

## Design Guide: TIDA-010935

## 太陽光発電向け電力線通信 (PLC) のリファレンス・デザイン



## 概要

電力線通信 (PLC) は、今では多数の最終製品アプリケーションで使用されています。その良い例としては、グリッドアプリケーションがあります。電力ケーブルを伝送ラインとして使用し、デバイス間で必要なデータを伝達します。したがって、電力線通信という名前になっています。これは、電力線に重ね合わせて、より高い周波数帯域 (通常は kHz や MHz の帯域) でデータを変調することで実現されます。このリファレンス デザインは、PLC 向けのシンプルなアプローチを採用しており、オン オフ キーイング変調器とラインドライバおよびパッシブ フィルタリングを組み合わせて使用し、UART (Universal Asynchronous Receiver, Transmitter) インターフェイス経由でデータを送信します。

## リソース

<a href="#">TIDA-010935, PLC010935BP</a>	ツール フォルダ
<a href="#">TPS26624DRCR, TPS560430X3FDBVR</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">LM5164QDDARQ1, THVD8000DDFR</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">THS6222IRGTR, TMUX1204DGSR</a>	プロダクト フォルダ
<a href="#">LP-MSPM0G307</a>	プロダクト フォルダ

## 特長

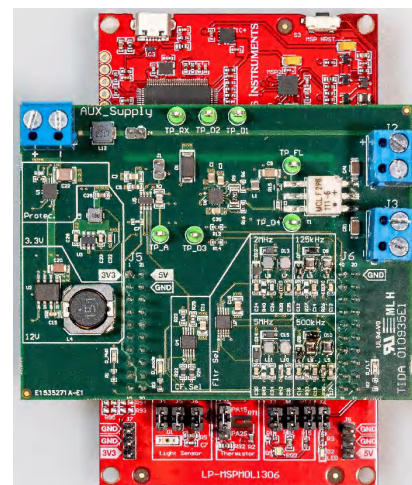
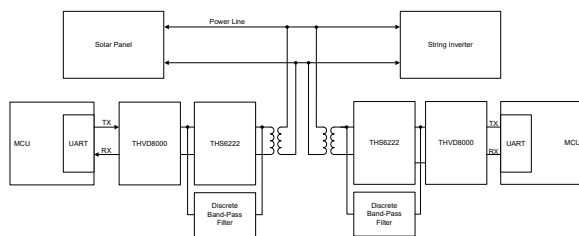
- 4 つの変調周波数を選択可能: 125 kHz、500 kHz、2 MHz、5 MHz
- 電流制限保護機能および TI の eFuse を使用した逆極性保護機能を内蔵
- 受信および送信に同じ通信ラインを使用してスペース削減
- MSPM0 や C2000™ など複数のマイクロコントローラファミリと互換性のある BoosterPack™ プラグイン モジュール

## アプリケーション

- マイクロ・インバータ
- スtring・インバータ
- 太陽光発電オペティマイザ
- セントラル・インバータ



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



## 1 システムの説明

TIDA-010935 リファレンス デザインは、MSPM0 マイクロコントローラと互換性のある、太陽光発電アプリケーション向けの低コストでフレキシブルな PLC モジュールです。このデザインは、ソーラー パネルから直接、または補助電源から、ねじ端子を使って電力を供給することができます。TIDA-010935 は、電流制限保護と逆極性保護を備えています。この設計では、125kHz～5MHz の範囲で複数のキャリア周波数を選択できます。エンジニアは、この機能を利用して、THVD8000 のキャリア周波数と干渉する可能性のあるストリング インバータのスイッチング周波数を回避できます。さらに、THS6222 ラインドライバのバイアス設定を調整して、全体の電力効率を向上させることができます。

### 1.1 主なシステム仕様

表 1-1. PLC 向けシステム仕様

パラメータ	仕様
入力電圧	13.5 V～50V
電流制限保護	500A
出力電圧	12V
最大ドライバ電流	338mA
選択可能なキャリア周波数	125 kHz、500 kHz、2 MHz、5 MHz
ボーレート	9600
ボード サイズ	80mm × 60mm



#### 注意

電源を入れたままその場を離れないでください。



#### 警告

外部接続: ハードウェアへのすべての外部接続は、システムに接続されているすべてのハードウェアおよびコンポーネントの推奨動作条件および使用目的の範囲内に維持する必要があります。



#### 警告

**高電圧!** 基板上は高電圧状態になっており、接触するおそれがあります。感電する可能性があります。基板は、不適切に取り扱った場合に感電、火災、負傷の原因となる電圧および電流で動作します。負傷や物品の破損を避けるために、必要な注意と適切な対策をもって機器を使用してください。安全のため、過電圧および過電流保護機能付きの絶縁された試験装置の使用を強く推奨します。

テキサス・インスツルメンツは、基板への電源投入やシミュレーション実行の前に、電圧要件および絶縁要件を確認し理解することがユーザーの責任であると考えます。電源投入中は、回路およびその接続部品には触れないでください。



#### 警告

テキサス・インスツルメンツは、このリファレンス デザインを**ラボ環境のみで使用するものとし、この基板を一般消費者向けの完成品とはみなしていません**。このデザインは室温で動作することを意図しており、他の周囲温度での動作はテストされていません。

テキサス・インスツルメンツは、このリファレンス デザインを高電圧電気 機械部品、システム、およびサブシステムの取り扱いに伴うリスクを熟知した**有資格のエンジニアおよび技術者**のみが使用するものとしています。

**基板上は高電圧状態になっており、接触するおそれがあります**。基板は、不適切に取り扱ったり適用したりした場合に感電、火災、負傷の原因となる電圧および電流で動作します。負傷や物品の破損を避けるために、必要な注意と適切な対策をもって機器を使用してください。

## 2 システム概要

### 2.1 ブロック図

図 2-1 に、信号フロント・エンドの基本的な概要を示します。MCU で生成された信号は、UART を経由して変調器へ送信されます。次に、電力線に対して十分強力な信号を駆動するために、ライン・ドライバが必要になります。ディスクリート・フィルタを使って、入力スペクトルをフィルタリングして必要な帯域取り出すことができます。これにより、THVD8000 は復調に必要な信号を得ます。

