

Application Note

采用 TI 高压开关提高超声波扫描仪的可移植性



Michael Koltun

摘要

在超声波系统中，用于成像的压电式传感器 (PZT) 元件的数量可能是几十到几百个不等，具体取决于机器的类型和支持的通道数。这些压电式元件由高压 (HV) (通常高达 $\pm 100V$) 脉冲驱动，可产生足够的超声波能量用于成像。这些元件排列成阵列，以允许对超声波信号进行定向调优 (例如波束形成)。为了满足现代超声波系统的高通道数需求，同时达到尺寸和功耗限制的平衡，机器的前端发送和接收架构发挥了关键作用。本应用简报将讨论并比较示例 64 通道超声波系统的两种架构，分别使用 TI 较新的 32 通道模拟高电压多路复用器 TMUX9832 和 16 通道发送器器件 TX7516 创建。本文档还会展示具有两个发送器和四个多路复用器器件的 128 通道系统的实现，说明相同的架构可扩展为通道数更高的系统。

内容

1 引言.....	2
2 前端架构比较.....	3
3 具有多路复用器开关的发送器的布线拓扑.....	4
4 布局示例 — 采用 TMUX9832 BGA 封装的交织输入.....	7
5 扩展架构以实现通道数更高的系统.....	7
6 总结.....	8
7 参考资料.....	8

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

现代超声波系统在一个探针中使用多达 256 个传感器元件。人们对向传统有绳超声波探头添加更多的传感器元件且同时让尺寸保持不变的需求不断增加。此外，对开发便携式超声波智能探头的需求也不断增加，即在这些探头中添加更多模拟电路（使之便携），同时保持探头尺寸不变（或让探头更小）。这些便携式超声波智能探头在设计所有需要的电路方面具有较小的有效空间，并且需要消耗更少的功耗来实现电池供电的便携性（无绳超声波智能探头）。设计高通道数系统的一种方法是使用一个发送器通道驱动每个传感器元件。但是，超声波发送器比多路复用器消耗更多的功耗，这妨碍了便携性；功耗较高的器件自然需要容量较大的电池才能运行相同的时间。此外，与使用发送器和多路复用器的组合相比，高通道数系统中所需的发送器数量占用更大的 PCB 面积。

详细了解高压多路复用器如何放入超声波系统中，如图 1-1 所示。在这种情况下，多路复用器负责将发送和接收电路连接到传感器。依次激活多路复用器的通道以驱动探头元件的顺序部分。每个多路复用器通道将发送器的 $\pm 100V$ 脉冲传递给每个压电式元件。当一个元件随后接收到来自成像主体的返回信号时，多路复用器还会将这个信号传递回接收器电路，用于放大、数字转换、处理和显示。

