

Design Guide: TIDA-010256

128 通道超声波发送器系统 参考设计

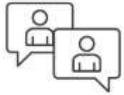


说明

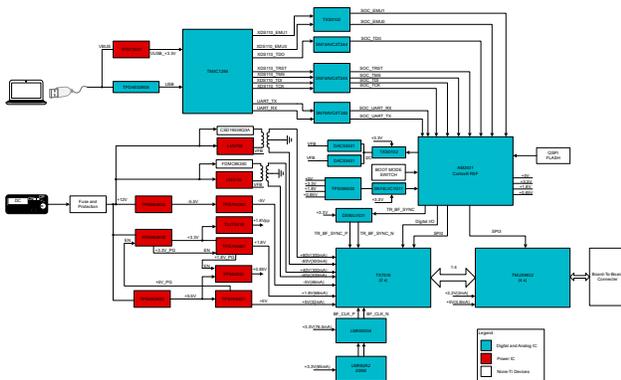
超声波传输参考设计使用 TI 的 TX7516 五级脉冲发送器和高压 TMUX9832 开关。发送器和开关以 1:4 的方式进行连接，可满足高通道数超声波模拟前端系统的紧凑型硬件设计要求。此设计通过采用 TI 的高效小尺寸电源模块和 SEPIC 拓扑，还缩小了总体电源尺寸。

资源

TIDA-010256	设计文件夹
TX7516 、 TMUX9832 、 TPSM63603	产品文件夹
LM5155 、 TPS7A9401 、 TPS7A3301	产品文件夹
LMK00304 、 LMK6D	产品文件夹
AM2431 、 DAC53401	产品文件夹



请咨询 TI E2E™ 支持专家



特性

- 小尺寸、最大 128 通道、 $\pm 80V$ 五级或三级脉冲发生器输出，具有集成的可编程波束形成器
- 可编程晶体管驱动电流，用于优化二次谐波失真性能
- 动态电源管理系统，用于优化发射功耗
- 使用互连输入路由拓扑，在扫描期间，一个时钟周期可以更新所有开关通道的状态
- 具有最大 $\pm 80V$ 、300mA 输出能力的高压电路

应用

- [超声波扫描仪](#)
- [超声波智能探头](#)



1 系统说明

超声波成像的原理是通过发送高压脉冲来激励换能器，然后接收来自物体的回波。回波信号的振幅将光强度调制为图像。现代超声波系统中有 1 到 256 个换能器，这意味着系统需要大量的发送器。B 模式成像系统在现代超声波系统中有 16 到 256 个传感器，可提供更大的声孔径、更清晰的横向分辨率和更高的信噪比，以及增强的成像质量。图 1-1 显示了经过简化的系统方框图。

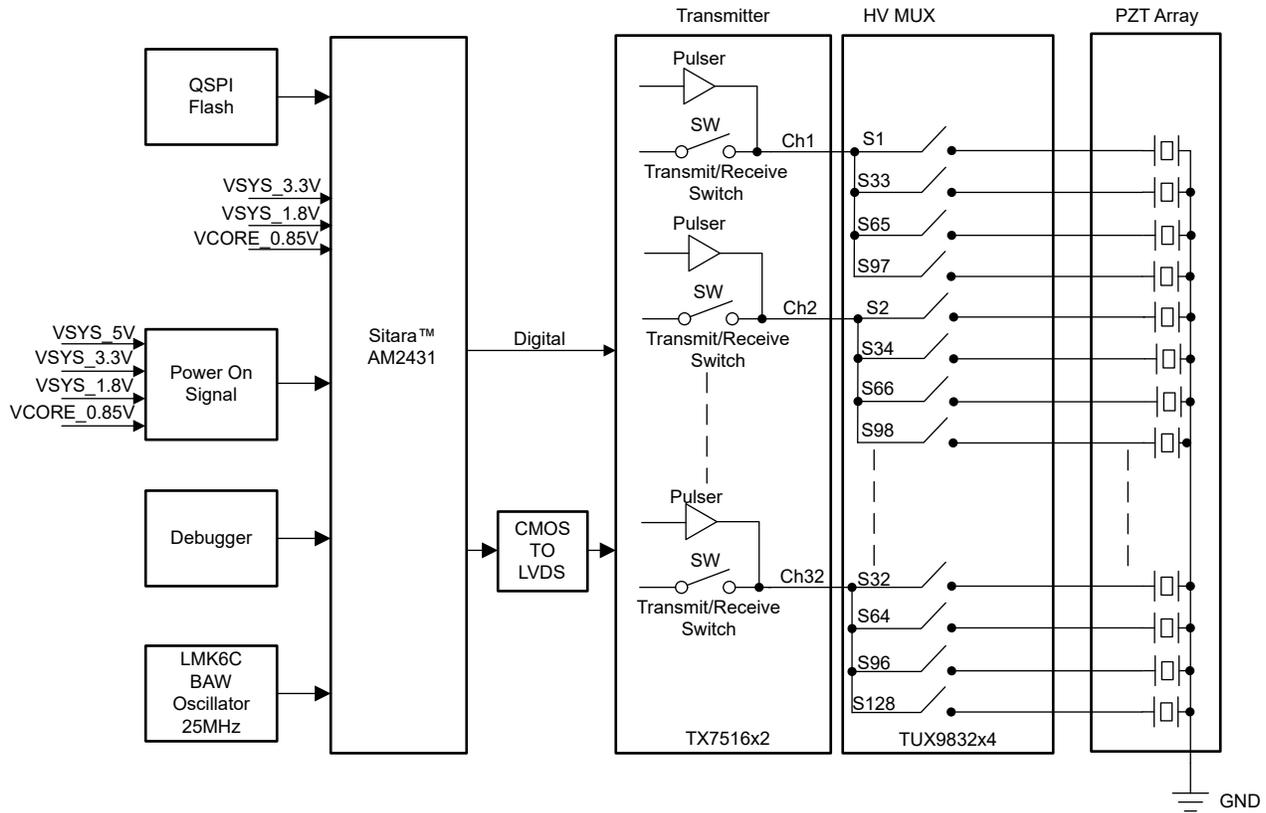


图 1-1. 经过简化的系统方框图

该设计采用四个 TMUX9832 器件，这些器件在漏极 (Dx) 引脚上集成了泄放电阻器，可对容性负载进行放电，从而在传感器和前端主板之间实现紧凑的接口。TX7516 是一个 16 通道发送器。该设计使用两个 TX7516 器件将电线和发送器的数量减少约 75%。

为了简化波束形成过程，系统在发送器器件 (TX7516) 中包含一个内置波束成形图形发生器，该发生器通过高性能通用微控制器 (AM2431) 控制脉冲传输。复杂波束形成只能使用串行外设接口 (SPI) 来实现，最大速率为 50MHz。此外，可以使用可编程实时单元 (PRU) IO (针对 TMUX9832 最高支持 100MHz) 来控制 TMUX9832 器件的 SPI。

1.1 主要系统规格

表 1-1. 主要系统规格

参数	规格	详细信息
系统输入电压 (V_{IN})	12V (电源)	
开关输出电压 (正极)	5.5V	电源模块, 无需外部电感器
+5V 输出	5V、800nV _{RMS} 、(10Hz - 100kHz)	
开关输出电压 (负极)	-5.5V	电源模块、反相降压拓扑
-5V 输出	- 5V、16.48 μ V _{RMS}	
具有低噪声 LDO 的 TX7516 电源导轨	+5V (800mA)、 - 5V (800mA) 1.8V (400mA)	浮动低压降 (LDO) 稳压器上电时的浪涌电流 ($\pm 5V$)。该表仅展示了 TX7516 的最大浪涌电流。
开关输出电压 (数字 IO)	0.85V、1.8V、3.3V	
高电压输出	最大值 $\pm 80V$ (300mA)、 最大值 $\pm 40V$ (300mA)	
SEPIC 开关频率	150kHz	可以切换到 100kHz
SEPIC 输出电压纹波	输出电压的 1%	
负载电阻器	220 Ω 220pF	
BF_CLK 输入	200MHz	
波束形成器	是	片上波束形成器
脉冲发生器输出模式	CW 模式、B 模式、弹性成像	
TMUX9832 控制模式	具有菊花链的单端 SPI	
MCU 引导模式	QSPI 非引导通用异步接收器/发送器 (UART)	
SPI 带宽	50MHz 最大值 (SPI 外设)、 100MHz (PRU IO)	

2 系统概述

2.1 方框图

图 2-1 展示了系统总体方框图。

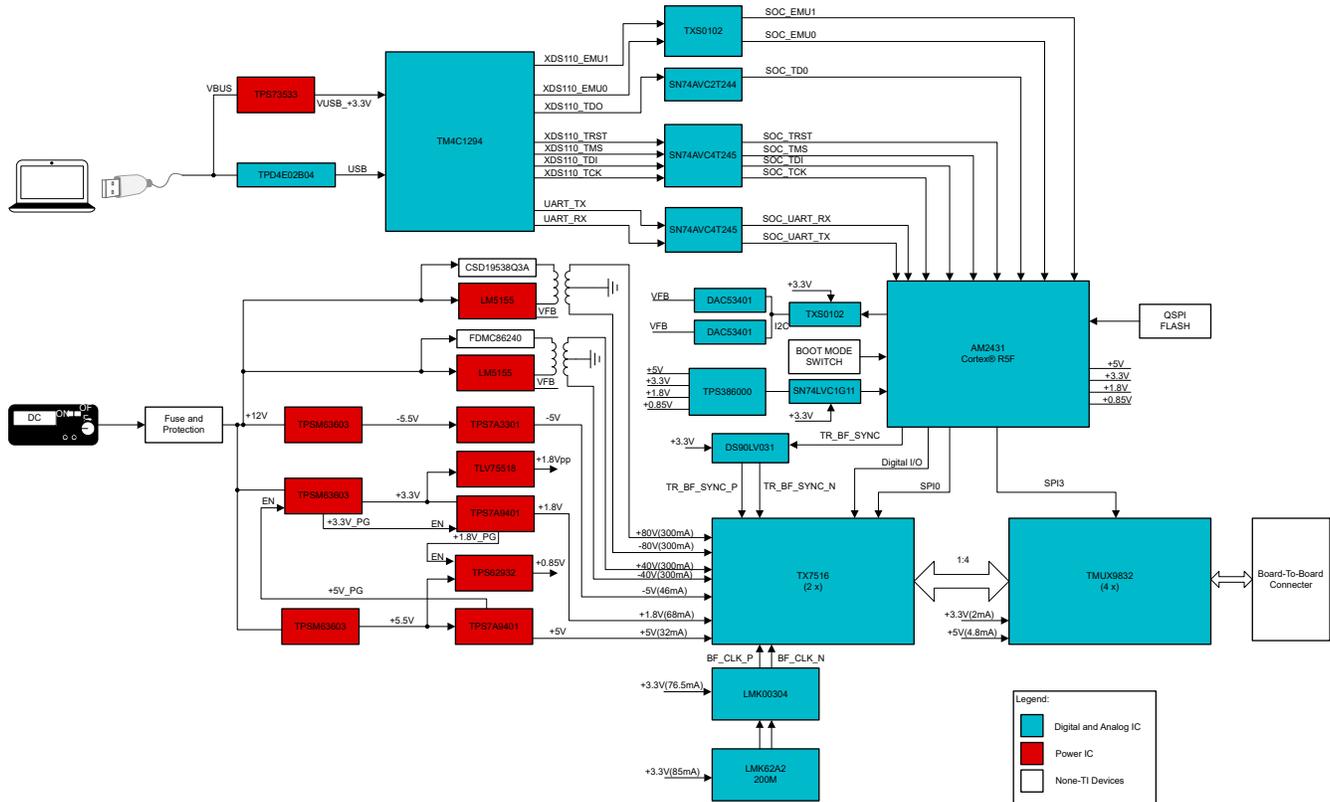


图 2-1. TIDA-010256 系统总体方框图

低压电源 (LVPS) 主要用于超声波系统中的微控制器、FPGA、数字 IO 和模拟电源。TI 建议在低功耗电源设计中使用模块，以便实现更低的噪声、紧凑的尺寸、简单的设计、高效率、低成本和快速制造。