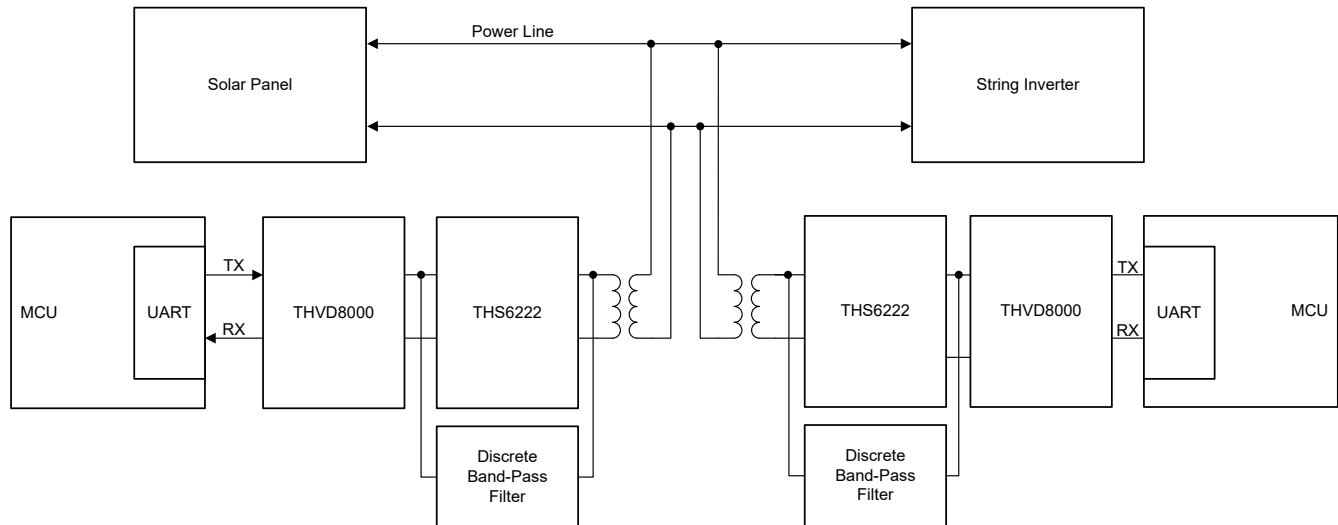


図 2-1. TIDA-010935 のブロック図

### 2.2 主な使用製品

#### 2.2.1 PLC010935BP

PLC010935BP BoosterPack™ プラグイン モジュールは、TIDA-010935 リファレンス デザインの注文可能バージョンです。このブースタパック プラグイン モジュールを、80MHz で動作する Arm® Cortex®-M0+ マイコン向けの MSPM0G3507 LaunchPad™ 開発キットと組み合わせると、UART から PLC への変換を行う THVD8000 や THS6222 ラインドライバを使用する電力線通信 (PLC) を実現できます。THS6222 デバイスの歪み特性と出力駆動能力、THVD8000 のオン/オフ キーイング変調、Arm Cortex-M0+ マイコンのハードウェア機能とソフトウェア機能を活用して、幅広いアプリケーションに適した PLC を実現することができます。

#### 2.2.2 THVD8000DDF

THVD8000DDF は、電力線通信向けのオン オフ キーイング (OOK) 変調機能を備えた RS-485 トランシーバです。このデバイスには変調器と復調器が内蔵されており、MODE ピンで選択できます。キャリア周波数は、外付け抵抗を F\_SET ピンに接続することにより設定でき、125kHz~5MHz の転送が可能です。選択したキャリア周波数に応じて、最大 500kbps のデータレートが可能です。OOK 変調はデータ極性に対する耐性があるので、このデバイスは実装および使用が容易です。

### 2.2.3 THS6222RGTT

THS6222 は電流帰還アーキテクチャを採用した差動ラインドライバ アンプであり、テキサス・インスツルメンツ独自の高速シリコン ゲルマニウム プロセスで製造されています。このデバイスは、重いライン負荷を駆動しながら高い線形性が要求される、広帯域で高速の電力線通信ラインドライバ アプリケーションに適しています。

THS6222 は独自のアーキテクチャを採用し、BIAS ピンを利用して静止電流を最小限に抑えながら、非常に高い線形性を実現しています。このアンプは可変電流ピンを備えており、複数のバイアス モードに対して公称消費電流を設定し、アンプの最大性能を必要としないときに高度な節電が可能となります。シャットダウン バイアス モードでは、受信モード中にさらに消費電力を削減できます。

32V 電源での出力スイングが 57V<sub>pp</sub> (100Ω 負荷) と広く、650mA を超える駆動電流 (25Ω) と相まって、歪みを最小限に抑える広いダイナミックレンジを実現します。

### 2.2.4 MSPM0G350x

MSPM0G350x マイコンは、最高 80MHz の周波数で動作する拡張 Arm Cortex-M0+ コア プラットフォームに基づく、TI の高集積超低消費電力 32 ビット MSPM0 MCU ファミリの製品です。コスト最適化されたこれらの MCU は高性能アナログ ペリフェラルを統合しており、-40°C~125°C の拡張温度範囲をサポートし、1.62V~3.6V の電源電圧で動作します。

MSPM0G デバイスは、最大 128KB の組込みフラッシュ プログラム メモリと、最大 32KB の SRAM を内蔵しています。これらの MCU は ±1.2% の精度の高速オンチップ発振器を内蔵しているため、外部水晶振動子は不要です。その他の機能としては、3 チャンネル DMA、16 および 32 ビット CRC アクセラレータ、各種の高性能アナログ ペリフェラル (1 つの設定可能内部リファレンス電圧付き 12 ビット 1.68MSPS A/D コンバータ (ADC)、1 つのリファレンス内蔵 D/A コンバータ (DAC) 付き高速コンパレータ、ゲインをプログラム可能な 2 つのゼロドリフト ゼロクロスオーバー オペアンプ、1 つの汎用アンプ、1 つのオンチップ温度センサなど) があります。これらのデバイスは、4 つの 16 ビット汎用タイマ、1 つのウィンドウ付きウォッチドッグ タイマ、各種通信ペリフェラル (2 つの UART、1 つの SPI、2 つの I2C を含む) などのインテリジェントなデジタル ペリフェラルも備えています。これらの通信ペリフェラルは LIN、IrDA、DALI、マンチェスター、スマートカード、SMBus、PMBus プロトコルをサポートしています。

テキサス・インスツルメンツの MSPM0 低消費電力 MCU ファミリーは、アナログおよびデジタル回路をさまざまなレベルで内蔵したデバイスで構成されているため、お客様はプロジェクトのニーズを満たす MCU を見つけることができます。そのアーキテクチャと豊富な低消費電力モードは、長いバッテリー駆動時間を実現するように最適化されています。

MSPM0Gx MCU は、広範囲にわたるハードウェアおよびソフトウェアのエコシステムによってサポートされており、リファレンス デザインやコード サンプルを使って設計をすぐに開始できます。開発キットには、購入可能な LaunchPad™ 開発キットおよびターゲット ソケット ボード用の設計ファイルが含まれています。また、テキサス・インスツルメンツは無償の MSP ソフトウェア開発キット (SDK) も提供しており、Code Composer Studio™ IDE デスクトップのコンポーネントとして利用できます。また、TI Resource Explorer ではクラウド バージョンを利用できます。MSPM0 MCU には、広範囲にわたるオンライン資料、MSP Academy によるトレーニング、TI E2E™ サポート フォーラムによるオンライン サポートも用意されています。

### 2.2.5 TPS26624DRCR

TPS26624 は 4.5V~60V の広い入力電圧範囲を備えた高電圧 eFuse です。このデバイスは、OCP (過電流保護)、OVP (過電圧保護)、入力逆極性保護、出力逆極性保護など複数の機能を内蔵しています。内蔵の電界効果トランジスタ (FET) により、フットプリントが小さくなり、また、バック ツー バック FET トポロジを採用しているため、ホールドアップ時間の要件を満たすことができます。この設計では、緊急遮断コマンドまたはその他の緊急遮断シナリオが発生した場合に、この機能により基板が保護されます。内蔵の電流制限は、抵抗を使って、25mA~880mA の範囲で調整できます。この実装では、500mA の電流制限を設定しました。

### 2.2.6 LM5164QDDARQ1

LM5164 同期整流降圧コンバータは、広い入力電圧範囲でレギュレーションを行えるよう設計されており、必要な外付けサージ抑制部品は最小限です。LM5164 は最小 6V、最大 100V の入力電圧に対応可能です。コンスタント オン時間 (COT) 制御アーキテクチャにより、スイッチング周波数はほぼ一定で、負荷およびライン過渡応答が非常に優れています。LM5164 のもう 1 つの特長は、非常に優れた静止電流消費です。

### 2.2.7 TPS560430X3FDBVR

TPS560430X3 は、最大負荷電流 600mA、3.3V 固定、1.1MHz スwitching同期整流降圧型コンバータです。サイクル単位の電流制限、ヒカップモード短絡保護、過大な消費電力に備えたサーマルシャットダウン機能が組み込まれています。また、このデバイスは小型パッケージ (2.90mm × 1.6mm) で供給されます。

