



Taylor Vogt

摘要

本应用手册旨在揭秘为高电压应用堆叠多个器件时的 bq7961X 菊花链通信接口。目的是帮助您在评估器件时更深入地了解协议详细信息。此外，本报告还为系统设计提供了建议的隔离元件和典型应用实践，以充分利用采用该接口的设计。

内容

1 引言.....	1
2 接收器拓扑和共模电压.....	4
3 信号完整性要求.....	5
3.1 接收器时序要求.....	5
3.2 接收器阈值要求.....	5
4 调试故障寄存器.....	7
5 隔离类型.....	8
5.1 变压器隔离.....	8
5.2 仅电容器隔离.....	8
5.3 电容器和扼流圈隔离.....	9
6 使用 bq79600-Q1 的混合隔离电路.....	10
7 环形架构.....	12
8 噪声抗扰度和发射.....	14
9 菊花链电缆选择.....	14
10 参考资料.....	14

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

bq7961X 系列器件上的菊花链通信接口是德州仪器 (TI) 开发的专有协议。该接口是使用差分信号设计的，以更大限度地降低电磁敏感性 (EMS) 和增强大电流注入 (BCI) 抗扰度。差分通信分别在 COM*P 和 COM*N 引脚上传输补码数据。该接口是双向和半双工的，因此在 COMH (高侧) 和 COML (低侧) 接口上有一个发送器 (TX) 和一个接收器 (RX)。

该器件支持使用变压器或电容器来电气隔离堆栈中器件之间的信号。存在一些配置，其中器件物理上位于同一块板上，或者位于通过双绞线连接的多个完全独立的电池包中。对于在同一 PCB 上有多个器件的应用，器件的 COMH/L 引脚之间连接了一个电容器。对于噪声极高的环境和严格的 EMI/EMC 要求，可能需要额外的滤波。对于通过电缆分隔的器件，需要使用额外的隔离元件。