TI 推荐使用可实现低噪声和高效率的 TPS63603 模块，该模块可将 12V 总线电压转换为 $\pm 5.5V$ 、3.3V。对于 TX7516 和 TMUX9832 模拟轨的低压电源，每个直流/直流转换后跟一个低噪声 LDO TPS7A9401，以消除电源噪声，从而实现更高的 PSRR。就 MCU 而言，FPGA 内核由 TPS62932、TLV75518 供电。

TI 为不同的超声波系统提供多种高压电源拓扑。在手持式或便携式超声波应用中，由于其轻载效率高且整体尺寸更小，SEPIC 和 CUK 组合了高电压拓扑，专为这些应用场景而设计。在此设计中，LM5155 非同步升压控制器用于驱动外部金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET)，以提供四通道高压功率输出，并且保留了一个外部高压输入接口，用于在高负载条件下的剪切波弹性成像测试期间为 TX7516 供电。

时钟信号的相移 (频域) 和抖动 (时间域) 是影响超声波成像质量的关键参数，高相位噪声通常会导致图像伪影。因此，该设计采用高性能、低抖动的标准振荡器 LMK62A2 (建议在新设计中使用 LMK62D) 和超低抖动缓冲器 LMK00304 为 TX7516 提供低抖动、高质量的时钟信号。

TMUX 输出需要通过板对板连接器连接到负载网络，负载采用 $220\ \Omega$ 电阻器和 220pF 电容器并联的形式。

2.2 设计注意事项

2.2.1 高压发生器电路

图 2-2 展示了高压拓扑。此拓扑从 12V 总线电源生成 ±80V 和 ±40V 电源，通过 SEPIC 和 Cuk 电路为 TX7516 供电。本节主要介绍 SEPIC 电路设计过程 (±80V 电源轨) 和关键器件选择。

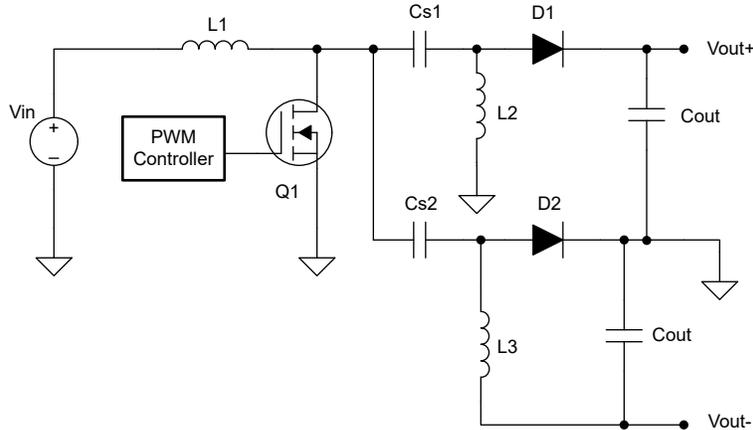


图 2-2. 高压电源拓扑

表 2-1. 高压电源公式

参数	公式	结果
占空比	$D_{\max} = \frac{V_{\text{out}} + V_d}{V_{\text{inmin}} + V_{\text{out}} + V_d}$	87.3% 其中 • $V_d \cong 0.7\text{V}$ • $V_{\text{inmin}} = 11.7\text{V}$
开关频率	根据 <i>LM5155x 2.2MHz 宽输入非同步升压、SEPIC、反激式控制器</i> 数据表的最大占空比与频率间的关系图，开关频率可低至 100kHz。	150kHz、100kHz
电感器	$L1 = L2 = L3 = \frac{V_{\text{inmin}} \times V_{\text{inmax}} \times D_{\max}}{2 \times I_{\text{out}} \times V_{\text{out}} \times 0.4 \times f_{\text{sw}}} = 42.55\mu\text{H}, n = 0.88$ $I(L1_{\text{peak}}) = \frac{I_{\text{out}} \times (V_{\text{out}} + V_d) \times \left(1 + \frac{0.4}{2}\right)}{V_{\text{inmin}} \times n} = 2.81\text{A}$ $I(L2_{\text{peak}}) = I_{\text{out}} \times \left(1 + \frac{0.4}{2}\right) = 0.36\text{A}$	L1 = 47 μH、 DCR = 0.0459 Ω 并且 $I_{\text{sat}} = 3.8\text{A}$ L2 = 47 μH、 DCR = 0.095 Ω 并且 $I_{\text{sat}} = 1.45\text{A}$
电源 MOSFET Q1	$V_{\text{peak}} = V_{\text{in}} + V_{\text{out}} + V_d = 12 + 100 + 0.7 = 112.7\text{V}$ $I_{\text{Q1RMS}} = I_{\text{out}} \times \sqrt{\frac{(V_{\text{out}} + V_{\text{min}} + V_d) \times (V_{\text{out}} + V_d)}{V_{\text{inmin}}^2}} = 2.21\text{A}$ $P_{\text{Q1}} = I_{\text{Q1RMS}}^2 \times R_{\text{DS(on)}} \times D_{\max} + (V_{\text{inmin}} + V_{\text{out}}) \times I_{\text{Q1peak}} \times \frac{Q_{\text{GD}} \times f_{\text{sw}}}{I_{\text{G}}} = 0.249\text{W}$	FDMC86240 150V, 4.6A MOSFET $T_{\text{J(MAX)}} = 150^\circ\text{C} > T_{\text{J}}$ 其中 • $R_{\text{DS(on)}} = 0.0447\ \Omega$ • $Q_{\text{GD}} = 2.3\text{nC}$ • $I_{\text{G}} = 1.5\text{A}$ • $T_{\text{J}} = P_{\text{Q1}} \times R_{\theta\text{JA}} + T_{\text{A}} = 0.249 \times 53 + 25 = 38.197^\circ\text{C}$
二极管 D1、D2	$V_{\text{reverse}} \geq V_{\text{inmax}} + V_{\text{outmax}} = 92\text{V}$ $I_{\text{peak}} \geq I_{\text{L1peak}} + I_{\text{L2peak}} = 3.17\text{A}$ $P_d = I_{\text{out}} \times V_d = 0.21\text{W}$	MBRS4201T3G 肖特基、200V、4A 其中 • $V_d = 0.7\text{V}$

表 2-1. 高压电源公式 (续)

参数	公式	结果
耦合电容器 Cs1、Cs2	$I_{cprmsmax} = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + V_d}{V_{inmin}}} = 0.788A$ <p>如果 Cs 中的目标纹波 < 0.8V, 则根据以下公式:</p> $\Delta_{cp} \leq \frac{I_{out} \times D_{max}}{C_s \times f_{SW}} + ESR \times \max(\ I1_{peak}, \ I2_{peak})$ $C_s \text{ must be } \geq \frac{I_{out} \times D_{max}}{\Delta_{cp} \times f_{SW}} = 2.182\mu F$ $ESR \leq \frac{\Delta_{cp}}{\max(\ I1_{peak}, \ I2_{peak})} = 285m\Omega$	$C_{s1} = C_{s2} = 2.2 \mu F$
输出电容器	$I_{cout, RMS} = I_{out} \times \sqrt{\frac{D_{max}}{1 - D_{max}}} = 0.787A$ <p>如果 Cout 中的目标纹波 < $V_{out} \times 1\%$, 则根据以下公式:</p> $C_{out} \text{ must be } \geq \frac{I_{out} \times D_{max}}{\Delta_{cout} \times f_{SW}} = 2.18\mu F$ $ESR \leq \frac{\Delta_{cout}}{\ I1_{peak} + \ I2_{peak}} = 252m\Omega$	18122C105JAT2A × 2 200V
输入电容器	$C_{inmin} = \frac{P_{out}}{V_{supplymin}} \times (1 - D) \frac{1}{\Delta V_{supply} \times f_{SW}} = 6.95\mu F$	10 μ F、25Vdc 其中 • $\Delta V_{supply} = 0.25V$
补偿	$R_{FBB} = 11k\Omega$ 、 $R_{FBT} = 618k\Omega$ $F_{RHPZ} = \frac{(1 - D_{max})^2 \times V_{out}}{2\pi D_{max} \times L_2 \times 0.5 \times I_{out}} = 33.37kHz$ $F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2} \times C_s} = 15.651kHz$ $F_{cross} = \frac{F_R}{6} = 2.608kHz$ $R_{comp} = \frac{2\pi \times C_{out} \times R_s \times V_{out}^2 \times F_{cross} \times (1 + D_{max})}{G_{comp} \times g_m \times V_{inmin} \times D_{max}}$ $= \frac{2 \times \pi \times 2.2 \times 10^{-6} \times 0.01 \times 80 \times 80 \times 2608 \times 1.873}{0.142 \times \frac{2mA}{V} \times 11.7 \times 0.873} = 1.49k\Omega$ $F_{Z_EA} = \sqrt{F_{cross} \times \frac{1}{\pi \times C_{out} \times \frac{V_{out}}{I_{out}}}} = 1189.55Hz$ $C_{comp} = \sqrt{\frac{C_{out} \times \frac{V_{out}}{I_{out}}}{4\pi R_{comp}^2 \times F_{cross}}} = 89.79nF$ $C_{HF} = \frac{C_{comp} \times L_2}{C_{comp} \times (1 - D_{max})^2 \times \frac{V_{out}}{I_{out}} \times R_{comp} - L_2} = 7.39nF$	$R_{18} = 1.5k\Omega$ $C_{26} = 100nF$ $C_{25} = 6.8nF$ $R_s = 10m\Omega$