### 2.2.8 TMUX1204DGSR

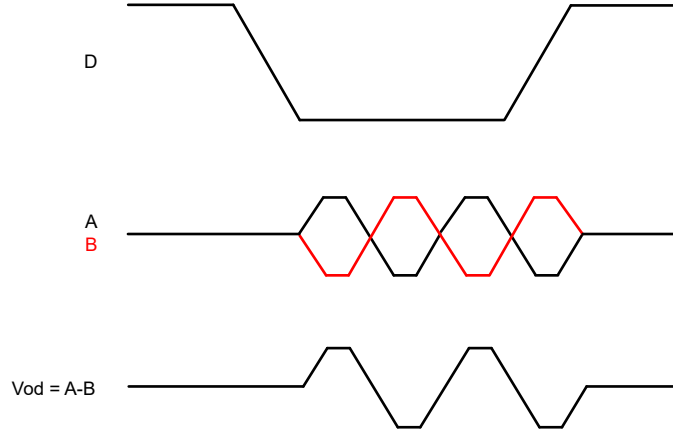
TMUX1204 は、新型の CMOS アナログ マルチプレクサです。このデバイスは、1.08V~5.5V の単一電源を備えた 4:1 シングル エンド (1 チャンネル) 構成で供給されます。電源電流が 10nA と低いため、このデバイスは太陽光発電用途に最適です。すべてのロジック入力のスレッシュホールドは 1.8V ロジック互換で、有効な電源電圧範囲で動作していれば、TTL と CMOS の両方のロジックと互換性が得られます。フェイルセーフロジック回路により、電源ピンよりも先に制御ピンに電圧が印加されるため、デバイスへの損傷の可能性が避けられます。



## 2.3 設計上の考慮事項

### 2.3.1 変調器およびキャリア周波数の選択

TIDA-010935 を動作させるには、マイクロコントローラが必要です。マイクロコントローラから、変調器およびラインドライバを経由して、要求されたデータを電力線を通じて送信できます。TIDA-010935 は、OOK 変調方式による THVD8000 RS-485 トランシーバを変調器として使用します。



受け取ったデータ (**D**) の変調。生成される信号は差動信号であり、THVD8000 の A ピンおよび B ピンから出力されます。DATA ピンの論理 HIGH は 0V 信号になりますが、論理 LOW は、Vod で観測すると振動信号になります。

図 2-2. OOK モード

THVD8000 のもう 1 つの機能は **FSET** ピンです。このピンを使うと、変調および復調方式で使用するキャリア周波数を外付け抵抗によって決定できます。THVD8000 では、125kHz~5MHz の範囲であらかじめ設定されたキャリア周波数を利用可能です。このシステムでは、複数のキャリア周波数をテストできるように、対応する 4 つのキャリア周波数が選択されており、FSETB0 および FSETB1 の値を設定することにより、ソフトウェア側で選択できます。表 2-1 に、TIDA-010935 で利用可能なキャリア周波数と、それに対応する抵抗値を示します。表 2-2 に、所定のキャリア周波数に設定するための FSETB0 および FSETB1 の値を示します。

表 2-1. 抵抗値とキャリア周波数との関係

R <sub>F_SET</sub> (kΩ)	OOK f <sub>0</sub> (kHz)
77	125
19	500
4.4	2000
1.5	5000

表 2-2. FSET の値とキャリア周波数との関係

FSETB0	FSETB1	OOK f <sub>0</sub> (kHz)
0	0	125
1	0	500
0	1	2000
1	1	5000

### 2.3.2 THS6222 ラインドライバの消費電力およびゲイン

キャリア周波数を選択すると、変調された信号がラインドライバに入力されます。TIDA-010935 はラインドライバとして THS6222 を使用します。このラインドライバは受信信号を 12V に昇圧します。THS6222 は、328mA の最大シンク電流を持つ差動広帯域バッファです。

総消費電力は、明らかに、PLC ネットワーク上に接続されているノードの数に依存します。ノードとは、個々の TIDA-010935 モジュール メンバーを表します。ノード メンバーは、ストリング インバータの DC バスに直列に接続されています。

ストリング上のノード。メンバー数が増加すると、信号が 12V ピークに達するために必要なシンク電流が減少します。

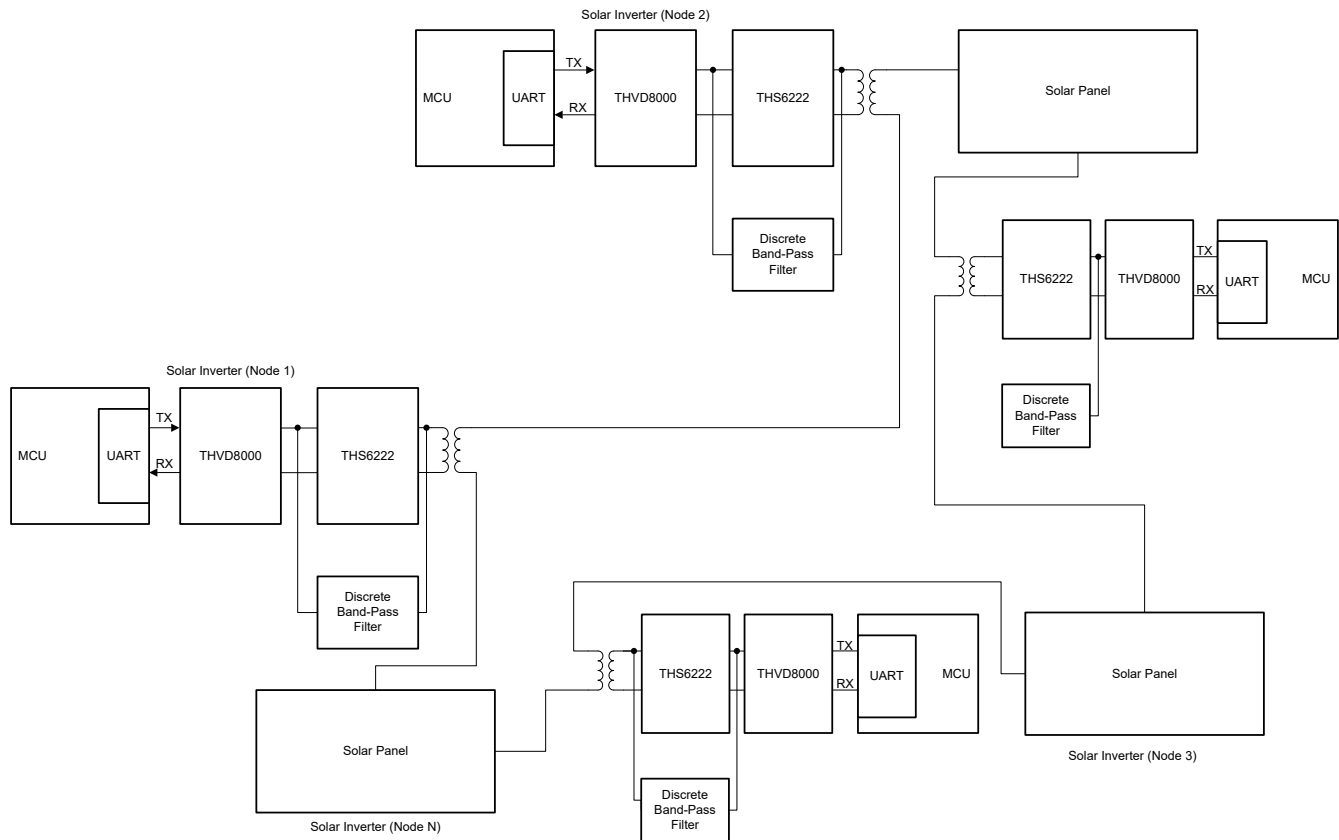


図 2-3. アプリケーションの例

通常、複数のソーラー パネルが 1 つのストリングに設置されています。各パネルは直列に接続されて、ソーラー インバータからの入力電圧に達します。必要な最小シンク電流は、PLC ネットワークの全インピーダンスと必要な信号ピーク電圧に依存します。

$$12 \text{ V} = I_{\text{sink}} \times Z_{\text{PLC, Net}} \quad (1)$$

$$I_{\text{sink}} = \frac{12 \text{ V}}{Z_{\text{PLC, Net}}} \quad (2)$$

THS6222 は、4 つの異なるモードのバイアス設定入力を備えています。表 2-3 に、バイアスピン入力に応じた THS6222 のすべてのモードと、想定される静止電流消費を示します。