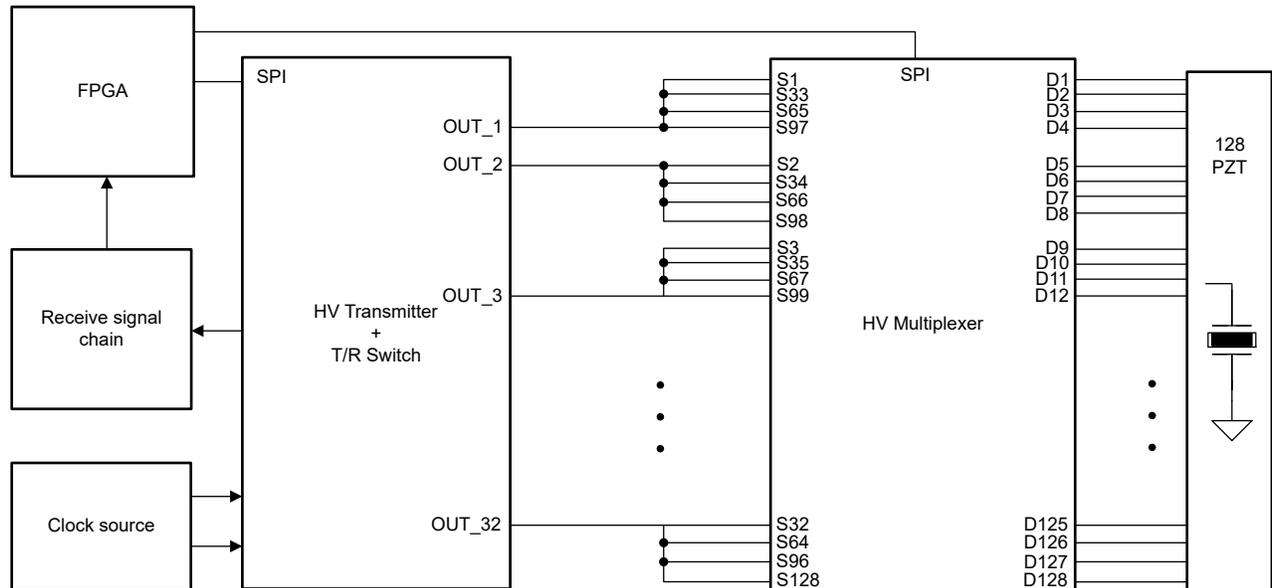


图 1-1. 显示发送器、开关和探头元件的超声波系统简要方框图

不但较新的便携式超声波设备需要多路复用器，而且传统的超声波设备也需要多路复用器。以推车超声波系统为例，在这些系统中，功耗和电路板面积没有手持式智能超声波设备那么受限。对于此类系统，电缆和探头设计是设计高通道数系统的一个限制因素。从广义上讲，每个超声波探头元件都需要相应的驱动器信号源。例如，为了保持良好的信号完整性，只有发送器的 256 通道系统要求每个探头元件的连接电缆中都具有相应的信号和接地线。在包含高压多路复用器的探头设计中，可以减小电缆的尺寸。探头主体中的多路复用器将减少的发送器信号线路由到原来数量的传感器元件；每个元件的信号源在电缆的导线之间共享，形成更轻、材料效率更高的设计。

图 1-2 展示了 1:2 配置，其中一个发送器通道和接收器通道连接到两个传感器元件。

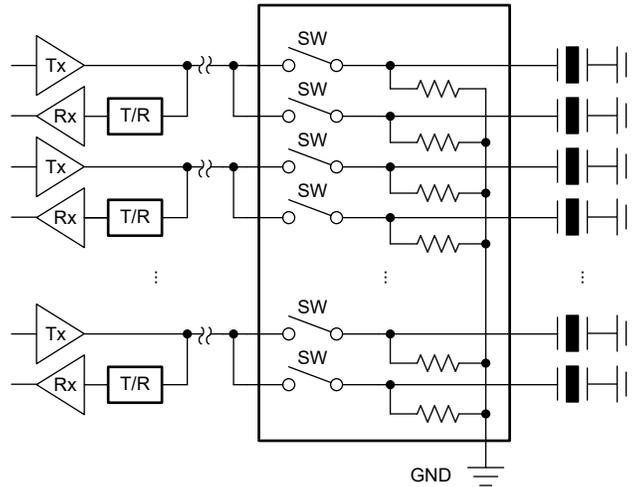


图 1-2. 展示了收发器和探头元件的开关 IC 内部

根据多路复用器 IC 的设计，IC 由两种方式之一供电：高压电源或低压电源。TI 的新款多路复用器 TMUX9832 是一款 32 通道 1:1 器件，采用标称 5V 单端电源供电。与采用专用高压电源的探头相比，此配置消除了探头内进行高压隔离的需要。由于所需的电源电压较低，因此还可降低热耗散和功率耗散。

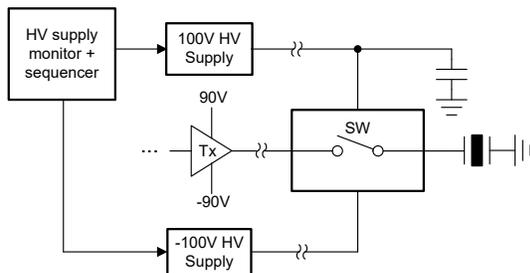


图 1-3. TMUX96xx 系列 (所示为单通道)

