

## Application Note

## 克服 TXB 型转换器设计挑战



Jack Guan and Michael Ikwuyum

## 摘要

TXB010x 和 TXB030x 属于支持自动双向信号电平转换的 TXB 型转换器。虽然两款器件具有相似的架构，但单次触发架构和缓冲电路的差异使其能够支持不同的用例。为实现优化的信号完整性，系统设计人员需要注意输出负载考虑因素以及本应用手册中记录的其他指南。

## 内容

1 引言	2
2 TXB 型架构差异	2
2.1 TXB0104 和 TXB0304 比较	2
2.2 建议的器件选型	3
3 常见设计挑战	4
3.1 分布式负载 ( 传输线路影响 )	5
3.2 阻抗匹配	6
3.3 集总负载	8
4 案例研究	9
5 总结	10
6 参考资料	10

## 插图清单

图 2-1. TXB010x 架构	2
图 2-2. TXB030x 架构	2
图 3-1. TXB0104, 3.6V 输出信号: $t_r/t_f < 3.7\text{ns}$ , 过冲为 2.6%	4
图 3-2. TXB0304, 3.6V 输出信号: $t_r/t_f < 1.3\text{ns}$ , 过冲为 31.6 %	4
图 3-3. TXB0304, 1.2V 输入 ( 深蓝色 ) 至 2.5V 输出 ( 蓝绿色 ), 使用二十几英寸电缆	5
图 3-4. TXB0304, 1.2V 输入 ( 深蓝色 ) 至 2.5V 输出 ( 蓝绿色 ), 使用 4 英寸电缆	5
图 3-5. 与外部串联电阻器的阻抗匹配	6
图 3-6. 阻抗匹配基准测试设置	6
图 3-7. 不匹配的 TXB0304 ( $33\Omega$ 和 $56\Omega$ )、TXB0104 ( $0\Omega$ )、竞品 ( $0\Omega$ ) 的输出	7
图 3-8. 匹配的 TXB0304 ( $43\Omega$ )、TXB0104 ( $0\Omega$ )、竞品 ( $0\Omega$ ) 的输出	7
图 3-9. 不匹配的 TXB0304 ( 红色 ) 的输出, 具有 $0\Omega$ 给定输入信号 ( 蓝色 )	7
图 3-10. 不匹配的 TXB0304 ( 红色 ) 的输出, 具有 $56\Omega$ 给定输入信号 ( 蓝色 )	8
图 4-1. TXB0304, 1.2V 至 1.8V 转换, 使用二十几英寸输出布线	9
图 4-2. TXB0304, 1.2V 至 1.8V 转换, 使用 9 英寸输出布线	9
图 4-3. TXB0304, 1.2V 至 1.8V 转换, 使用 4 英寸输出布线且阻抗与传输线路长度匹配	10

## 表格清单

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

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

TI 的电平转换产品系列包括自动双向、方向控制和固定方向电平转换器。TXB 型电平转换器属于自动双向转换器，可支持推挽驱动器信号，能够按通道改变方向（例如 QSPI）。为了实现此功能，TXB 的 I/O 设计为弱直流驱动强度，允许输出在信号改变方向时覆盖现有输入。因此，由于输出驱动器更弱，建议系统设计人员不要使用 TXB 来通过长布线或高负载驱动信号。相反，建议使用**固定方向电压转换器**。

有关常见接口类型的建议电平转换器列表，请访问 TI 的**电压转换器**和**电平转换器**页面。

## 2 TXB 型架构差异

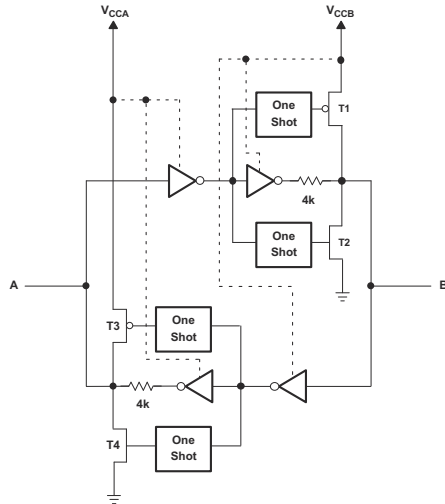


图 2-1. TXB010x 架构

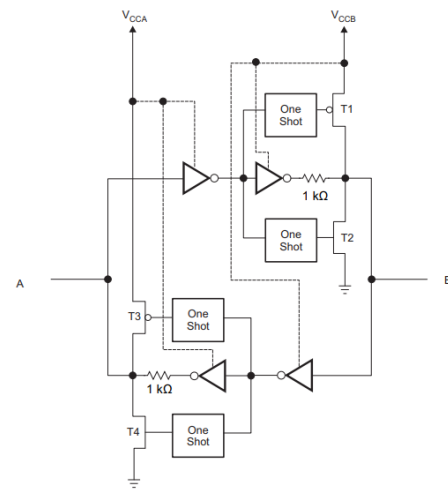


图 2-2. TXB030x 架构

### 2.1 TXB0104 和 TXB0304 比较

两种器件架构具有相似的缓冲环路结构，通过维持当前的直流逻辑状态，始终通过内部串联电阻转接驱动 I/O。如果是交流状态（上升沿/下降沿），则会开启单次触发电路以降低输出阻抗。这会有效地将输出驱动至 VCC（逻辑高电平期间）或 GND（逻辑低电平期间），并具有更高的压摆率，以实现更高的数据速率。表 2-1 展示了 TXB010x 和 TXB030x 之间的差异。