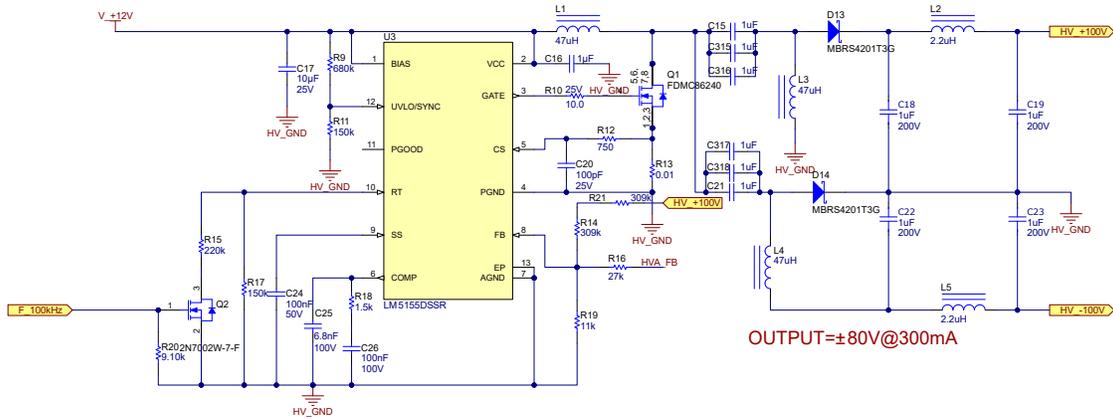


图 2-3. 80V 高压电源原理图

表中还引用了 $\pm 40V$ 高压输出通道计算。此外，为了更方便地调节输出电压，使用了 10 位 DAC53401 来控制 SEPIC 的正电压反馈环路。图 2-4 显示了 $\pm 80V$ 输出通道的 DAC 修整电路。

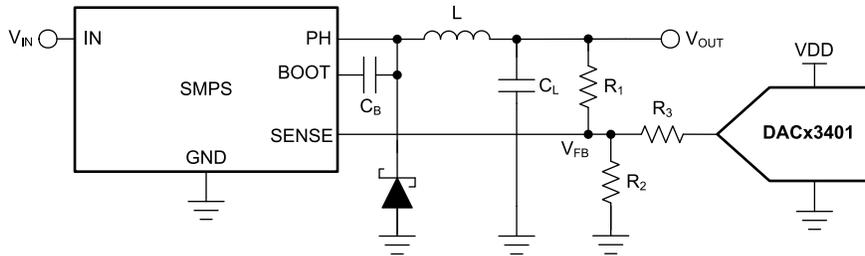


图 2-4. DACx3401 电源控制

DAC53401 具有高阻态断电模式，在加电时默认设置为该模式，除非使用非易失性存储器对器件进行编程。当数模转换器 (DAC) 输出为 Hi-Z 时，通过 R_3 的电流为零，SEPIC 被设置为标称输出电压，这也是为了避免在 DAC 上电期间没有电流流过 R_3 。假定电流限值为 $10\ \mu A$ ，使用方程式 1 来计算 R_3 的值。

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

其中

- DAC 代码限制为 1000
- 内部基准 = 1.21V
- 增益 = 3
- R_3 选择 27k Ω

根据方程式 2，假定当 R_B 为 11k Ω 时，DAC 的输出代码为 0， R_T 可以计算为 618k Ω 。当 DAC 代码为 1024 时，计算出的输出电压变为负值；因此，将 DAC 代码的最大值限制为 924，此时的输出电压约为 5.09V。

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

2.2.2 低压开关模式电源

TPSM63603 同步降压电源模块是一款高度集成的 36V、3A 直流/直流器件，该取件组合了功率 MOSFET、屏蔽电感器和无源器件，并采用增强型 HotRod™ QFN 封装。该模块的 VIN 和 VOUT 引脚位于封装的边角处，可优化输入和输出电容器在布局中的放置。模块下方具有四个较大的散热焊盘，可在制造过程中实现简单布局和轻松处理。

基于 WEBENCH® 电路设计和选择仿真服务以及表 2-2 中显示的相应输入参数，可以快速完成 TPSM63603 模块设计。

表 2-2. 5.5V 电源轨的 WEBENCH® 仿真参数

参数	典型值	WEBENCH 输入
DC 输入	12V	$V_{inmin} = 11.7V$ 、 $V_{max} = 12V$
输出电压	+5.5V	5.5V
输出电压纹波	尽可能低	±5%
输出电流	3A	3A
最高环境温度	-40°C 至 105°C	30°C
外部同步频率	是	500kHz
将 En_Sync 引脚设置为具有 UVLO	不适用	是

表 2-3. 3.3V 电源轨的 WEBENCH® 仿真参数

参数	典型值	WEBENCH 输入
DC 输入	12V	$V_{inmin} = 11.7V$ 、 $V_{max} = 12V$
输出电压	+3.3V	3.3V
输出电压纹波	尽可能低	±5%
输出电流	3A	3A
最高环境温度	-40°C 至 105°C	30°C
外部同步频率	是	500kHz
将 En_Sync 引脚设置为具有 UVLO	不适用	是

图 2-5 和 图 2-6 分别显示了由 WEBENCH 生成的 5.5V 和 3.3V 原理图。

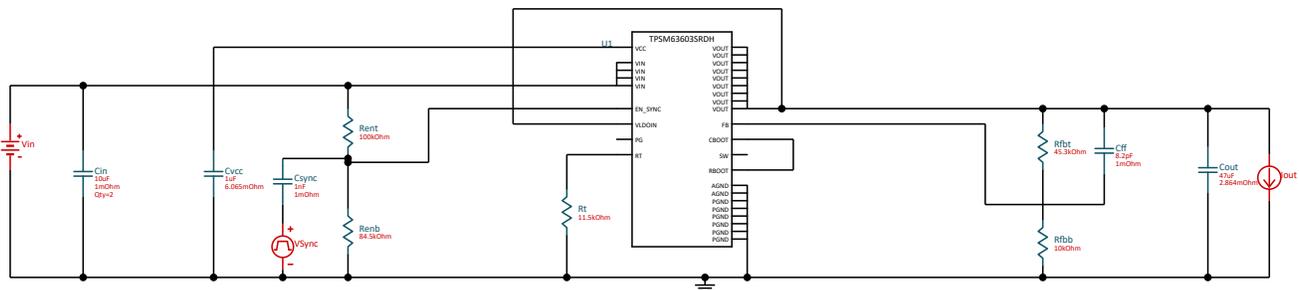


图 2-5. 正极 5.5V 电源轨原理图

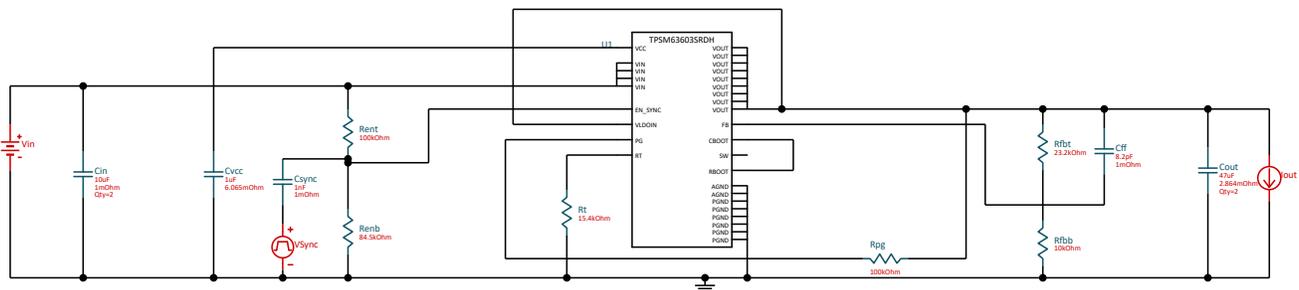


图 2-6. 正极 3.3V 电源轨原理图

图 2-7 至 图 2-10 显示了效率和输出电压峰值间图。

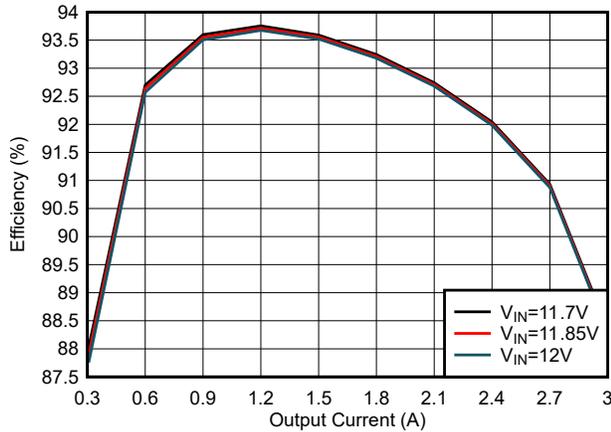


图 2-7. 12V 至 5.5V 下的效率

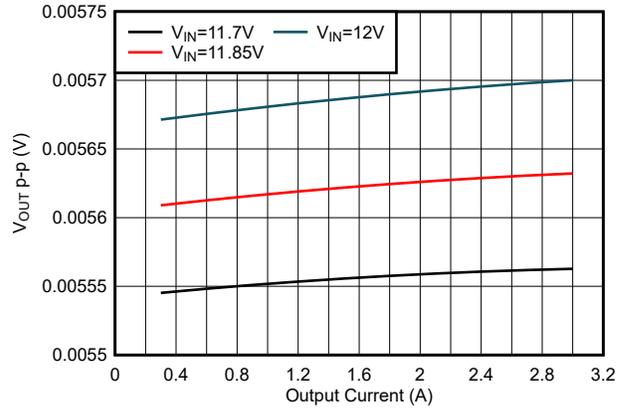


图 2-8. 12V 至 5.5V 下的 V_{p-p} 噪声

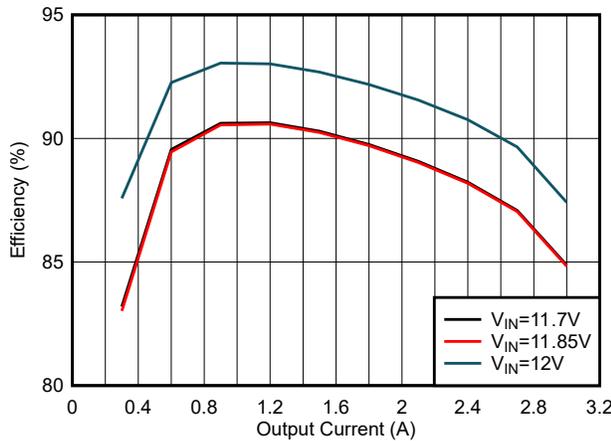


图 2-9. 12V 至 3.3V 下的效率

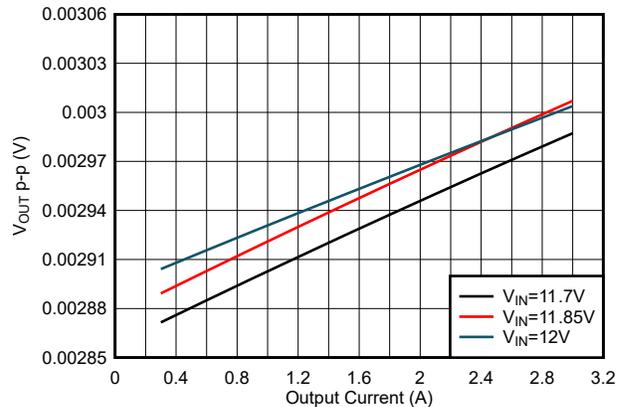


图 2-10. 12V 至 3.3V 下的 V_{p-p} 噪声

- 5.5V 输出可以设计为相同的参数，但需要根据采用增强型 HotRod™ QFN 封装的 TPSM63603 高密度、3V 至 36V 输入、1V 至 16V 输出、3A 电源模块数据表的具有 -5V 输出的反相降压/升压调节器部分配置为反相降压。由于超声波设备中的开关模式电源电路都需要同步开关频率，因此需要额外的同步时钟输入，并且 -5.5V 同步信号需要进行输入电平转换。另请参阅使用反相降压/升压转换器应用手册。