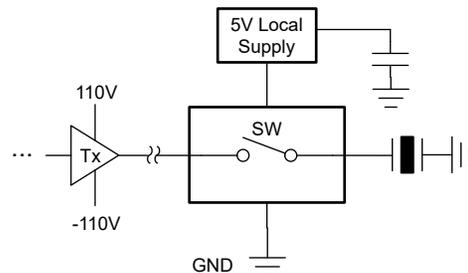


图 1-4. TMUX98xx 系列 (所示为单通道)

2 前端架构比较

本节介绍用于创建 64 通道系统的两种不同的超声波发送器前端架构 (图 2-1)。这两种架构均采用 TX7516 (具有发送/接收开关和片上波束形成器的 $\pm 100V$ 五级 16 通道发送器)。后一个架构采用 TMUX9832，这是一款具有闩锁效应抑制的 5V 电源 220V 高压 1:1、32 通道开关。

第一个架构由四个并行的 TX7516 发送器组成。在此配置中，可以同时驱动全部 64 个通道。每个 TX7516 在发送接收模式下耗散 77mW/通道，在连续波 (CW) 模式下耗散高达 197mW/通道。对于四个发送器，这相当于 4.93W 至 12.6W 的功耗范围。每个发送器 IC 均为 100mm^2 ，IC 总面积为 400mm^2 。

第二个架构包含两个 TX7516 发送器，它们连接到两个 TMUX9832 多路复用器。在此配置中，一次只从两个发送器驱动 32 个通道。开关将信号路由到相应的传感器元件，在每组 32 个通道之间交替以构成全部 64 个通道。当以 50kHz 的频率切换全部 32 个通道时，TMUX9832 的典型动态功耗为 9.5mW。两个发送器和两个开关一起的功耗可以从 2.47W 到 6.31W 之间的任何功耗。与全部采用发送器的设计相比，这相当于功耗降低了近 50%。每个多路复用器 IC (采用 BGA 封装) 为 56.25mm^2 ，IC 总面积为 312.5mm^2 ，相当于尺寸缩减了 22%。