表 2-1. TXB 型转换器的规格概述

规格	器件	
	TXB0104	TXB0304
V <sub>CCA</sub>	1.2V 至 3.6V	0.9V 至 3.6V
V <sub>CCB</sub>	1.65V 至 5.5V	0.9V 至 3.6V
电源限制	V <sub>CCA</sub> ≤ V <sub>CCB</sub>	-
内部串联电阻	4k Ω	1k Ω
单次触发阻抗（典型值）	70 Ω (V <sub>CCO</sub> = 1.2V 至 1.8V) 50 Ω (V <sub>CCO</sub> = 1.8V 至 3.3V) 40 Ω (V <sub>CCO</sub> = 3.3V 至 5V)	30 Ω (V <sub>CCO</sub> = 0.9V 至 1V) 10 Ω (V <sub>CCO</sub> = 1.1V 至 1.7V) 5 Ω (V <sub>CCO</sub> = 1.8V 至 3.3V)
最大数据速率	100Mbps	140Mbps
输入驱动器要求	驱动强度：±2mA	驱动强度：±3mA

- 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](#)，应用手册。

## 2.2 建议的器件选型

虽然 TXB0104 和 TXB0304 都可用于推挽自动双向应用，以下是各器件的建议特定用例：

TXB0304 更适合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
- 输出负载为 15pF 时数据速率高于 100Mbps。
- 布线长度很小/容性负载极小，系统中具有外部阻抗匹配

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 常见设计挑战

回想一下，TXB0104 和 TXB0304 具有内部单次触发电路，因此当输出负载过大（长布线、连接器和集总电容）时，输出信号完整性将受到影响。

其单次触发阻抗也不同，如表 2-1 所示。如果在具有相似输出负载条件的相同设置下使用两个器件，则可以看到 TXB0104 的信号完整性比 TXB0304 更好，因为从单次触发到输出负载的阻抗匹配更好。例如，下面的图 3-1 和图 3-2 中捕获的波形显示了 TXB0104 输出端与 TXB0304 输出端的 3.6V 输出信号以及 15pF 集总电容的对比。观察两个器件相对于过冲百分比的上升和下降时间 ( $t_r/t_f$ ) 之间的差异。

