

Application Note

TXB0604 与同类电平转换器的波形比较研究



Jack Guan

摘要

高吞吐量对于数据中心通信至关重要，尤其是在四路 SPI（单端、半双工、六通道总线）等串行接口中。为了验证良好的信号完整性和支持的最大带宽，系统设计人员必须靠近主机/目标器件，但这样做并不总是可行的。如果此类系统需要在较长的布线/连接器长度上驱动这些信号，建议使用 TXB0604 或 TXB0606 来补偿因添加的线路电容而产生的带宽损耗，从而实现快速 QSPI 闪存更新。本应用手册在典型的工作台设置下，通过三种常见配置方案，评估了当今市场上的主流设计 TXB0604 的性能。

内容

1 简介.....	3
2 TXB0604 与传统和现有市场解决方案相比如何？.....	3
2.1 建议的器件选型.....	4
3 案例研究.....	4
3.1 在轻容性负载条件下的性能.....	4
3.2 高容性负载下的性能.....	7
3.3 分布式容性负载的性能.....	10
4 TXB0604 / TXB0606 的设计注意事项.....	14
4.1 阻抗匹配.....	14
4.2 方向更改等待时间, T_{DCW}	15
5 总结.....	16
6 参考资料.....	16

插图清单

图 3-1. 轻容性负载工作台设置, 1.2V 至 1.8V.....	5
图 3-2. TXB0104, 1.2V 至 1.8V, 输出 $C_{load} = 15\text{pF}$, 60MHz.....	5
图 3-3. TXB0604, 1.2V 至 1.8V, 输出 $C_{load} = 15\text{pF}$, 60MHz.....	6
图 3-4. 轻容性负载工作台设置, 1.8V 至 3.3V.....	6
图 3-5. TXB0604, 1.8V 至 3.3V, 输出 $C_{load} = 15\text{pF}$, 80MHz.....	7
图 3-6. 高容性负载工作台设置, 1.2V 至 1.8V.....	7
图 3-7. 竞品, 1.2V 至 1.8V, 输出 $C_{load} = 100\text{pF}$, 20MHz.....	8
图 3-8. TXB0604, 1.2V 至 1.8V, 输出 $C_{load} = 100\text{pF}$, 20MHz.....	8
图 3-9. 高集总容性负载工作台设置, 1.8V 至 3.3V.....	9
图 3-10. 竞品, 1.8V 至 3.3V, 输出 $C_{load} = 100\text{pF}$, 10MHz.....	9
图 3-11. TXB0604, 1.8V 至 3.3V, 输出 $C_{load} = 100\text{pF}$, 10MHz.....	9
图 3-12. 重分布式容性负载工作台设置, 1.2V 至 1.8V.....	10
图 3-13. TXB0104, 1.2V 至 1.8V, 输出 $C_{load} = 20\text{in}$. 布线 + 50pF , 15MHz.....	10
图 3-14. 竞品, 1.2V 至 1.8V, 输出 $C_{load} = 20\text{in}$. 布线 + 50pF , 33MHz.....	11
图 3-15. TXB0604, 1.2V 至 1.8V, 输出 $C_{load} = 20\text{in}$. 布线 + 50pF , 33MHz.....	11
图 3-16. 重分布式容性负载工作台设置, 1.8V 至 3.3V.....	12
图 3-17. TXB0104, 1.8V 至 3.3V, 输出 $C_{load} = 20\text{in}$. 布线 + 50pF , 15MHz.....	12
图 3-18. 竞品, 1.8V 至 3.3V, 输出 $C_{load} = 20\text{in}$. 布线 + 50pF , 15MHz.....	13
图 3-19. TXB0604, 1.8V 至 3.3V, 输出 $C_{load} = 20\text{in}$. 布线 + 50pF , 15MHz.....	13
图 4-1. 与外部串联电阻器的阻抗匹配.....	14
图 4-2. TXB0604, 1.2V 至 1.8V, 阻抗匹配不正确.....	14
图 4-3. TXB0604, 1.2V 至 1.8V, 阻抗匹配正确.....	15

图 4-4. 确定自动方向数据流中所需的虚拟周期.....	16
-------------------------------	----

表格清单

表 2-1. TXB 型转换器的规格概述.....	3
---------------------------	---

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

本应用手册是攻克 **TXB 型转换器设计挑战** 的延伸内容，介绍了 TXB 型转换器 (TXB010x、TXB030x、TXB060x) 特有的设计挑战。虽然所有三款器件都能解决双向数据信号的不匹配工作电压问题，但 **TXB0604 / TXB0606** 的独特之处在于该器件还可帮助设计人员降低传输线路效应导致的噪声和带宽限制。本应用手册通过 4 通道等效器件的基准设置及当今主要器件的波形来演示 **TXB0604** 和 **TXB0606** 的功能。这种设计使设计人员即使在面临中到严重的容性负载总线时也能实现更高的吞吐量，而以前认为这些条件对于传统设计或竞争性设计来说并不可取。有关 **TXB0604 / TXB0606** 的背景用例及其应用示例，请参阅 [从瓶颈到突破：使用 TXB0604/TXB0606 在数据中心优化 QSPI 性能](#)。

有关常见接口类型的电平转换器件建议，请访问 TI 的 [电压转换器和电平转换器](#) 页面。

2 TXB0604 与传统和现有市场解决方案相比如何？

两种器件架构均具有类似的基于推挽缓冲器的输出结构和阻尼电阻器，以弱驱动逻辑状态至适当的直流电平。在逻辑信号转换（交流状态）期间，会瞬间激活单稳态电路以提供快速压摆率，从而实现更高的数据速率。表 2-1 展示了 TXB010x 和 TXB060x 与竞品之间的特性差异。

表 2-1. TXB 型转换器的规格概述

规格	器件		
	TXB060x	TXB010x	竞争器件
V_{CCA}	0.9V- 2V	1.2V- 3.6V	0.9V- 2V
V_{CCB}	1.65V- 3.6V	1.65V- 5.5V	1.65V- 3.6V
最大数据速率 (输出 $C_{load} = 15\text{pF}$)	180Mbps	100Mbps	140Mbps
最大数据速率 (输出 $C_{load} = 100\text{pF}$)	132Mbps	未表征	60Mbps
最大数据速率 (输出 $C_{load} = 50\text{pF} + 20\text{in}$ 布线)	128Mbps	未表征	未指定
P 输入架构	基于施密特触发	CMOS	CMOS
电源限制	-	$V_{CCA} \leq V_{CCB}$	-
I_{OFF} (局部关断泄漏)	4 μA	2 μA	30 μA
$I_{CCA} + I_{CCB}$	18 μA	10 μA	36 μA
内部串联电阻	1k Ω	4k Ω	1k Ω
单次触发阻抗 (典型值)	22 Ω ($V_{CCO} = 0.9\text{V}$ 至 3.6V)	<ul style="list-style-type: none"> • 70Ω ($V_{CCO} = 1.2\text{V}$ 至 1.8V) • 50Ω ($V_{CCO} = 1.8\text{V}$ 至 3.3V) • 40Ω ($V_{CCO} = 3.3\text{V}$ 至 5V) 	-
输入驱动器要求	驱动强度： $\pm 3\text{mA}$	驱动强度： $\pm 2\text{mA}$	驱动强度： $\pm 3\text{mA}$
工作温度	-40 $^{\circ}\text{C}$ 至 125 $^{\circ}\text{C}$	-40 $^{\circ}\text{C}$ 至 85 $^{\circ}\text{C}$	-40 $^{\circ}\text{C}$ 至 85 $^{\circ}\text{C}$
引脚对引脚？	Y	Y	Y
支持的通道型号	4,6	1,2,4,6,8	-

- 有关 TXB 转换器的更多信息，请参阅 [使用 TXB 型转换器进行电压转换的指南](#) 和器件的数据表。

2.1 建议的器件选型

虽然 TXB0104 和 TXB0604 都可用于推挽自动双向信号应用，以下是各器件的建议特定用例：

TXB0604 用于具有以下特性的应用：

- 对称电源 ($V_{CCA} \leq$ 或 $\geq V_{CCB}$)
- I/O 在 0.9V 和 3.6V 之间工作
- 需要高达 100pF 输出负载的高数据带宽
- 输出端存在中等至重度集总电容负载与分布电容负载，连接器长度小于 20in
- 存在缓慢或嘈杂的输入信号