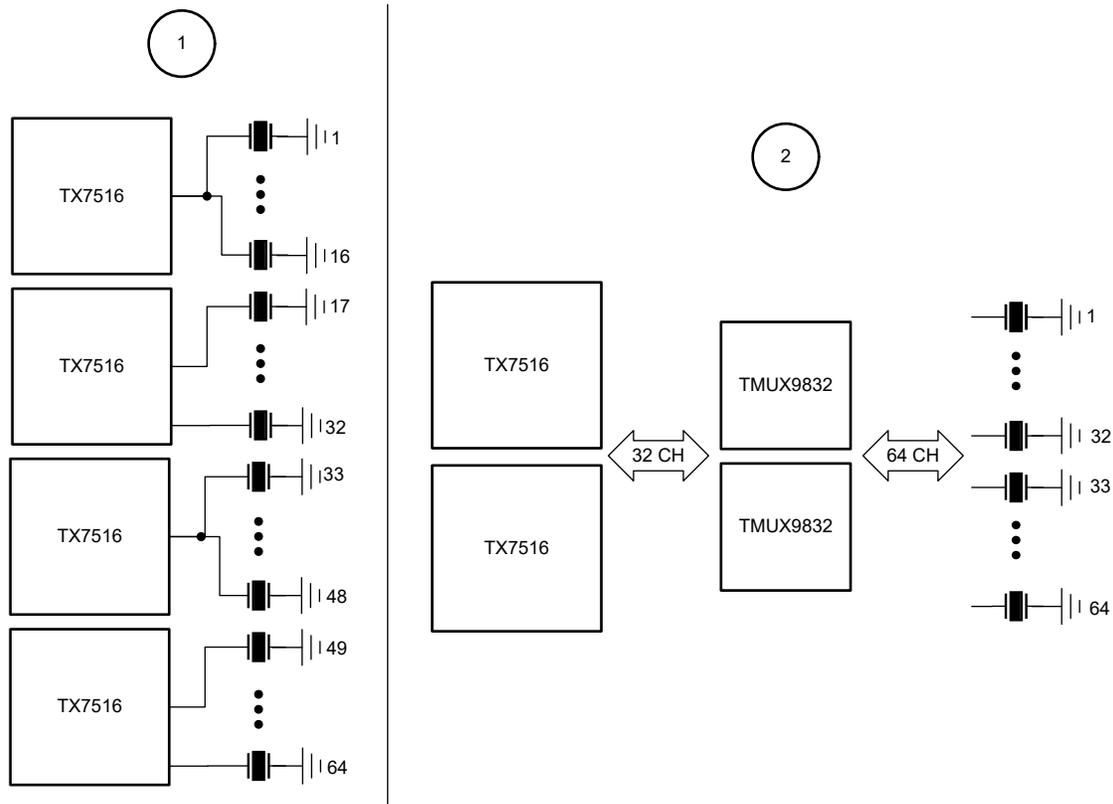


图 2-1. 64 通道超声波系统的示例前端架构

表 2-1 总结了前面概述的两种架构在功耗和尺寸方面的比较情况。

表 2-1. 超声波前端架构的功耗和尺寸比较

	四个 16 通道发送器	两个 16 通道发送器， 两个 32 通道开关	采用多路复用器实现的减少量 (%)
功耗 — B 模式 (W)	4.93	2.47	49.7%
功耗 — CW 模式 (W)	12.6	6.31	49.8%
IC 面积 (mm ²)	400	312.5	21.9%

另一种潜在的选择是使用四个 TX7516 器件（无多路复用器），但一次仅操作两个 TX7516 IC，总共发送 32 个通道。在本例中，对于 B 模式，此设计的总功耗可以为 2.496W，其中发送通道的功耗为 77mW/通道 × 32，而两个不发送的 TX7516 IC 的总功耗可为 16mW/IC × 2。对于此配置，两个 16 通道 TX7516 发送器和两个 32 通道 TMUX9832 开关架构的功耗改善仅提高 1%。但是，如果电路板上仍有四个发送器，IC 面积仍可能按相同的数量增大，客户还需要考虑采用四个 TX7516 IC 与两个 TX7516 IC 和两个 TMUX9832 IC 的价格差异。

3 具有多路复用器开关的发送器的布线拓扑

从广义上讲，有两种方法可用于组织发送器和多路复用器开关之间的连接。本节展示了一个具有两个 16 通道发送器和两个 32 通道多路复用器的示例系统，但这里概述的概念和布线拓扑可以扩展并应用到更广泛的场景。

第一种是交织的输入样式（图 3-1），指的是多路复用器开关输入的布线方式。每个相邻开关的输入连接到顺序发送器的输出。发送器的输出重复以连接额外的多路复用器 IC，从而与之前的连接交织。优势是在输出侧，从多路复用器到传感器的路由针对有序连接进行了优化。此外，扫描期间只需一个时钟周期即可更新所有开关通道的状态，因此可以加快系统切换时间。

第二种是**交织的输出样式** (图 3-2), 指的是多路复用器开关输出的布线方式。每个相邻开关的输出连接到不同的传感器元件, 并因此**交织**。优势是在输入侧, 从发送器到多路复用器的路由针对开关之间的短连接进行了优化。此外, 由于每个多路复用器上一次只能激活一半的通道, 因此在每个 IC 之间平均分配功率耗散。