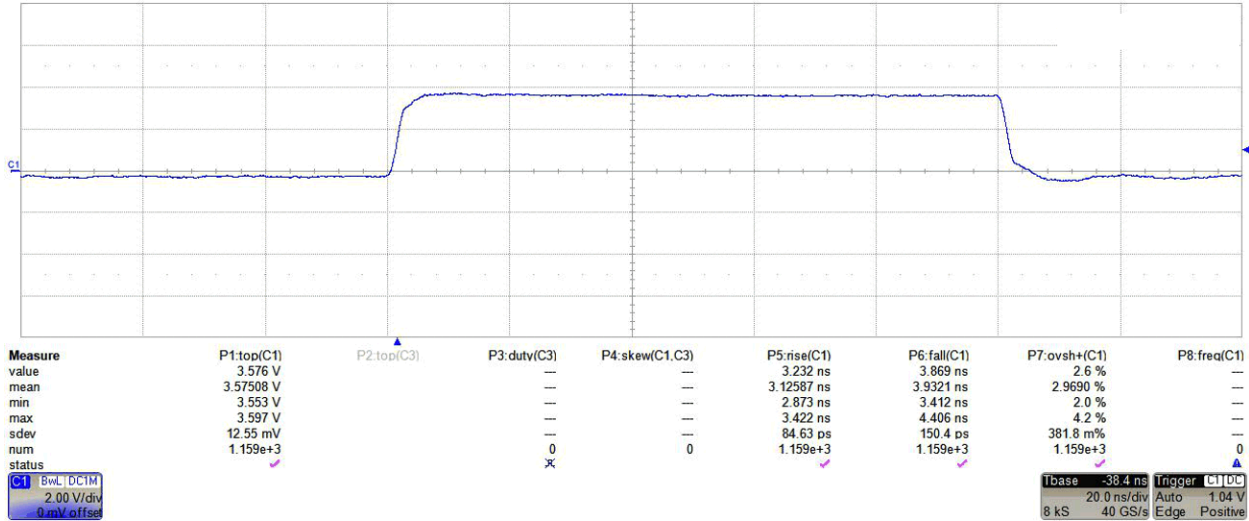


图 3-1. TXB0104，3.6V 输出信号： $t_r/t_f < 3.7\text{ns}$ ，过冲为 2.6%

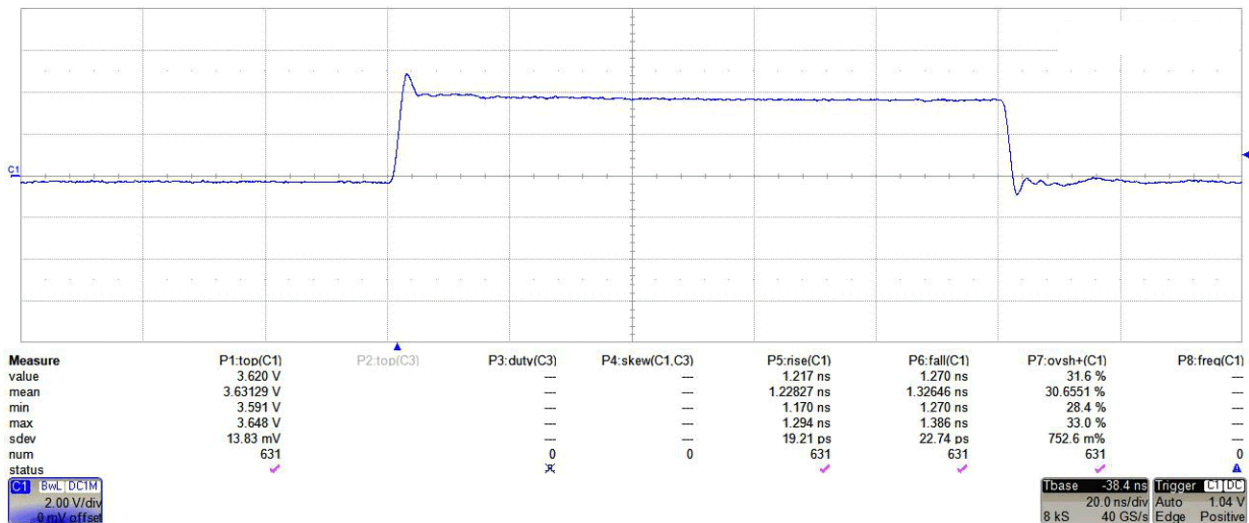


图 3-2. TXB0304，3.6V 输出信号： $t_r/t_f < 1.3\text{ns}$ ，过冲为 31.6 %

与 TXB0104 相比，TXB0304 的输出阻抗更强，从而导致过冲更高。为了解决此问题，可以对 TXB0304 使用适当的阻抗匹配技术，如下面的节 3.2 所述。

### 3.1 分布式负载 (传输线路影响)

由于沿信号路径的电感和电容元件的影响，任何逻辑器件都可能受到传输线路影响，例如在驱动器将信号输出到导体介质时出现振铃或振荡。

虽然数据速率更高的信号总体上具有更短的上升或下降时间，但上升或下降时间特性对于传输线路影响更为重要。仅仅因为两个信号以相同的数据速率和不同的上升或下降时间切换 (如图 3-2 所示) 并不意味着频率成分相同。较快的上升或下降信号会产生较短的波长，因此包含较高的频率成分，从而使上升或下降时间更容易遭受传输线路影响。