建议将 TXB0104 用于具有以下特性的应用：

- I/O 在 1.2V 和 5.5V 之间工作
- 数据速率高达 100Mbps
- 布线长度很小/容性负载极小

3 案例研究

我们对典型的工作台设置进行了仿真，以涵盖三种不同的负载场景：

- 光电容；在被测器件 (DUT) 的输出端增加 15pF
- 高电容；在 DUT 的输出端增加 100pF
- 分布电容；在 DUT 的输出端增加 20in 布线长度 + 50pF

每种配置的方框图均作为参考，并提供了与竞品和传统对应产品相比的性能。这三种情况是在室温 (25°C) 下在两个电压范围内进行测试的：1.2V → 1.8V 和 1.8V → 3.3V。

3.1 在轻容性负载条件下的性能

第一项测试评估每个器件在最小容性负载下的峰值性能。通过将输出负载限制为仅 15pF，用户可以测量每个转换器的典型最大能力。关于测试设置，请参阅 [图 3-1](#)。

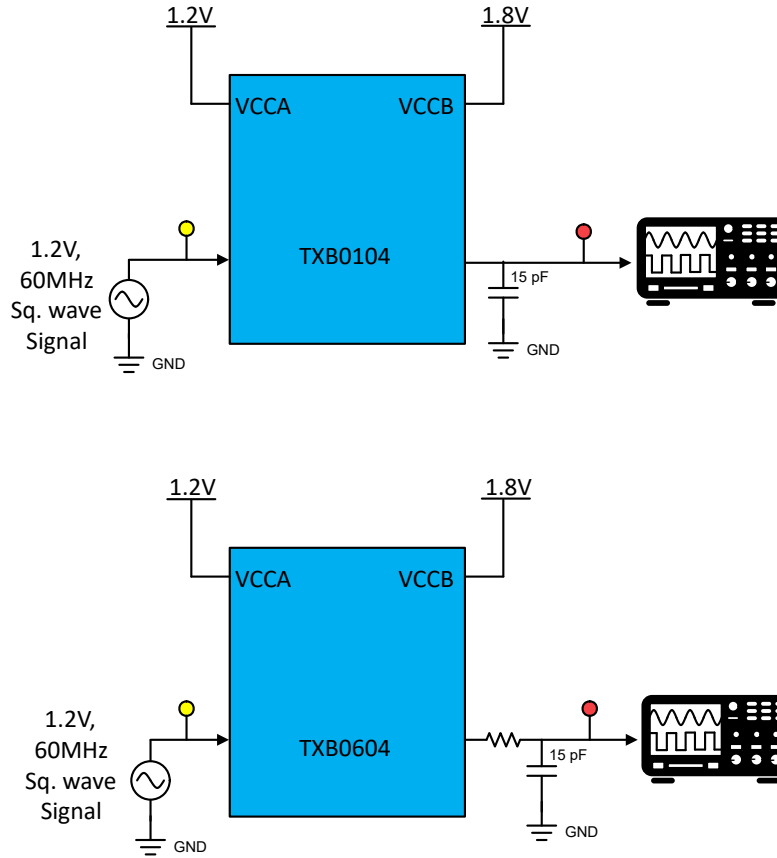


图 3-1. 轻容性负载工作台设置, 1.2V 至 1.8V

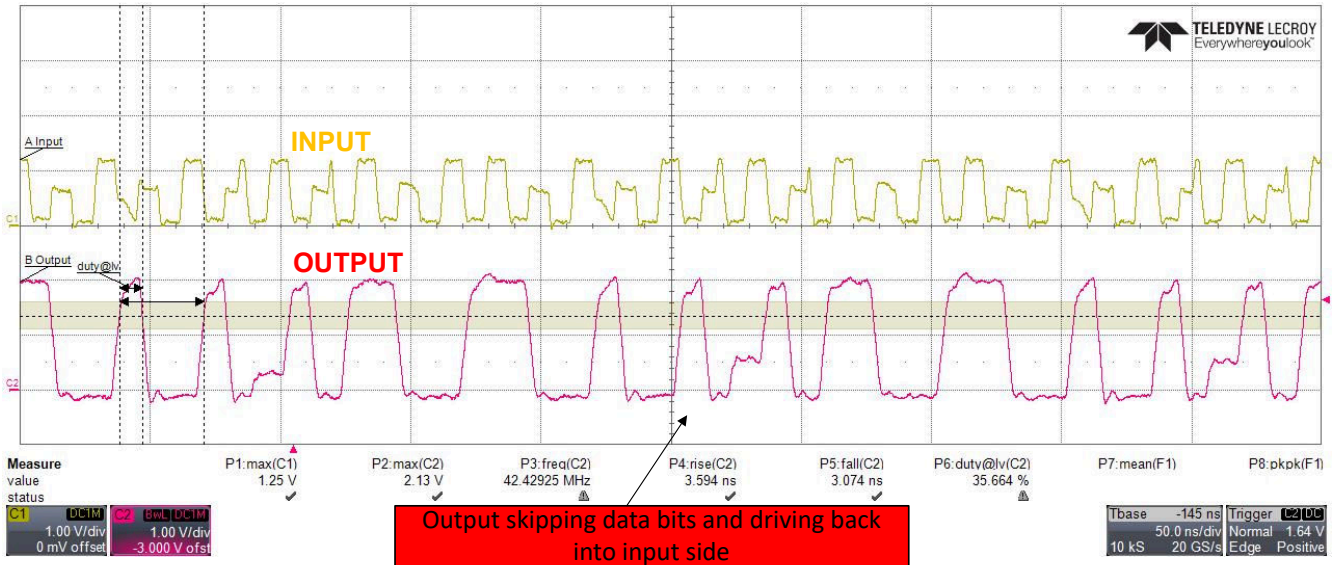


图 3-2. TXB0104, 1.2V 至 1.8V, 输出 $C_{load} = 15\text{pF}$, 60MHz

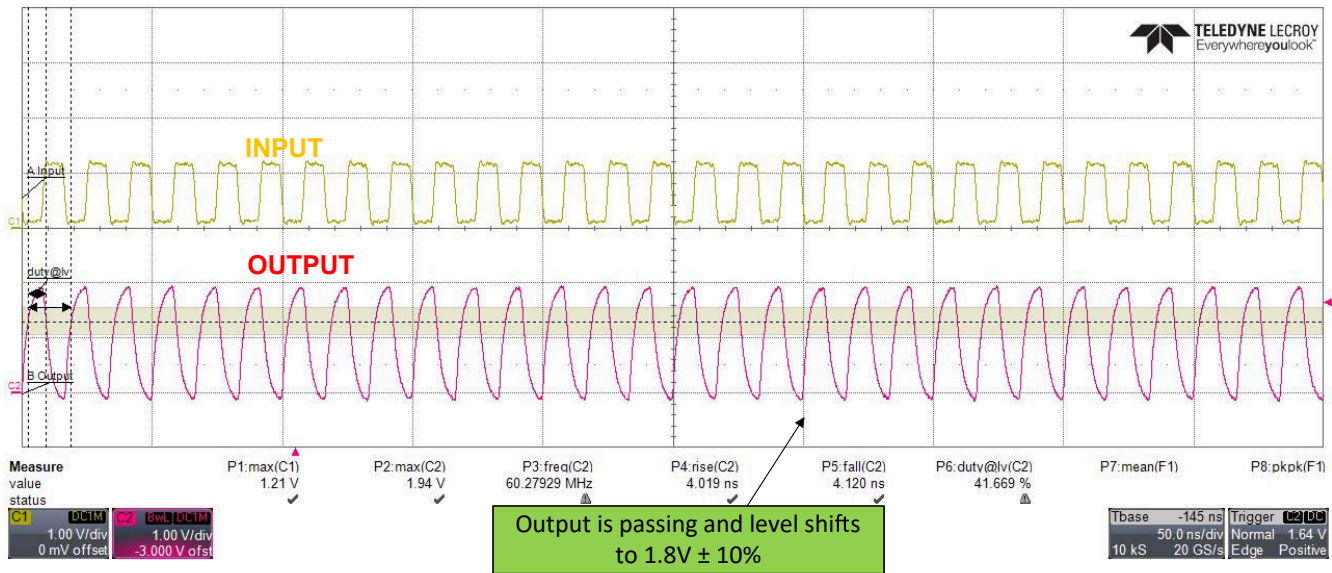


图 3-3. TXB0604，1.2V 至 1.8V，输出 $C_{load} = 15\text{pF}$ ，60MHz

在两个器件提供相同输入信号的情况下，TXB0104 (图 3-2) 无法支持 60MHz / 120Mbps 信号，因为该信号超过了器件支持的最大数据速率，所以会跳过数据位。但是，TXB0604 可以不出问题地处理 60MHz 信号。在更高的 VCC 下，TXB0604 能够实现 80MHz+，如设置和波形所示。