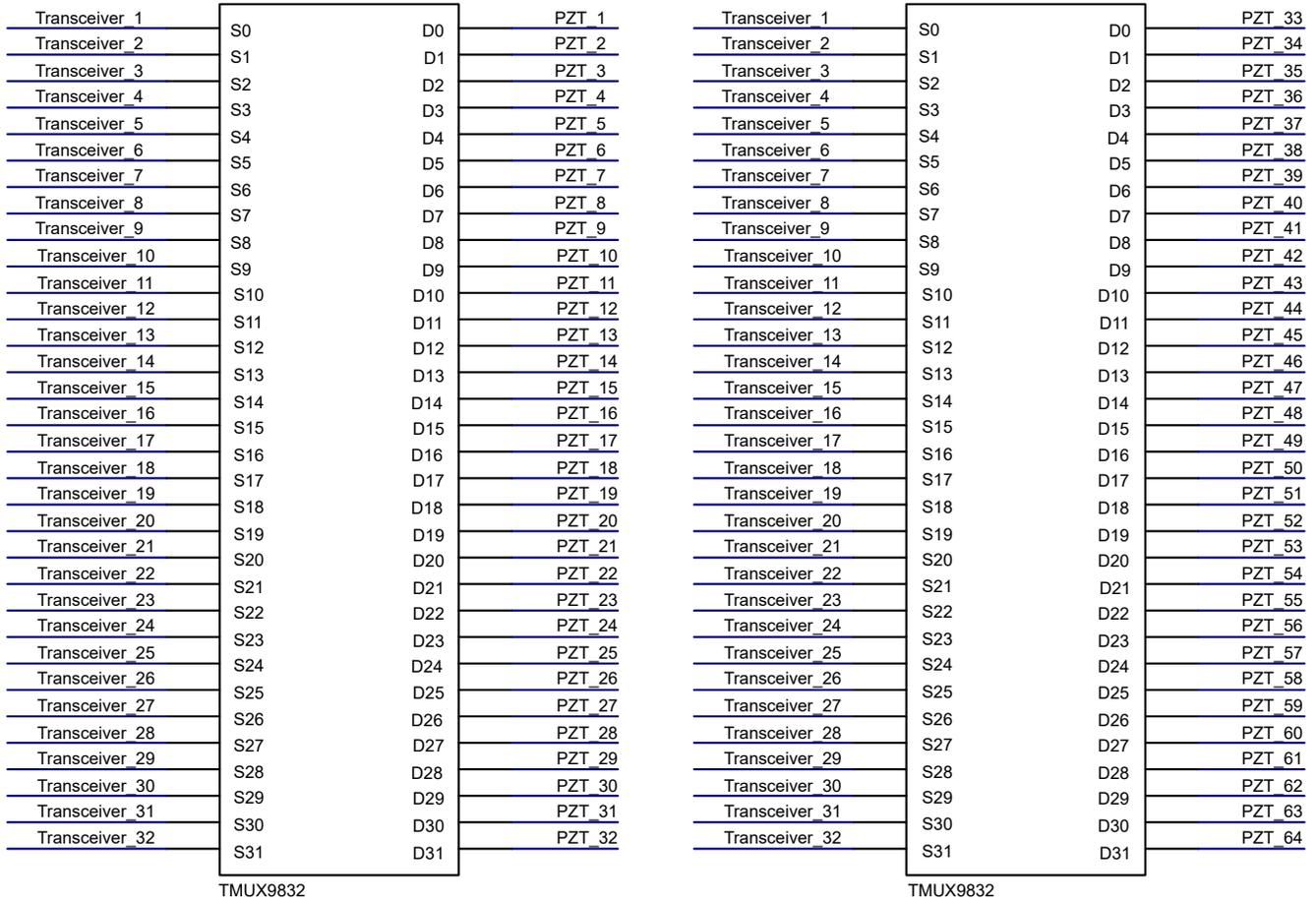


图 3-1. 64 通道超声波前端的交织输入布线拓扑

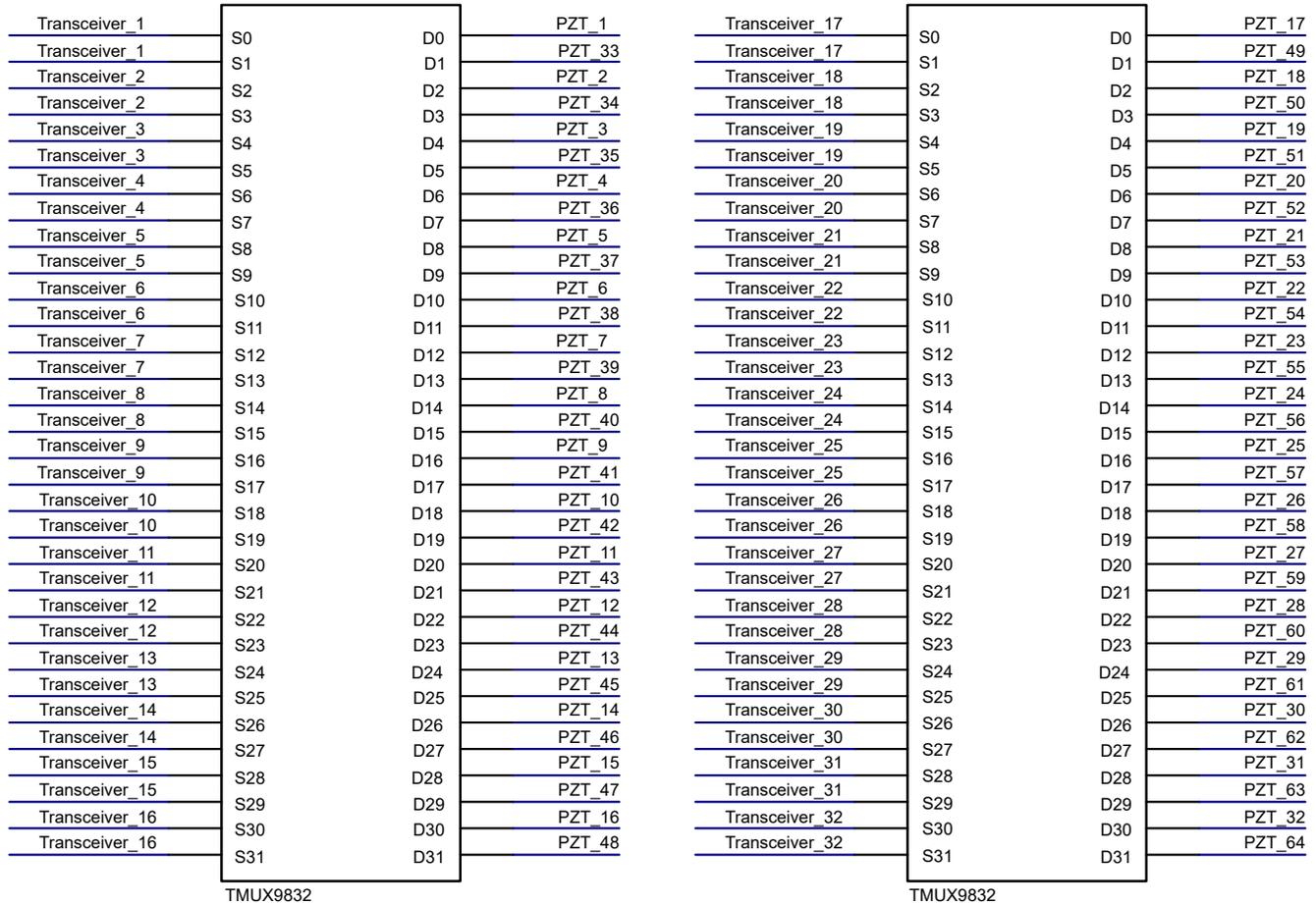


图 3-2. 64 通道超声波前端的交织输出布线拓扑

表 3-1 对交织输入和交织输出布线方法之间的权衡进行了比较。

表 3-1. 交织输入和交织输出布线样式之间的权衡比较

拓扑 (64 通道)	交织输入	交织输出
优势	<ul style="list-style-type: none"> 优化了多路复用器和传感器之间的布线。输出引脚排序与压电元件相同 扫描期间只需一个时钟周期即可更新所有开关通道的状态 (可以加快系统切换时间) 根据系统应用场景, SET/CLR 可用于仅使用 1 个 GPIO 开启/关闭所有通道并消除对 SPI 的需求 	<ul style="list-style-type: none"> 优化了发送器和多路复用器之间的布线。每个发送器通道都连接到一个 IC。多路复用器上的输入引脚彼此相邻, 可在 IC 上短接 一次使用一半的通道, 功率在两个多路复用器之间耗散
局限性	<ul style="list-style-type: none"> 发送器和多路复用器引脚之间需要交织布线 所有 32 通道多路复用器可以同时激励, 并且每个 IC 消耗更高的功率 	<ul style="list-style-type: none"> 多路复用器输出引脚和压电元件之间需要交织布线

4 布局示例 — 采用 TMUX9832 BGA 封装的交织输入

TMUX9832 有两种封装可选：7.5mm x 7.5mm BGA 封装和 10mm x 10mm QFN 封装。图 4-1 展示了参考布局的一部分，其中使用两个 TX7516 发送器和四个 TMUX9832 开关以交织输入的形式实现 128 通道超声波系统。由于接收器通常只需要约 -50dB 即可获得良好的图像质量，因此在布线时应注意在每条布线之间留出足够的间隔以将串扰降到 -50dB 以下。16 层堆叠的设计确保每个信号都有一个相邻的接地层来提供返回电流。接地过孔放置在信号更改参考平面的位置以降低 EMI。来自发送器的连接采用星形配置进行布线，并且在布线开头附近有一个过孔。