根据同样的原理，由于 TXB0304 的上升沿或下降沿比 TXB0104 更快，因此 TXB0304 尤其容易在布线较短的情况下遭受传输线路影响。

#### 3.1.1 电缆长度影响 - 基准测试结果

下面显示了将 TXB0304 连接到二十几英寸和 4 英寸长的电缆时捕获的基准测试波形。请注意，两种设置应用了相同的输入条件。

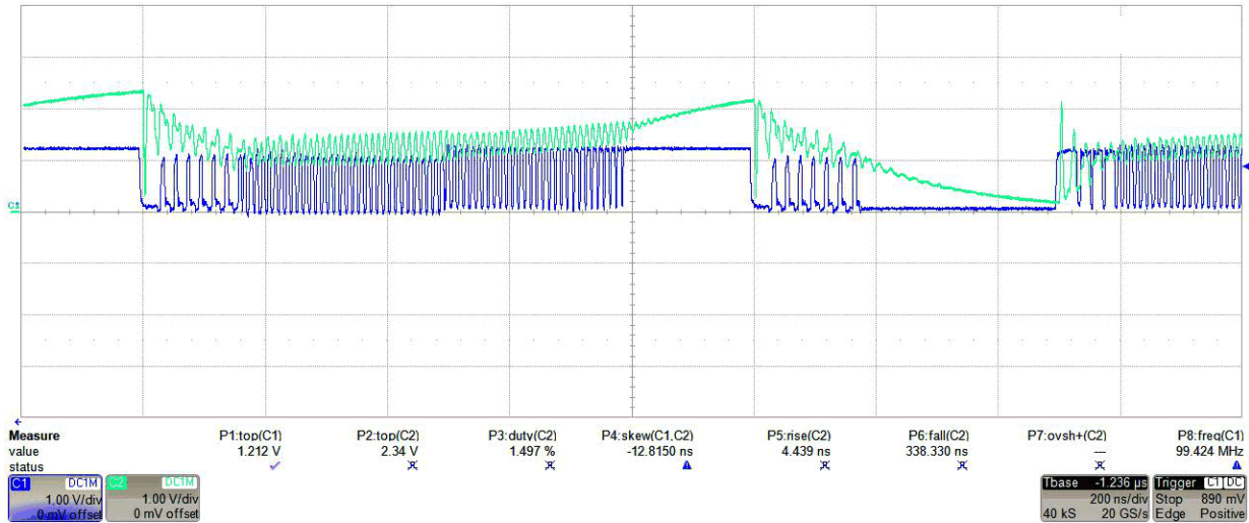


图 3-3. TXB0304，1.2V 输入 (深蓝色) 至 2.5V 输出 (蓝绿色)，使用二十几英寸电缆

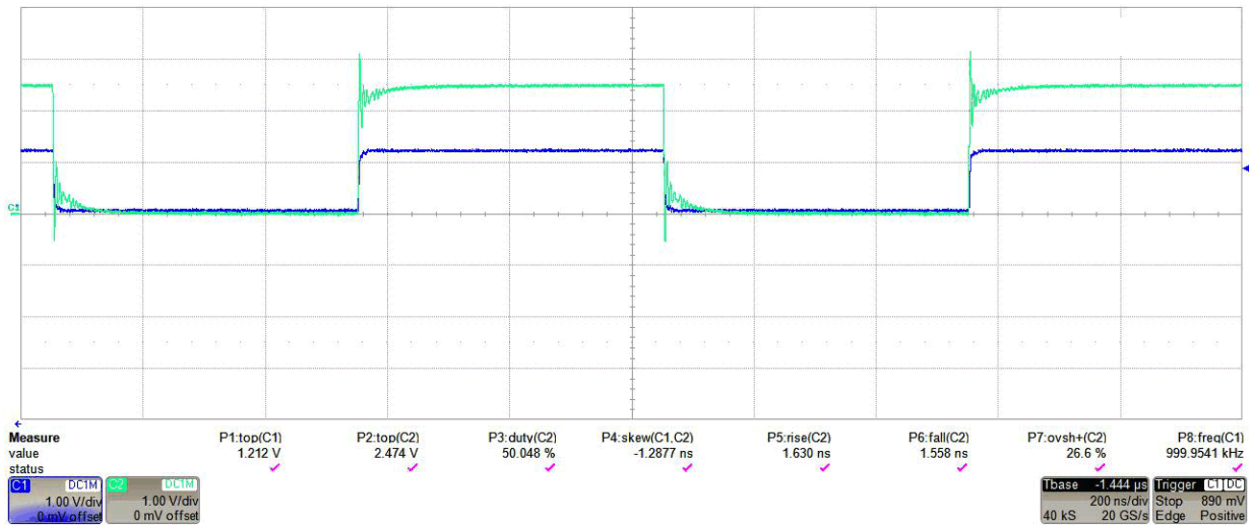


图 3-4. TXB0304，1.2V 输入 (深蓝色) 至 2.5V 输出 (蓝绿色)，使用 4 英寸电缆

从上面的二十几英寸电缆中捕获的波形来看，由于输入侧和输出侧意外重新触发单次触发，输入（深蓝色）发生振荡。回想一下，TXB 架构类似于缓冲环路，I/O 始终被转接驱动至已知的类似状态。但是，当与长电缆配合使用时，由于二十几英寸电缆引起的时序延迟，I/O 会导致不同的逻辑状态。结果与观察到的振荡类似。

当图 3-4 中的设置换成较短的电缆（4 英寸）时，输出信号现在更容易解释，没有振荡。

### 3.2 阻抗匹配

缩短电缆长度有助于减少振荡，同时还可以使用阻抗匹配技术来进一步抑制振铃或过冲。建议系统设计人员在 TXB0304 的输出驱动器上实施串联终端电阻器，以便使输出与传输线路紧密匹配。

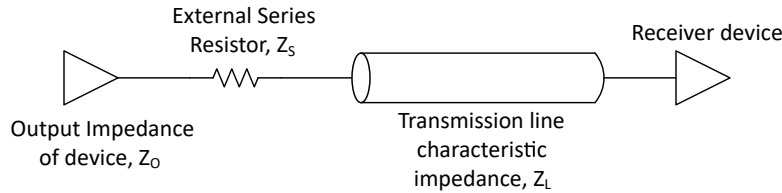


图 3-5. 与外部串联电阻器的阻抗匹配

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

#### 3.2.1 基准测试设置和结果

为了突出串联阻尼电阻的影响，使用了多个电阻器阻值与 TXB0304 进行阻抗匹配，然后与 TXB0104 和竞品器件进行比较。此外，还提供了第二种设置来复制不同的传输线路特性。