直流/直流输出进入 TPS74001 和 TPS733031 LDO 器件，这有助于降低模拟电源的噪声。TPS7A94 是一款超低噪声 ($0.46 \mu V_{RMS}$)、低压降 (LDO) 稳压器，能够以仅 150mV 的压降提供 1A 电流，并且 TPS7A3301 输出噪声可降至 $16 \mu V_{RMS}$ 。

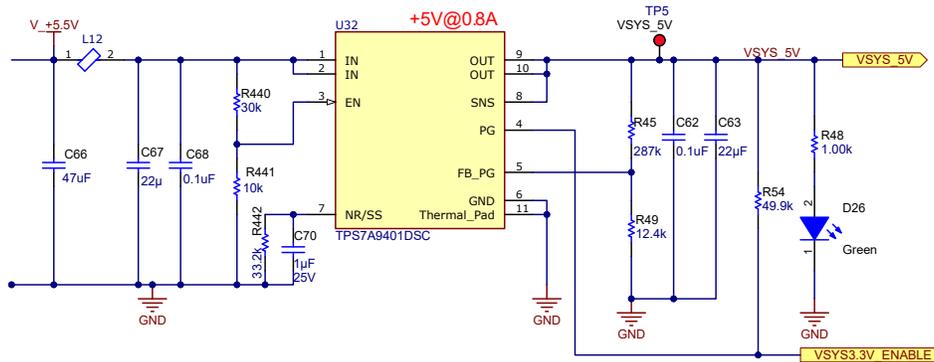


图 2-11. 正 5V 原理图

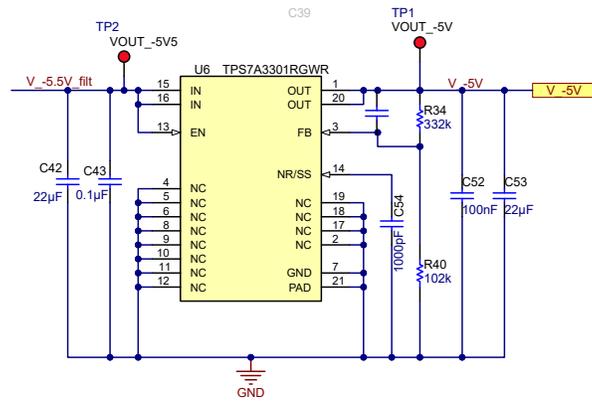


图 2-12. 负 5V 原理图

2.2.3 Sitara™ MCU AM2431 复位和电源轨监控电路

AM2431 处理器唤醒需要满足特定的上电时序条件。为了避免由于系统电压下降而在控制系统中产生错误，可通过附加电路来监控主电源轨。TPS386000 是一款具有可编程延迟和看门狗计时器的漏极开路、四通道电源电压监控器。图 2-13 展示了复位电路原理图。

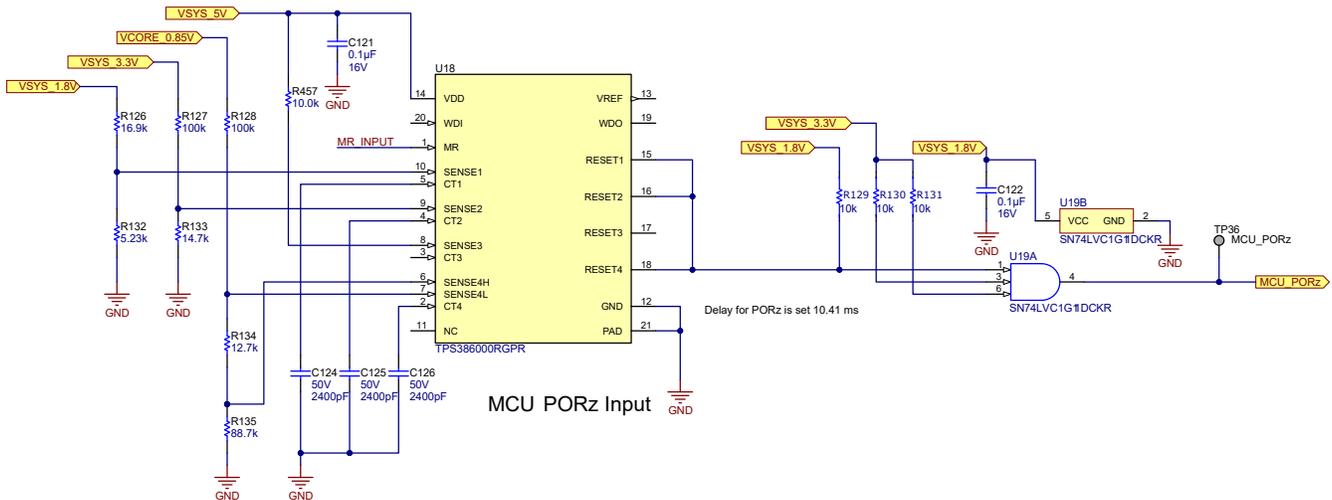


图 2-13. 复位电路原理图

当指定 SENSE_x 引脚上的电压低于数据表中的 V_{ITN} (通常为 400mV) 时，相应的复位输出被置为有效。在此设计中，1.8V 和 3.3V 的阈值电压分别为 1.692V 和 3.12V。

CPU 内核电源轨 (0.85V) 对电压变化非常敏感，需要额外的窗口监控配置。TPS386000 还支持窗口电压监控设计，如原理图所示，其中的窗口电压可使用以下公式计算。

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

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

要对用户定义的可调节延迟时间进行编程，必须在 CT_n 和 GND 之间连接一个外部电容器。根据方程式 5 来计算可调节延迟时间。

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

其中

- $t_{\text{delay}} = 10.41\text{ms}$

在电源轨输出建立并稳定了一段预定的延迟时间后，输出将通过 PORZ 信号被置为高电平，这对应于门逻辑 IC SN74LVC1G11DCKR 的逻辑高电平。相反，只要任何电源轨发生压降，处理器就会复位。

2.2.4 时钟发生器

该时钟在超声波系统中发挥着至关重要的作用，由低抖动标准振荡器 LMK62A2-200M 和可配置输出时钟缓冲器 LMK00304 构建，如图 2-14 所示。

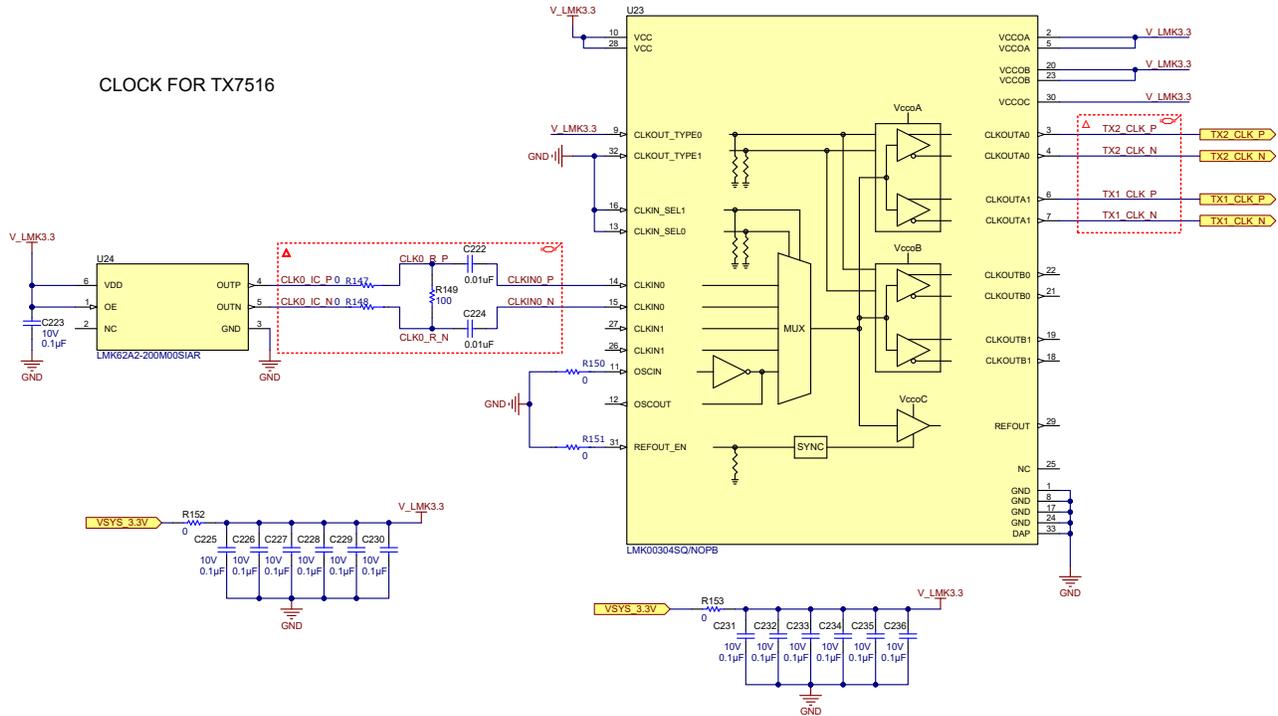


图 2-14. 时钟电路

在 PCB 设计中，将 R149 放置在 LVDS 接收器端附近

2.2.5 CMOS 至 LVDS 驱动器

TX7516 的同步触发信号 TR_BF_SYNC 仅支持 LVDS 输入，而 Sitara MCU (AM2431) 仅输出 CMOS 或低压互补金属氧化物半导体 (LVCMOS)。图 2-15 显示了所需的外部 LVCMOS 和 LVCMOS 至 LVDS 转换电路结果。

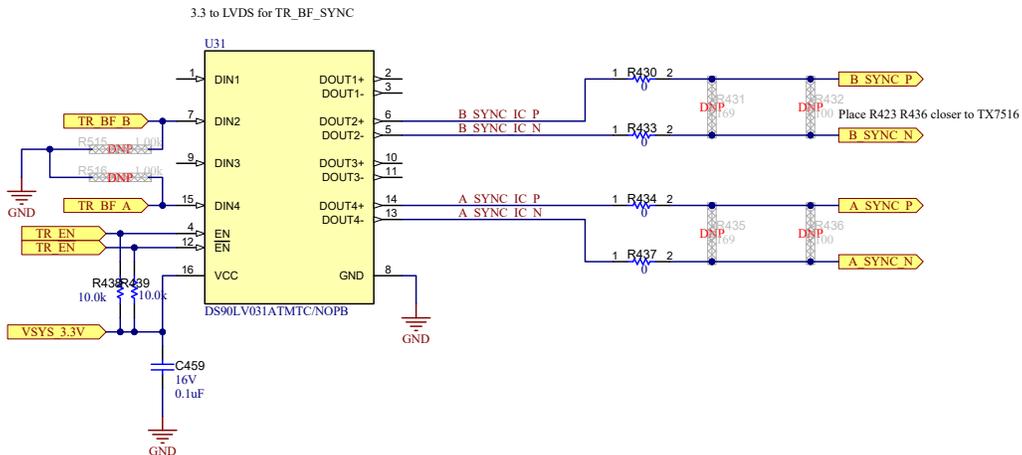


图 2-15. CMOS 至 LVDS 驱动器电路

TX7516 上的 TR_BF_SYNC 信号支持内部 LVDS 端子电阻配置，默认为 $100\ \Omega$ 。

2.2.6 布局指导

TX7516 和 TMUX9832 之间的连接可以是星型或菊花链式。菊花链路径中的 TMUX 通道开通明显会导致较大的阻抗不连续性和不良信号反射。TX7516 和 TMUX9832 之间的星型布线拓扑无疑会导致脉冲发生器信号反射。最坏情况是信号反射振铃超过 TMUX9832 的输入限制 (最大值 $\pm 120V$) ; 因此, 在 PCB 布线和放置元件之前遵循仿真结果是最佳设计实践。本节展示了基于使用 Advanced Design Systems (ADS) 的 TMUX9832 IBIS 模型的瞬态仿真结果。表 2-4 展示了仿真参数。