表 2-3. THS6222 のバイアス モードに応じた静止電流消費

BIAS1	BIAS2	モード	50Ω および 12V 電源での静止電流
1	1	オフ	1.1mA
0	1	低バイアス モード	10.4mA
1	0	中バイアス モード	15mA
0	0	完全バイアス モード	19.5mA

TIDA-010935 のバイアス設定を調整することで、TIDA-010935 すなわち各ノードの全体的な効率をより詳細に制御できます。理想的には、このリファレンス デザインは、ソーラー パネルからの電力供給で動作するものであり、効率は非常に重



要です。付属のソフトウェアは、オフモードとTXモードの2つのモード間でバイアスを調整します。送信フェーズ中には、THVD8000のバイアス設定はTXモードに設定されます。これは、基本的に、デバイスが変調された信号を増幅するために、どのモードを使用すべきかを決めるものです。メッセージが正常に送信されると、効率向上のためにTHVD8000はオフになります。なお、メッセージ受信中にデバイスをこのモードにしなかった場合には、信号劣化が発生します。これは、デバイスが高インピーダンスモード、すなわちオフになっていない場合、信号電流の一部がデバイスに流れ込んで信号強度が低下するためです。

THS6222では、適切なゲイン抵抗を選択する必要があります。『入出力逆極性保護機能内蔵、TPS2662x 60V、800mA 産業用 eFuse』データシートの「詳細設計手順」セクションには、別の値が必要な場合に、アンプを飽和させないために選択すべきゲイン抵抗が記載されています。R9と表示されているゲイン抵抗は、1.24kΩの抵抗であり、ゲイン3が得られます。これにより、3.3Vの入力信号ではTHS6222が飽和状態に駆動されることはありません。より高いゲインでは入力電源電圧を超えてしまうため、クランプが発生する可能性があります。

図 2-4 に、THS6222 ラインドライバの回路図を示します。バイアスピンのBIAS-1 および BIAS-2 によって、電流シンクに必要な電流の大きさが決まります。R9 抵抗により、V/V のゲインが決定されます。可能な最大のゲインと必要な抵抗については、THS6222 のデータシートを参照してください。

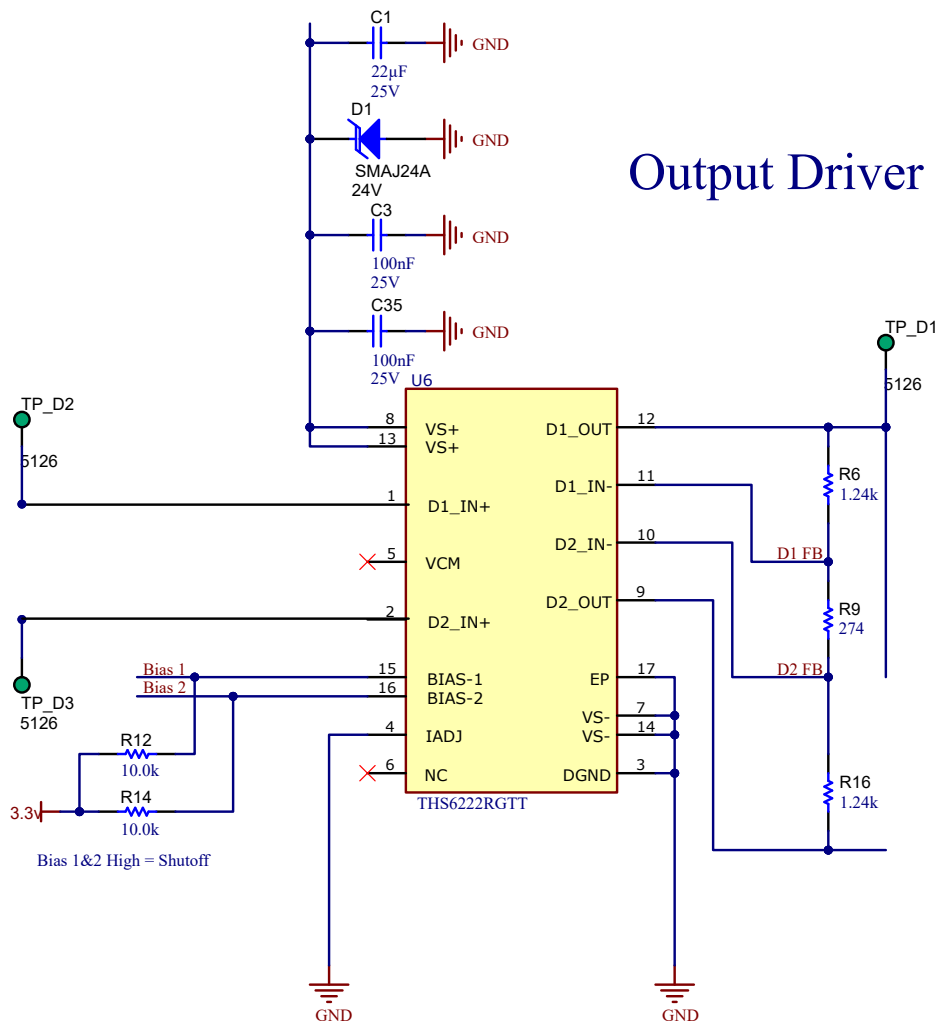


図 2-4. THS6222 回路

### 2.3.3 フロント エンドおよびディスクリート フィルタ

THS6222 は、THVD8000 RS-485 OOK トランスミッタからの信号を増幅します。この信号は、RF トランスを通じて DC バスに AC 結合されます。この DC バスには、ソーラー パネルから得られるすべての電力が注入されています。