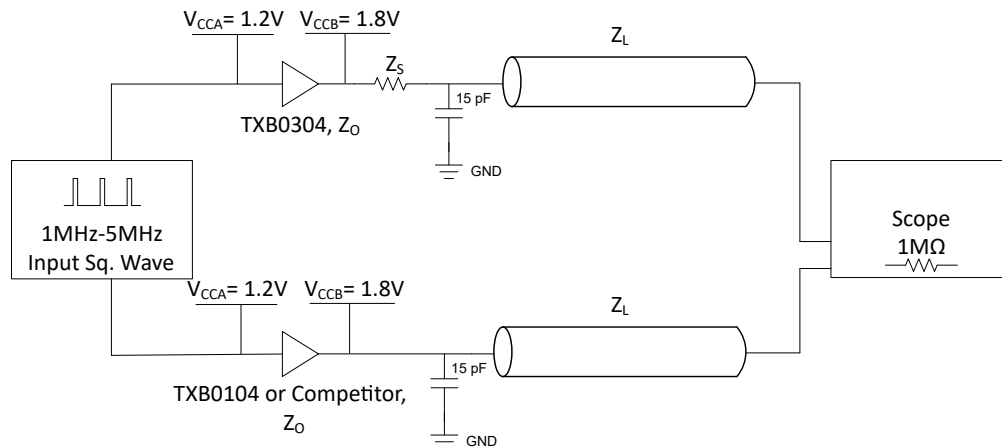


图 3-6. 阻抗匹配基准测试设置

请注意，没有任何串联电阻器可以有效改善输出条件。系统设计人员可能需要使用认为适合且符合系统要求的不同值进行测试。以下示例波形显示了 TXB0304 与传输线路匹配不当的行为。很明显，33 Ω 和 56 Ω 两种情况都显示出整个信号的反射，没有任何改善。



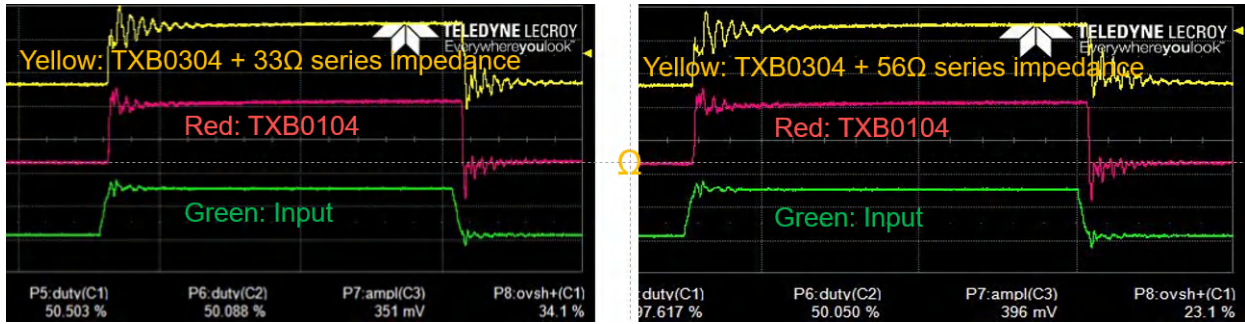


图 3-7. 不匹配的 TXB0304 ( 33 Ω 和 56 Ω )、TXB0104 (0 Ω)、竞品 (0 Ω) 的输出

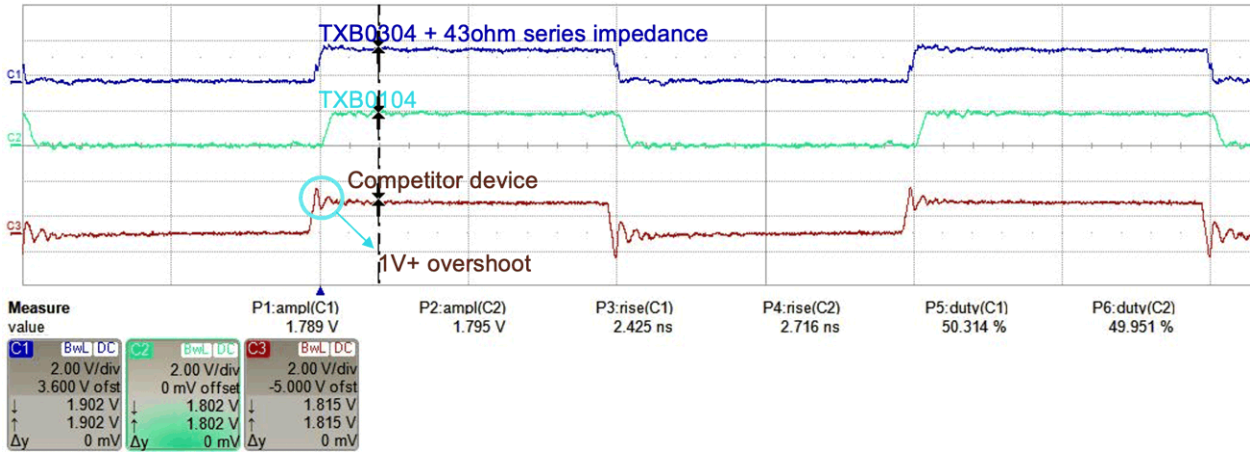


图 3-8. 匹配的 TXB0304 (43 Ω)、TXB0104 (0 Ω)、竞品 (0 Ω) 的输出

- 匹配后，可以观察到 TXB0304 与其他器件相比的性能设计
  - 输出特性与 TXB0104 相似。
  - 与竞品器件相比具有更少的过冲或下冲。
  - 有关可接受的集总电容和数据速率，请参阅器件数据表。