表 2-4. Advanced Design System 瞬态仿真设置

参数	ADS 设置
步进输入源	$V_{peak} = 100V$ 、 $V_{rise} = 16.6ns$ 、 $t_{Delay} = 10ns$
PCB 层	16, MLSUBSTRATE16 设置与 PCB 层叠相同
PCB 跟踪	ML1CTL_C 布线长度设置为 80mm, 顶层布线, 并参阅 MLSUBSTRATE16。宽度 = 5mil
负载	TMUX9832 输出引脚上的 $220\ \Omega$ $220pF$

图 2-16 展示了菊花链原理图, 图 2-17 展示了星型连接原理图。

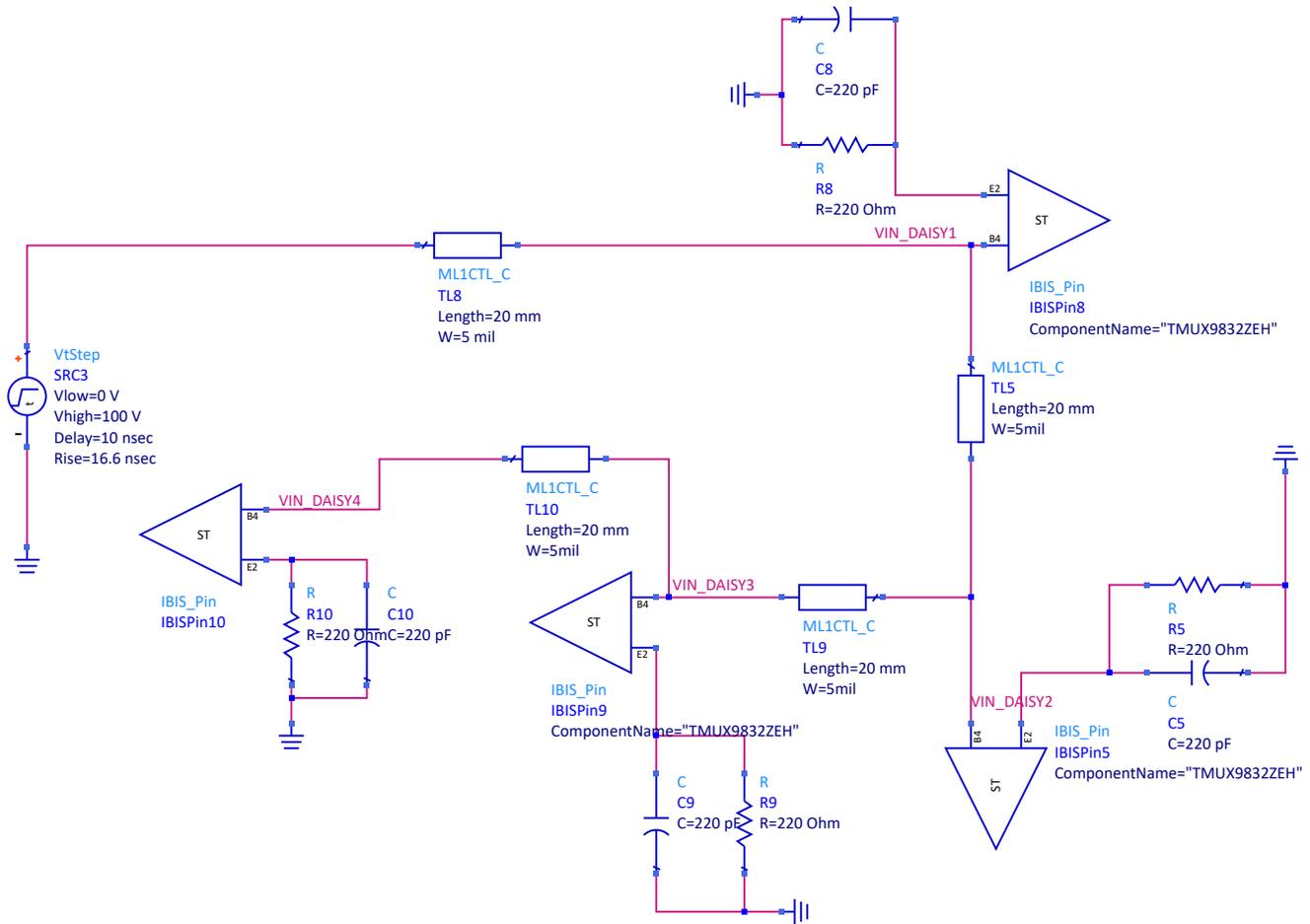


图 2-16. 菊花链原理图

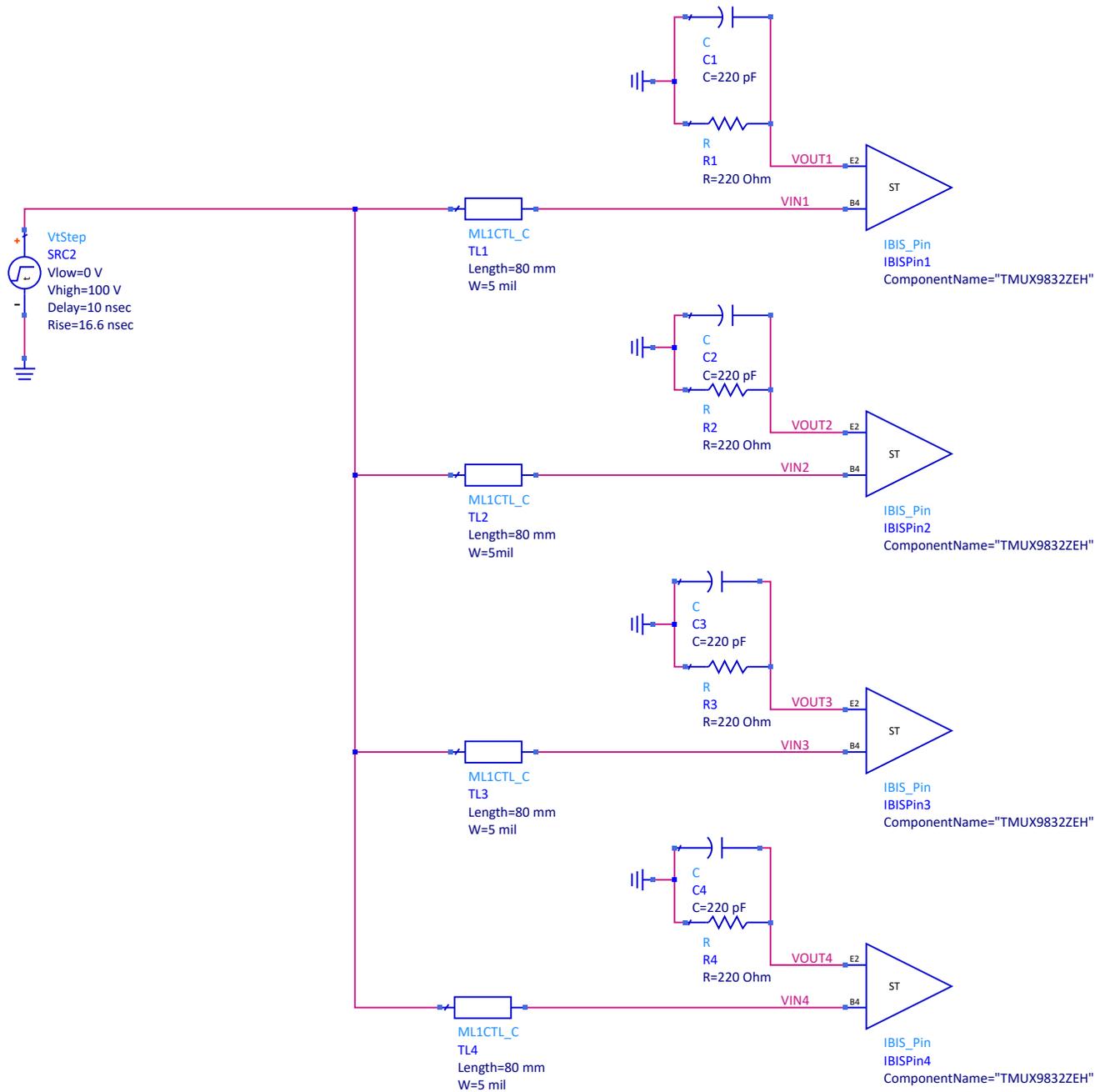


图 2-17. 星型连接原理图

图 2-18 和图 2-19 显示了仿真结果。这些结果表明，当作为树状结构连接电源时，TMUX9832 输入端在 100V 电源下的最大峰值振铃达到 107.546V。对于同一电源，菊花链连接的最大峰值振铃已超过 120.086V，超出了 TMUX9832 的输入电压限制。为了抑制 TMUX9832 输入上的振铃，请尽可能缩短 PCB 布线长度，并与布局前仿真结果保持一致性。

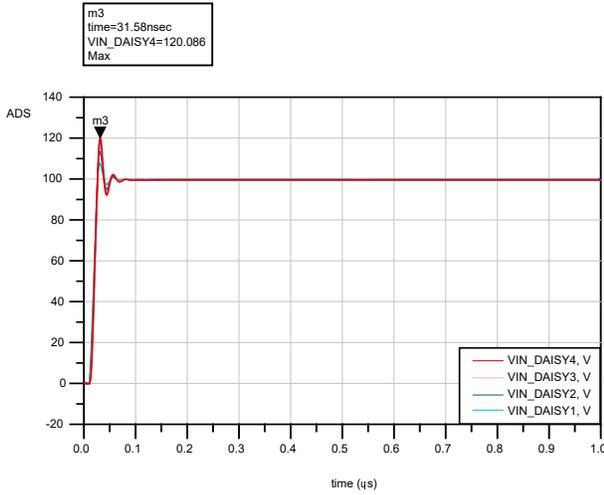


图 2-18. TMUX9832 ADS 仿真 (菊花链)

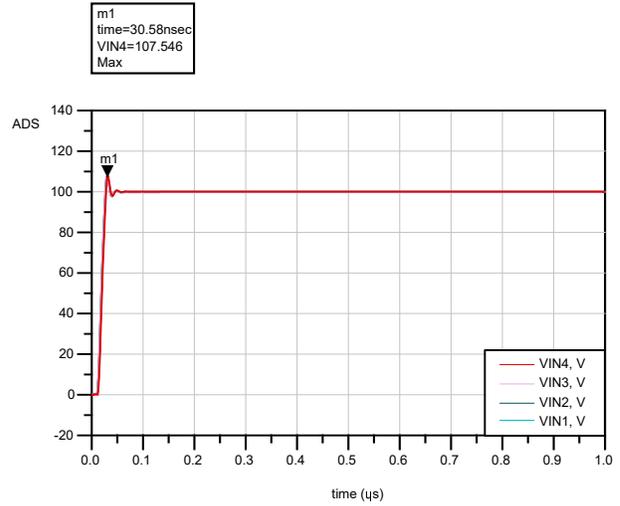


图 2-19. ADS 仿真结果 (星型)