図 2-5 に、信号フロント エンドの回路図を示します。記号「+」と「-」は、DC バスへの直列接続を示しています。

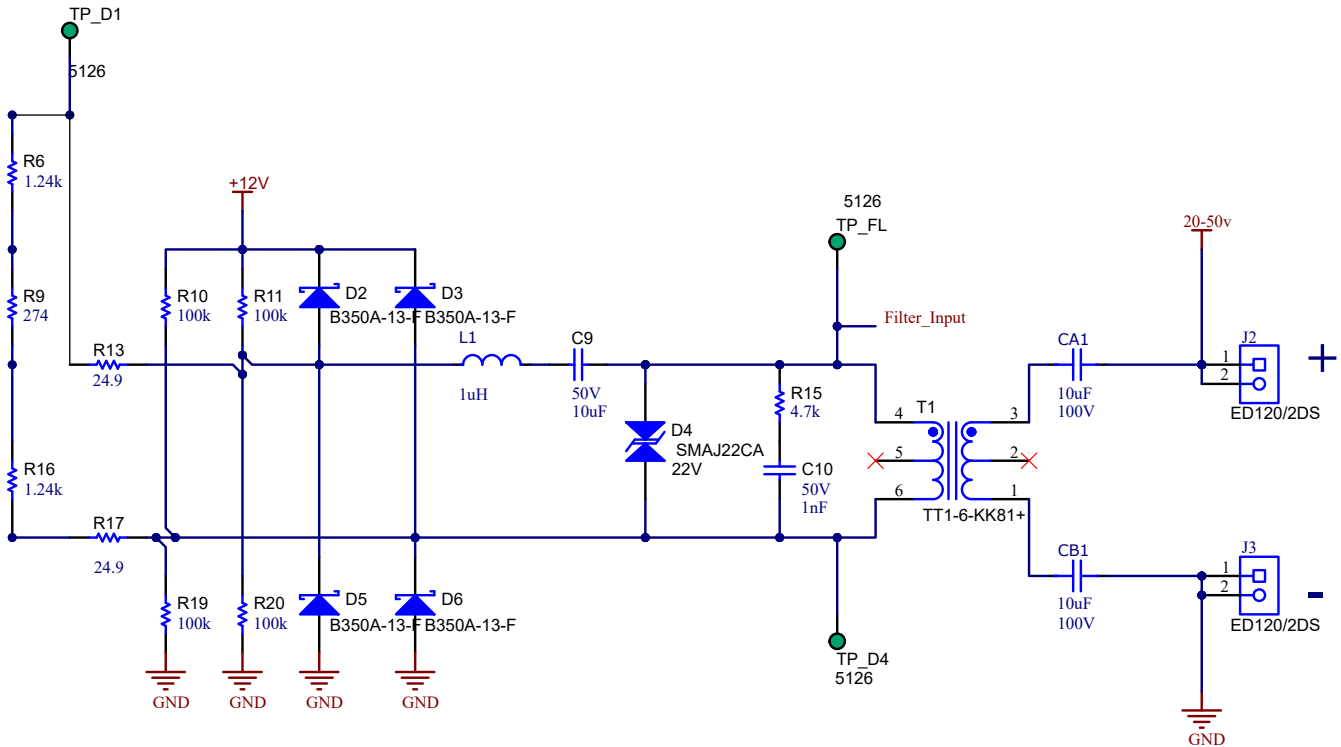


図 2-5. フロント エンド

帯域外抑制によりデータを一定の電力レベル内に維持するために、抵抗 R13 および R17 が必要です。R13 と R17 に隣接して、バイアス抵抗 R10、R19、R11、R20 が必要です。信号は差動で送信できますが、受信は疑似シングルエンドになります。これらのバイアス抵抗は、A ラインと B ラインの間のオフセットを最小限に抑えます。PLC モジュールは、通常、過酷な環境で動作しており、望ましくないサージを抑制するために、ショットキー ダイオードと TVS を設置します。L1 および C9 で構成される帯域幅制限フィルタと、スナバ回路 R15 および C10 を備えており、高周波スイッチング ノイズの伝送を防止します。

このアプリケーションでは、電力線の電圧が非常に高いので、適切なカップリング設計を行う必要があります。電流が大きい場合、DC 電流が 10A を上回ると想定されるならば、トランスにはより太い電線が必要です。このように大きいトランスが必要になるので、この DC 電流を最初にデカップリングしなければ、小さいフットプリントの PCB は事実上実現できません。CA1 および CB1 を挿入することにより、DC 電流を阻止し、AC 電流を通過させてこの問題を軽減します。

受信信号に対してバンドパス フィルタを実装します。このデザインは 4 種類のキャリア周波数に対応しているので、それぞれに 1 個のフィルタを設計しています。

図 2-6 に、4 つの異なるキャリア周波数に対するディスクリートフィルタを示します。

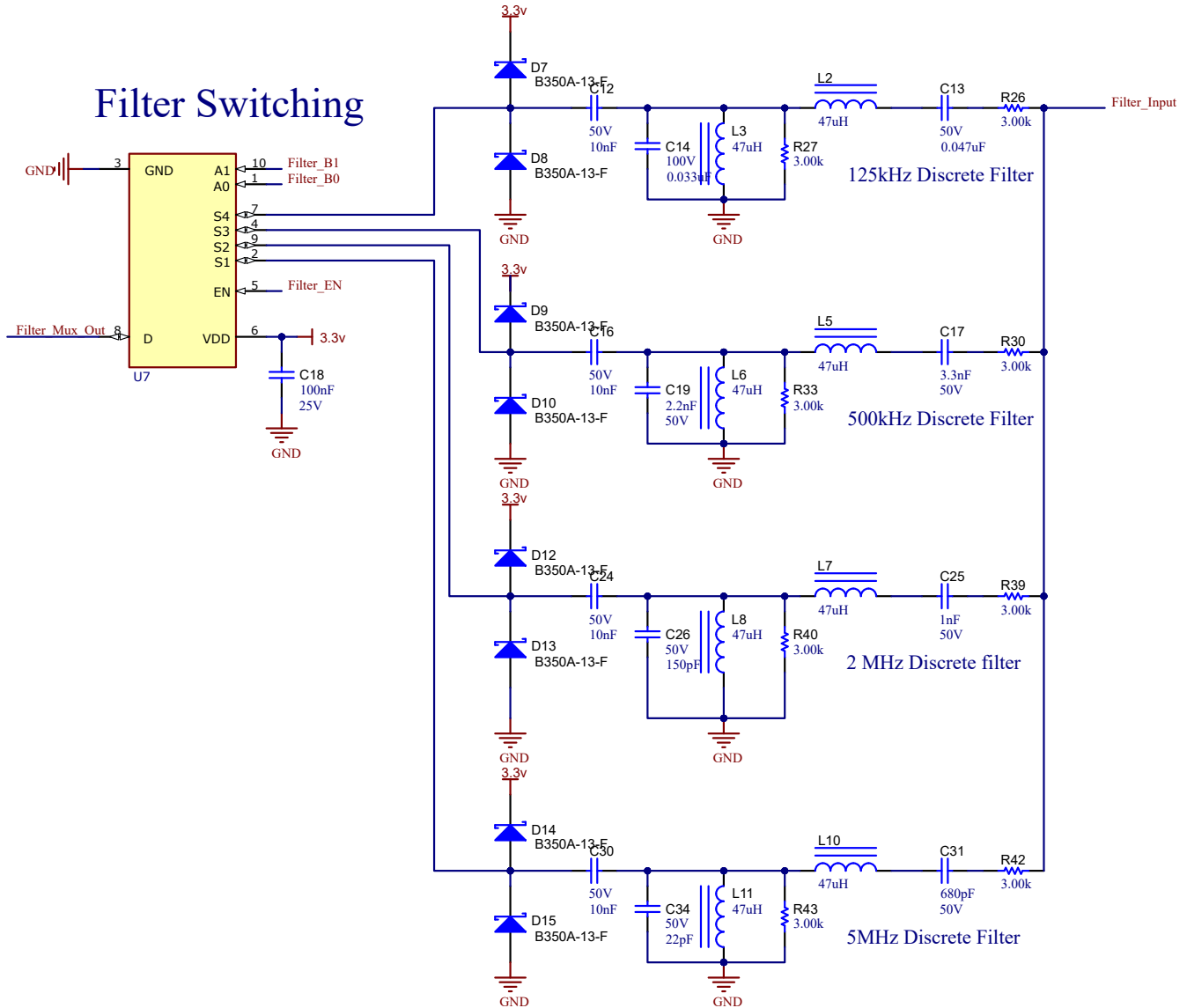


図 2-6. ディスクリートフィルタ

ディスクリートフィルタの後、別の TMUX1204 デバイスを使用して、選択したキャリア周波数に応じた適切なフィルタを THVD8000 に接続します。TMUX1204 において、ソースのオフ時の漏れ電流は 75nA、ドレインのオフ時の漏れ電流は 200nA です (『TMUX1204 5V、4:1、汎用アナログ マルチプレクサ』データシートの「電気的特性 (V<sub>DD</sub> = 5V ±10%)」セクションを参照)。リーク電流が非常に少なく、システム全体の効率が向上するので、このアプリケーションに対してこのデバイスは優れた選択肢になります。アナログ MUX は、信号を THVD8000 に送り返します。THVD8000 では、デバイスが送信状態から受信状態に切り替わり、信号を復調して、UART によって信号を MCU に送り返します。