在第二个设置中，交换了电缆，以模拟 TXB 的不同输出负载。这次使用 56 Ω 串联电阻器作为更匹配传输介质的电阻器。

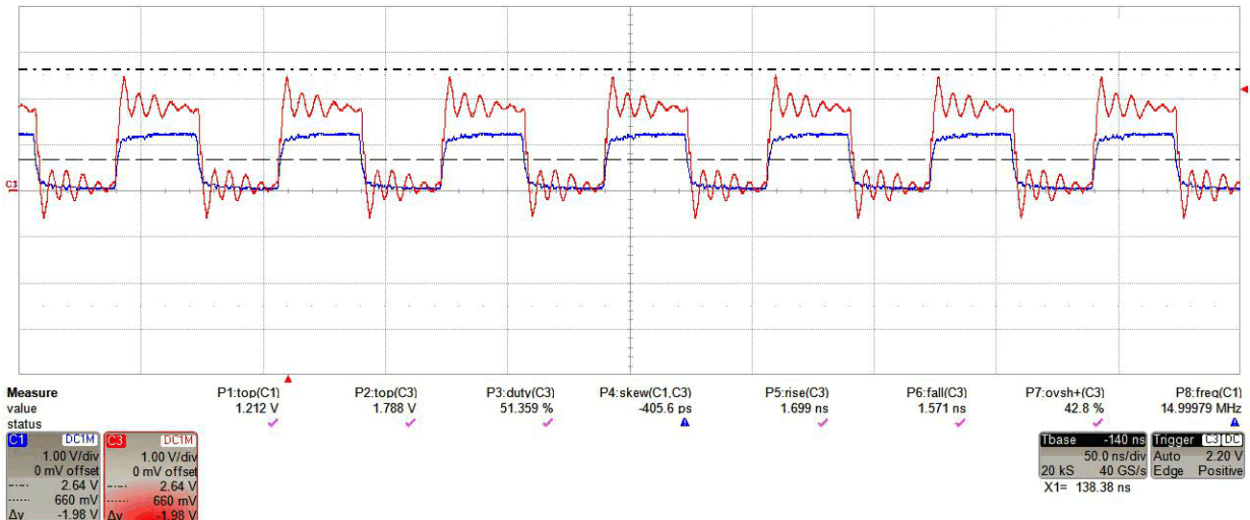


图 3-9. 不匹配的 TXB0304 ( 红色 ) 的输出，具有 0 Ω 给定输入信号 ( 蓝色 )

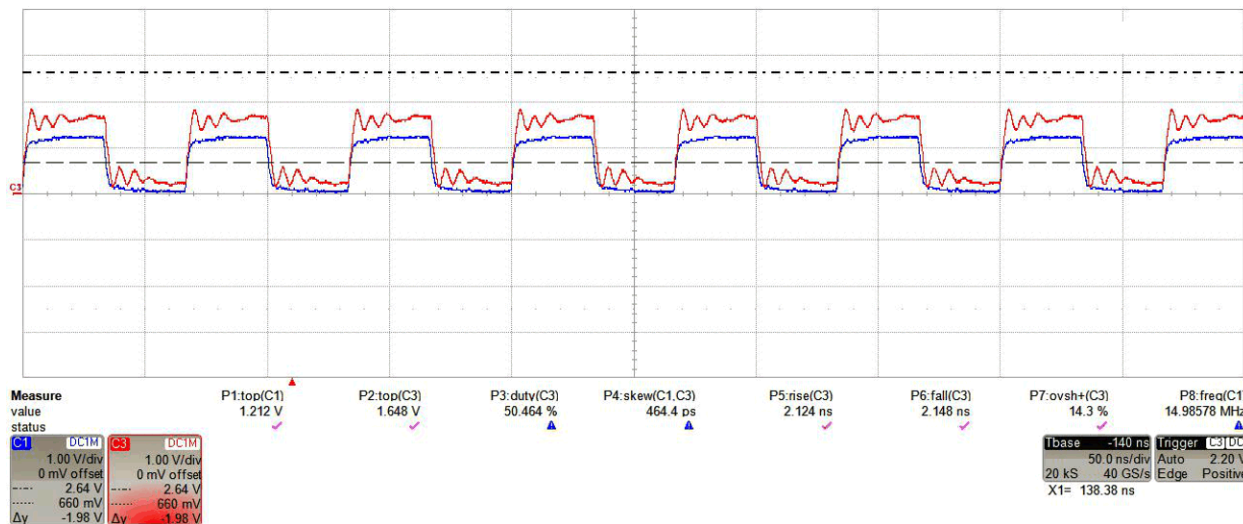


图 3-10. 不匹配的 TXB0304 ( 红色 ) 的输出，具有 56 Ω 给定输入信号 ( 蓝色 )