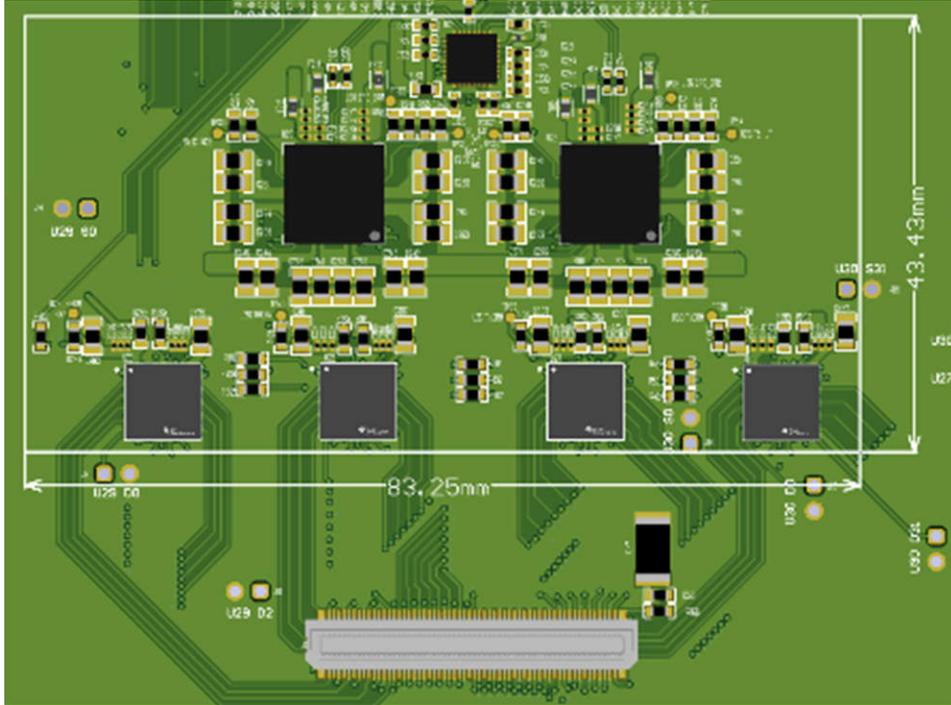


图 4-1. 128 通道超声波发送器前端设计的 3D 视图

可应要求提供上述参考布局的完整 PCB 布局文件。请联系您的 TI 代表以申请并获得该文件。

5 扩展架构以实现通道数更高的系统

从根本上说，要使用的发送器和开关数量由设计人员决定；决定因素包括所需超声图像的质量以及前面提到的功耗和面积等其他设计限制因素。其他因素包括布线层数和 PCB 尺寸，以及紧凑型 and 封闭型器件的散热注意事项。此类器件的一种常见技术是在堆叠设计中使用板对板连接器。

6 总结

本应用手册阐述了使用 TI 的高压多路复用器提高超声波扫描仪的便携性所具有的优势和局限性。当超声波设计图像质量目标允许降低最大发射孔径或图像帧速率时，多路复用器使设计人员能够降低设计的功耗、设计尺寸和系统总成本。由于许多便携式超声波设备可以利用这种较小的发射孔径来获得图像质量目标，因此使用超声波多路复用器是一种降低系统功耗、设计尺寸和成本并提高最终产品便携性和性价比的好方法。

随着在 TI 高压多路复用器器件的帮助下不断开发紧凑型低功耗超声波设计，此成像技术得以广泛使用。随着时间的推移，每位医生都将可用到支持无创诊断技术的手持超声波扫描仪，就像听诊器一样。在无损检验（用于识别材料、组件或结构中的缺陷、不一致或瑕疵）等领域中，超声波成像技术的其他应用也可从 TI 高压多路复用器器件的功耗和尺寸优势中获益。

7 参考资料

- 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)，[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)，[使用超声波发送器和接收器构建高性能 NDT 系统](#) 应用简报。

重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司