TMUX1204 を制御するために、2 つの選択ピン FILTER\_B0、FILTER\_B1、および 1 つのイネーブルピン FILTER\_EN を備えています。これら 3 つのピンの組み合わせにより、適切な復調周波数を選択できます。

表 2-4. 復調周波数の選択

FILTER_EN	FILTER_B1	FILTER_B0	出力周波数 (kHz)
0	X	X	送信フェーズ、復調なし
1	0	0	125
1	0	1	500
1	1	0	2000
1	1	1	5000

### 2.3.4 THVD8000 の回路図

THVD8000 の概略回路図を 図 2-7 に示します。

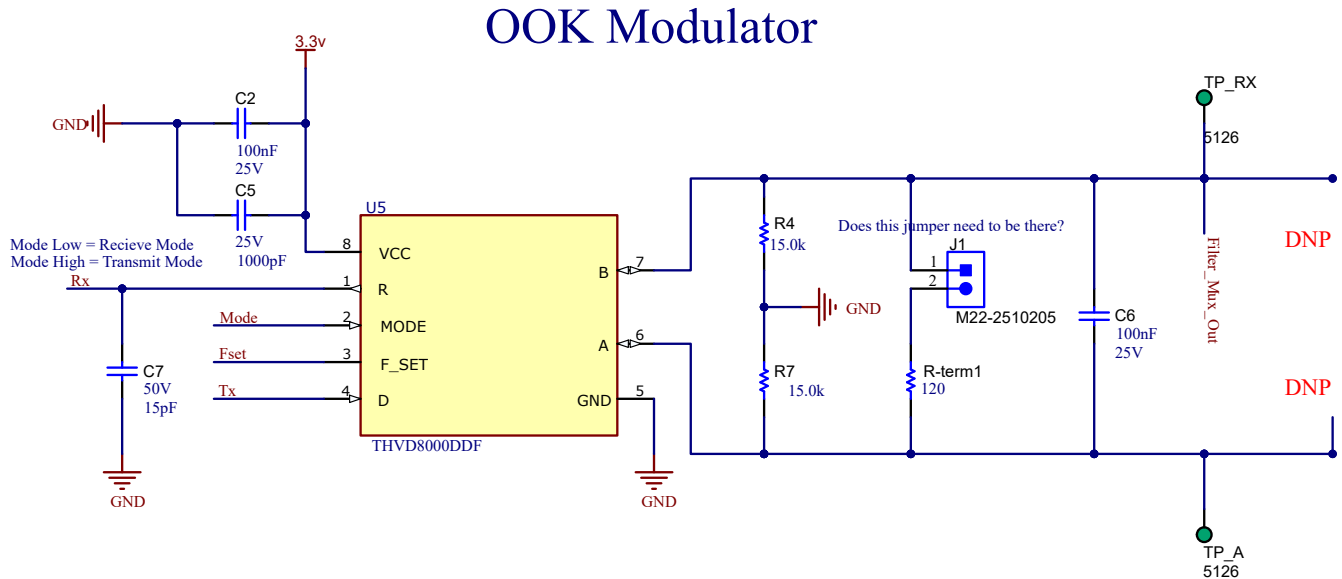


図 2-7. THVD8000 の回路図

送信フェーズと受信フェーズの選択は、図 2-7 に示すように THVD8000 で処理されます。FSET ピンは、キャリア周波数を設定します。この周波数は、TMUX が 125kHz、500kHz、2MHz、5MHz の中から選択したものです。

MODE ピンは、受信フェーズ (LOW に設定) と送信フェーズ (HIGH に設定) を設定します。送信フェーズがアクティブの場合、信号はピン D から入力として取り込まれ、受信フェーズがアクティブの場合、R ピンが出力となります。

### 2.3.5 基板のピン配置

表 2-5 に、ピンの説明を示します。

表 2-5. ピン配置表

ピン番号	ピン名	説明
1	3.3 V	3.3V 電源
3	RX	受信ピン
4	TX	送信ピン
5	SHDN	シャットダウンピン。High に設定すると通信がイネーブルになります。
8	モード	モードピン。High に設定すると送信フェーズがイネーブル、Low に設定すると受信フェーズがイネーブルになります。
11	FLT	FLT ピン。High に設定するとデバイスがオフになり、Low に設定するとデバイスが動作可能になります。
20	GND	グラウンド接続
22	GND	グラウンド接続
31	FILTER_B1	フィルタ選択用 TMUX ピン
32	FILTER_B0	フィルタ選択用 TMUX ピン
33	FSET_B1	変調周波数選択ピン
34	FSET_B0	変調周波数選択ピン
35	FILTER_EN	TMUX および復調をアクティブ化するイネーブルピン
39	BIAS_1	消費電流選択ピン
40	BIAS_2	消費電流選択ピン

### 3 ハードウェア、ソフトウェア、テスト要件、テスト結果

TIDA-010935 のテストでは、MSPM0G3507 LaunchPad 開発キットを使って、GPIO をリアルタイムで変更し、ボード構成およびデータ交換を実施します。

正しい値を受信したかどうかを自動的にテストするために、2 つの異なるプログラムを 2 つの通信ノードにロードします (各ノードは、TIDA-010935 および MSPM0G3507 LaunchPad で構成されます)。

- 外部ループバック: 最初のデータ パッケージが、TIDA-010935 を経由して送信されます。このとき、対応する GPIO は、データ送信を許可するように構成してあります。データを送信した後、構成を変更して受信モードになり、データが送り返されるのを待ちます
- エコー割り込み: 最初は受信モードに設定されていて、何らかのデータが到着した後、送信モードに切り替えて、そのデータを送り返します。その送信後、受信モードに戻ります。

外部ループバックソフトウェアによって送信が開始されるとすぐに、データの最初のバイトが送信されます。エコー割り込みソフトウェアが受信したデータを送り返してくると、外部ループバックソフトウェアは、受信データが送信データと等しいかどうかを確認します。等しければ、送信されるデータをインクリメントして、ループを再開します。

この方法によって、両方のノード間でデータが正しく転送されていることを自動的にチェックして、データの整合性を維持します。グラウンド ループを回避するために、2 つのマイクロコントローラは異なる PC に接続し、2 つの TIDA リファレンス デザインは異なる電源に接続します。

ソフトウェアは GPIO の値を自動的に変更し、両方のボードが受信と送信を行えるようにします。Code Composer Studio™ デバッグ モードでは、対応する変数を調整することにより、変調と復調の周波数を 4 つの選択肢、すなわち 125kHz、500kHz、2MHz、5MHz のいずれかに変更できます。