图 2-20 展示了元件的放置。

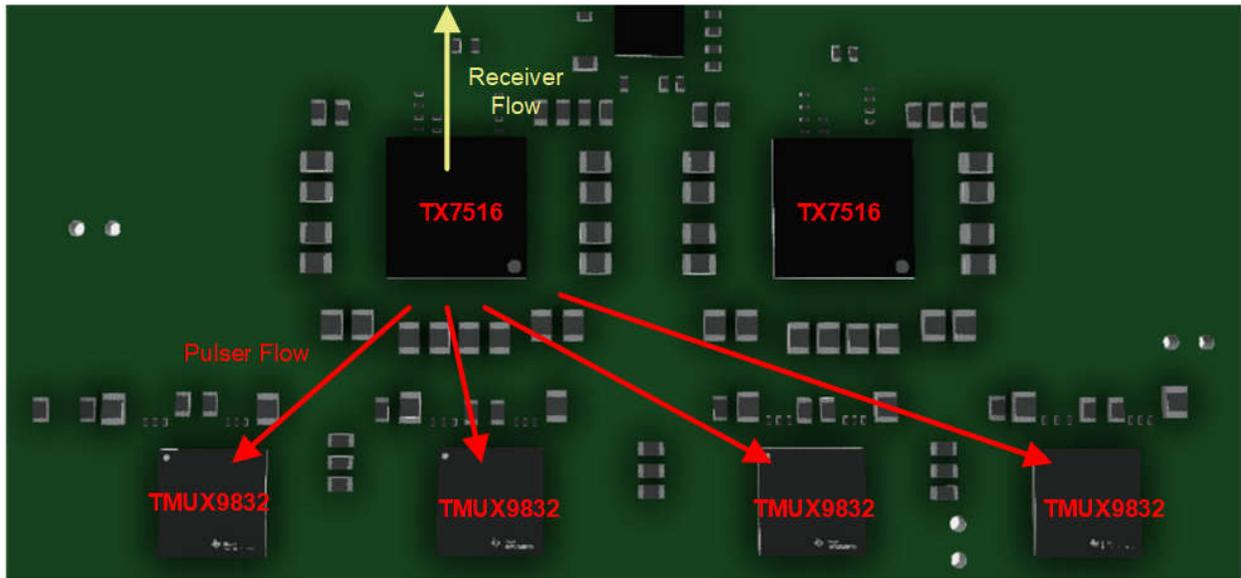


图 2-20. 元件放置部分

图 2-21 显示了优化发往 TMUX 的输入和输出信号的流程。红色箭头表示脉冲输入方向，而黄色箭头表示脉冲输出。相邻迹线间距需要满足 4W - 5W 规则；例如，5mil PCB 布线宽度和间距需要设置为 20 - 25mil。设计目标是使整个脉冲发生器信号布线从发起到终止都保持相同的接地参考平面。如果无法做到这一点，则应通过过孔将两个接地平面拼接起来，以提供连续接地和一致的阻抗。在 200mil 内对称地放置这些拼接过孔（越近越好）。有关 TX7516 的 BGA 扇出和 GND 平面的分离，另请参阅带有 T/R 开关和片上波束成形器的 TX7516 五级 16 通道发送器数据表和 EVM PCB 布局部分。

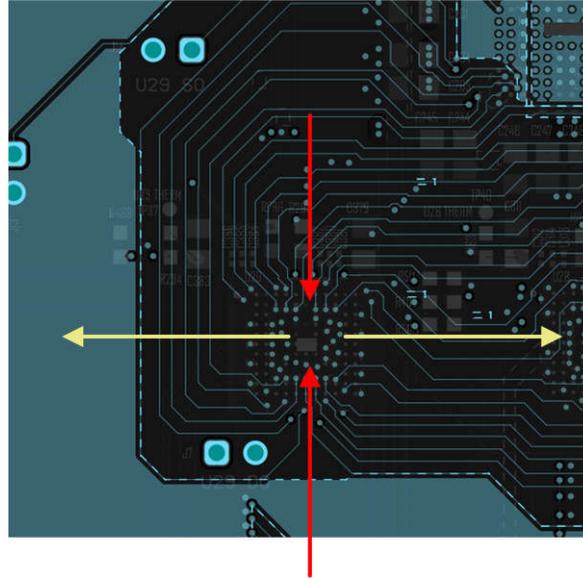


图 2-21. TMUX9832 PCB 布局部分

2.3 重点产品

2.3.1 TX7516

TX7516 是一款适用于超声波成像系统的高度集成、高性能发送器。该器件共有 16 通道高压 ($\pm 100V$) 五级脉冲发生器电路，16 个收发开关（称为 T/R 或 TR 开关），并支持片上波束形成器 (TxBF)。该器件还集成片上浮动电源，可减少所需高压电源的数量。图 2-22 显示了 TX7516 功能方框图。

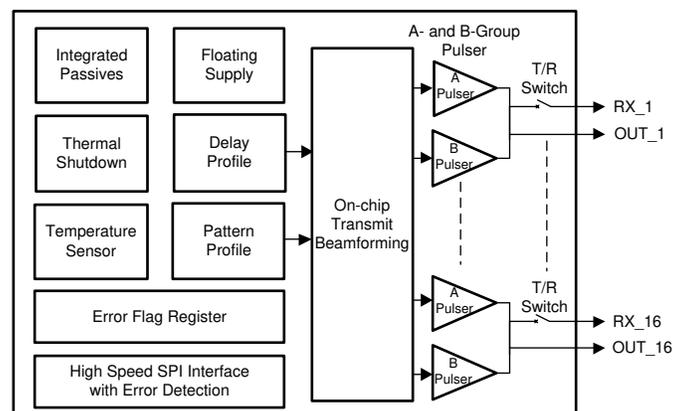


图 2-22. 简化版方框图

2.3.2 TMU9832

TMUX9832 是一款具有闩锁效应抑制的 32 通道低谐波失真、低电阻、低电容、高电压模拟开关集成电路 (IC)。每个器件均具有 32 个独立可选的 1:1 单极单投 (SPST) 开关通道。该器件仅需要 +5V 模拟电源，同时仍能够支持

$\pm 110V$ 模拟信号。TMUX9832 还在漏极 (Dx) 引脚上集成了泄放电阻器，以对容性负载进行放电，如压电式传感器。TMUX9832 非常适合医疗超声波成像和其他压电式传感器驱动器应用。

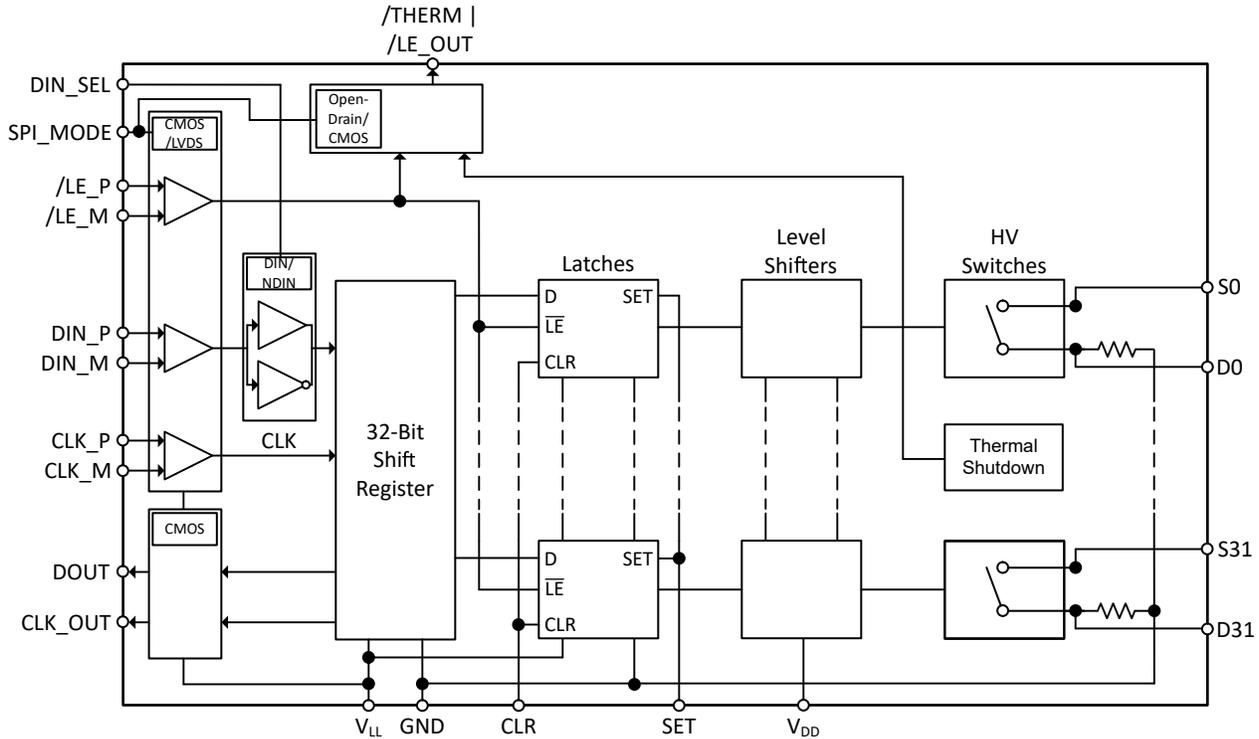


图 2-23. TMUX9832 简化原理图

为了减少信号路径中由潜在时钟馈通导致的噪声，低电平有效锁存使能可以在数据载入移位寄存器时保持高电平。TMUX9832 的可级联 32 位移位寄存器还支持低电压差分信号 (LVDS) 和单端互补金属氧化物半导体 (CMOS) 模式。

2.3.3 AM2431

AM243x 是 Sitara™ 高性能微控制器新增的工业级产品系列，专为需要结合实时通信和处理的工业应用（例如电机驱动和远程 I/O 模块）而构建。AM243x 系列通过多达四个 Cortex-R5F MCU、一个 Cortex-M4F 和两个支持 TSN 的 Sitara 千兆位 PRU_ICSSG 实例来提供可扩展的性能。该 SoC 提供灵活的工业通信能力，包括用于 EtherCAT 目标、PROFINET 器件、以太网 IP 适配器和 IO-Link 控制器的完整协议栈。PRU_ICSSG 进一步提供了千兆位和基于 TSN 技术的协议所需的能力。此外，PRU_ICSSG 还支持其他接口，包括 UART 接口、 $\Delta-\Sigma$ 抽取滤波器和绝对编码器接口。