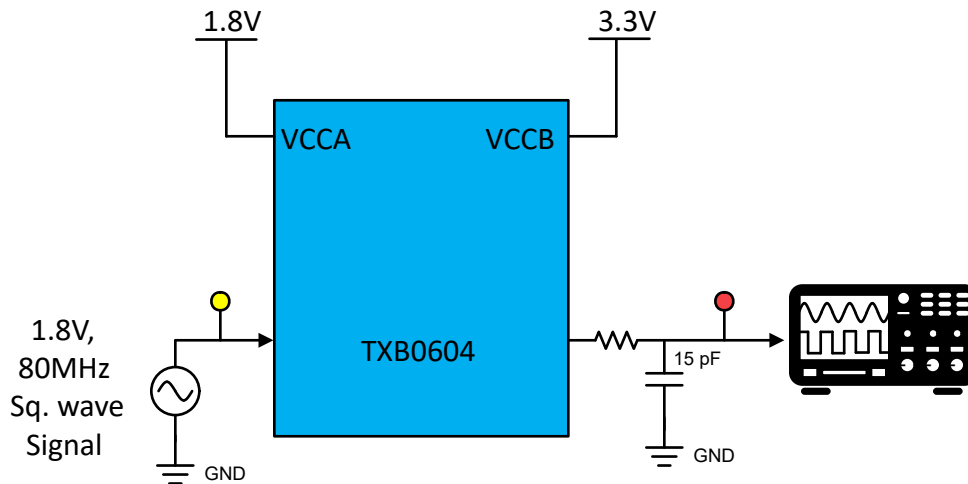


图 3-4. 轻容性负载工作台设置，1.8V 至 3.3V

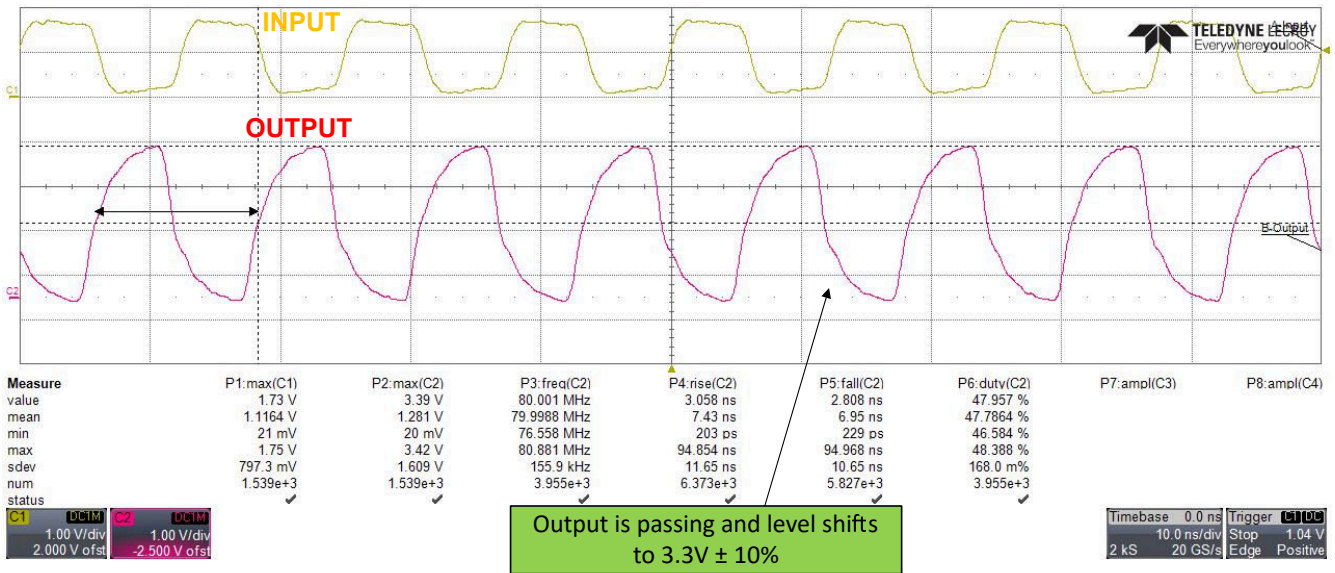


图 3-5. TXB0604，1.8V 至 3.3V，输出 $C_{load} = 15\text{pF}$ ，80MHz

上面的波形捕获了 TXB0604 在小容性负载条件下以高数据速率运行时的信号完整性。

3.2 高容性负载下的性能

在第二组测试中，将分析 DUT 在重容性负载下运行时的信号完整性。评估 1.2V 至 1.8V 和 1.8V 至 3.3V 电压角点。

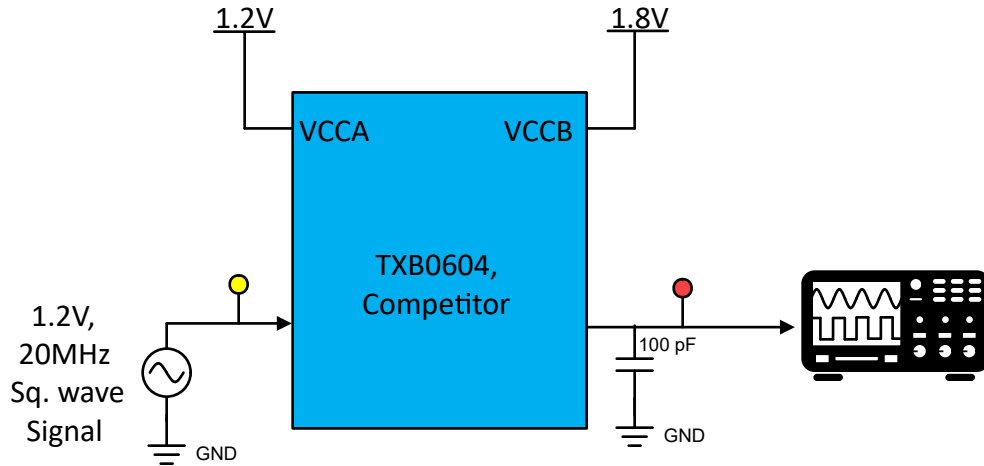


图 3-6. 高容性负载工作台设置，1.2V 至 1.8V

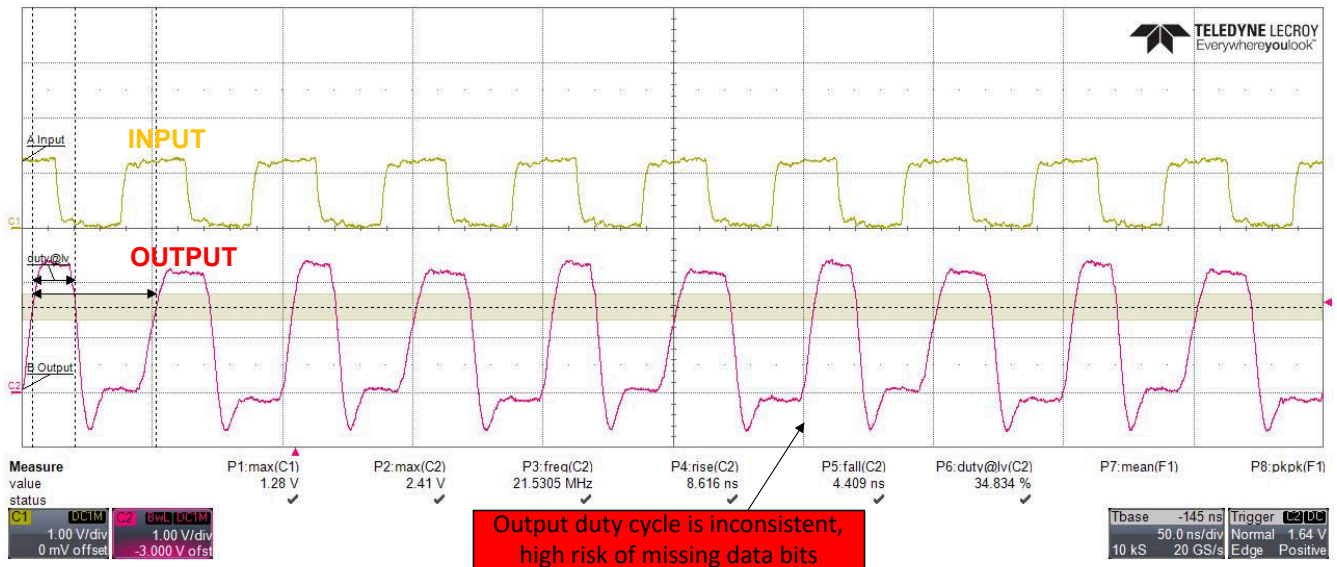


图 3-7. 竞品, 1.2V 至 1.8V, 输出 Load = 100pF, 20MHz

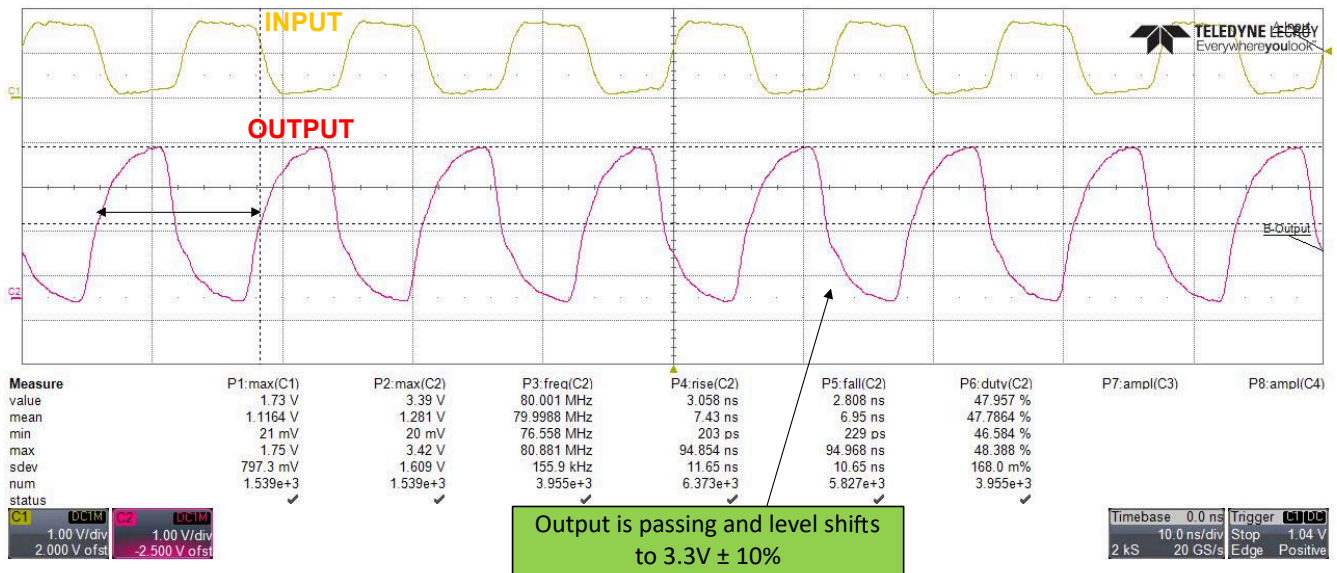


图 3-8. TXB0604, 1.2V 至 1.8V, 输出 Load = 100pF, 20MHz

请注意，在输入高电平状态期间，竞品的输出信号（图 3-7）与逻辑保持时间不一致（输出占空比时间发生变化，降至 35%）。这增加了丢失数据位而导致通信失败的风险。但是，TXB0604 能够以更干净的信号完整性传输 20MHz 信号。