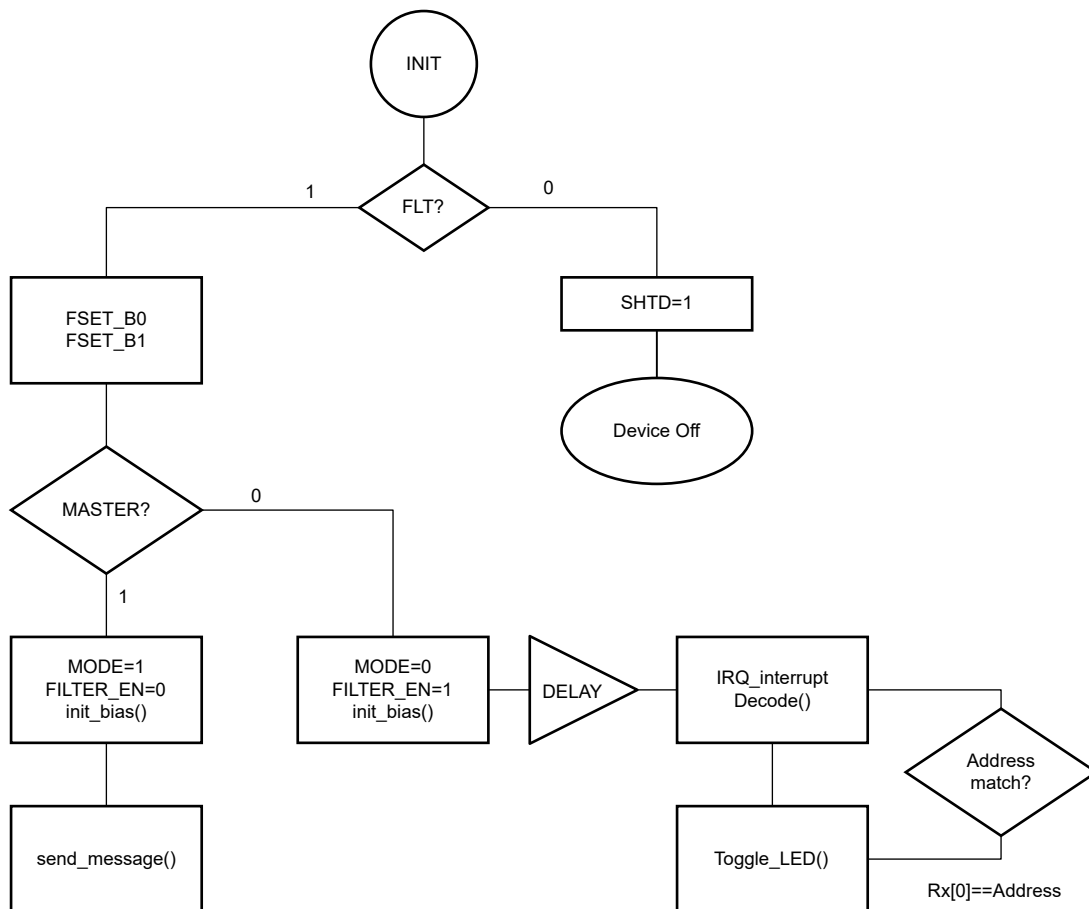


図 3-1. UART を使った組み込みソフトウェア実装のフロー チャート

### 3.1 テスト設定

このプロジェクトでは、LP-MSPM0G3507 LaunchPad 開発キットを使って TIDA-010935 を駆動しており、ピン配置は TIDA を LaunchPad に重ね合わせるように設計されています。または、表 2-5 の情報を使って、ジャンパによって、汎用マイクロコントローラの GPIO に TIDA ピンを接続することもできます。

次に、基板を 13.5V~50V の電源に接続します。設計のベストプラクティスとしては、異なる電源を使用して 2 つの基板を絶縁状態に保つことが挙げられます。ここでは、2 つの同じ値の抵抗を使って、ジャンパ J2 と J3 を経由して 2 つの TIDA リファレンス デザインを互いに接続しています。

2 つの TIDA デザイン間の接続には、2 つの 15Ω 抵抗を使用しましたが、20Ω および 100Ω も試行しました。

#### 3.1.1 TIDA-010935 への電力供給

TIDA-010935 への電力供給には、13.5V~50V の入力電圧範囲が必要です。これは、出力電力が一定でない可能性があるため、ソーラーパネルからの出力電圧の変化に対応するためです。TIDA-010935 を太陽光電力で電源供給するには、J2 と J3 の各ヘッダに記載されている極性に従って、ソーラーパネルからの DC ケーブルを接続します。J2 は正極、J3 は負極です。これらのコネクタから基板に電力を供給するには、ジャンパ J4 を実装する必要があります。

または、AUX\_Supply コネクタに補助電源を接続してボードに電力を供給することもできます。上記と同じ入力電圧を使用でき、極性は基板にマーキングされています。この場合には、ジャンパを実装しないでください。

