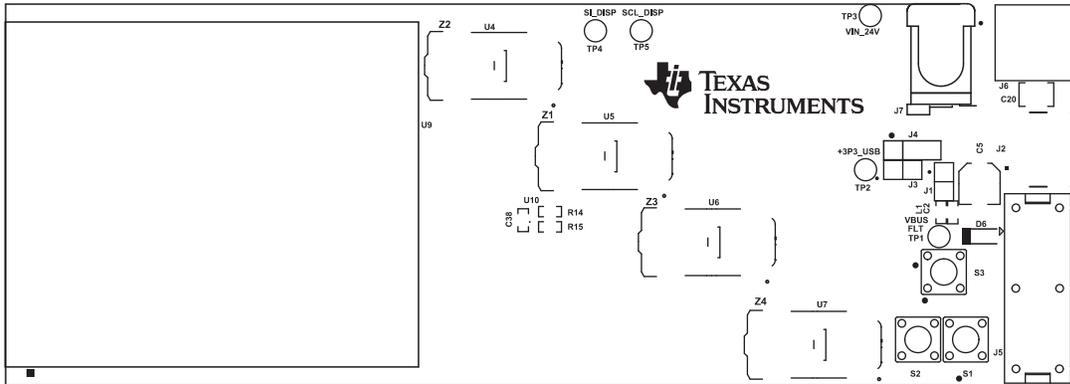


Figure 30. Layer Plot 1

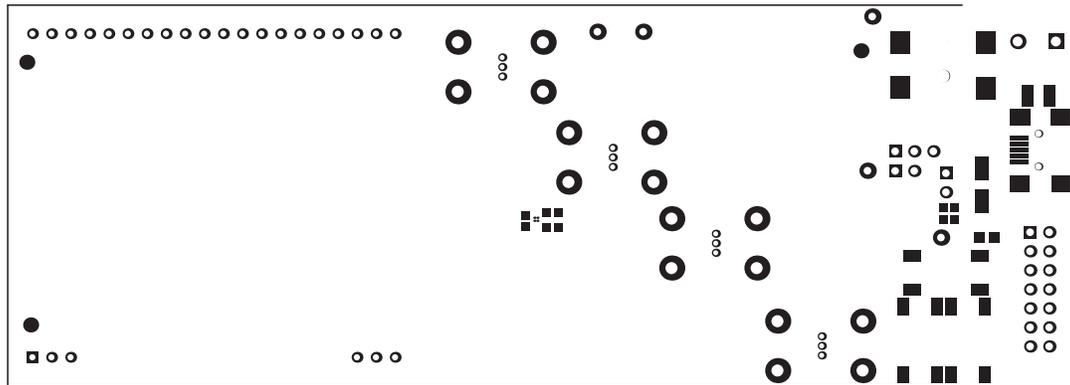


Figure 31. Layer Plot 2

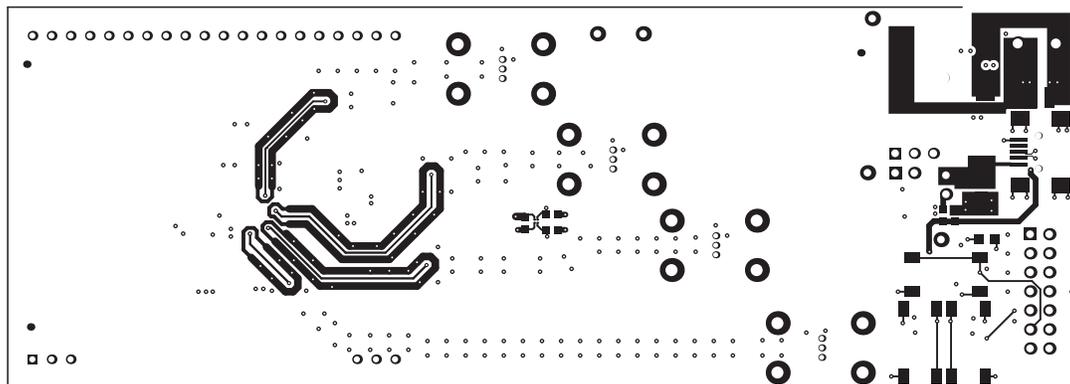


Figure 32. Layer Plot 3

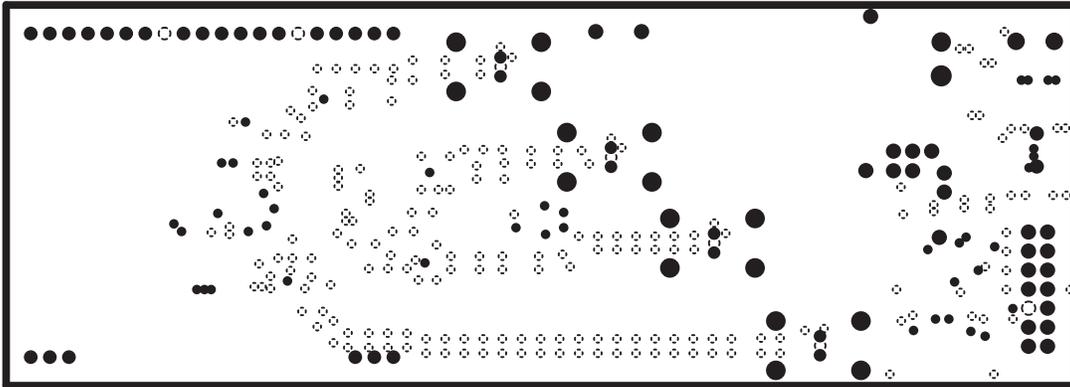


Figure 33. Layer Plot 4

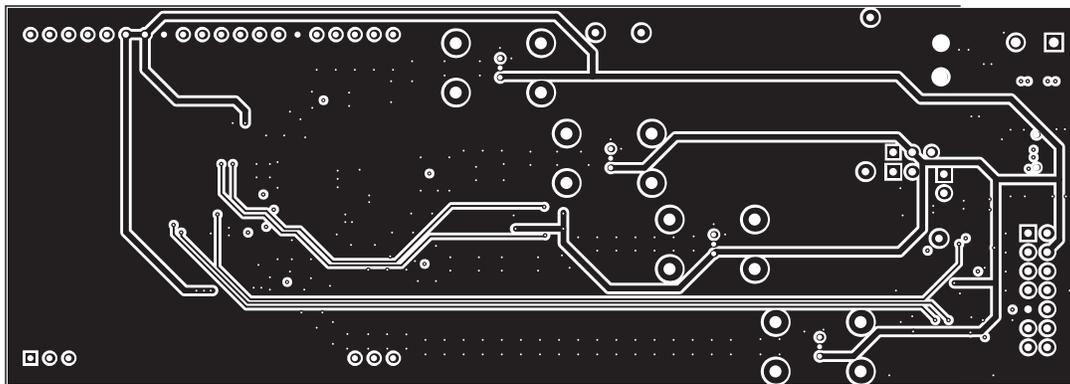