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

3.1.1 TIDA-010256 PCB 概览

图 3-1 和图 3-2 分别展示了 TIDA-010256 PCB 的标记视图。

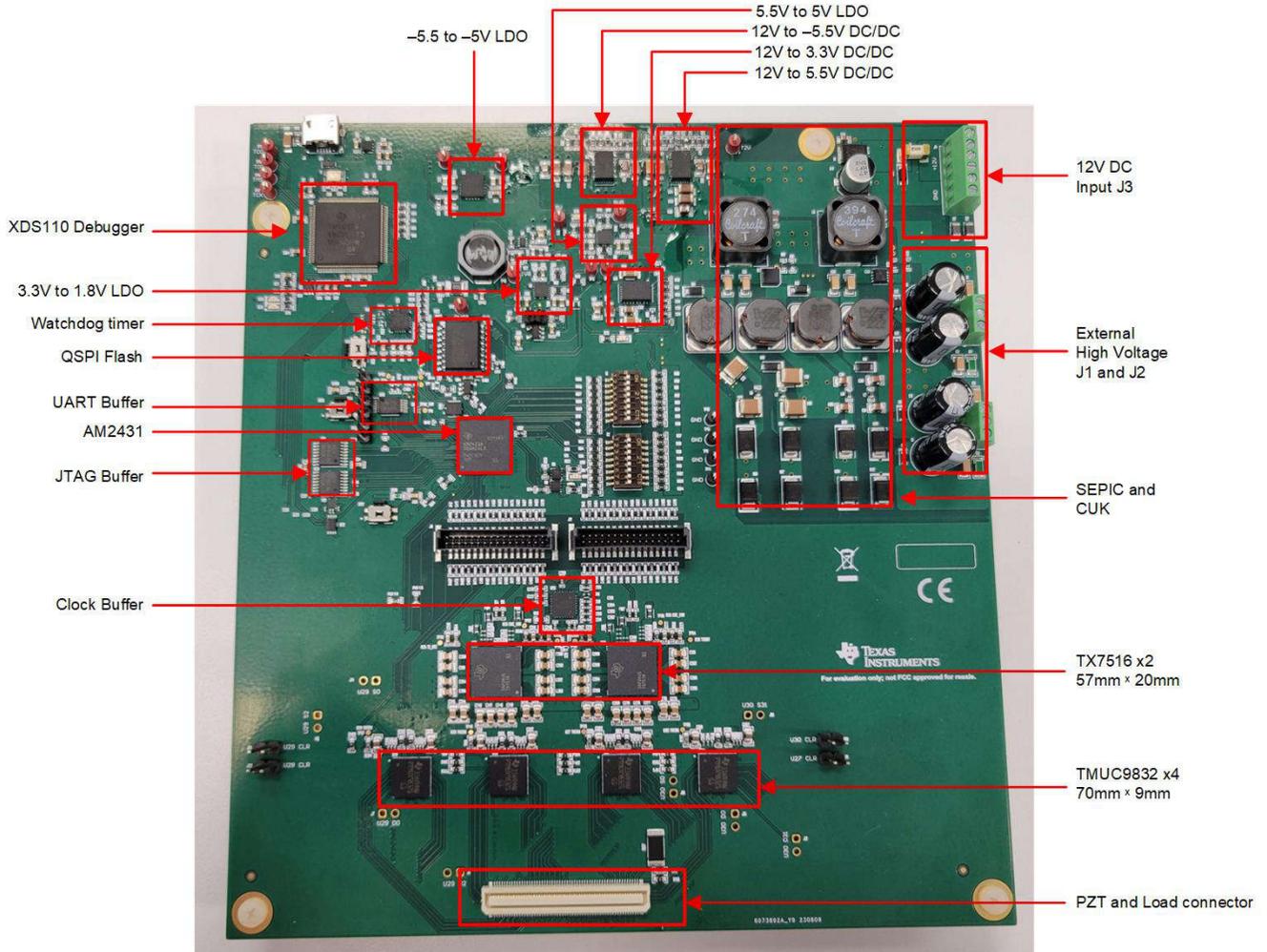


图 3-1. TIDA-010256 PCB (顶视图)

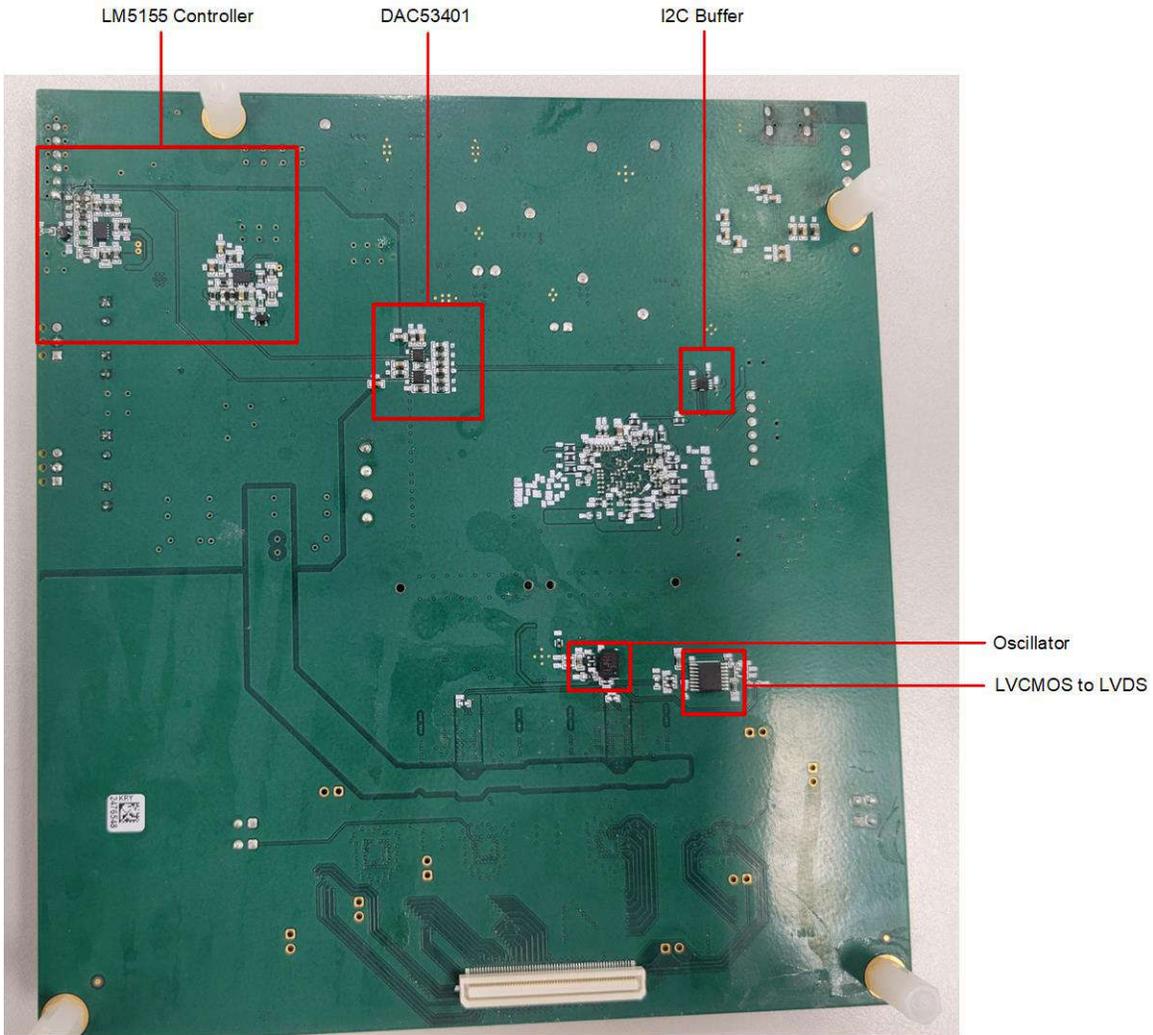


图 3-2. TIDA-010256 PCB 底视图

3.1.2 TIDA-010256 连接器设置

表 3-1 显示了 TIDA-010256 连接器设置。

表 3-1. TIDA-010256 连接器设置

连接器	功能
J3	+12V 直流输入。首选使用 3A 至 5A。
J1 ⁽¹⁾	±80V 外部高电压连接器
J2 ⁽¹⁾	±40V 外部高电压连接器
J5	USB 连接器
J6 ⁽²⁾	外部 UART 跳线
J9	PZT 和负载连接器
J10	PZT 和负载连接器
J11 和 J12	TX7516 接收通道连接器

- (1) 连接外部高压电源时，请确保电压超过 SEPIC 和 Cuk 电路的输出。这是因为 PCB 上有一个共享二极管，仅当输入电压超过板载编程输出电压时，才允许电路板由外部电源供电。
- (2) J6 不需要任何外部调试串行端口，默认情况下使用 XDS110 串行端口。

3.2 软件要求

为了测试 TIDA-010256，所有软件都是基于 AM2431 软件开发套件开发而成，固件不可供公众使用。如需有关软件的支持，请参阅 AM2431SDK 和 TI E2E 设计支持论坛。

3.3 测试设置

表 3-2 列出了用于 TIDA-010256 测试会话的设备。图 3-3 显示了测试设置。

表 3-2. TIDA-010256 设置所需的设备

测试设备	器件型号
高压电源 ⁽¹⁾	Agilent® 6030A、 ITECH® IT6724H
低压电源	Keithley® 2230G-30-1
示波器	Tektronix® DPO3054
探头	Tektronix® P5050B