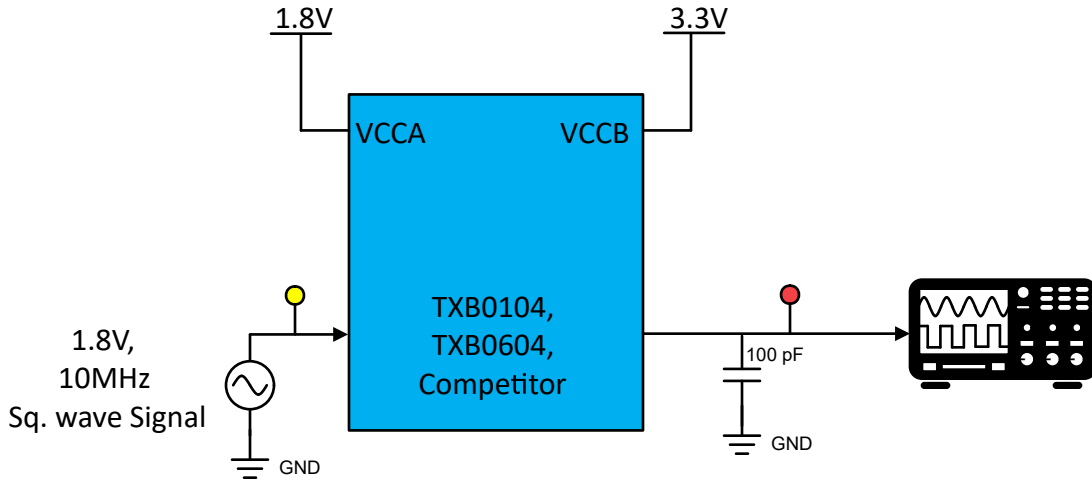


图 3-9. 高集总容性负载工作台设置, 1.8V 至 3.3V

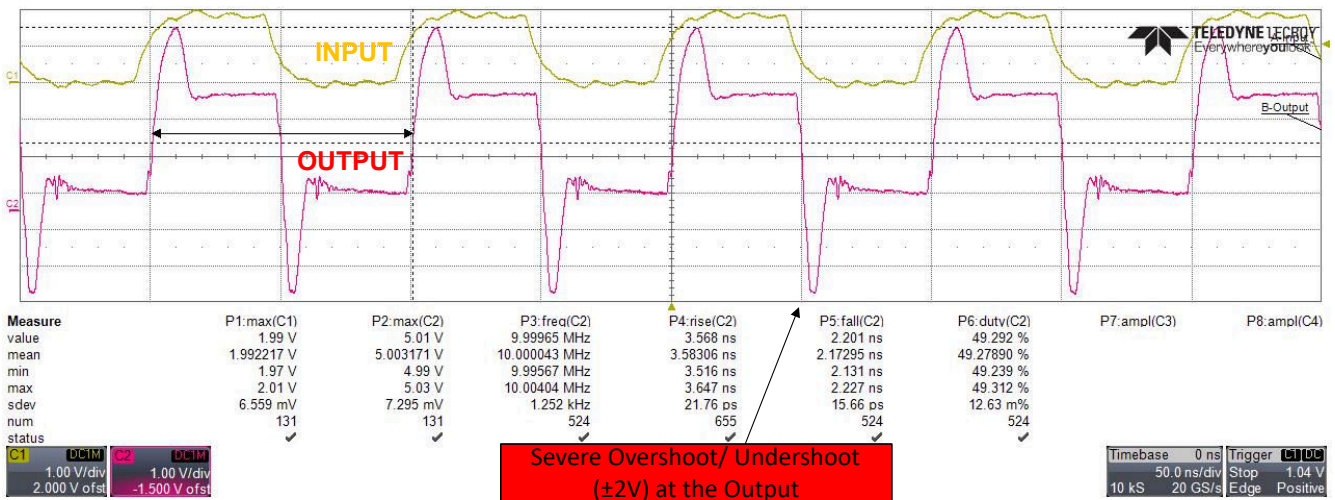


图 3-10. 竞品, 1.8V 至 3.3V, 输出 Cload = 100pF, 10MHz

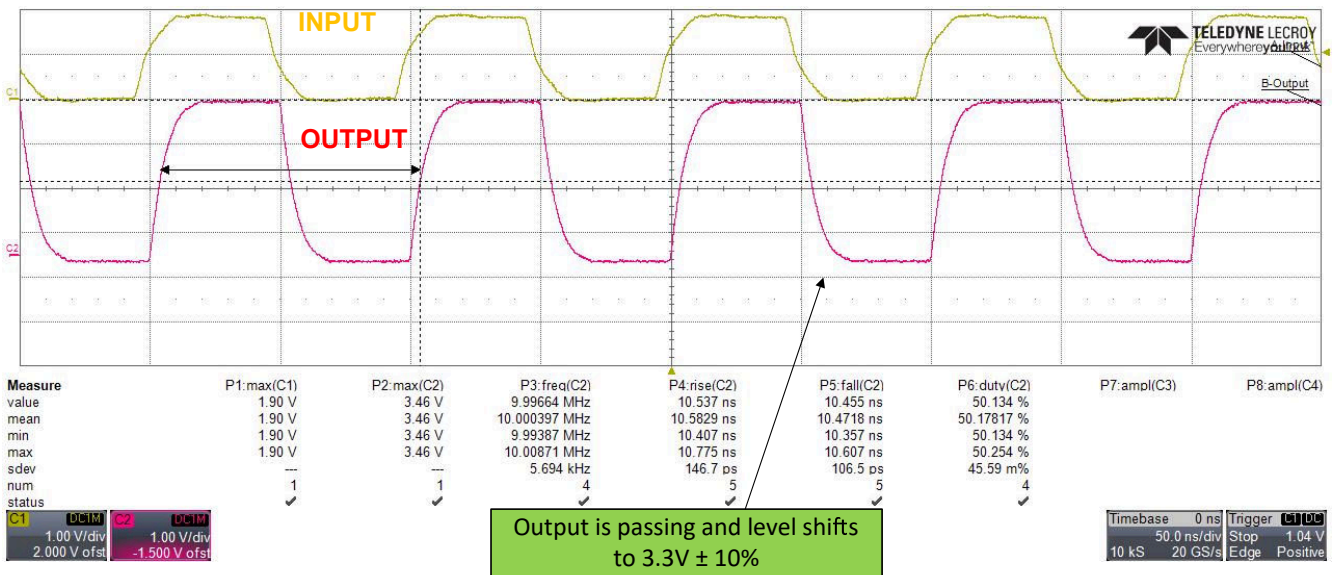


图 3-11. TXB0604, 1.8V 至 3.3V, 输出 Cload = 100pF, 10MHz

TXB0604 能够对输出端的 3.3V 预期电平进行电平转换，没有下冲/过冲。然而，竞品的波形在 4.4V (图 3-11) 下观察到逻辑高输出，如果此输入电压超过支持的绝对最大限值，则可能导致主机/目标设备损坏。

3.3 分布式容性负载的性能

第三个基准测试条件涵盖了因处理器到电平转换器或电平转换器到闪存器件之间使用了冗长的 PCB 布线和连接器而导致的分布式电容。此工作台设置针对 1.2V 至 1.8V 和 1.8V 至 3.3V 转换进行了评估。