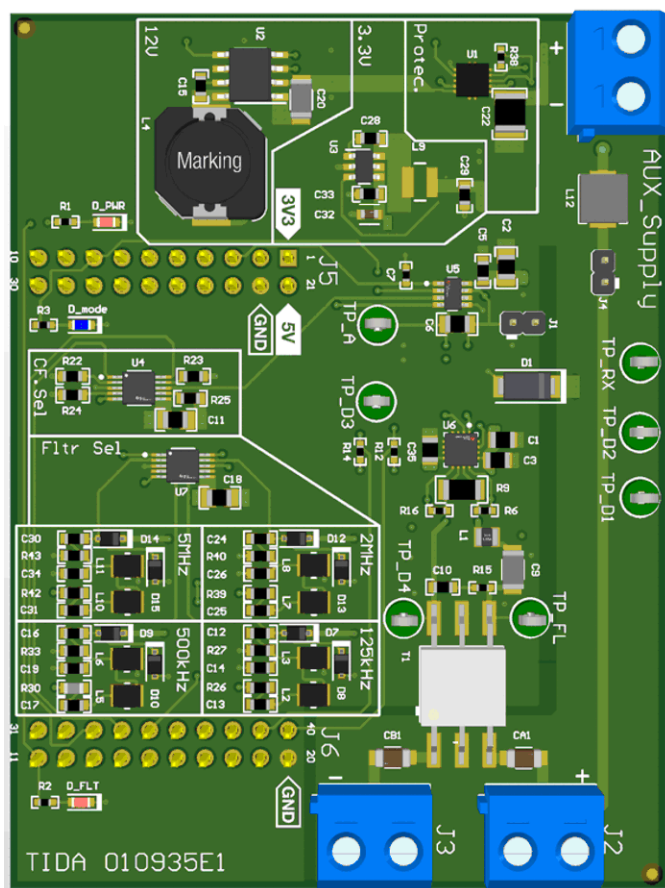


図 3-2. ボード補助電源



### 3.2 テスト結果

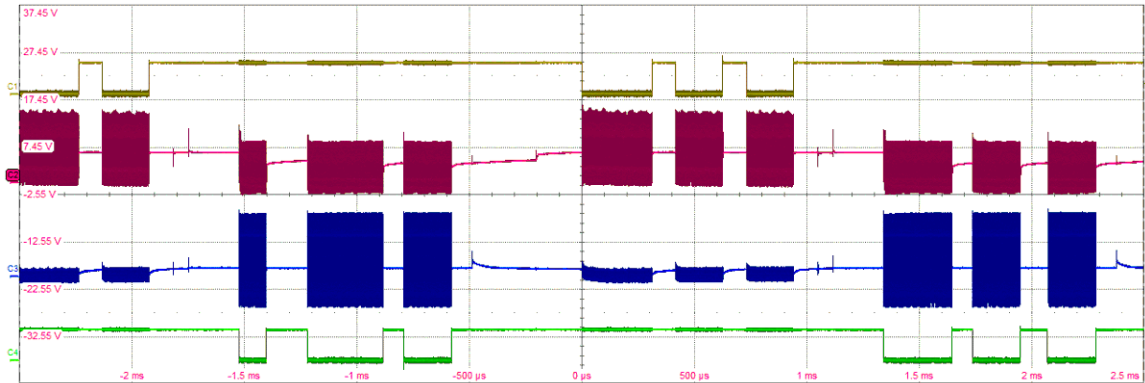


図 3-3. 5MHz でのシグナル チェーンの波形

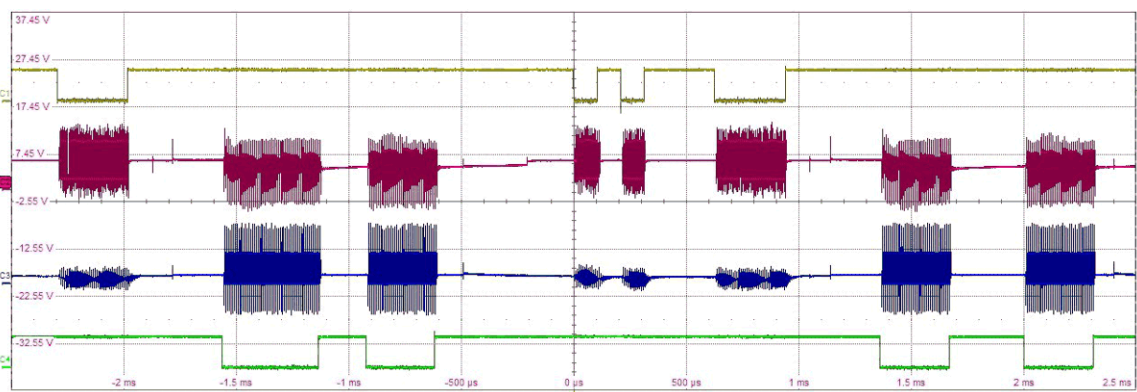


図 3-4. 125kHz でのシグナル チェーンの波形

図 3-3 に、ボード上のさまざまなポイントから得られたシグナル チェーン波形を示します。その内容は、上から下に向かって次の通りです。

- 黄: データを送信しているボード上で取得した TX ピン
- 赤: THS6222 の後、基板から他の基板へ信号を伝達するトランスの前にある、TP\_FL および TP\_D4 のテストポイントで取得した差動信号
- 青: THVD8000 復調前のレシーバ ボード上のテストポイント TP\_RX および TP\_A で取得した差動信号
- 緑: データを受信しているボード上で取得した TX ピン

基板がデータを送信していないとき、各波形画像の中央にある 2 つの波形にも信号の発振が見られます。これは、通信の送受信の両方向でラインが使用されているためです。

TX ピンと RX ピンの間の遅延には、2 つの異なる要因があります。まず、すべてのシグナル チェーン波形が見やすくなるように、意図的に固定のソフトウェア遅延を設けています。また、伝搬遅延は、選択した復調周波数に依存しており、周波数が高くなるほど減少します。伝搬遅延は、立ち下がりエッジと立ち上がりエッジの両方で等しい値です。

ピン FSET0 および FSET1 を使って周波数を選択します。対応する伝搬遅延を [表 3-1](#) に示します。また、[図 3-5](#) に、ピン FSET0 および FSET1 による選択ごとに、フィルタの周波数応答を示します。

表 3-1. 選択した周波数に応じた遅延入出力

FSET0	FSET1	遅延 (μs)	周波数 (kHz)
0	0	32	125
0	1	8.7	500
1	0	2.5	2000
0	1	1.2	5000

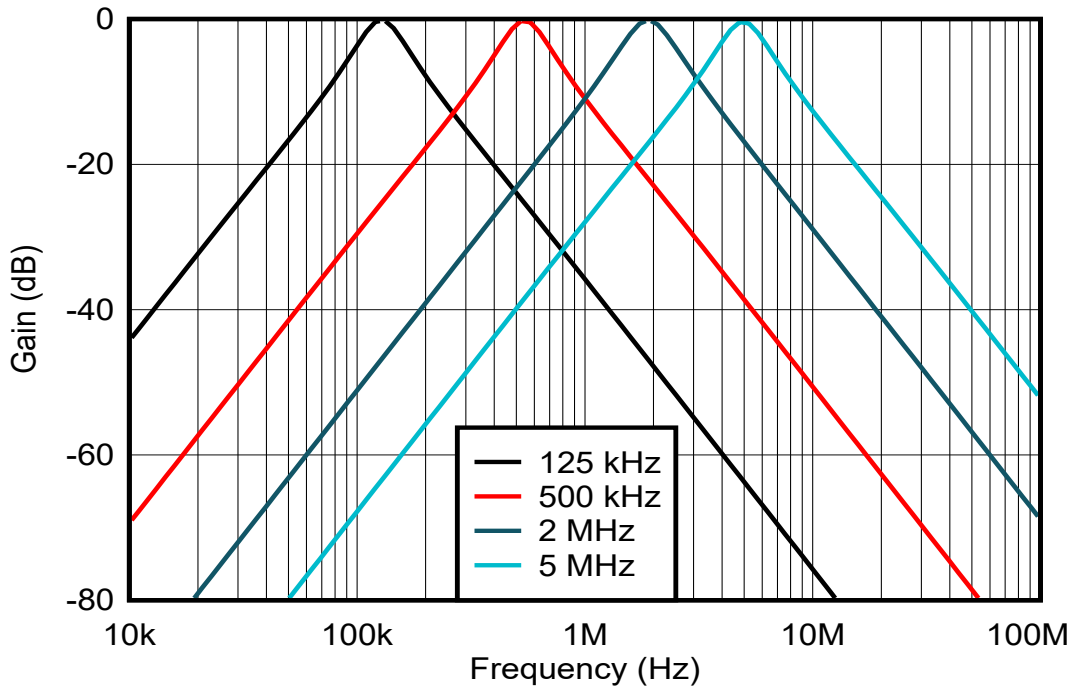


図 3-5. 選択可能な 4 つのパッシブフィルタの周波数応答

## 4 設計とドキュメントのサポート

### 4.1 設計ファイル

#### 4.1.1 回路図

回路図をダウンロードするには、[TIDA-010935](#) の設計ファイルを参照してください。

#### 4.1.2 BOM

部品表 (BOM) のダウンロードについては、[TIDA-010935](#) 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

[PLC010935BP](#) ソーラー電力線通信向け **BoosterPack™** プラグイン モジュールのリファレンス デザイン

### 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、[『TPS2662x 入出力反転機能内蔵、60V、800mA 産業用 eFuse』](#)データシート
2. テキサス・インスツルメンツ、[『LM5164-Q1 超低 I<sub>Q</sub>、100V 入力、1A 同期整流降圧型 DC/DC コンバータ』](#)データシート
3. テキサス・インスツルメンツ、[『TPS560430 SIMPLE SWITCHER® 4V~36V 入力、600mA、同期整流降圧型コンバータ』](#)データシート
4. テキサス・インスツルメンツ、[『THVD8000 OOK 変調付き RS-485 電力線通信用トランシーバ』](#)データシート
5. テキサス・インスツルメンツ、[『THS6222 同相バッファ内蔵、8V~32V、差動 HPLC ラインドライバ』](#)データシート
6. テキサス・インスツルメンツ、[『TMUX1204 5V、4:1、汎用アナログ マルチプレクサ』](#)データシート
7. テキサス・インスツルメンツ、[『MSPM0G3507 LaunchPad 開発キット \(LP-MSPM0G3507\)』](#)ユーザー ガイド

### 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

TI E2E™, C2000™, BoosterPack™, LaunchPad™, Code Composer Studio™, and テキサス・インスツルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

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

**Andreas Lechner** は、テキサス・インスツルメンツのグリッド インフラおよび再生可能エネルギーのシステム チームで働いているシステム エンジニアです。Andreas は、ドイツのランツフー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。

## 6 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 B (November 2024) to Revision C (January 2025)

Page

- |   |   |
|---|---|
| ドキュメント全体を通して、 <a href="#">PLC010935BP</a> 評価ボードへの参照とリンクを追加..... | 1 |
|---|---|

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、ます。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されているテキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated