

Design Guide: TIDA-010256

128 チャンネル超音波トランスミッタ システム リファレンス デザイン



説明

この超音波転送リファレンス デザインは、TI の TX7516 5 レベルパルストランスミッタと高電圧 TMUX9832 スイッチを使用しています。トランスミッタとスイッチは 1:4 で接続されており、チャンネル数の多い超音波アナログ フロント エンドシステムのコンパクトなハードウェア設計要件に対応できます。また、このデザインは、高効率でフットプリントの小さい TI のパワー モジュールと SEPIC トポロジを採用することで、電源全体のサイズを小型化しています。

リソース

TIDA-010256	デザインフォルダ
TX7516, TMUX9832, TPSM63603	プロダクトフォルダ
LM5155, TPS7A9401, TPS7A3301	プロダクトフォルダ
LMK00304, LMK6D	プロダクトフォルダ
AM2431, DAC53401	プロダクトフォルダ

特長

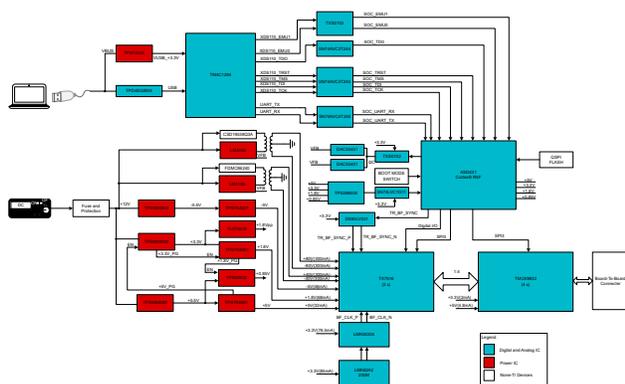
- 小型サイズ、最大 128 チャンネル、±80V の、プログラマブル ビームフォーマを内蔵した 5 レベルまたは 3 レベルのパルサ出力
- プログラマブルなトランジスタ駆動電流による、2 次高調波歪み性能の最適化
- 送信電力消費を最適化するための動的なパワー マネージメントシステム
- 干渉入力配線トポロジを使用したスキャン中に、1 クロック サイクルですべてのスイッチ チャンネルの状態を更新可能
- 最大 ±80V、300mA 出力性能のある高電圧回路

アプリケーション

- 超音波スキャナ
- 超音波スマートプローブ



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。



1 システムの説明

超音波画像処理の原理は、高電圧パルスを送信してトランスデューサを励起し、物体からエコーを受信することに基づいています。エコー信号の振幅によって、光の強度が画像に変調されます。最新の超音波システムでは 1 ~ 256 個のトランスデューサが存在します。これはシステムが多数のトランスミッタを必要とすることを意味します。B モード画像処理システムは最新の超音波システムに 16 ~ 256 個のトランスデューサを搭載しており、音響開口部が大きく、横方向の分解能がクリアになり、信号対雑音比が向上し、画像処理品質が向上しています。図 1-1 に、システムの概略ブロック図を示します。

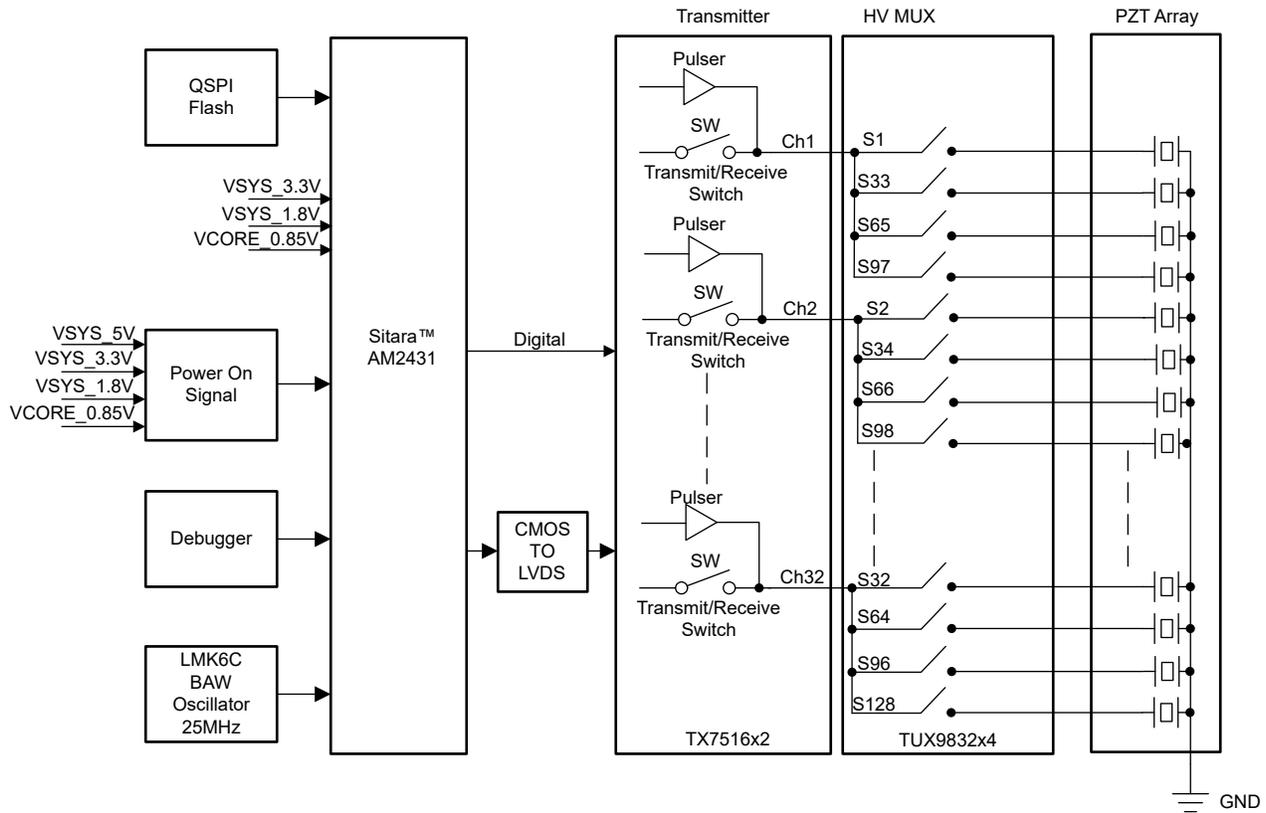


図 1-1. システムの概略ブロック図

この設計は、4 個の TMUX9832 デバイスを採用しています。このデバイスは、容量性負荷を放電するためにドレイン (Dx) ピンにブリード抵抗を内蔵しており、トランスデューサとフロントエンドメインボードとの間のコンパクトなインターフェイスを実現できます。TX7516 は 16 チャンルのトランスミッタです。この設計では 2 個の TX7516 デバイスを使用して、配線とトランスミッタを約 75% 削減しています。

ビームフォーミングプロセスを簡素化するため、システムにはトランスミッタデバイス (TX7516) にビームフォーミングパターンジェネレータが内蔵されており、高性能の汎用マイコン (AM2431) 経由でパルス転送を制御します。複雑なビームフォーミングは、最大レート of 50MHz を持つシリアルペリフェラルインターフェイス (SPI) のみを使用して実現できます。さらに、プログラマブルリアルタイムユニット (PRU) IO を使用して TMUX9832 デバイスの SPI を制御できます。この IO は、TMUX9832 で最大 100MHz をサポートします。

1.1 主なシステム仕様

表 1-1. 主なシステム仕様

パラメータ	仕様	詳細
システム入力電圧 (V_{IN})	12V (電源)	
スイッチャー出力電圧 (正)	5.5V	パワー モジュール、外部インダクタは不要
+5V 出力	5V, 800nV _{RMS} (10Hz ~ 100kHz)	
スイッチャー出力電圧 (負)	-5.5V	パワー モジュール、反転降圧トポロジ
-5V 出力	-5V, 16.48μV _{RMS}	
TX7516 低ノイズ LDO 付き電源レール	+5V (800mA)、 -5V (800mA) 1.8V (400mA)	フローティング低ドロップアウト (LDO) レギュレータのパワー アップ時のサージ電流 ($\pm 5V$)。この表は、TX7516 の最大サージ電流のみを示しています。
スイッチャー出力電圧 (デジタル IO)	0.85V, 1.8V, 3.3V	
High 電圧出力	最大 $\pm 80V$ (300mA)、 最大 $\pm 40V$ (300mA)	
SEPIC スイッチ周波数	150kHz	100kHz に切り替え可能
SEPIC 出力電圧リップル	出力電圧の 1%	
負荷抵抗	220Ω 220pF	
BF_CLK 入力	200MHz	
ビームフォーマ	あり	オンチップ ビームフォーマ
パルサ出力モード	CW モード、B モード、エラストグラフィ	
TMUX9832 制御モード	デイジーチェーン付きシングルエンド SPI	
MCU ブート モード	QSPI、非ブート、ユニバーサル非同期レシーバ トランスミッタ (UART)	
SPI の帯域幅	最大 50MHz (SPI ペリフェラル)、 100MHz (PRU IO)	

2 システム概要

2.1 ブロック図

図 2-1 に、システム全体のブロック図を示します。

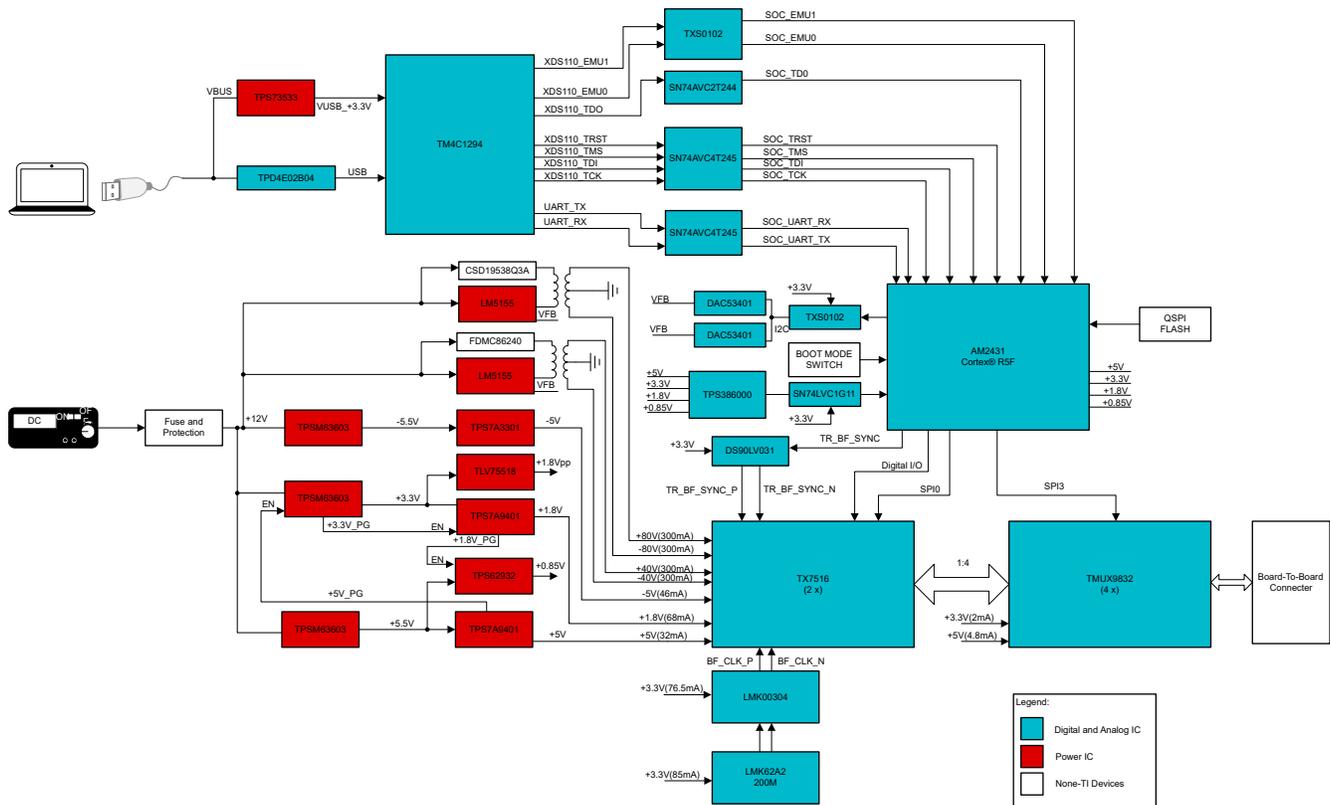


図 2-1. TIDA-010256 システム全体ブロック図

低電圧電源 (LVPS) は主に、超音波システムのマイコン、FPGA、デジタル IO、アナログ電源で使用されています。TI は、低ノイズ、小型サイズ、高効率、使いやすい設計、低コスト、迅速な製造を可能にする、ローパワー電源設計にモジュールを使用することを推奨します。

TI は、低ノイズで高効率の TPSM63603 モジュールの使用を推奨します。このモジュールは、12V バス電圧を $\pm 5.5V$ 、3.3V に変換します。TX7516 および TMUX9832 アナログレール用の低電圧電源の場合、各 DC/DC コンバータの後段に低ノイズ LDO TPS7A9401 を接続し、電源ノイズを除去してより高い PSRR を実現します。MCU に関しては、TPS62932、TLV75518 から FPGA コアに電力を供給します。

TI は、さまざまな超音波システム向けに、複数の高電圧電源トポロジを提供しています。ハンドヘルドまたはポータブル超音波機器では、軽負荷時の高効率と全体の小型化を実現するために、SEPIC と CUK を組み合わせた高電圧トポロジがこれらの用途向けに設計されています。この設計では、LM5155 非同期昇圧コントローラを使用して外付けの金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) を駆動し、4 チャンネルの高電圧電源出力を提供します。また、高負荷時のせん断波エラストグラフィテスト中に TX7516 に電力を供給するために、外部高電圧入力インターフェイスを確保しています。

クロック信号の位相シフト (周波数ドメイン) とジッタ (時間ドメイン) は、超音波画像処理の品質に影響を与える重要なパラメータであり、高い位相ノイズは多くの場合、画像アーチファクトを引き起こす可能性があります。したがって、この設計では、高性能、低ジッタの標準的な発振器 LMK62A2 (新規設計には LMK62D を推奨) と超低ジッタのバッファ LMK00304 を使用し、低ジッタで高品質のクロック信号を TX7516 に供給します。

TMUX 出力は基板間コネクタを介して負荷ネットワークに接続する必要があります。負荷は 220Ω の抵抗と 220pF のコンデンサを並列に接続した形を取ります。

2.2 設計上の考慮事項

2.2.1 高電圧発生回路

図 2-2 に、高電圧トポロジを示します。このトポロジは、12V バス電源から $\pm 80V$ および $\pm 40V$ の電源を生成し、SEPIC および Cuk 回路経路で TX7516 に電力を供給します。このセクションでは、主に SEPIC 回路設計手順 ($\pm 80V$ 電源レール) と主なデバイスの選択について説明します。

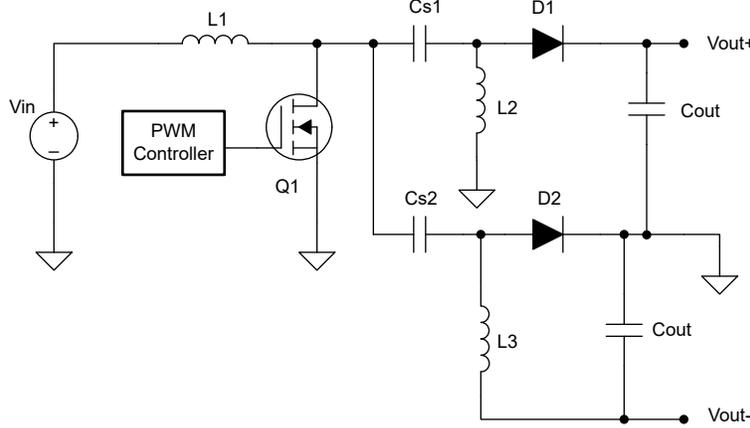


図 2-2. 高電圧電源トポロジ

表 2-1. 高電圧電源の計算方法

パラメータ	計算方法	結果
デューティサイクル	$D_{\max} = \frac{V_{\text{out}} + V_d}{V_{\text{inmin}} + V_{\text{out}} + V_d}$	87.3% ここで、 • $V_d \cong 0.7V$ • $V_{\text{inmin}} = 11.7V$
スイッチ周波数	『LM5155x 2.2MHz の入力範囲の広い非同期昇圧、SEPIC、フライバックコントローラ』データシートの最大デューティサイクルと周波数との関係のグラフによると、スイッチング周波数を 100kHz まで下げることができます。	150kHz、100kHz
インダクタ	$L1 = L2 = L3 = \frac{V_{\text{inmin}} \times V_{\text{inmax}} \times D_{\max}}{2 \times I_{\text{out}} \times V_{\text{out}} \times 0.4 \times f_{\text{SW}}} = 42.55\mu\text{H}, n = 0.88$ $I(L1_{\text{peak}}) = \frac{I_{\text{out}} \times (V_{\text{out}} + V_d) \times \left(1 + \frac{0.4}{2}\right)}{V_{\text{inmin}} \times n} = 2.81\text{A}$ $I(L2_{\text{peak}}) = I_{\text{out}} \times \left(1 + \frac{0.4}{2}\right) = 0.36\text{A}$	$L1 = 47\mu\text{H}$, DCR = 0.0459 Ω , $I_{\text{sat}} = 3.8\text{A}$ $L2 = 47\mu\text{H}$, DCR = 0.095 Ω , $I_{\text{sat}} = 1.45\text{A}$
パワー MOSFET Q1	$V_{\text{peak}} = V_{\text{in}} + V_{\text{out}} + V_d = 12 + 100 + 0.7 = 112.7V$ $I_{Q1\text{RMS}} = I_{\text{out}} \times \sqrt{\frac{(V_{\text{out}} + V_{\text{min}} + V_d) \times (V_{\text{out}} + V_d)}{V_{\text{inmin}}^2}} = 2.21\text{A}$ $P_{Q1} = I_{Q1\text{RMS}}^2 \times R_{\text{DS(on)}} \times D_{\max} + (V_{\text{inmin}} + V_{\text{out}}) \times I_{Q1\text{peak}} \times \frac{Q_{\text{GD}} \times f_{\text{sw}}}{I_{\text{G}}} = 0.249\text{W}$	FDMC86240 150V、4.6A MOSFET $T_{\text{J(MAX)}} = 150^\circ\text{C} > T_{\text{J}}$ ここで、 • $R_{\text{DS(on)}} = 0.0447\Omega$ • $Q_{\text{GD}} = 2.3\text{nC}$ • $I_{\text{G}} = 1.5\text{A}$ • $T_{\text{J}} = P_{Q1} \times R_{\theta\text{JA}} + T_{\text{A}} = 0.249 \times 53 + 25 = 38.197^\circ\text{C}$

表 2-1. 高電圧電源の計算方法 (続き)

パラメータ	計算方法	結果
ダイオード D1、D2	$V_{\text{reverse}} \geq V_{\text{inmax}} + V_{\text{outmax}} = 92\text{V}$ $I_{\text{peak}} \geq I_{L1\text{peak}} + I_{L2\text{peak}} = 3.17\text{A}$ $P_d = I_{\text{out}} \times V_d = 0.21\text{W}$	MBRS4201T3G ショットキー、200V、4A ここで、 • $V_d = 0.7\text{V}$
カップリング コンデンサ Cs1、Cs2	$I_{\text{cprmsmax}} = I_{\text{out}} \times \sqrt{\frac{V_{\text{out}} + V_d}{V_{\text{inmin}}}} = 0.788\text{A}$ <p>C_s のターゲットリップルが 0.8V 未満の場合は、次の式に従います。</p> $\Delta_{\text{cp}} \leq \frac{I_{\text{out}} \times D_{\text{max}}}{C_s \times f_{\text{SW}}} + \text{ESR} \times \max(I_{L1\text{peak}}, I_{L2\text{peak}})$ $C_s \text{ must be } \geq \frac{I_{\text{out}} \times D_{\text{max}}}{\Delta_{\text{cp}} \times f_{\text{SW}}} = 2.182\mu\text{F}$ $\text{ESR} \leq \frac{\Delta_{\text{cp}}}{\max(I_{L1\text{peak}}, I_{L2\text{peak}})} = 285\text{m}\Omega$	$C_{s1} = C_{s2} = 2.2\mu\text{F}$
出力コンデンサ	$I_{\text{cout, RMS}} = I_{\text{out}} \times \sqrt{\frac{D_{\text{max}}}{1 - D_{\text{max}}}} = 0.787\text{A}$ <p>C_{out} のターゲットリップルが $V_{\text{out}} \times 1\%$ 未満の場合は、次の式に従います。</p> $C_{\text{out}} \text{ must be } \geq \frac{I_{\text{out}} \times D_{\text{max}}}{\Delta_{\text{cout}} \times f_{\text{SW}}} = 2.18\mu\text{F}$ $\text{ESR} \leq \frac{\Delta_{\text{cout}}}{I_{L1\text{peak}} + I_{L2\text{peak}}} = 252\text{m}\Omega$	18122C105JAT2A \times 2 200V
入力コンデンサ	$C_{\text{inmin}} = \frac{P_{\text{out}}}{V_{\text{supplymin}} \times (1 - D)} \times \frac{1}{\Delta V_{\text{supply}} \times f_{\text{SW}}} = 6.95\mu\text{F}$	10 μF 、25Vdc ここで、 • $\Delta V_{\text{supply}} = 0.25\text{V}$

表 2-1. 高電圧電源の計算方法 (続き)

パラメータ	計算方法	結果
補償	$R_{FBB} = 11k\Omega, R_{FBT} = 618k\Omega$ $F_{RHPZ} = \frac{(1 - D_{max})^2 \times V_{out}}{2\pi D_{max} \times L_2 \times 0.5 \times I_{out}} = 33.37kHz$ $F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 \times C_s}} = 15.651kHz$ $F_{cross} = \frac{F_R}{6} = 2.608kHz$ $R_{comp} = \frac{2\pi \times C_{out} \times R_s \times V_{out}^2 \times F_{cross} \times (1 + D_{max})}{G_{comp} \times g_m \times V_{inmin} \times D_{max}}$ $= \frac{2 \times \pi \times 2.2 \times 10^{-6} \times 0.01 \times 80 \times 80 \times 2608 \times 1.873}{0.142 \times \frac{2mA}{V} \times 11.7 \times 0.873} = 1.49k\Omega$ $F_{Z_EA} = \sqrt{F_{cross} \times \frac{1}{\pi \times C_{out} \times \frac{V_{out}}{I_{out}}}} = 1189.55Hz$ $C_{comp} = \sqrt{\frac{C_{out} \times \frac{V_{out}}{I_{out}}}{4\pi R_{comp}^2 \times F_{cross}}} = 89.79nF$ $C_{HF} = \frac{C_{comp} \times L_2}{C_{comp} \times (1 - D_{max})^2 \times \frac{V_{out}}{I_{out}} \times R_{comp} - L_2} = 7.39nF$	$R_{18} = 1.5k\Omega$ $C_{26} = 100nF$ $C_{25} = 6.8nF$ $R_s = 10m\Omega$

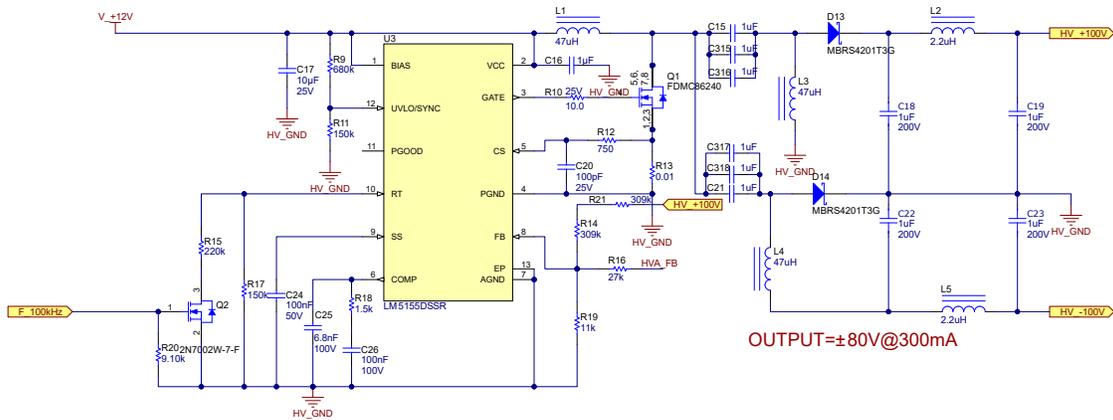
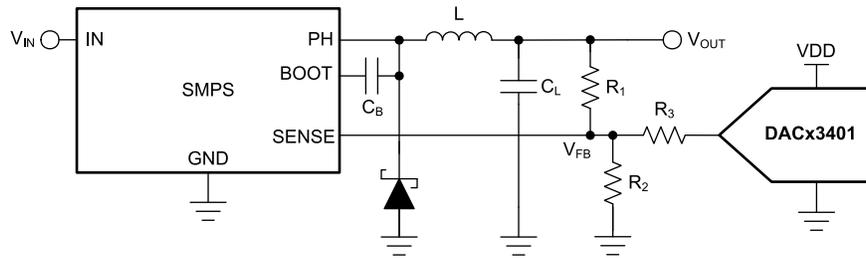


図 2-3. 80V 高電圧電源の回路図

±40V の高電圧出力チャネルの計算も、表を参照しています。また、出力電圧のレギュレーションをより簡単にするため、10 ビットの DAC53401 を使用して SEPIC の正電圧帰還ループを制御しています。図 2-4 に、±80V 出力チャネルの DAC トリム回路を示します。


図 2-4. DACx3401 電源制御

DAC53401 は、不揮発性メモリを使用して異なるプログラムがされていない限り、パワーアップ時にデフォルトで設定されるハイインピーダンスパワーダウンモードを備えています。D/A コンバータ (DAC) の出力がハイインピーダンスの場合、R3 を流れる電流は 0 になり、SEPIC は公称出力電圧に設定されます。これにより、DAC の電源投入時に R3 を流れる電流がなくなることも回避されます。10 μ A の電流制限を仮定し、式 1 を使用して R3 の値を計算します。

$$R_3 = \frac{|V_{DACmax} - V_{FB}|}{I_{set}} = \frac{\frac{1000}{1024} \times 1.21 \times 3 - 1}{10\mu A} = 25.45k \quad (1)$$

ここで、

- DAC コードは 1000 に制限
- 内部リファレンス = 1.21V
- ゲイン = 3
- R3 は 27k Ω を選択

式 2 に基づき、RB が 11k Ω のとき DAC の出力コードが 0 であると仮定すると、RT は 618k Ω と計算できます。DAC コードが 1024 の場合、計算された出力電圧は負になります。したがって、DAC コードの最大値は 924 に制限され、出力電圧は約 5.09V になります。

$$V_{OUT} = \left(1 + \frac{R_T}{R_B} + \frac{R_T}{R_3}\right) \times V_{ref} - \frac{R_T}{R_3} \times \frac{Code}{1024} \times V_{DACref} \times Gain \quad (2)$$

2.2.2 低電圧スイッチ モード電源

TPSM63603 同期整流降圧パワー モジュールは、パワー MOSFET、シールド付きインダクタ、受動部品を Enhanced HotRod™ QFN パッケージに実装した、高集積 36V、3A DC/DC デバイスです。このモジュールは、VIN と VOUT のピンをパッケージの角に配置し、入力および出力コンデンサのレイアウト配置を最適化しています。モジュールの下面には大きな 4 つのサーマル パッドがあるため、単純なレイアウトが可能で、製造時の扱いも容易です。

TPSM63603 モジュールの設計は、表 2-2 に示す対応する入力パラメータを持つ WEBENCH® 回路設計および選択シミュレーション サービスに基づいて迅速に行うことができます。

表 2-2. 5.5V 電源レールの WEBENCH® シミュレーション パラメータ

パラメータ	標準値	WEBENCH 入力
DC 入力	12V	$V_{inmin} = 11.7V$ 、 $V_{max} = 12V$
出力電圧	+5.5V	5.5V
出力電圧リップル	できるだけ低い値	±5%
出力電流	3A	3A
最大周囲温度	-40°C ~ 105°C	30°C
外部同期周波数	あり	500kHz
En_Sync ピンを UVLO 付きに設定	該当なし	あり

表 2-3. 3.3V 電源レールの WEBENCH® シミュレーション パラメータ

パラメータ	標準値	WEBENCH 入力
DC 入力	12V	$V_{inmin} = 11.7V$ 、 $V_{max} = 12V$
出力電圧	+3.3V	3.3V
出力電圧リップル	できるだけ低い値	±5%
出力電流	3A	3A
最大周囲温度	-40°C ~ 105°C	30°C
外部同期周波数	あり	500kHz
En_Sync ピンを UVLO 付きに設定	該当なし	あり

図 2-5 および 図 2-6 に、それぞれ 5.5V と 3.3V に対して WEBENCH から得られた回路図を示します。

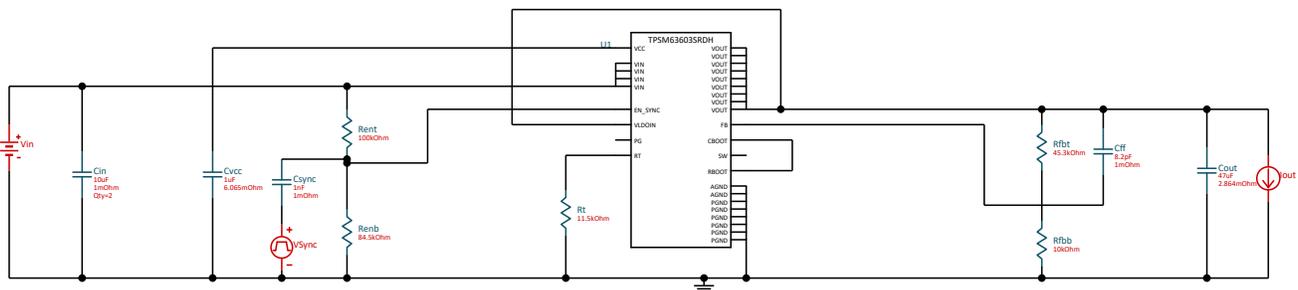


図 2-5. 正の 5.5V 電源レールの回路図

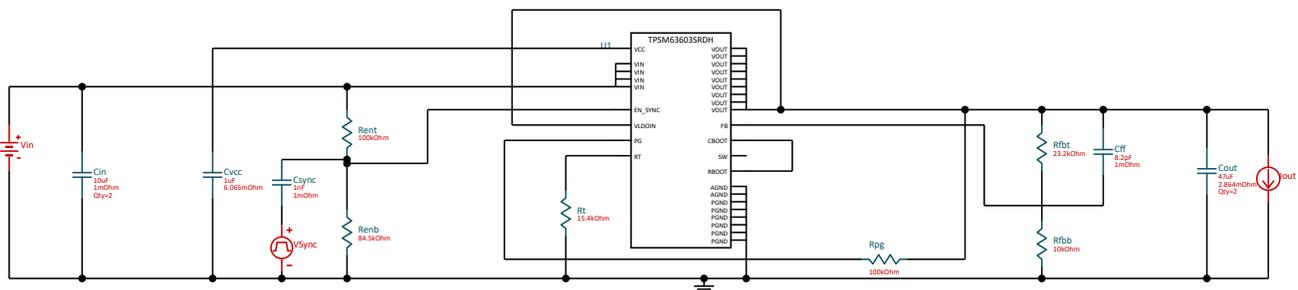


図 2-6. 正の 3.3V 電源レールの回路図

図 2-7 ~ 図 2-10 に、効率と出力電圧のピーク ツー ピークのグラフを示します。

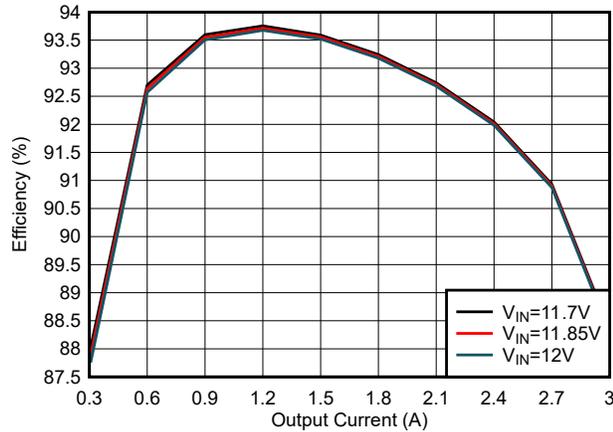


図 2-7. 12V ~ 5.5V の効率

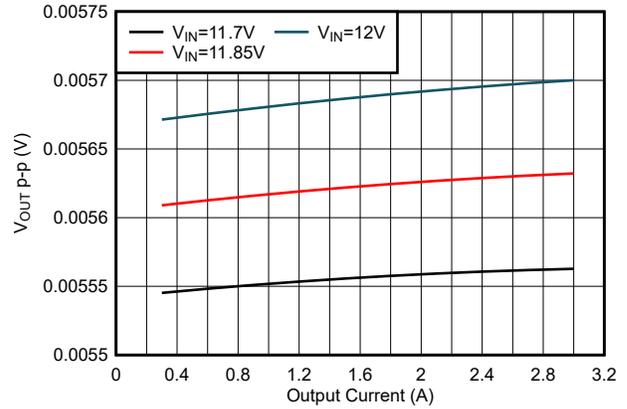


図 2-8. 12V ~ 5.5V の V_{p-p} ノイズ

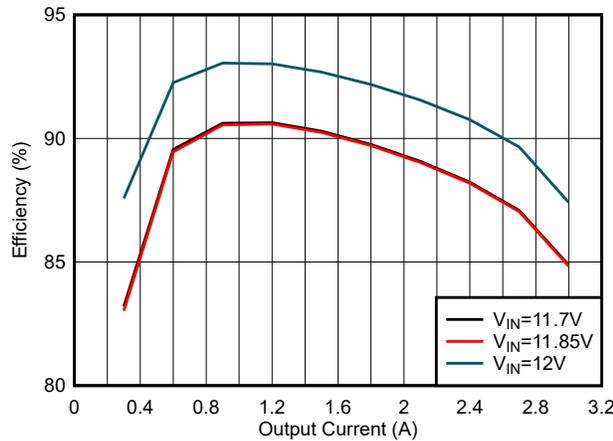


図 2-9. 12V ~ 3.3V の効率

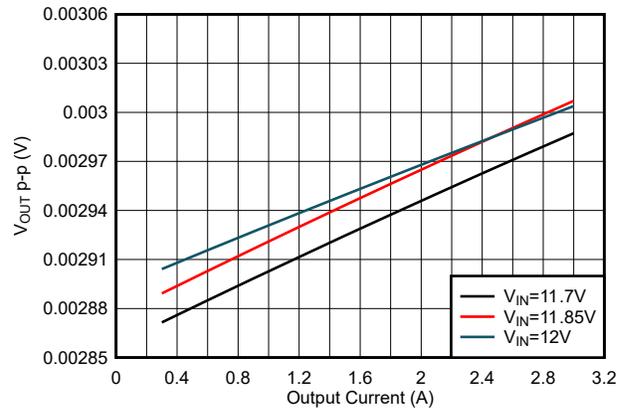


図 2-10. 12V ~ 3.3V の V_{p-p} ノイズ

-5.5V の出力は同じパラメータに合わせて設計できますが、『TPSM63603 高密度、3V ~ 36V 入力、1V ~ 16V 出力、Enhanced HotRod™ QFN パッケージ搭載 3A パワー モジュール』データシートの「-5V 出力での反転昇降圧レギュレータ」セクションに従って、反転降圧として構成する必要があります。超音波機器のスイッチ モード電源回路はすべて、スイッチング周波数の同期を必要とするため、追加の同期クロック入力が必要で、-5.5V の同期信号には入力レベル シフトが必要です。『反転昇降圧コンバータの動作』アプリケーション ノートも参照してください。

DC/DC 出力は TPS74001 と TPS733031 の各 LDO デバイスに対応しており、アナログ電源のノイズ低減に役立ちます。TPS7A94 は超低ノイズ (0.46 μ V_{RMS})、低ドロップアウト (LDO) の電圧レギュレータで、わずか 150mV のドロップアウトで 1A を供給でき、TPS7A3301 の出力ノイズを 16 μ V_{RMS} に低減できます。

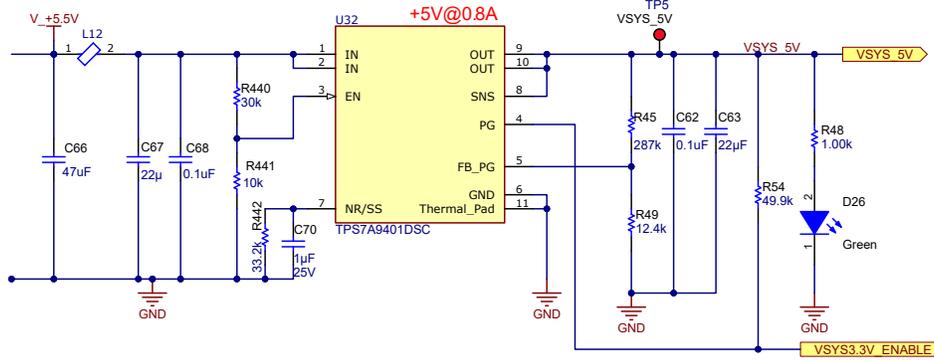


図 2-11. 正の 5V 回路図

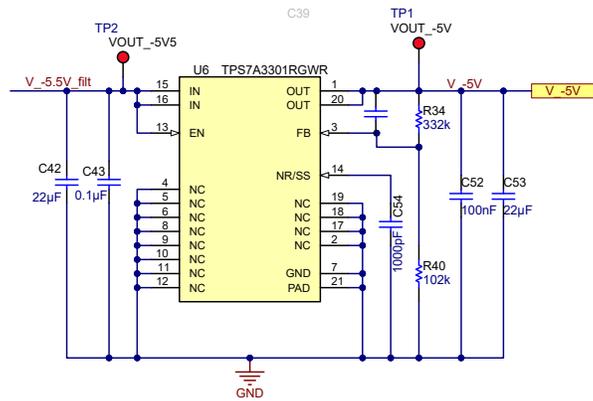


図 2-12. 負の 5V 回路図

2.2.3 Sitara™ MCU AM2431 リセットと電源レール監視回路

AM2431 プロセッサのウェークアップは、特定のパワーアップシーケンシング条件を満たす必要があります。制御システム電圧の低下による誤差を防止するために、1 次側電源レールを監視する追加回路があります。TPS386000 は、プログラマブルな遅延とウォッチドッグタイマを備えた、オープンドレインのクワッド電源電圧スーパーバイザです。図 2-13 に、リセット回路の回路図を示します。

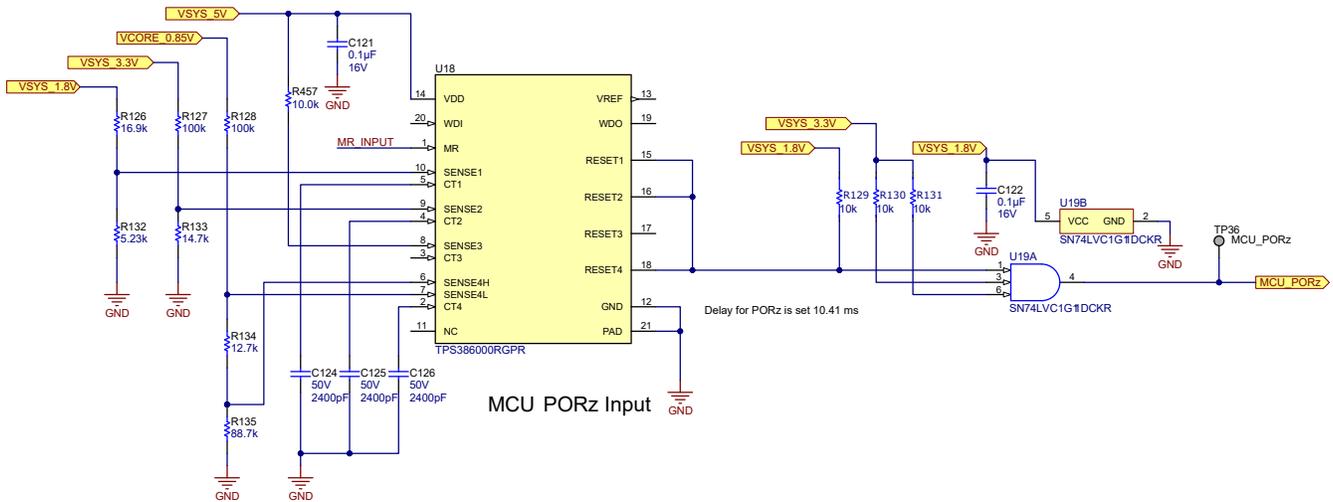


図 2-13. リセット回路の回路図

指定された SENSEx ピンの電圧がデータシートの V_{ITN} (標準値 400mV) より低いと、対応するリセット出力がアサートされます。この設計では、スレッショルド電圧は 1.8V の場合は 1.692V、3.3V の場合は 3.12V です。

CPU コア電源レール (0.85V) は電圧の変化に非常に敏感であり、追加のウィンドウ監視構成が必要です。TPS386000 は、回路図に示すようなウィンドウ電圧監視設計もサポートしています。この設計では、以下の式を使用してウィンドウ電圧を計算できます。

$$V_{MON(UV)} = \left(1 + \frac{R_{128}}{R_{134} + R_{135}}\right) \times 0.4 = \left(1 + \frac{100}{101.4}\right) \times 0.4 = 0.7956V \quad (3)$$

$$V_{MON(OV)} = \left(1 + \frac{R_{128} + R_{134}}{R_{135}}\right) \times 0.4 = \left(1 + \frac{100 + 12.7}{88.7}\right) \times 0.4 = 0.9082V \quad (4)$$

ユーザー定義の可変遅延時間を設定するには、CTn と GND の間に外付けコンデンサを接続する必要があります。可変遅延時間を計算するには、式 5 を使用します。

$$C_{CT(nF)} = [t_{delay(ms)} - 0.5ms] \times 0.242 = 2.39822nF \quad (5)$$

ここで、

- $t_{delay} = 10.41ms$

電源レールの出力が安定し、あらかじめ決められた遅延時間にわたって安定化された後、PORZ 信号によって出力が High にアサートされます。この信号はゲートロジック IC SN74LVC1G11DCKR のロジックレベル High に対応します。逆に、いずれかの電源レールで電圧ドロップアウトが発生するとすぐに、プロセッサはリセットされます。

2.2.4 クロックジェネレータ

このクロックは、超音波システムで重要な役割を果たし、図 2-14 に示すように、低ジッタの標準発振器 LMK62A2-200M と、構成可能な出力クロックバッファ LMK00304 を使用して構成されています。

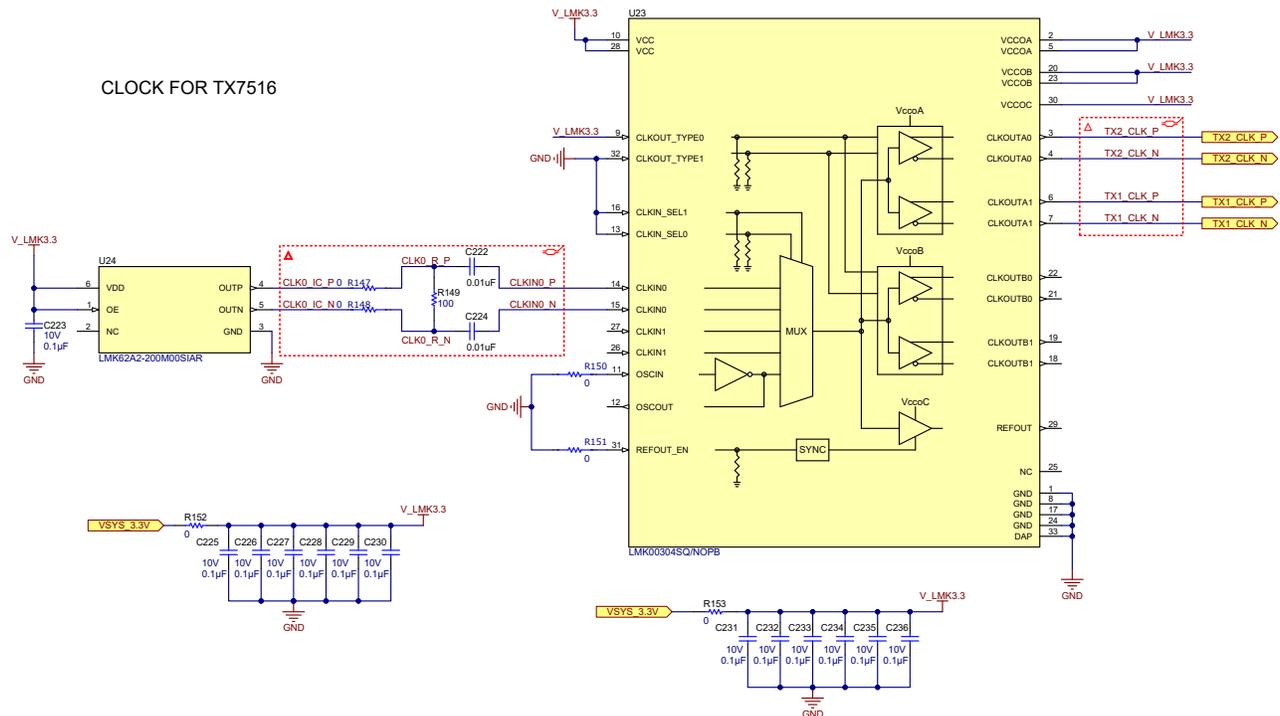


図 2-14. クロック回路

PCB 設計では、R149 を LVDS レシーバ終端の近くに配置します。

2.2.6 レイアウトガイド

TX7516 と TMUX9832 の接続には、スターまたはデージーチェーンのいずれかを使用できます。デージーチェーンパスで TMUX チャンネルがオンになると、インピーダンスの非連続性が大きくなり、深刻な信号の反射を引き起こすことが明らかになっています。TX7516 と TMUX9832 の間のスター配線トポロジは、間違いなくパルサ信号の反射を引き起こします。ワーストケースのシナリオは、信号反射のリングングが TMUX9832 の入力制限 (最大 $\pm 120V$) を上回っていることです。したがって、PCB の配線と部品配置の前にシミュレーション結果に従うことが設計のベストプラクティスです。このセクションでは、Advanced Design Systems (ADS) を使用した TMUX9832 IBIS モデルに基づく過渡シミュレーションの結果を示します。表 2-4 にシミュレーションパラメータを示します。

表 2-4. Advanced Design System 過渡シミュレーションの設定

パラメータ	ADS 設定
ステップ入力ソース	$V_{peak} = 100V$, $V_{rise} = 16.6ns$, $t_{Delay} = 10ns$
PCB の層数	16, MLSUBSTRATE16 は PCB スタックアップと同じに設定
PCB トレース	ML1CTL_C パターン長を 80mm に設定し、上層にパターンを配置し、MLSUBSTRATE16 を参照します。幅 = 5mil
負荷	TMUX9832 出力ピンで 220Ω $220pF$

図 2-16 にデージーチェーン回路図を、図 2-17 にスター接続の回路図を示します。

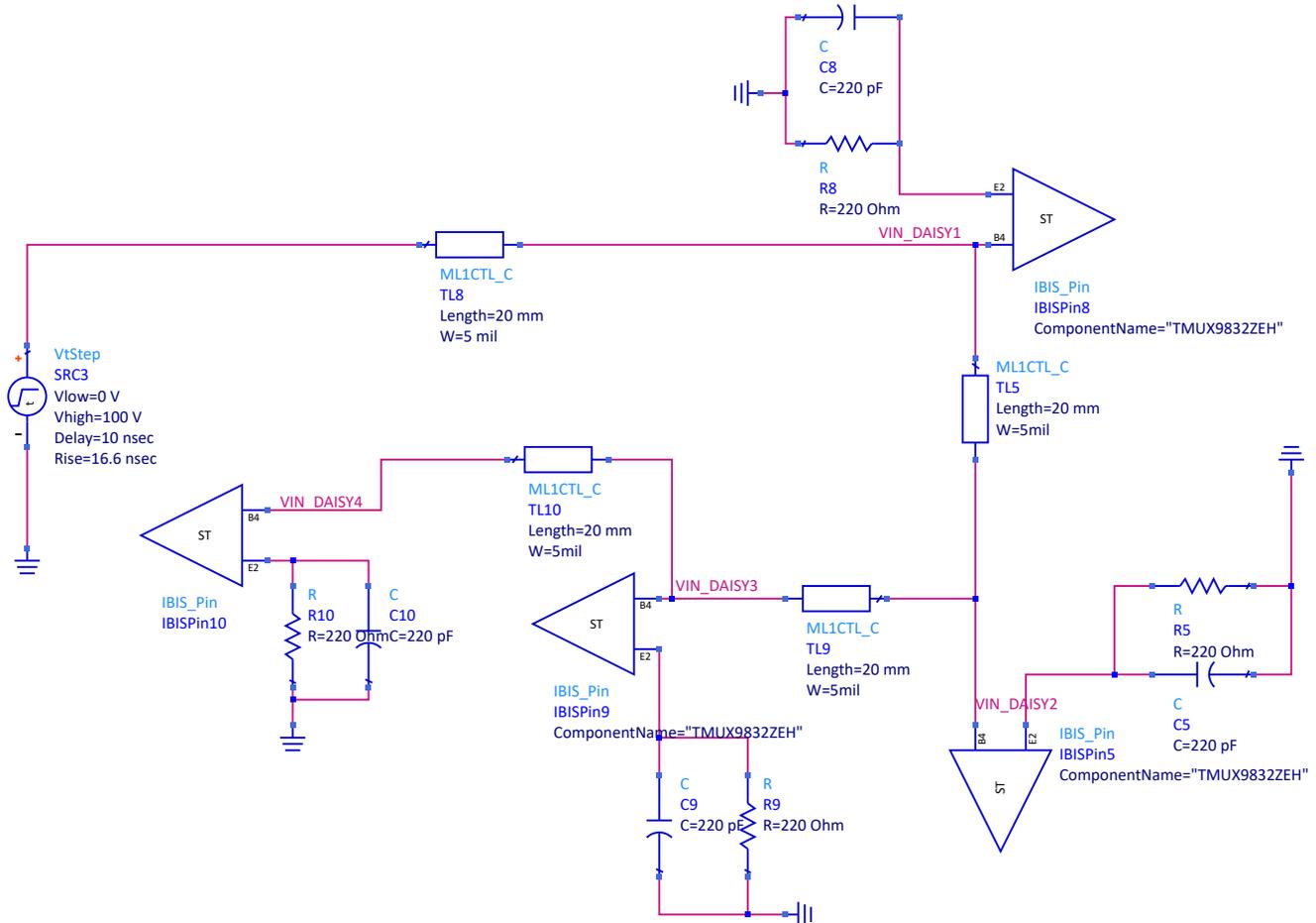


図 2-16. デージーチェーン回路図

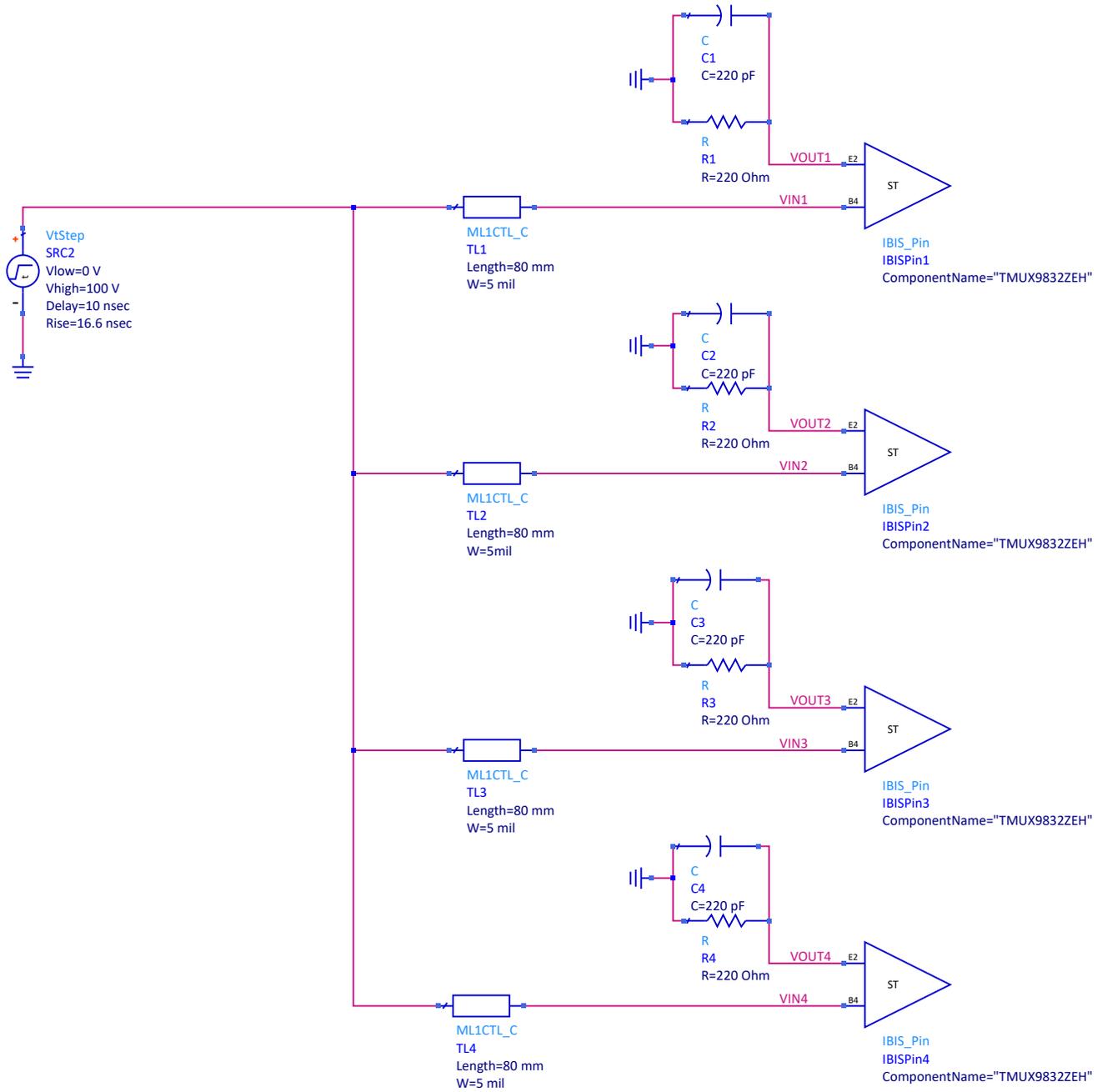


図 2-17. スター接続回路図

図 2-18 および 図 2-19 に、シミュレーション結果を示します。これらの結果から、ツリー接続時において、100V 電源に対して TMUX9832 の入力で観測可能な最大ピークリングは 107.546V に達することがわかります。デジチェーン接続の最大ピークリングは、同じ電源ですでに 120.086V を超えており、TMUX9832 の入力電圧制限を超えています。TMUX9832 入力のリングングを抑制するには、PCB のパターン長をできるだけ短くし、レイアウト前のシミュレーション結果との整合性を維持します。

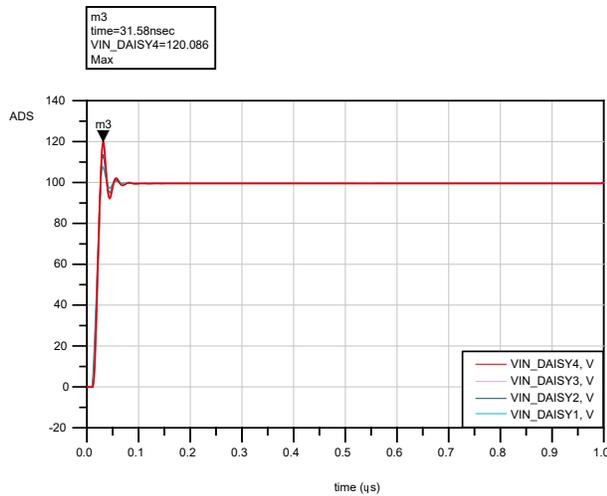


図 2-18. TMUX9832 ADS シミュレーション (デジチェーン)

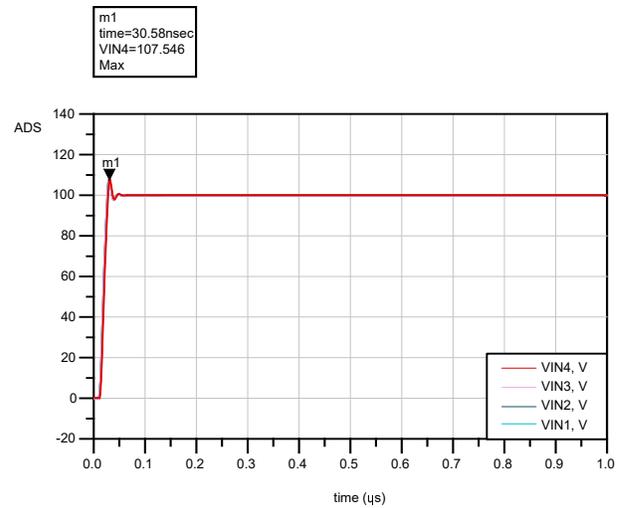


図 2-19. ADS シミュレーションの結果 (スター)

図 2-20 に部品の配置を示します。

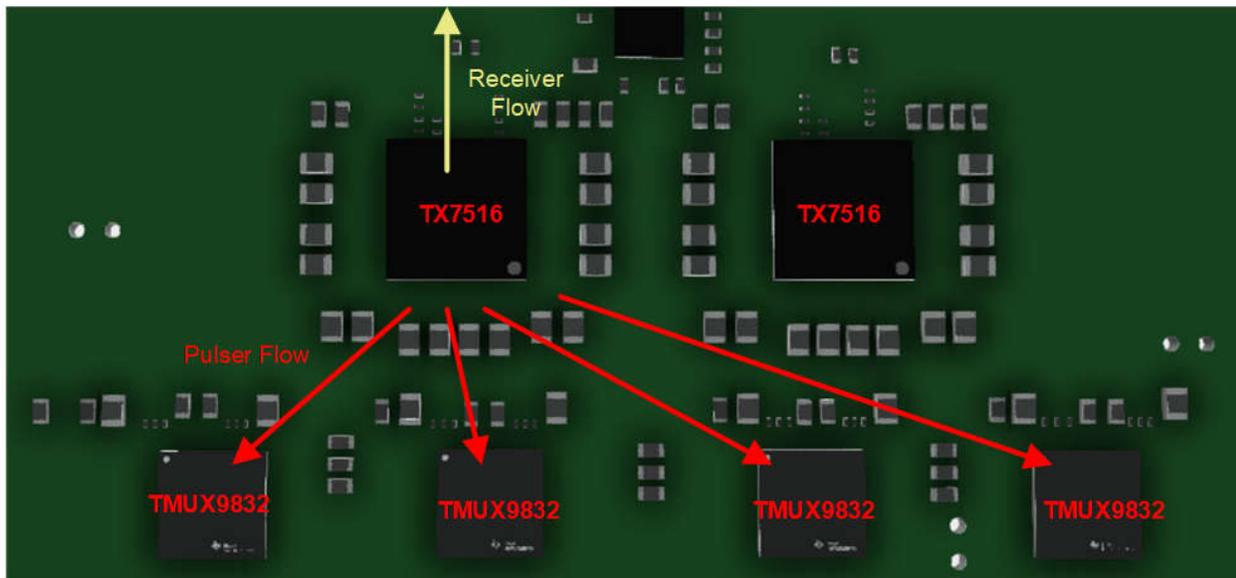


図 2-20. 部品の配置セクション

図 2-21 に、TMUX への入力信号と出力信号がどのように最適化されたかのフローを示します。赤の矢印はパルス入力
の方向を示し、黄色の矢印はパルス出力を示します。隣接するパターン間隔は、 $4W \sim 5W$ のルールに則る必要があり
ます。たとえば、PCB のパターン幅を 5mil 、間隔を $20 \sim 25\text{mil}$ に設定する必要があります。設計目標は、すべてのパル
サ信号パターンにわたって、始端から終端まで同じ GND 基準を維持することです。この目標を満たすことができない場
合は、両方の GND プレーンをビア スティッチして、連続したグランディングと均一なインピーダンスを確保してください。こ
れらのスティッチ ビアは、 200mil 以内に対称的に配置します (近い方が良い)。TX7516 の BGA ファンアウトと GND プ
レーンの分割については、『TX7516 T/R スイッチとオンチップビームフォーマを備えた、5 レベル、16 チャネルトランス
ミッタ』のデータシートと評価基板 PCB レイアウト セクションも参照してください。

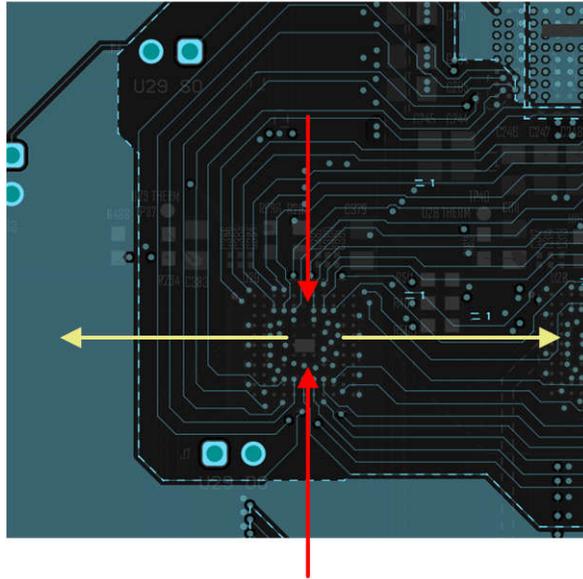


図 2-21. TMUX9832 の PCB レイアウト セクション

2.3 主な使用製品

2.3.1 TX7516

TX7516 は、超音波画像処理システム用の高度に統合された高性能トランスミッタです。本デバイスは合計 16 チャネル
の高電圧 ($\pm 100\text{V}$) の 5 レベル パルサ回路と、16 の送受信スイッチ (T/R または TR スイッチと呼びます) を備え、オンチ
ップビームフォーマ (TxBF) をサポートしています。また、オンチップのフローティング電源を内蔵しているため、高電圧電
源の必要数を削減できます。TX7516 ブロック図を図 2-22 に示します。

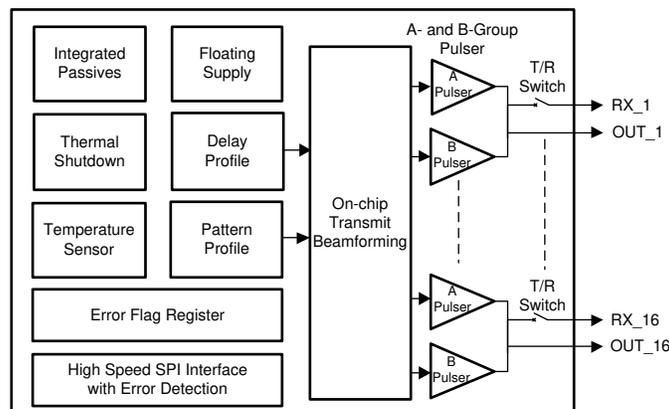


図 2-22. 概略ブロック図

2.3.2 TMUX9832

TMUX9832 は、ラッチアップ耐性を備えた 32 チャンネルの低高調波歪み、低抵抗、低静電容量の高電圧アナログスイッチ集積回路 (IC) です。各デバイスは、独立して選択可能な 32 個の 1:1 単極単投 (SPST) スイッチ チャンネルを備えています。このデバイスは +5V アナログ電源のみを必要としますが、±110V のアナログ信号をサポートできます。

TMUX9832 はまた、ドレイン (Dx) ピンにブリード抵抗を内蔵しており、圧電トランスデューサなどの容量性負荷を放電します。TMUX9832 は、医療用超音波画像処理やその他の圧電トランスデューサドライバ用途向けの優れた選択肢になります。

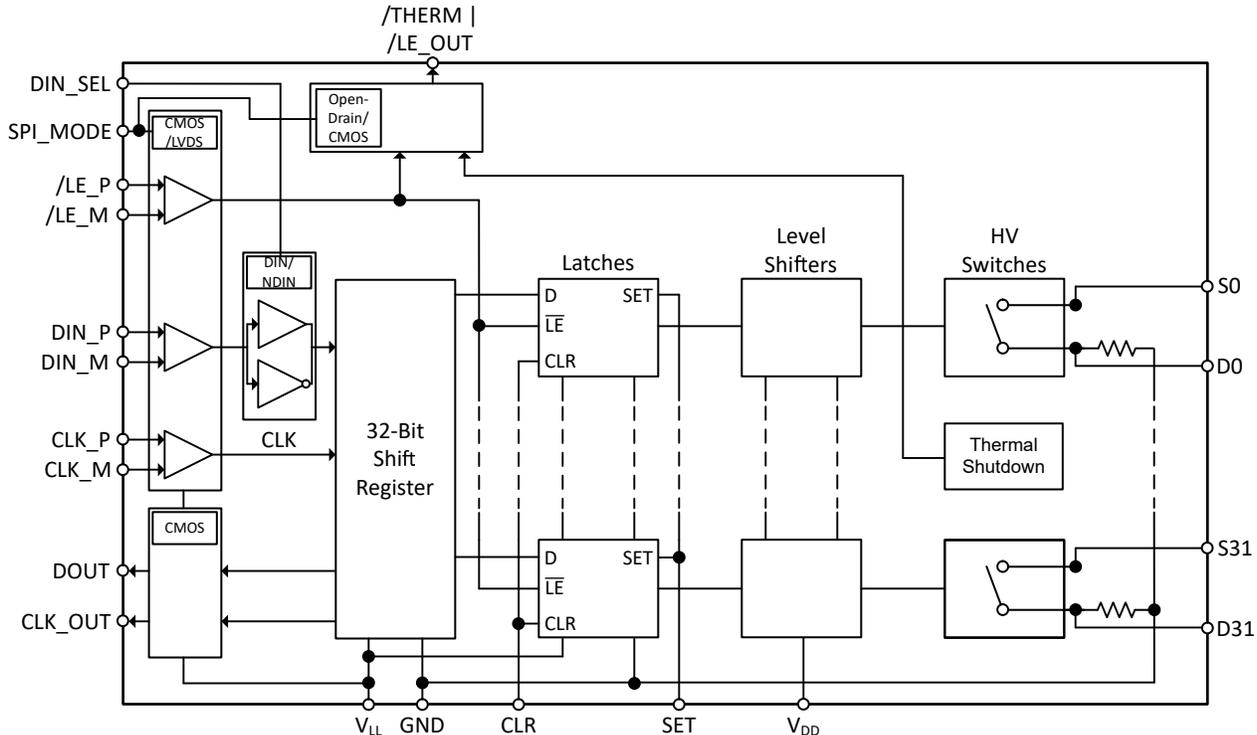


図 2-23. TMUX9832 の概略回路図

潜在的なクロック フィードスルーによる信号路のノイズを低減するために、データがシフトレジスタにロードされている間、アクティブ "Low" のラッチ イネーブルを High に保持することができます。TMUX9832 のカスケード接続可能な 32 ビットシフトレジスタは、低電圧差動信号伝送 (LVDS) モードとシングルエンド CMOS (相補型金属 酸化膜 半導体) モードにも対応しています。

2.3.3 AM2431

AM243x は、Sitara™ の産業用グレード ポートフォリオを拡張した高性能マイコンです。AM243x デバイスは、モータードライブやリモート I/O モジュールなど、リアルタイムの通信と処理を組み合わせる必要がある産業用アプリケーション向けに設計されています。AM243x ファミリーは、最大 4 つの Cortex-R5F MCU、1 つの Cortex-M4F と、Sitara のギガビット TSN 対応 PRU-ICSSG のインスタンスが 2 つ含まれ、性能がスケラブルです。SoC には、EtherCAT ターゲット用のフルプロトコルスタック、PROFINET デバイス、イーサネット/IP アダプタ、IO-Link コントローラなど、柔軟な産業用通信機能があります。PRU_ICSSG にはさらに、ギガビットおよび TSN ベースのプロトコルの機能があります。また、PRU-ICSSG を使うと、UART インターフェイス、シグマデルタ デシメーション フィルタ、アブソリュート エンコーダ インターフェイスなどの追加インターフェイスも使用できます。

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

3.1.1 TIDA-010256 の PCB の概要

図 3-1 および 図 3-2 に、TIDA-010256 PCB のラベル付きの図を示します。

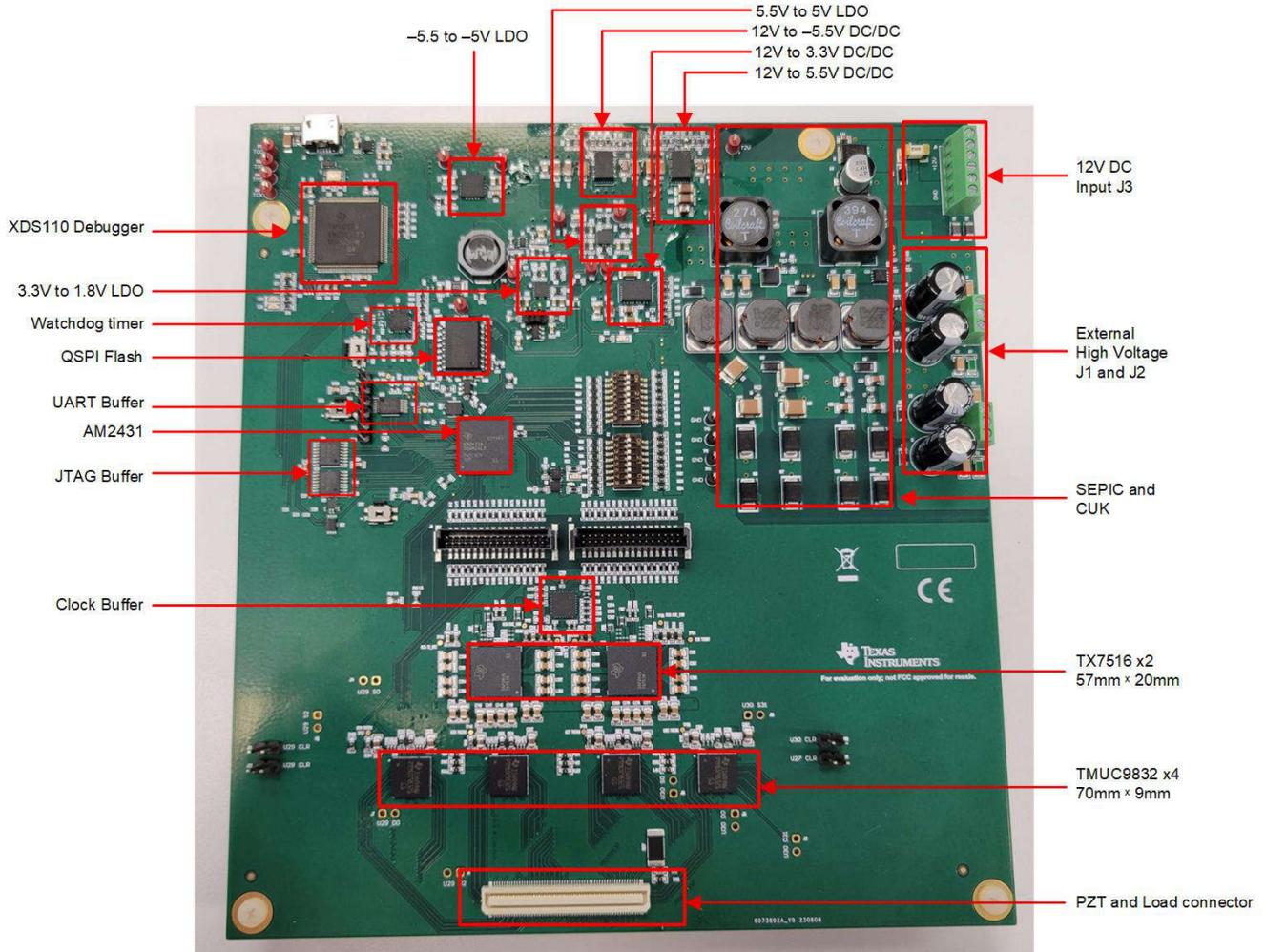


図 3-1. TIDA-010256 PCB の上面図

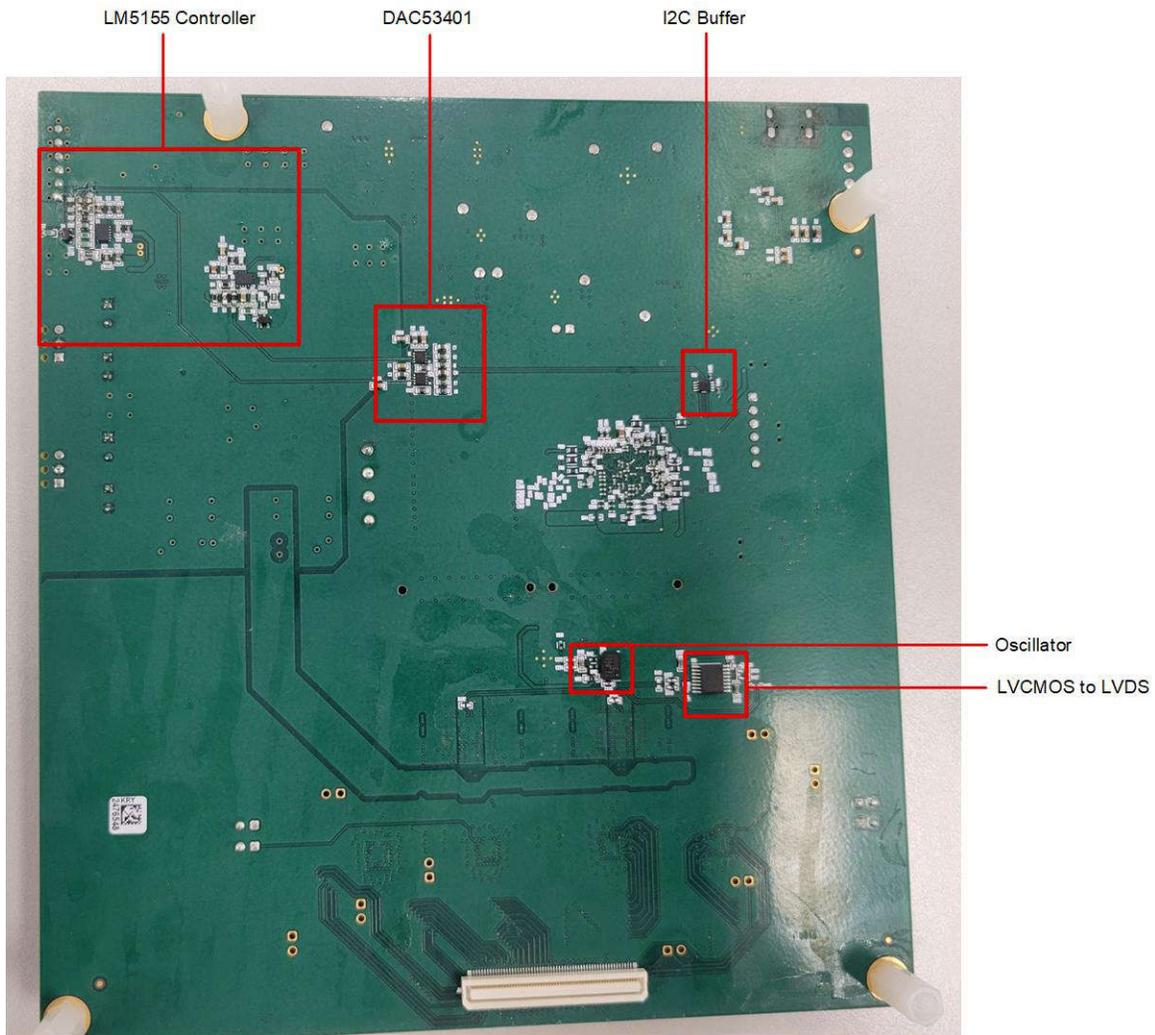


図 3-2. TIDA-010256 PCB の底面図

3.1.2 TIDA-010256 コネクタの設定

表 3-1 に、TIDA-010256 コネクタの設定を示します。

表 3-1. TIDA-010256 コネクタの設定

コネクタ	機能
J3	+12V DC 入力。3A ~ 5A を推奨します。
J1 ⁽¹⁾	±80V 外部高電圧コネクタ
J2 ⁽¹⁾	±40V 外部高電圧コネクタ
J5	USB (FPGA メザニン カード) コネクタ
J6 ⁽²⁾	外部 UART ジャンパ
J9	PZT および負荷コネクタ
J10	PZT および負荷コネクタ
J11, J12	TX7516 受信チャンネル コネクタ

- (1) 外部高電圧電源を接続する場合は、電圧が SEPIC と Cuk の両方の回路出力を超えていることを確認してください。これは、PCB 上に共有ダイオードがあり、入力電圧がオンボードでプログラムされた出力電圧を上回っている場合のみ、外部電源から基板に電力を供給できるためです。
- (2) J6 は外部デバッグ シリアル ポートを必要としません。デフォルトでは XDS110 シリアル ポートを使用します。

3.2 ソフトウェア要件

TIDA-010256 をテストするため、すべてのソフトウェアは AM2431 ソフトウェア開発キットに基づいて開発されています。ファームウェアは、一般利用できません。このソフトウェアに関するサポートについては、AM2431SDK と TI E2E 設計サポートフォーラムをご覧ください。

3.3 テスト設定

表 3-2 に、TIDA-010256 のテストセッションで使用した機器を示します。図 3-3 にテスト構成を示します。

表 3-2. TIDA-010256 のセットアップに必要な機器

試験装置	部品番号
高電圧源 ⁽¹⁾	Agilent® 6030A、 ITECH® IT6724H
低電圧源	Keithley® 2230G-30-1
オシロスコープ	Tektronix® DPO3054
プローブ	Tektronix® P5050B

(1) TIDA-010256 ボードは、500mA 電流範囲の高電圧 $\pm 100V$ 電源を 2 つ必要とします。

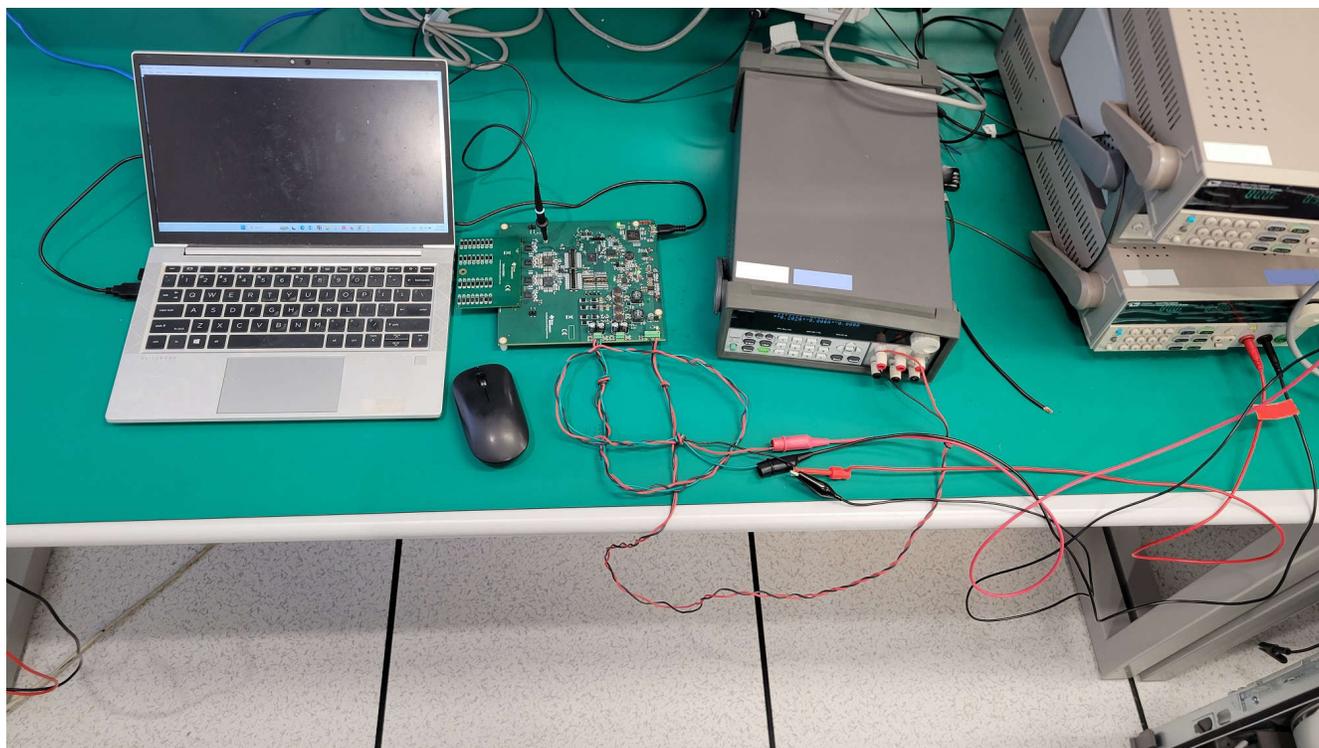


図 3-3. TIDA-010256 システムのテスト構成

このテストでは、TeraTerm 端末経由でコマンドを送信するために追加の PC が必要でした。

3.4 テスト結果

3.4.1 高電圧電源出力リップル

図 3-4 と 図 3-5 に、パッシブ フィルタの後に測定された高電圧電源ノイズの波形を示します。

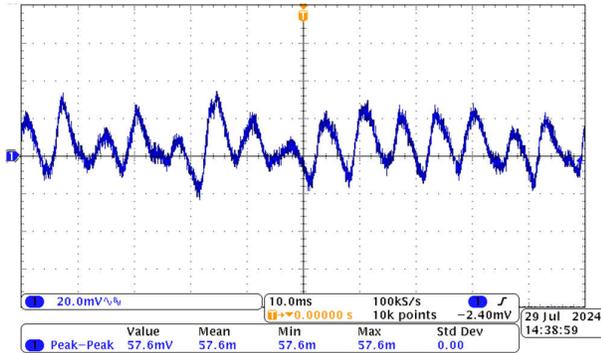


図 3-4. +80V (負荷 300mA)

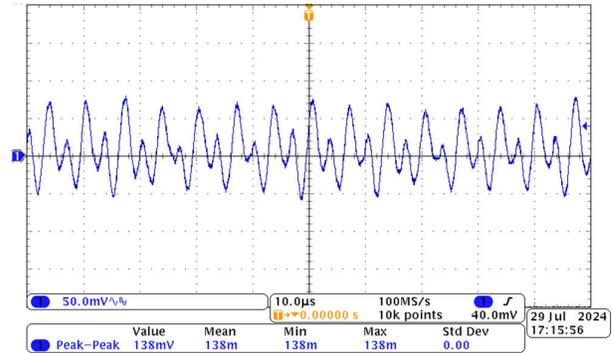


図 3-5. +40V (負荷 300mA)

3.4.2 出力波形

CW モード、B モード、エラストグラフィック モードでの TX7516 のレジスタ構成の一部を、表 3-3、表 3-4、表 3-5 に示します。パルサ入力サブステーションは各 TMUX9832 で同じであるため、テストでは最初の TMUX9832 のすべてのチャネルをオンにし、TMUX9832 出力で測定しました。負荷抵抗は 220Ω | 220pF です。

表 3-3. CW モード レジスタ構成

BF_CLK	BF_CLK_DIV	CLK_DIV	HVB 期間	CW 出力周波数
200MHz	2	2	50	1MHz

表 3-4. B モード パターン メモリ構成

ADDR	BYTE 4	BYTE 3	BYTE 2	BYTE 1
0x40	0xCA レベル = 010 (HVP_B)、 期間 = 25	0xC8 レベル = 000 (GND)、 期間 = 25	0x01 LOCAL_REP_NUM = 1	0x00 GBL_REP_NUM = 0
0x41	0x00	0xC8 レベル = 000 (GND)、 期間 = 25	0xCA レベル = 010 (HVP_B)、 期間 = 25	0xc9 レベル = 001 (HVP_A)、 期間 = 25
0x42	0x00	0x00	0x00	0xff

表 3-5. エラストグラフィック モード パターン メモリ構成

ADDR	BYTE 4	BYTE 3	BYTE 2	BYTE 1
0x40	0x55 レベル = 101 (AVDDM_HV_A)、 期間 = 10	0x51 レベル = 001 (AVDDP_HV_A)、 期間 = 10	0x63 LOCAL_REP_NUM = 99	0x13 GBL_REP_NUM = 19
0x41	0x00	0x00	0xff	0x00

図 3-6 ~ 図 3-9 に、CW モード、B モード、エラストグラフィー モードの波形を示します。

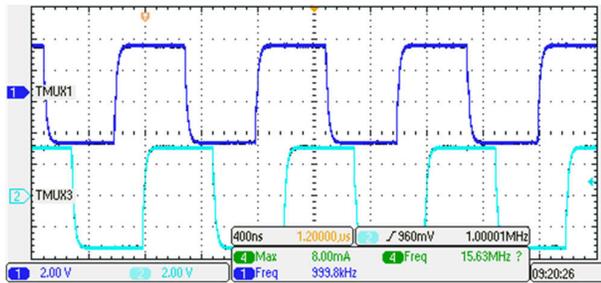


図 3-6. CW モードの波形

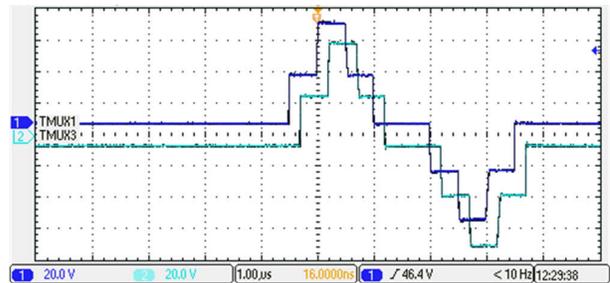


図 3-7. B モードの波形

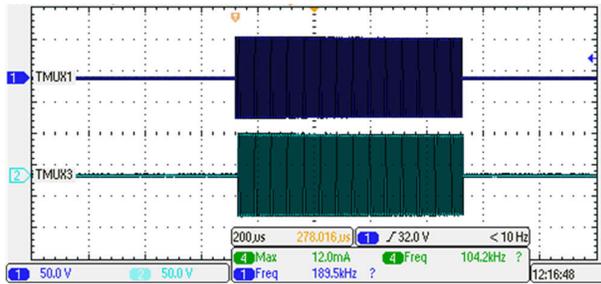


図 3-8. エラストグラフィー モードの波形

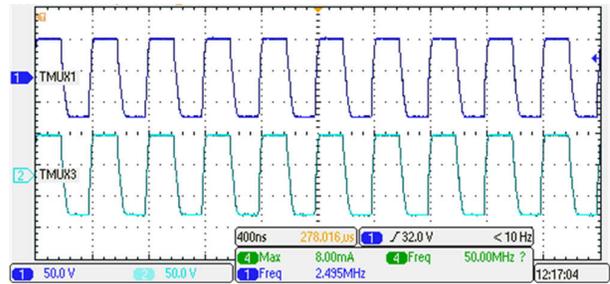


図 3-9. エラストグラフィー モードの波形 (拡大)

3.4.3 温度テスト

テスト中、パルス出力は実際の PZT プローブに接続されました。次に、連続せん断波出力の 10 分後に TMUX9832 と TX7516 の温度上昇をテストしました。TMUX9832 デバイスは次の条件で使用されました。

- 16 チャンネルのみがオープン
- エラストグラフィック パルス繰り返し周波数 (PRF) = 20Hz
- 周波数 = 2.5MHz
- 遷移パルスの数 = 1250
- 70V のピーク電圧

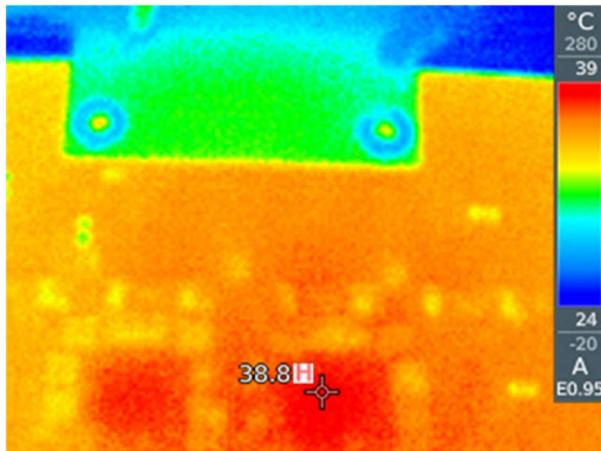


図 3-10. START

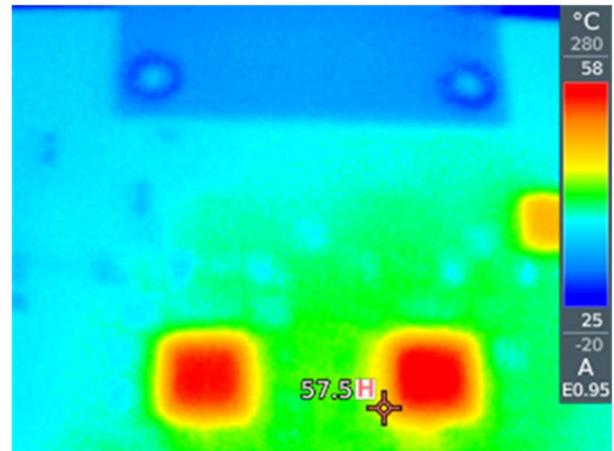


図 3-11. 10 分

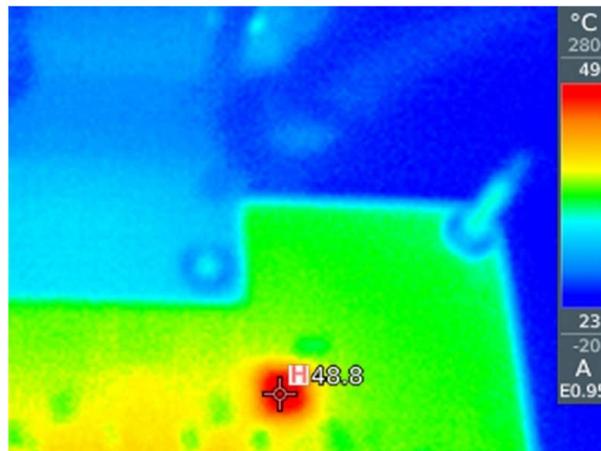


図 3-12. TMUX9832 (拡大)

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-010256](#) 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-010256](#) 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

**XDS110 デバッグ
プローブ** XDS110 デバッグ プローブは、テキサス インストルメンツ (TI) のマイコン、マイクロプロセッサ、DSP® ベースのシステムを中心とした組込みシステムのデバッグとトレースを行うための低コストのシステムです。

ソフトウェア

MCU-PLUS-SDK-AM243X AM243x Sitara™ マイコン向けソフトウェア開発キット (SDK)

4.3 ドキュメントのサポート

1. テキサス インストルメンツ、[『TMUX9832 高電圧バイアスなし、電源電圧を超える 220V 1:1、ラッチアップ耐性付き 32 チャンネル スイッチ』データシート](#)
2. テキサス インストルメンツ、[『TX7516 T/R スイッチとオンチップビームフォーマを備えた、5 レベル、16 チャンネルトランスミッタ』データシート](#)
3. テキサス・インストルメンツ、[『AM243x Sitara™ マイクロコントローラ』データシート](#)
4. テキサス インストルメンツ、[『LM5155x 2.2MHz の入力範囲の広い非同期昇圧、SEPIC、フライバック コントローラ』データシート](#)
5. テキサス インストルメンツ、[『LMK00304 3GHz、4 出力、超低付加ジッタの差動クロック バッファ/レベルトランスレータ』データシート](#)
6. テキサス インストルメンツ、[『TPSM63603 高密度、3V ~ 36V 入力、1V ~ 16V 出力、Enhanced HotRod™ QFN パッケージ搭載 3A パワー モジュール』データシート](#)
7. テキサス インストルメンツ、[『TPS7A94 1A、超低ノイズ、超高 PSRR、低ドロップアウトレギュレータ』データシート](#)
8. テキサス インストルメンツ、[『超音波スマート プローブ用バイポーラ高電圧 SEPIC 電源の設計』アプリケーション ノート](#)

4.4 サポート・リソース

テキサス・インストルメンツ 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・インスト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・インスト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・インストルメンツの[使用条件](#)を参照してください。

4.5 商標

E2E™, Sitara™, and テキサス・インストルメンツ E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

WEBENCH® is a registered trademark of Texas Instruments.

Agilent® is a registered trademark of Agilent Technologies, Inc.

ITECH® is a registered trademark of ITECH Electronic Co., LTD.

Keithley® is a registered trademark of Keithley Instruments, LLC.

Tektronix® is a registered trademark of Tektronix, Inc.

DSP® is a registered trademark of tm.

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

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

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