通过使用图 3-10 中所示的 56 Ω 串联电阻器，振荡将被抑制，过冲百分比从 42.8% 降至 14.3%。

请注意，图 3-8 和图 3-10 在 TXB0304 的输出端使用了不同的布线进行基准测试。在每种情况下，所需的串联阻抗值都不同，以便有效匹配传输线路，这表明可能需要反复试验才能找到最佳匹配。

### 3.3 集总负载

输出端的集总电容需要保持在最小值，以确保内部单次触发架构正常运行。在 TXB0104 和 TXB0304 中，单次触发架构被设计为在特定时长 ( 大约分别为 10ns 和 30ns ) 内保持开启状态。当该器件在重容性负载下使用时，单次触发可能会在信号完全驱动至正电源轨之前超时，从而在输出高电平信号的其余部分具有较大的 RC 时间常数。

请参阅 [利用边沿速率加速器和自动感应电平转换器](#)，进一步了解单次触发架构的工作原理。



## 4 案例研究

以需要 1.2V 至 1.8V 转换并以 32Mbps 速率运行的用例为例。如果使用 20+ 电缆探测器件的输出，则可以看到类似于图 4-1 的行为。

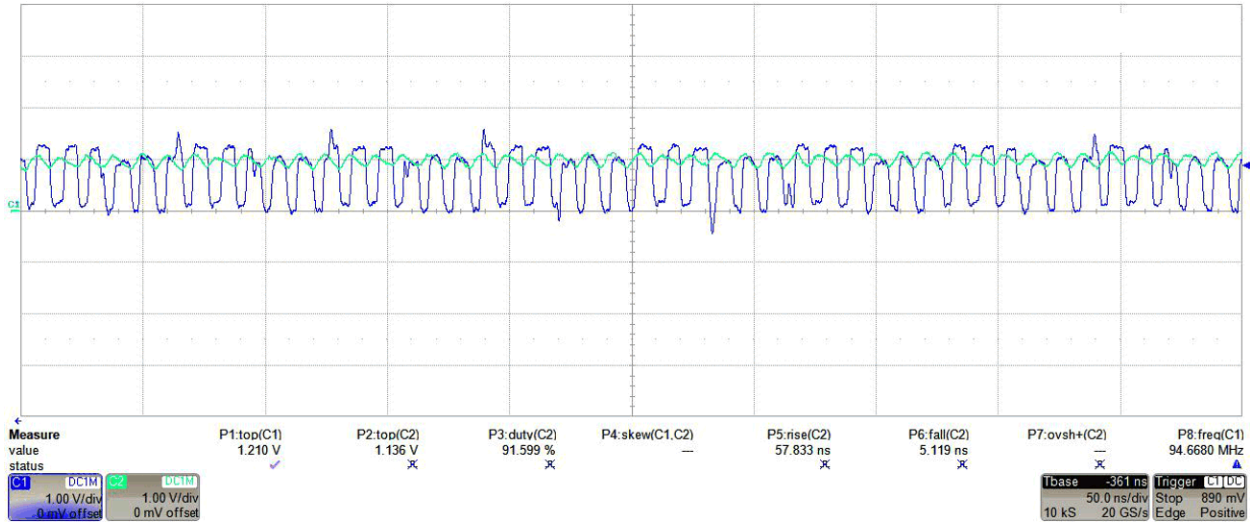


图 4-1. TXB0304，1.2V 至 1.8V 转换，使用二十几英寸输出布线

如图 4-1 所示，由于输入（深蓝色）切换过快，输出（蓝绿色）无法切换状态。结果是，由于二十几英寸的电缆带来的外部延迟，输出将不正确/延迟状态重新转接驱动至器件时，会不必要地在输入侧重新触发单次触发。如果使用较短的电缆（如 4 英寸），则输出信号会得到显著改善，如图 4-2 所示。

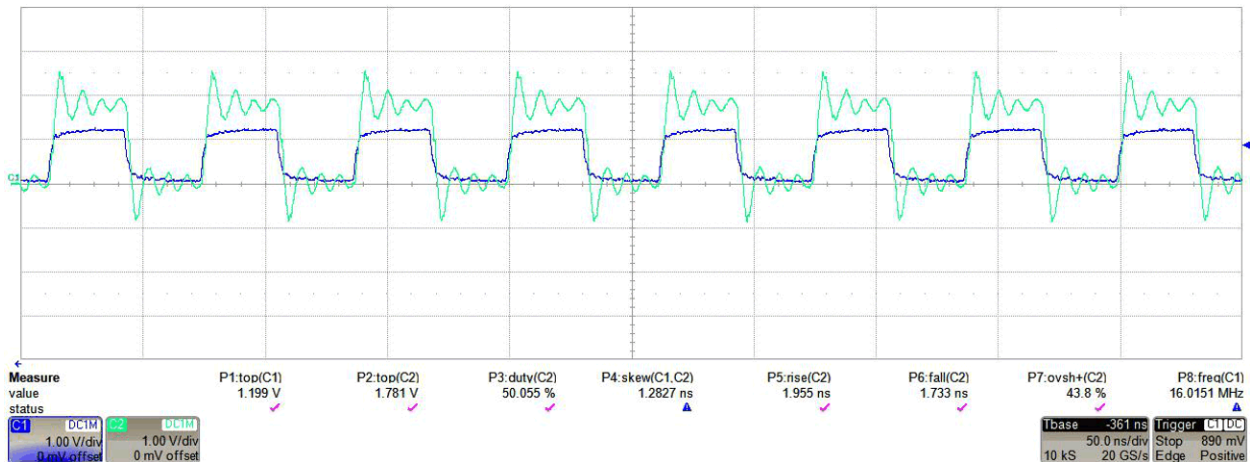


图 4-2. TXB0304，1.2V 至 1.8V 转换，使用 9 英寸输出布线

现在可以看到输出，但过冲百分比很高 (44%)，如果无法接受该电压，则可能会损坏下游器件。请注意信号路径上存在严重的振荡，这是 TXB0304 面向外部负载的输出驱动器阻抗不匹配导致的。同样，通过缩短电缆长度并在器件输出端采用串联电阻器，可以再次改进设置。经过全部调整后的最终结果如图 4-3 所示。

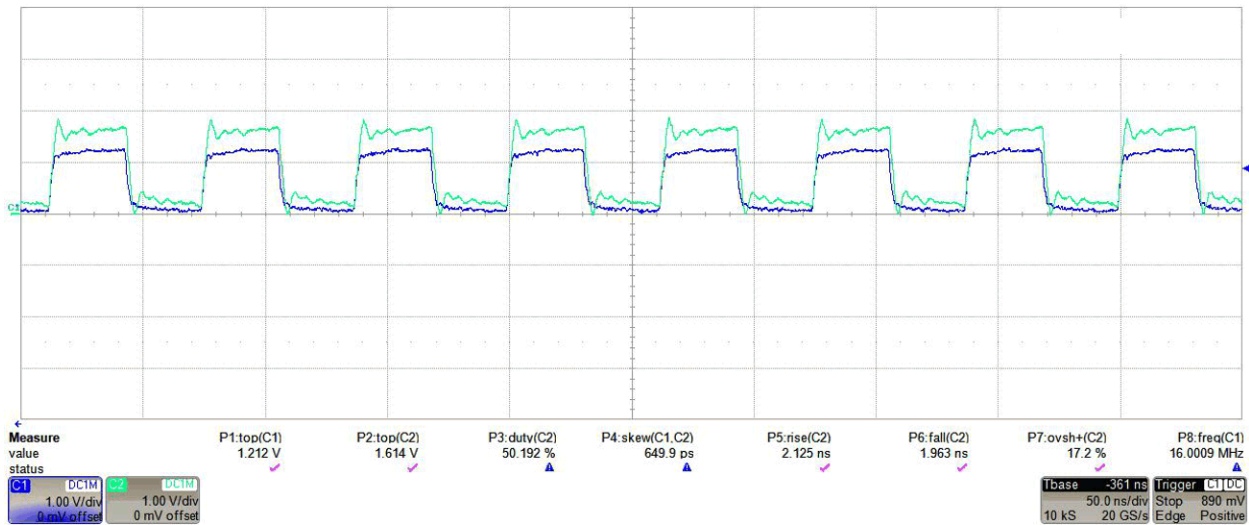


图 4-3. TXB0304，1.2V 至 1.8V 转换，使用 4 英寸输出布线且阻抗与传输线路长度匹配

## 5 总结

- 采用单次触发的器件（例如 TXB）对反射很敏感。
  - 为了减少反射，请使用更短的连接器，或使用更短的 PCB 布线设计。
  - 根据系统的传输线路，采用正确的设计以实现适当的阻抗匹配。
- TXB0304 可能会被误认为是较弱的器件（与 TXB0104 或竞品器件相比）。
  - 这是由于 TXB0304 输出阻抗更强且上升/下降时间更短。
  - 这种更短的转换时间对传输线路的影响更加敏感。
- 例如，节 3 显示，TXB0304 具有更大的瞬态驱动强度 - 上升时间 < 1.3ns（有过冲），而 TXB0104 上升时间高达 3.7ns，几乎没有过冲。

设计注意事项：

- 采用最短的 PCB 布线/连接器进行设计，以降低产生传输线路影响的可能性
- 节 3 显示了均与 50 Ω 传输线路一起使用的 TXB0104 和 TXB0304
- 0 Ω 串联电阻器可以安装在 TXB 型器件的输出端，稍后可以更换，以实现阻尼目的
- 建议使用适当的阻抗匹配
- TXB0104（具有 1.8V 输出阻抗 70 Ω）比 TXB0304（具有 5 Ω）更匹配 50 Ω 传输线路
- 阻抗不匹配度更高的器件会产生更多的反射
- 使用更匹配传输线路的典型串联阻尼电阻器可以解决反射问题。有关更多信息，请参阅 [\[常见问题解答\] 我可以估算电平转换器输出的相应阻尼电阻器阻值吗？](#)

## 6 参考资料

- 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)，[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