Figure 34. Layer Plot 5

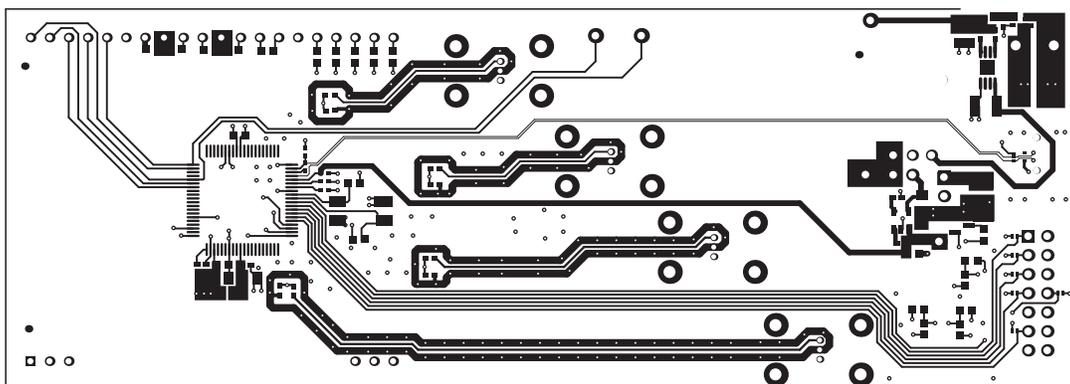


Figure 35. Layer Plot 6

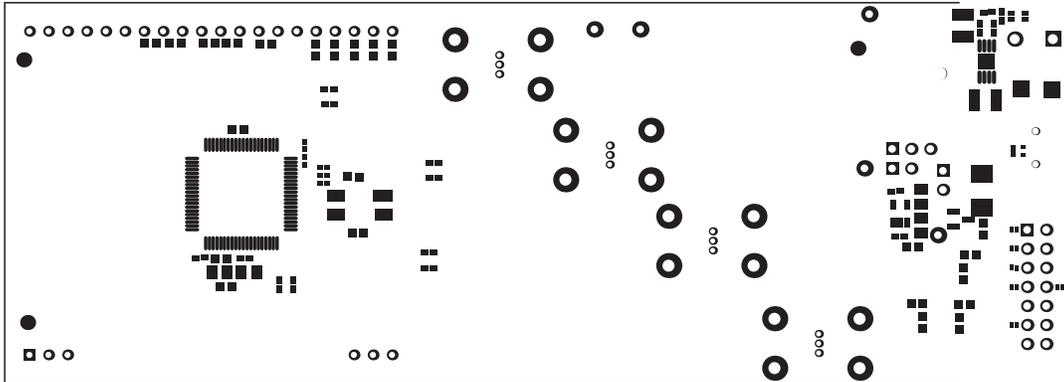


Figure 36. Layer Plot 7

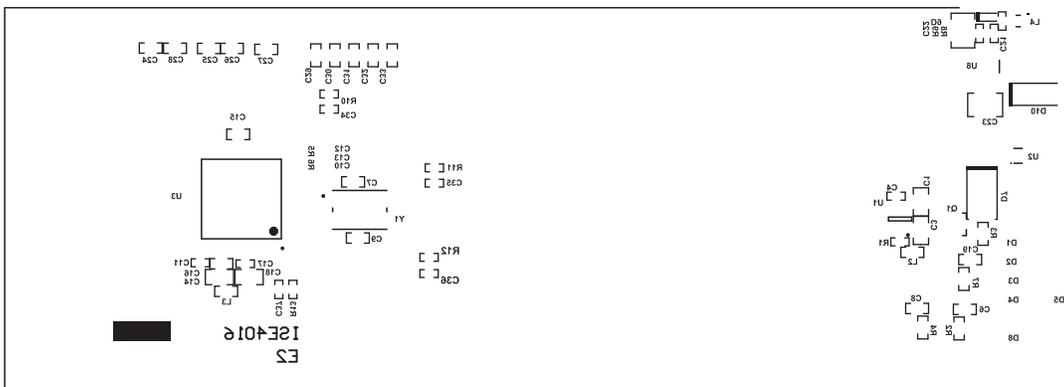
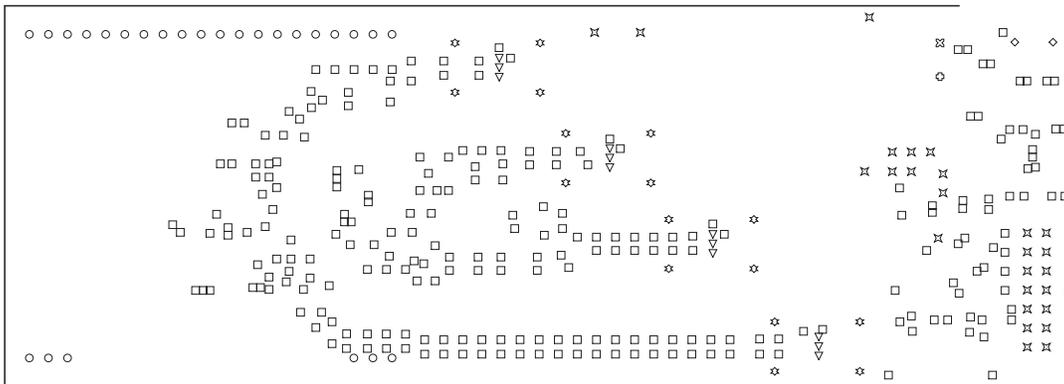


Figure 37. Layer Plot 8



Symbol	Hit Count	Tool Size	Plated	Hole Type
□	250	10mil (0.254mm)	PTH	Round
▽	12	25.984mil (0.66mm)	PTH	Round
○	26	31.496mil (0.8mm)	PTH	Round
□	2	35.433mil (0.9mm)	NPTH	Round
×	26	40mil (1.016mm)	PTH	Round
◇	2	51.181mil (1.3mm)	PTH	Round
*	16	62.992mil (1.6mm)	PTH	Round
⊗	1	62.992mil (1.6mm)	NPTH	Round
⊙	1	70.866mil (1.8mm)	NPTH	Round
	336 Total			

Figure 38. Layer Plot 9

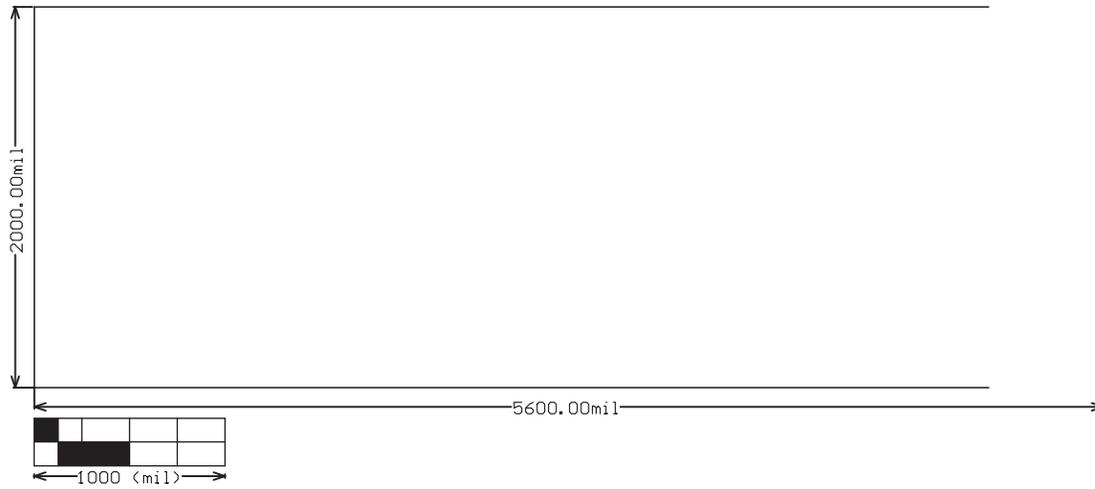


Figure 39. Layer Plot 10

6.4 Altium Project

To download the Altium project files, see the design files at [TIDA-00218](http://www.ti.com/lit/zip/TIDA-00218).

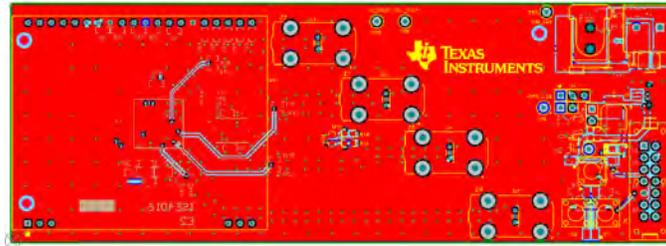


Figure 40. All Layers

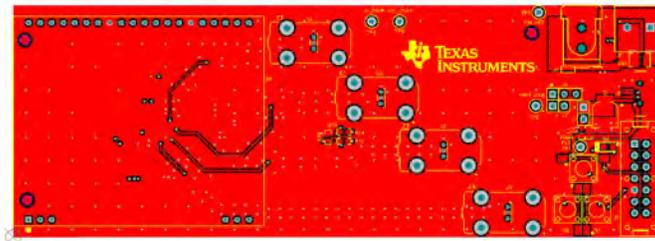


Figure 41. Top Layer

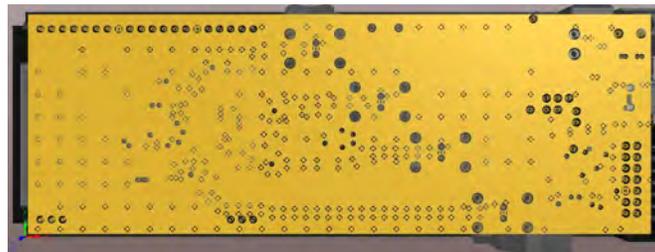


Figure 42. Ground Layer

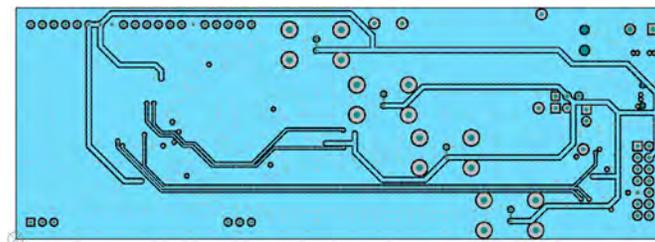


Figure 43. Power Layer

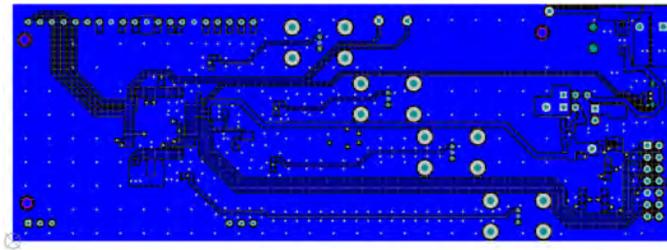


Figure 44. Bottom Layer

6.5 Gerber Files

To download the Gerber files, see the design files at [TIDA-00218](#)

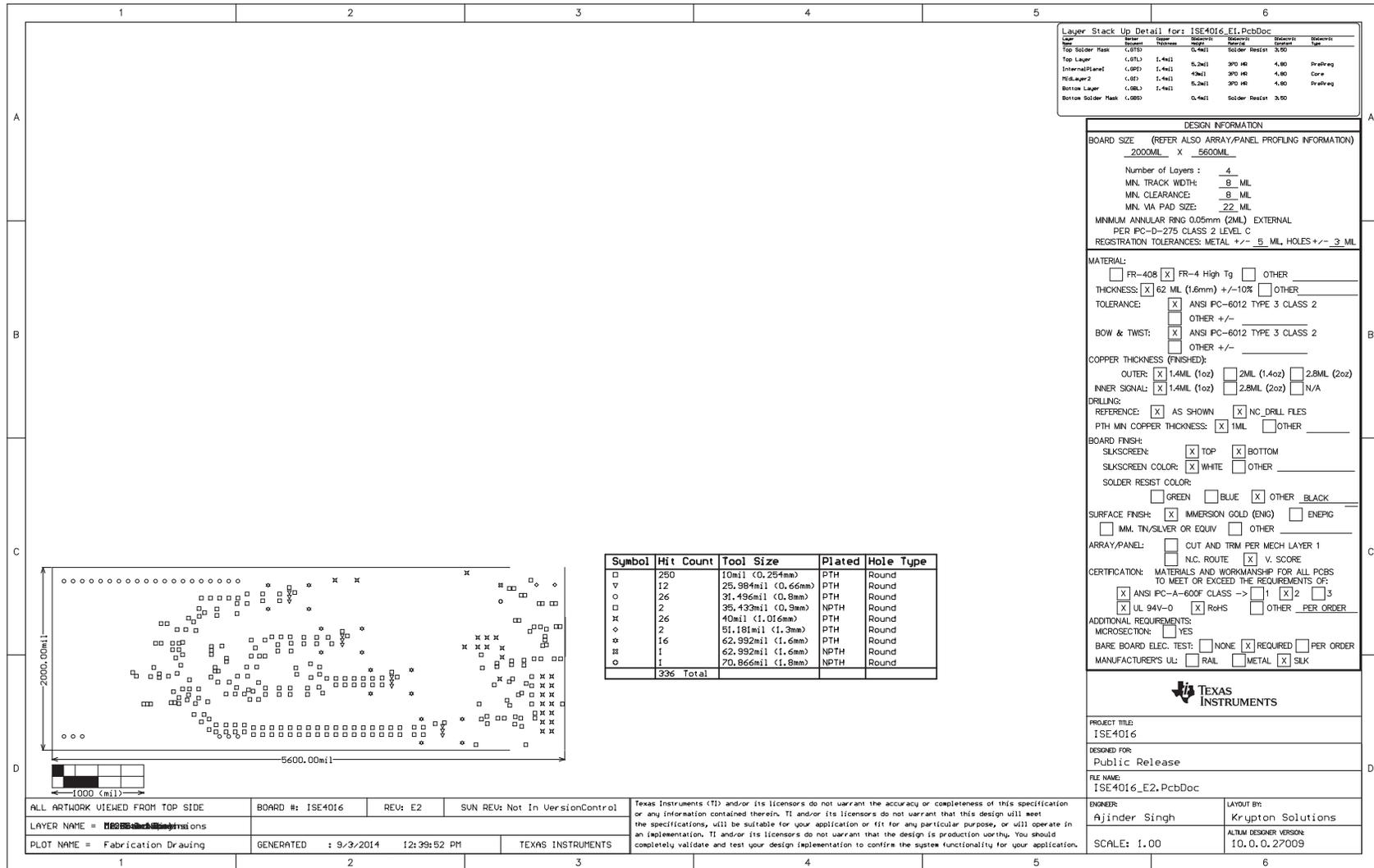
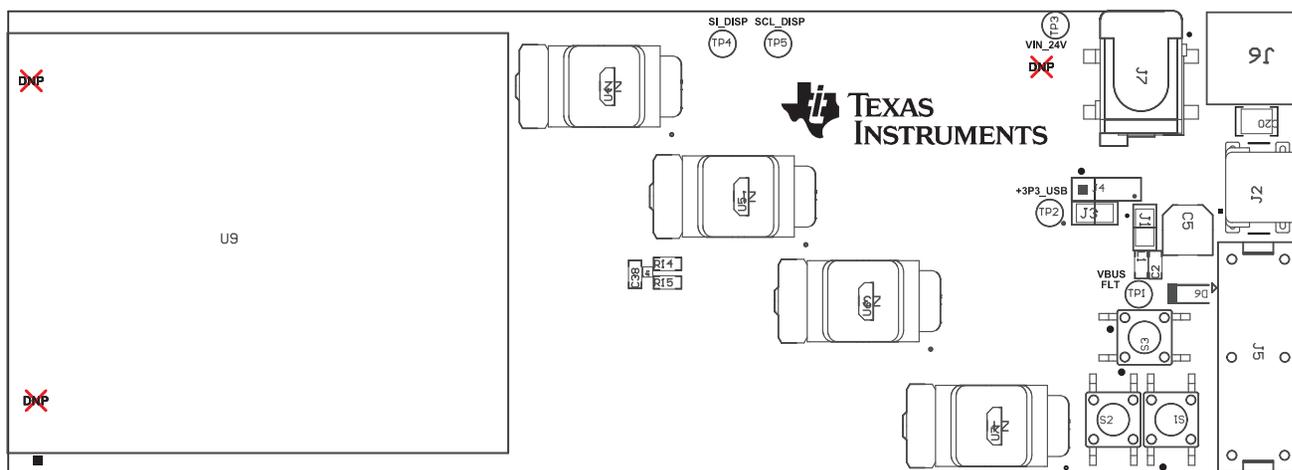


Figure 45. Fabrication Drawing

6.6 Assembly Drawings

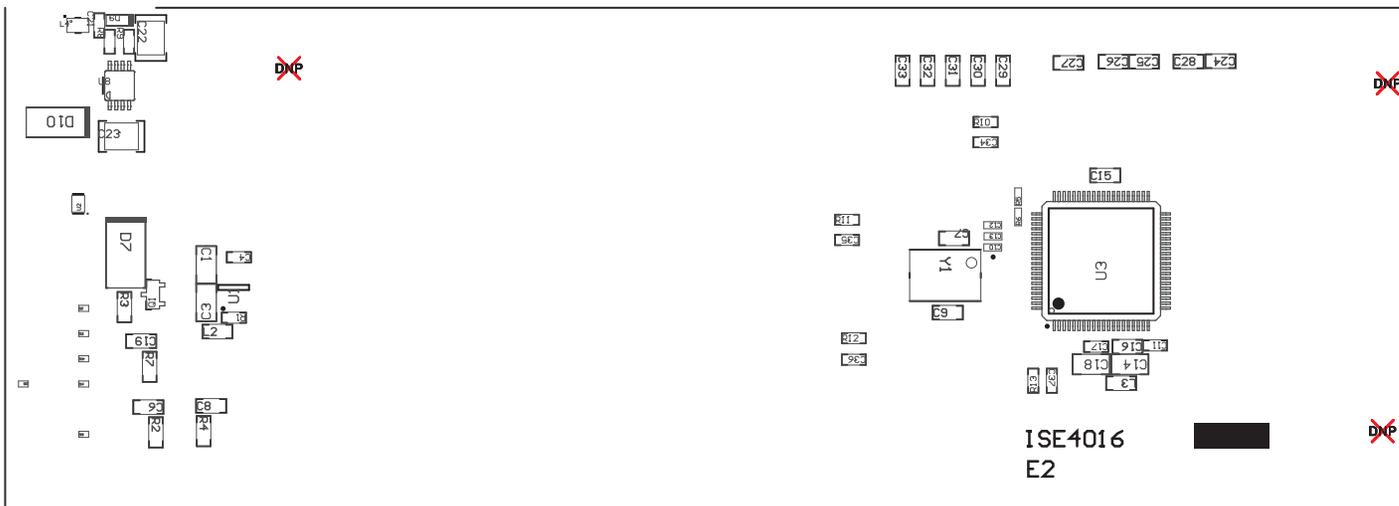
- ZZ2 ■ These assemblies are ESD sensitive, ESD precautions shall be observed.
- ZZ3 ■ These assemblies must be clean and free from flux and all contaminants. Use of no clean flux is not acceptable.
- ZZ4 ■ These assemblies must comply with workmanship standards IPC-A-610 Class 2, unless otherwise specified.