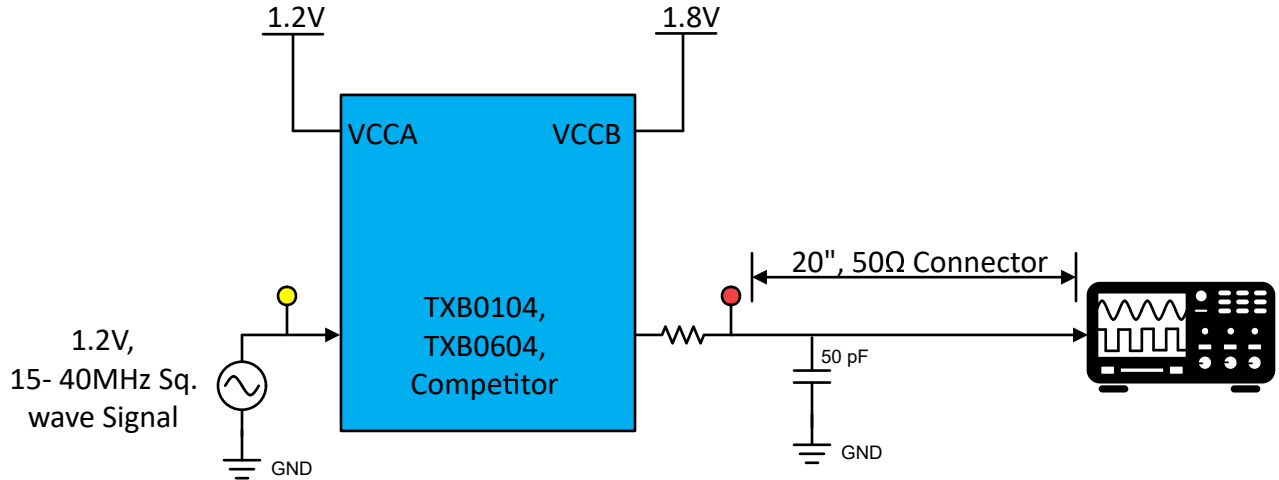


图 3-12. 重分布式容性负载工作台设置，1.2V 至 1.8V

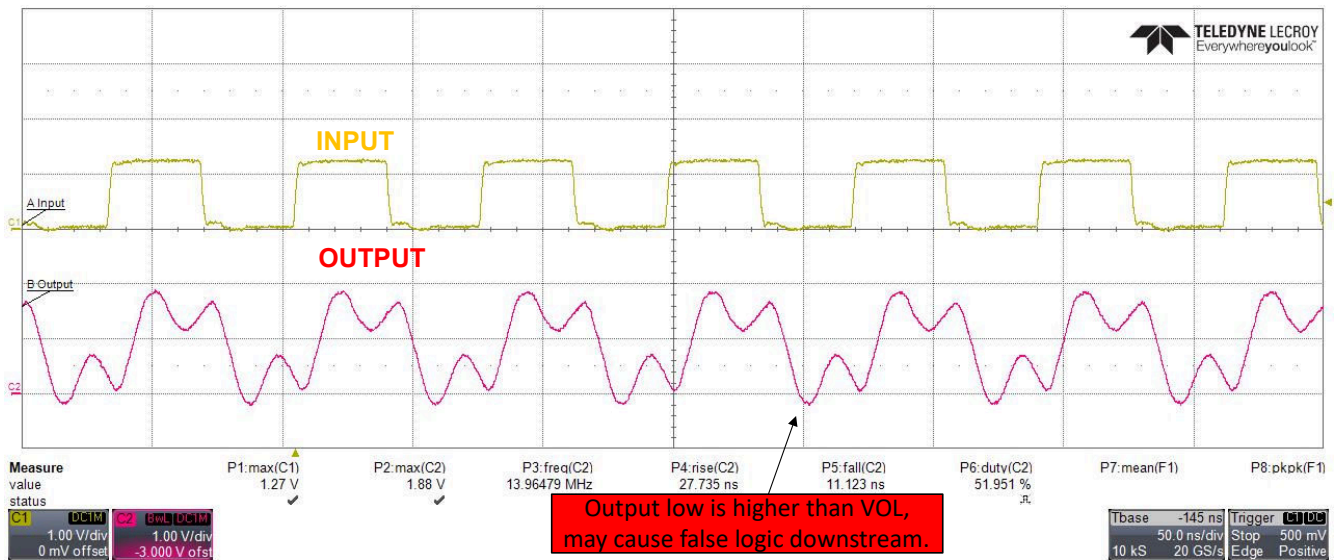


图 3-13. TXB0104，1.2V 至 1.8V，输出 $C_{load} = 20in$ 。布线 + 50pF，15MHz

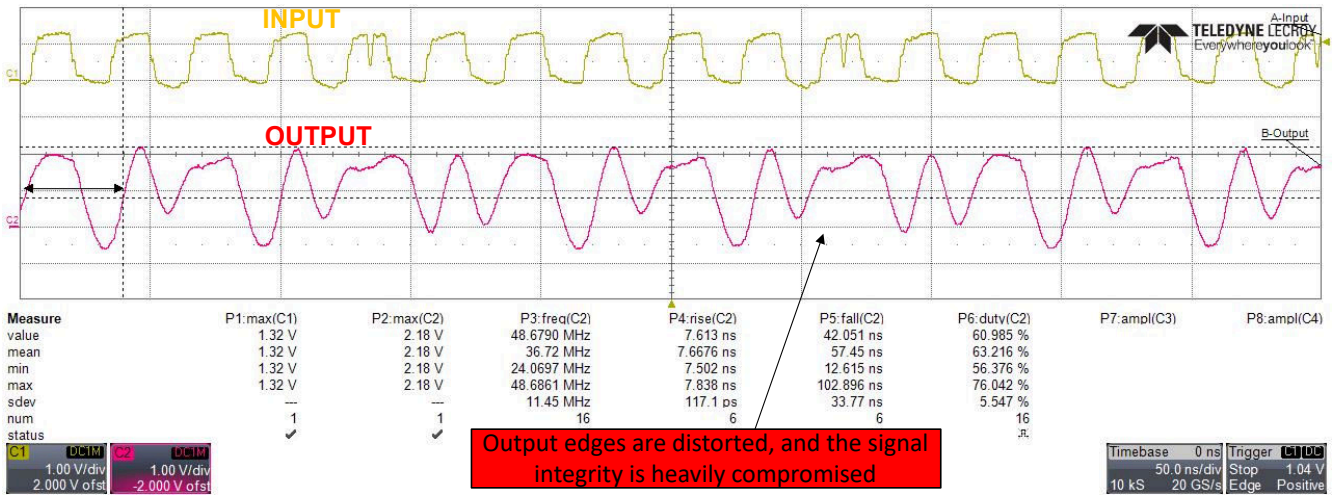


图 3-14. 竞品, 1.2V 至 1.8V, 输出 Cloud = 20in。布线 + 50pF, 33MHz

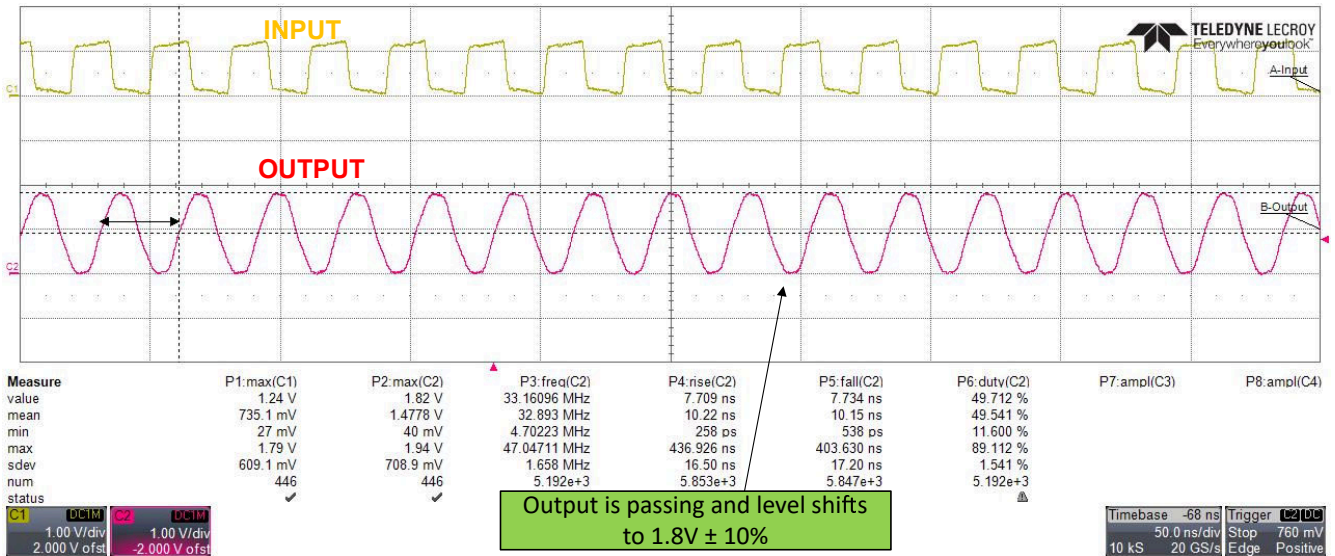


图 3-15. TXB0604, 1.2V 至 1.8V, 输出 Cloud = 20in。布线 + 50pF, 33MHz

由于寄生效应过大, TXB0104 和竞品器件无法容纳长电缆; 低电平输出电压与传输线路耦合, 从而导致干扰将 VOL 提高至接近 800mV。TXB0604 在该应用中观察到最佳的信号完整性。

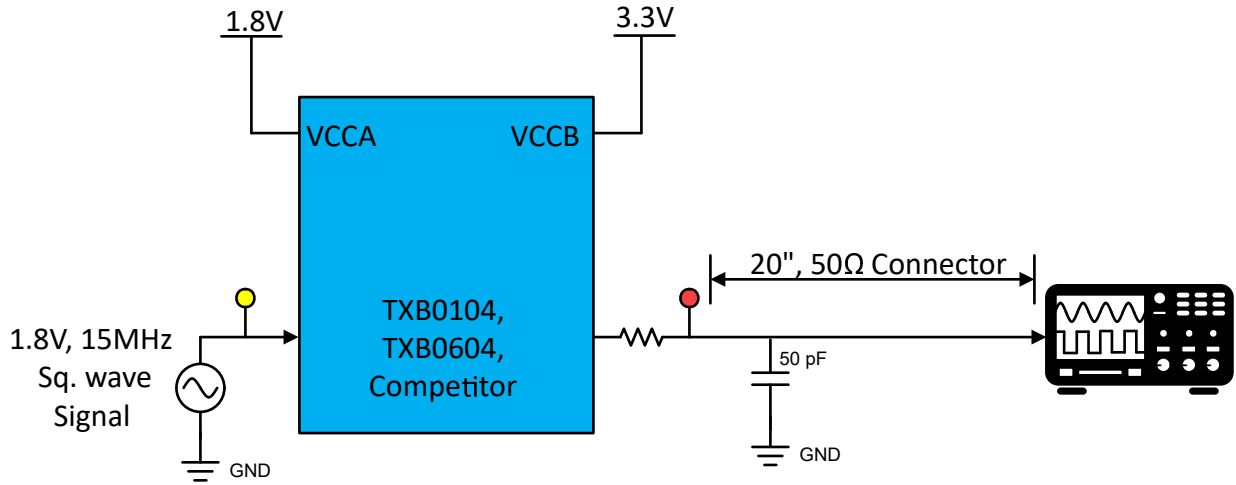


图 3-16. 重分布式容性负载工作台设置，1.8V 至 3.3V

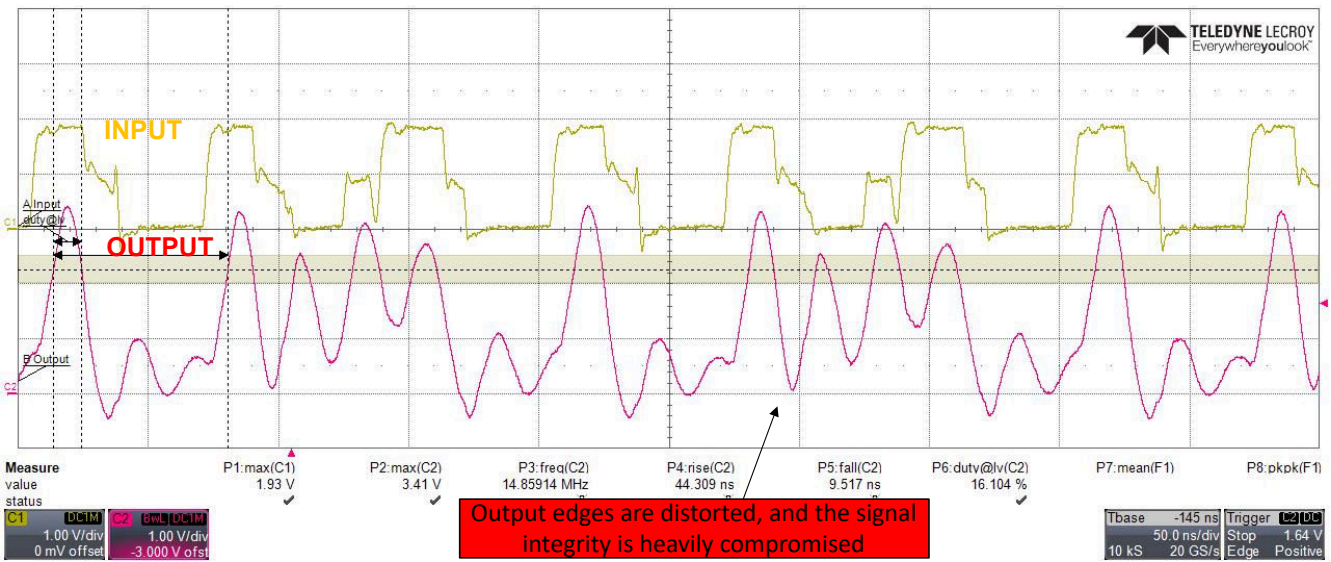


图 3-17. TXB0104，1.8V 至 3.3V，输出 Cload = 20in。布线 + 50pF，15MHz

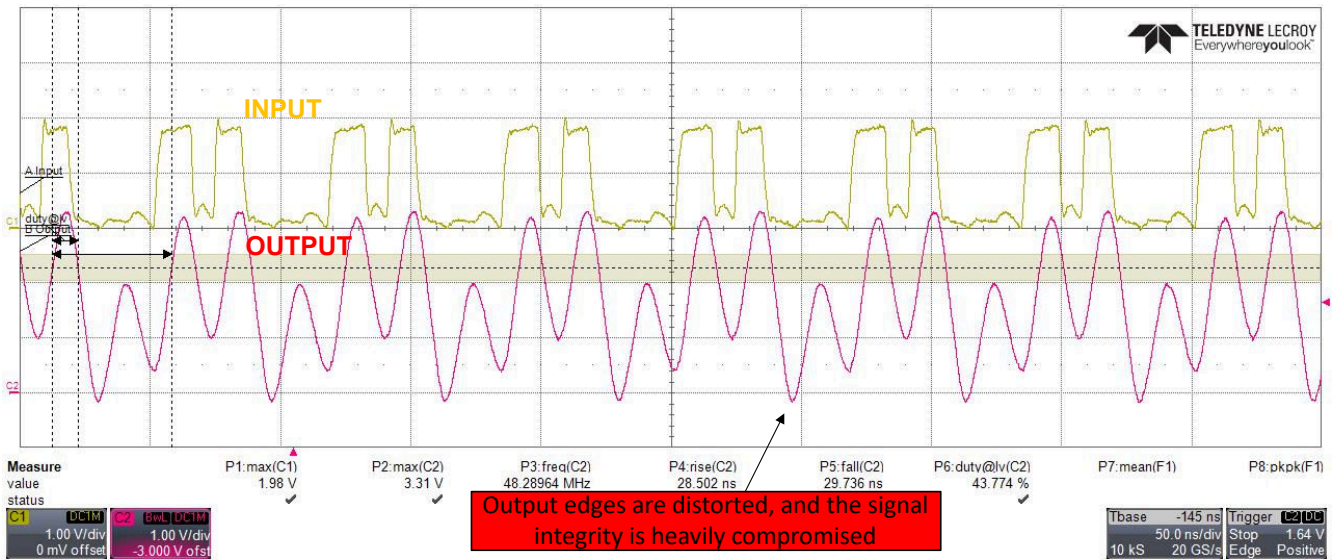


图 3-18. 竞品，1.8V 至 3.3V，输出 $C_{load} = 20in$ 。布线 + 50pF，15MHz

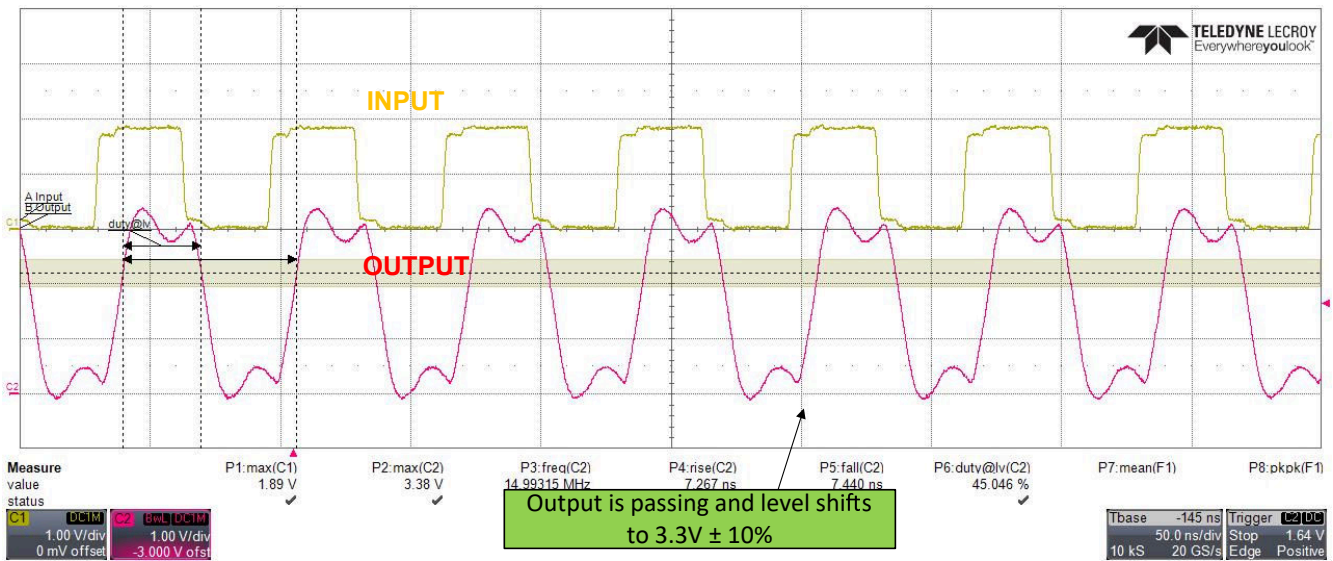


图 3-19. TXB0604，1.8V 至 3.3V，输出 $C_{load} = 20in$ 。布线 + 50pF，15MHz

由于输出数据与输入信号有很大不同，因此传统波形和竞争对手波形的输出行为是不可接受的。在图 3-19 中，可以观察到，当输出端反向驱动至输入端时，输入信号的边沿会出现失真。但是，与 TXB0104 和竞品器件相比，TXB0604 能够观察到测试用例的信号完整性有所改善。

4 TXB0604 / TXB0606 的设计注意事项

虽然 TXB0604 和 TXB0606 可用于解决传输线路周围的信号完整性问题，但要实现出色性能，需要考虑一些设计注意事项。

4.1 阻抗匹配

如果没有妥善解决，过冲和下冲将是驱动长传输线路时的常见症状。之所以出现这些问题，是因为状态转换期间电平转换器的强输出阻抗与传输介质的阻抗不匹配。添加串联电感器可以减轻这种影响。系统设计人员应在尽可能靠近 TXB0604 输出的位置使用串联终端电阻器，以便更好地将驱动器的输出阻抗与传输线路相匹配。根据系统的阻抗特性，验证阻抗值是否正确拟合并进行测试。

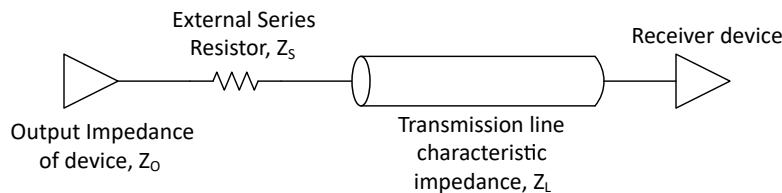


图 4-1. 与外部串联电阻器的阻抗匹配

$$Z_O + Z_S = Z_L \quad (1)$$

下面提供的示例显示了相同工作台设置下的 TXB0604，但图 4-2 上包含的阻尼电阻器除外。观察到 V_{OH} (2.22V) 高于预期的 1.8V，如图 4-2 所示。

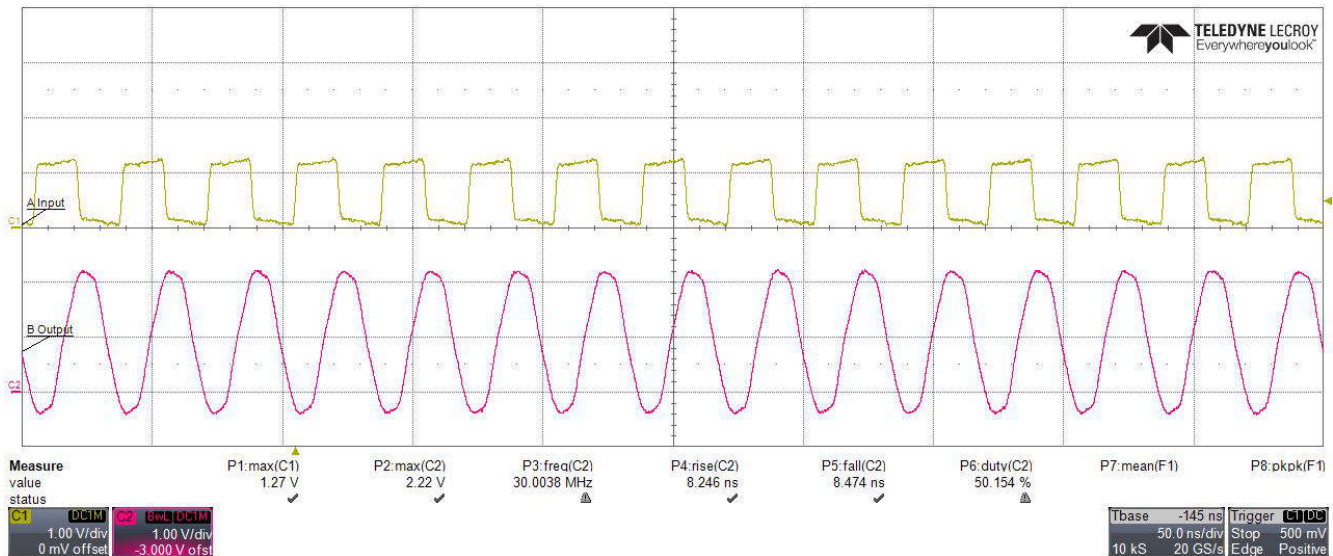


图 4-2. TXB0604，1.2V 至 1.8V，阻抗匹配不正确

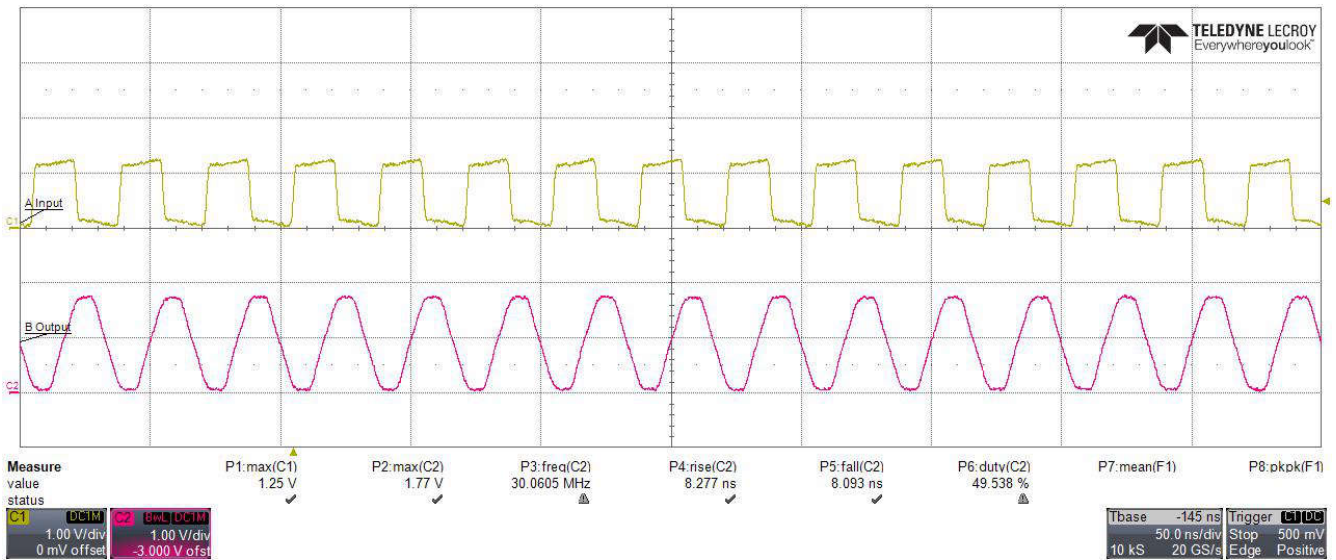


图 4-3. TXB0604，1.2V 至 1.8V，阻抗匹配正确

4.2 方向更改等待时间， T_{DCW}

虽然器件支持自动-双向信令，但需要短暂的空闲期，在此期间不会发生通信。这种暂停可使 A→B 和 B→A 侧的 I/O 驱动器稳定并确保信号方向正确变化。切换方向所需的时间称为 T_{DCW} （方向更改等待时间）。系统设计人员应遵守此时间间隔并确保信号不会沿相反方向通过器件传播，直到驱动器稳定在其新状态。否则，该信号将被忽略，无法驱动回器件。TXB0604 / TXB0606 数据表的开关特性章节表格中，已列出不同 V_{CCA} 电压下的 T_{DCW} 规格参数。

在 QSPI 应用中，I/O 线路通常是双向的，接口在读取和写入操作之间使用虚拟周期。这些虚拟周期有效地提供了 MCU、外部闪存及 TXB0604 / TXB0606 所需的最短周转时间。为了满足所有组件的要求，系统设计人员必须计算从满足此最短周转时间所需的虚拟周期之和所花费的总时间。

观察 T_{DCW} ，对于防止通信错误、丢失的数据位和错误的数据捕获至关重要。

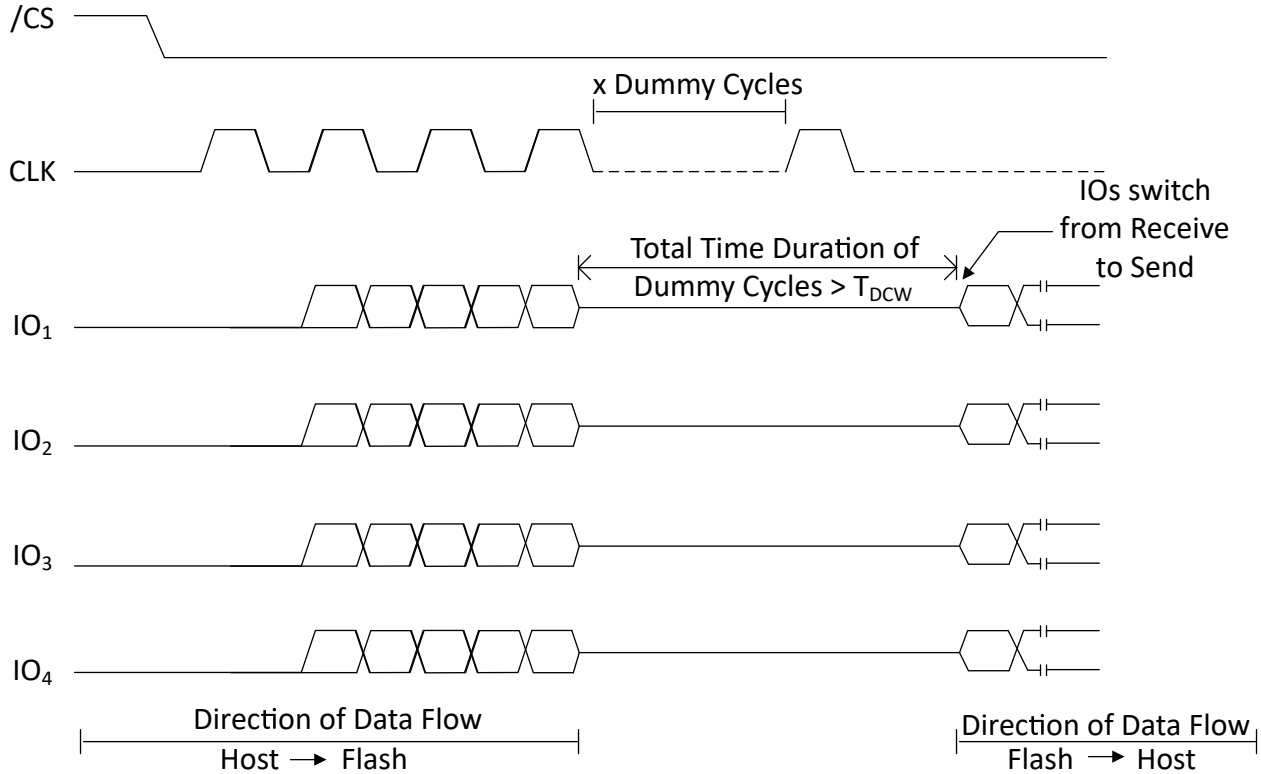


图 4-4. 确定自动方向数据流中所需的虚拟周期

5 总结

在本应用手册中，通过一系列不同的测试配置展示了 **TXB0604** 的性能，并将其与前代同类器件（例如 **TXB0104**）及同规格竞品进行对比。结果表明，**TXB0604** 的性能始终优于对等器件，为系统设计人员提供了一种具有成本效益的替代设计来解决信号完整性问题。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI), [从瓶颈到突破：使用 TXB0604/TXB0606 在数据中心优化 QSPI 性能](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [使用 TXB 型转换器进行电压转换的指南](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [从瓶颈到突破：使用 TXB0604/TXB0606 在数据中心优化 QSPI 性能](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [原理图检查清单 - 使用自动双向转换器进行设计的指南](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [具有边沿速率加速器的 TXB 和 TXS 电压电平转换器的注意事项](#) 应用手册。

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月