(1) TIDA-010256 板需要两个 $\pm 100V$ 的高压电源，每个电源都具有 500mA 电流范围。

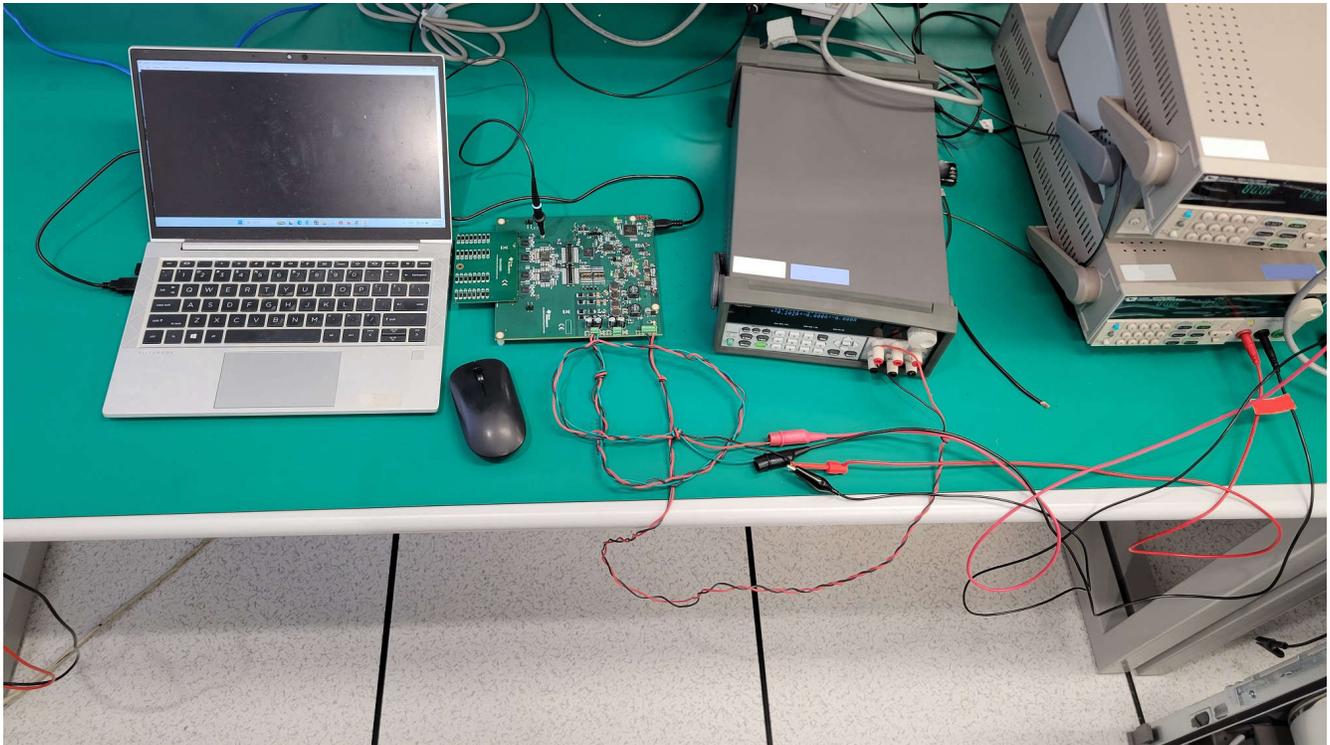


图 3-3. TIDA-010256 系统测试设置

在测试中，需要一台额外的 PC 通过 TeraTerm 终端发送命令。

3.4 测试结果

3.4.1 高压电源输出纹波

图 3-4 和 图 3-5 显示了高压电源噪声波形，是在无源滤波器之后测量得出。

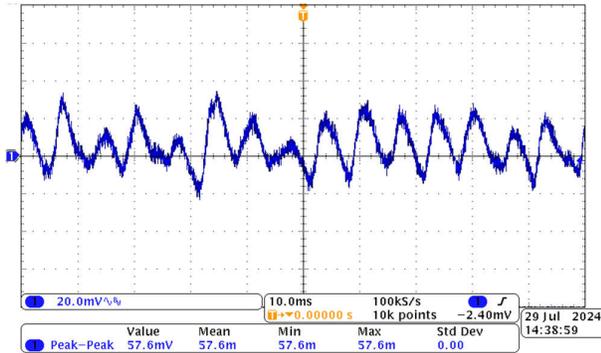


图 3-4. 负载 300mA 时为 +80V

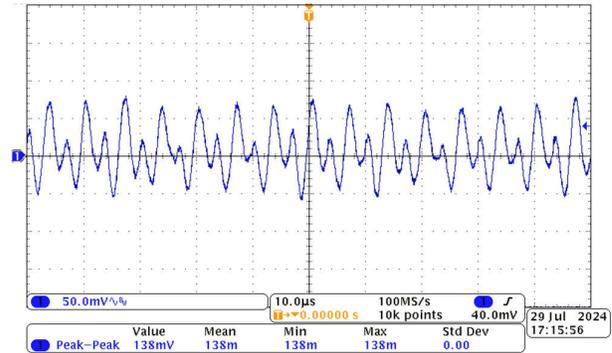


图 3-5. 负载 300mA 时为 +40V

3.4.2 输出波形

表 3-3、表 3-4 和 表 3-5 显示了 TX7516 在 CW 模式、B 模式和弹性成像模式下的部分寄存器配置。由于每个 TMUX9832 的脉冲发生器输入变电站相同，因此第一个 TMUX9832 的所有通道都导通以进行测试，在 TMUX9832，输出端测量，负载电阻为 220Ω|220pF。

表 3-3. CW 模式寄存器配置

BF_CLK	BF_CLK_DIV	CLK_DIV	HVB 周期	CW 输出频率
200MHz	2	2	50	1MHz

表 3-4. B 模式存储器配置

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

表 3-5. 弹性成像模式内存配置

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

图 3-6 至 图 3-9 显示了 CW 模式、B 模式和弹性成像模式的波形。

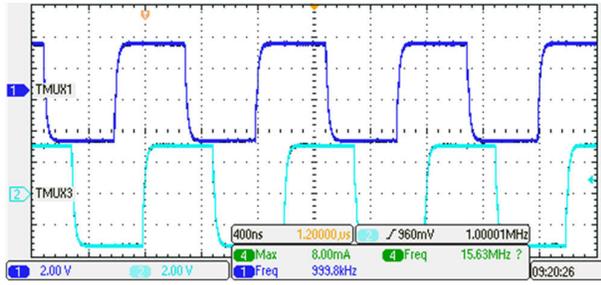


图 3-6. CW 模式波形

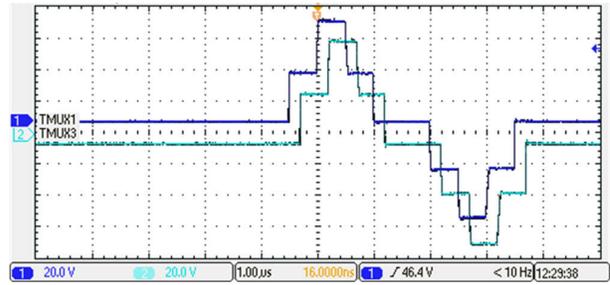


图 3-7. B 模式波形

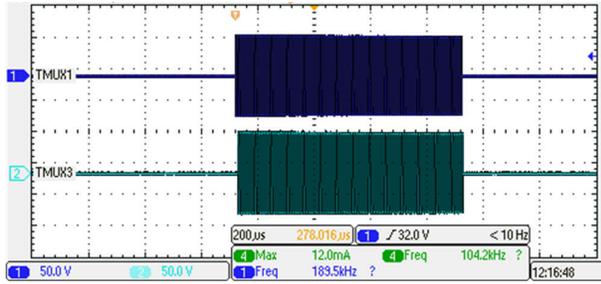


图 3-8. 弹性成像模式波形

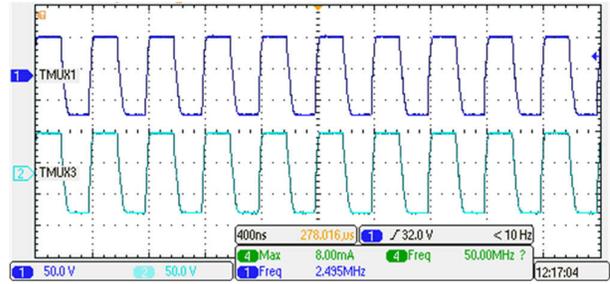


图 3-9. 弹性成像模式波形
(放大)

3.4.3 热力测试

在测试过程中，脉冲输出连接到实际 PZT 探头。接下来，在连续剪切波输出 10 分钟后，测试 TMUX9832 和 TX7516 的温升。TMUX9832 器件处于以下条件：

- 仅打开 16 个通道
- 弹性成像脉冲重复频率 (PRF) = 20Hz
- 频率 = 2.5MHz
- 转换脉冲发生器计数 = 1250
- 70V 峰值电压

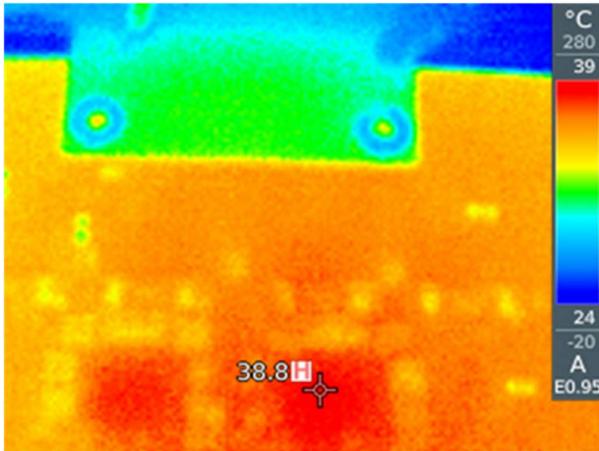


图 3-10. 启动

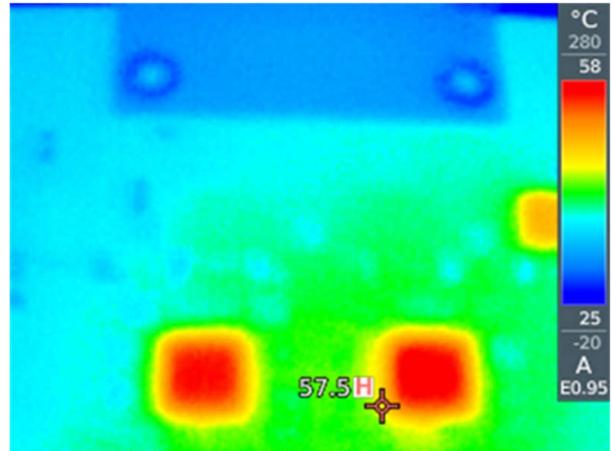


图 3-11. 10 分钟

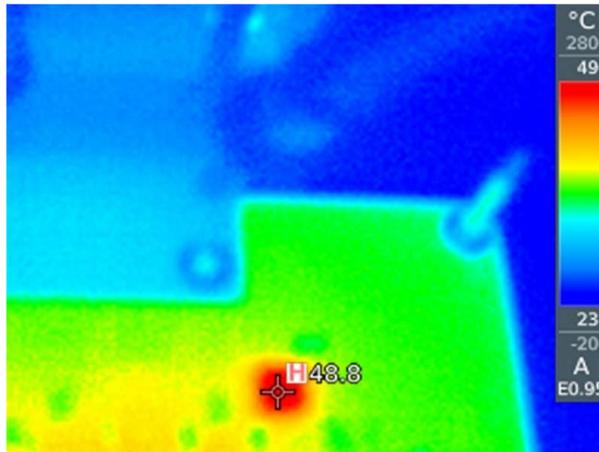


图 3-12. TMUX9832 (放大)

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010256](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010256](#) 中的设计文件。

4.2 工具与软件

工具

[XDS110 调试探针](#) XDS110 调试探针是一款低成本系统，用于调试和跟踪以德州仪器 (TI) 微控制器、微处理器和基于 DSP® 的系统为中心的嵌入式系统。

软件

[MCU-PLUS-SDK-AM243X](#) 适用于 Sitara 微控制器的 AM243x 软件开发套件 (SDK)

4.3 文档支持

- 德州仪器 (TI)，[TMUX9832 具有闩锁效应抑制的无高电压偏置、超出电源电压、220V 1:1、32 通道开关数据表](#)
- 德州仪器 (TI) [TX7516 带有 T/R 开关和片上波束成形器的五级 16 通道发送器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[AM243x Sitara™ 微处理器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[LM5155x 2.2MHz 宽输入非同步升压、SEPIC、反激式控制器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[LMK00304 3GHz 四路输出超低加性抖动差分时钟缓冲器/电平转换器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[TPSM63603 采用增强型 HotRod™ QFN 封装的高密度 3V 至 36V 输入、1V 至 16V 输出、3A 电源模块数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[TPS7A94 1A、超低噪声、超低 PSRR 低压降稳压器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[设计适用于超声智能探头的双极高压 SEPIC 电源应用手册](#)

4.4 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的 [使用条款](#)。

4.5 商标

E2E™, Sitara™, and TI 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.

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司