COMPONENTS MARKED 'DNP' SHOULD NOT BE POPULATED.
 ASSEMBLY VARIANT: 001

PCB VIEWED FROM TOP SIDE	BOARD #: ISE4016	REV: E2	SUN REV: Not In VersionControl
IGNORE -> Top Overlay			
PLOT NAME = Top Assembly Drawing	GENERATED : 9/3/2014 12:50:45 PM	TEXAS INSTRUMENTS	

Figure 46. Assembly Drawing 1



COMPONENTS MARKED 'DNP' SHOULD NOT BE POPULATED.
ASSEMBLY VARIANT: 001

PCB VIEWED FROM BOTTOM SIDE	BOARD #: ISE4016	REV: E2	SUN REV: Not In VersionControl
	IGNORE ->		Bottom Overlaid
PLOT NAME = Bottom Assembly Drawing	GENERATED : 9/3/2014	12:50:46 PM	TEXAS INSTRUMENTS

Figure 47. Assembly Drawing 2

6.7 Software Files

To download the software files, see the design files at [TIDA-00218](#)

7 References

- *DRV5053 Analog-Bipolar Hall Effect Sensor*, [SLIS153](#)
- *LP2985-33, 150-mA LOW-NOISE LOW-DROPOUT REGULATOR WITH SHUTDOWN*, [SLVS522](#)
- *Magnetic Field of Current*, [Magnetic Field of Current](#)
- *MSP430F5529, MIXED SIGNAL MICROCONTROLLER*, [SLAS590](#)
- *TMP103, Low-Power, Digital Temperature Sensor with Two-Wire Interface in WCSP*, [SBOS545](#)
- *TPD3E001, LOW-CAPACITANCE 3-CHANNEL ±15-kV ESD-PROTECTION ARRAY FOR HIGH-SPEED DATA INTERFACES*, [SLLS683](#)
- *TPS7A1633, 60-V, 5- μ A I_Q 100-mA, Low-Dropout Voltage Regulator with Enable and Power-Good*, [SBVS171](#)

8 About the Author

AJINDER PAL SINGH is a Systems Architect at Texas Instruments, where he is responsible for developing reference design solutions for the industrial segment. Ajinder brings to this role his extensive experience in high-speed digital, low-noise analog and RF system-level design expertise. Ajinder earned his Master of Science in Electrical Engineering (MSEE) from Texas Tech University in Lubbock, TX. Ajinder is a member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

MARK C. DAHLMAN, P.E. is an Analog Field Applications Engineer at Texas Instruments, Incorporated where he supports analog products in the South Eastern United States region. Mark has 18+ years of design and applications experience, specializing in power systems, power electronics, data conversion, high speed interface, industrial interface, automotive systems, and audio systems. Mark earned his Bachelor of Science in Electrical Engineering (BSEE) from Tennessee Technological University in 1996 and received his Professional Engineering License in 2003. Mark is a member of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Revision History

Changes from Original (October 2014) to A Revision	Page
• Added "Control Panel" to Featured Applications	1
• Updated device status to production data	6

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

ご注意

Texas Instruments Incorporated 及びその関連会社 (以下総称して TI といいます) は、最新の JESD46 に従いその半導体製品及びサービスを修正し、改善、改良、その他の変更をし、又は最新の JESD48 に従い製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかをご確認下さい。全ての半導体製品は、ご注文の受諾の際に提示される TI の標準販売契約約款に従って販売されます。

TI は、その製品が、半導体製品に関する TI の標準販売契約約款に記載された保証条件に従い、販売時の仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査及びその他の品質管理技法は、TI が当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、適用される法令によってそれ等の実行が義務づけられている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TI は、製品のアプリケーションに関する支援又はお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI 製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI 製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションに関連する危険を最小のものとするため、適切な設計上及び操作上の安全対策は、お客様にてお取り下さい。

TI は、TI の製品又はサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、又は方法に関連している TI の特許権、著作権、回路配置利用権、その他の TI の知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TI が第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TI が当該製品又はサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証又は是認するということを含みません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない、又は TI の特許その他の知的財産権に基づき TI からライセンスを得なければならない場合があります。

TI のデータ・ブック又はデータ・シートの中にある情報の重要な部分の複製は、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と関連する全ての保証、条件、制限及び通知と共になされる限りにおいてのみ許されるものとします。TI は、変更が加えられて文書化されたものについては一切責任を負いません。第三者の情報については、追加的な制約に服する可能性があります。

TI の製品又はサービスについて TI が提示したパラメーターと異なる、又は、それを超えてなされた説明で当該 TI 製品又はサービスを再販売することは、関連する TI 製品又はサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不公正で誤認を生じさせる行為です。TI は、そのような説明については何の義務も責任も負いません。

TI からのアプリケーションに関する情報提供又は支援の一切に拘わらず、お客様は、ご自身の製品及びご自身のアプリケーションにおける TI 製品の使用に関する法的責任、規制、及び安全に関する要求事項の全てにつき、これをご自身で遵守する責任があることを認め、且つそのことに同意します。お客様は、想定される不具合がもたらす危険な結果に対する安全対策を立案し実行し、不具合及びその帰結を監視し、害を及ぼす可能性のある不具合の可能性を低減し、及び、適切な治療措置を講じるために必要な専門的知識の一切を自ら有することを表明し、保証します。お客様は、TI 製品を安全でないことが致命的となるアプリケーションに使用したことから生じる損害の一切につき、TI 及びその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI 製品につき、安全に関連するアプリケーションを促進するために特に宣伝される場合があります。そのような製品については、TI が目的とするところは、適用される機能上の安全標準及び要求事項を満たしたお客様の最終製品につき、お客様が設計及び製造ができるようお手伝いすることにあります。それにも拘わらず、当該 TI 製品については、前のパラグラフ記載の条件の適用を受けるものとします。

FDA クラス III (又は同様に安全でないことが致命的となるような医療機器) への TI 製品の使用は、TI とお客様双方の権限ある役員の間で、そのような使用を行う際について規定した特殊な契約書を締結した場合を除き、一切認められていません。

TI が軍需対応グレード品又は「強化プラスチック」製品として特に指定した製品のみが軍事用又は宇宙航空用アプリケーション、若しくは、軍事的環境又は航空宇宙環境にて使用されるように設計され、かつ使用されることを意図しています。お客様は、TI がそのように指定していない製品を軍事用又は航空宇宙用に使う場合は全てご自身の危険負担において行うこと、及び、そのような使用に関して必要とされるすべての法的要求事項及び規制上の要求事項につきご自身のみの責任により満足させることを認め、且つ同意します。

TI には、主に自動車用に使われることを目的として、ISO/TS 16949 の要求事項を満たしているとして特別に指定した製品があります。当該指定を受けていない製品については、自動車用に使われるようには設計されてもいませんし、使用されることを意図しておりません。従いまして、前記指定品以外の TI 製品が当該要求事項を満たしていなかったことについては、TI はいかなる責任も負いません。

Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位 (外装から取り出された内装及び個装) 又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で (導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光が当たる状態で保管・輸送しないこと。

3. 防湿梱包

- 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。

4. 機械的衝撃

- 梱包品 (外装、内装、個装) 及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。

5. 熱衝撃

- はんだ付け時は、最低限 260℃ 以上の高温状態に、10 秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)

6. 汚染

- はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質 (硫黄、塩素等ハロゲン) のある環境で保管・輸送しないこと。
- はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上