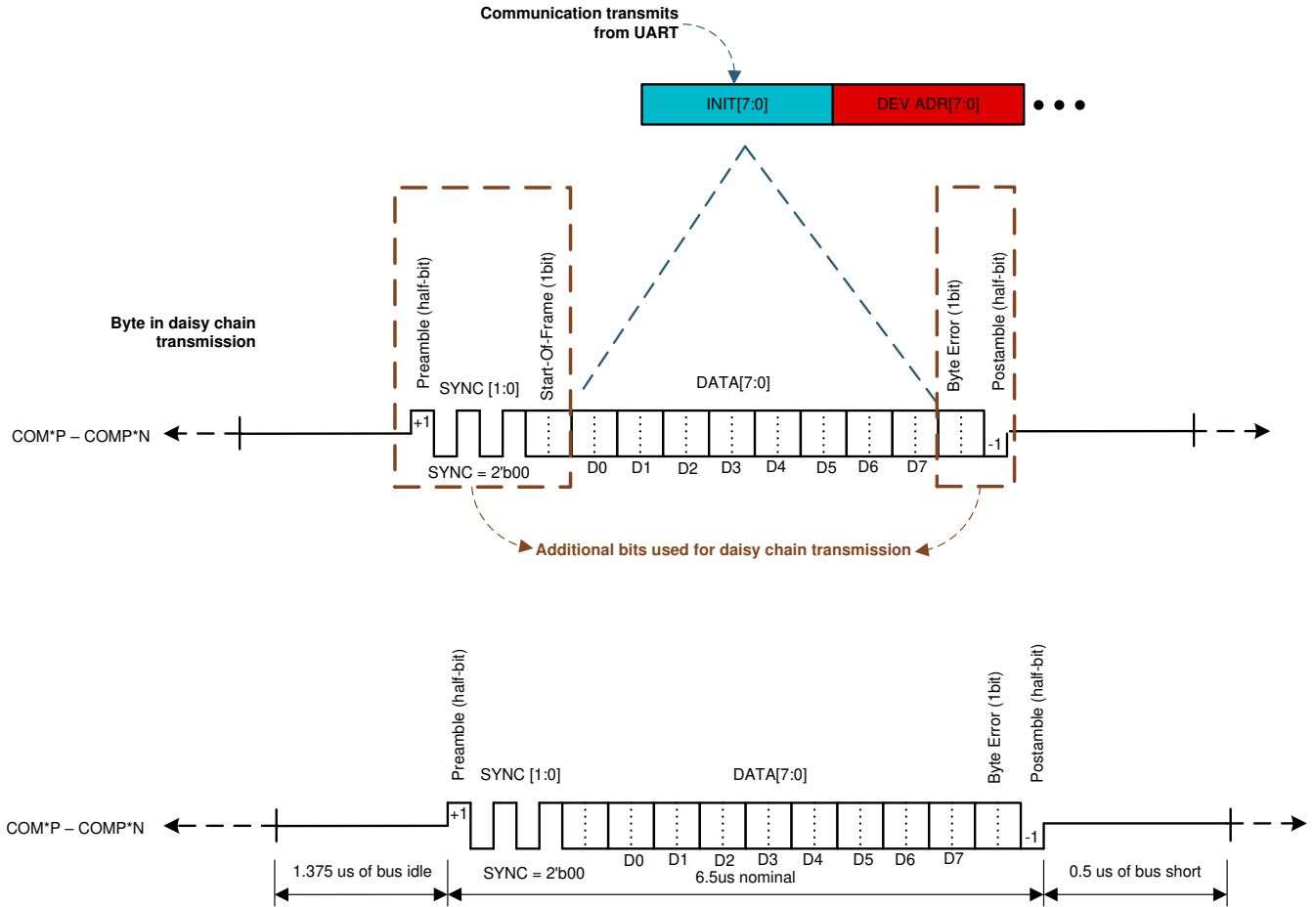


图 1-1. 菊花链字节级定义

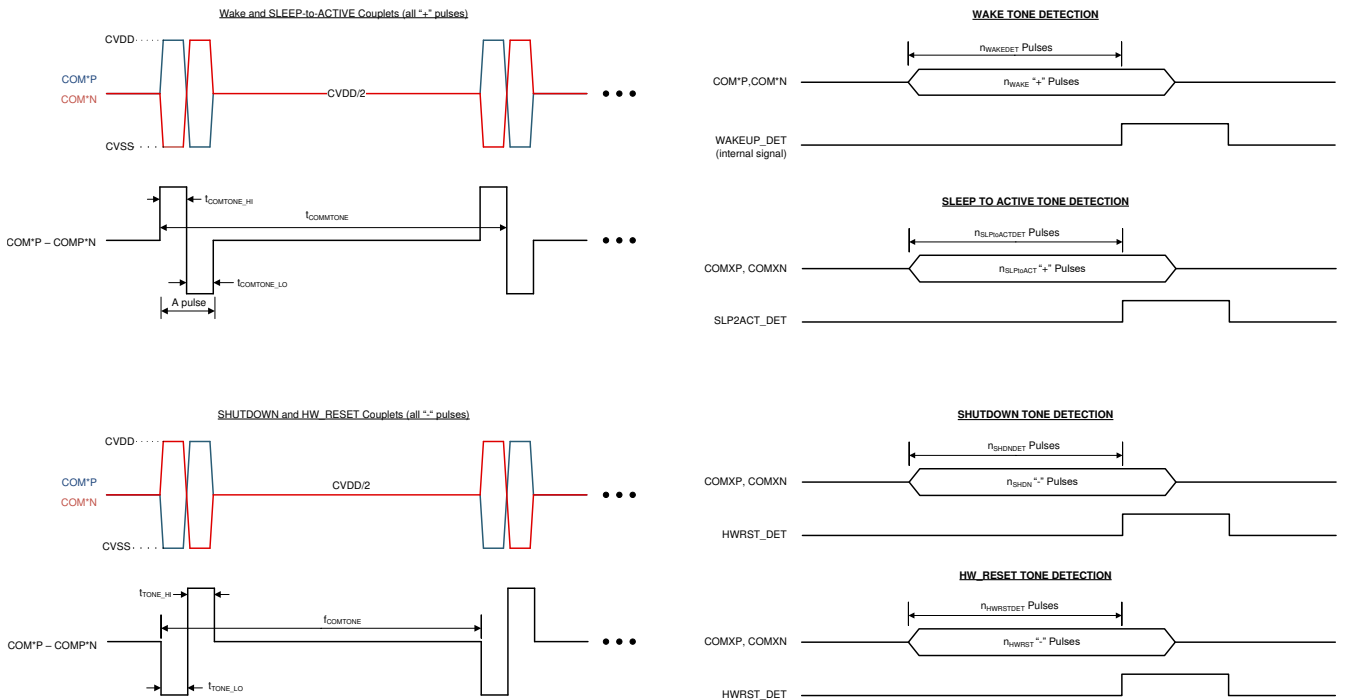


图 1-2. 通信音调

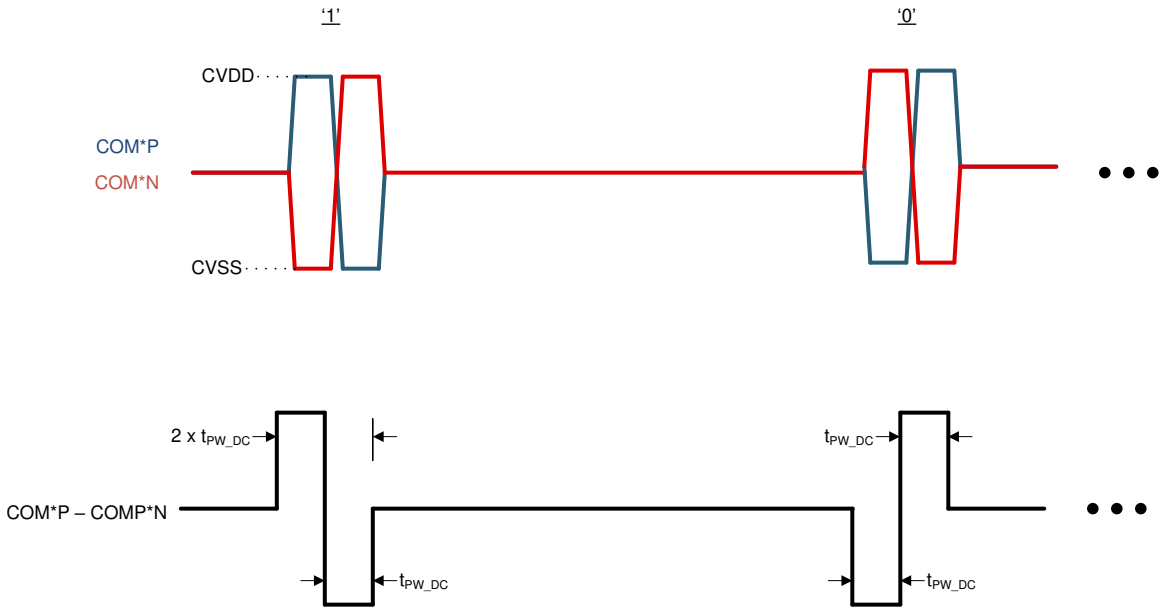


图 1-3. 菊花链位级定义

2 接收器拓扑和共模电压

菊花链是双向和半双工的，因此在 COMH 和 COML 接口上有一个发送器 (TX) 和一个接收器 (RX)。TX 和 RX 功能由硬件根据器件的基底/堆栈检测自动控制。当接收到 WAKE ping/音调时，通信方向由 CONTROL1[DIR_SEL] 和 COMM_CTRL[TOP_STACK] 配置进行设置。有关详细信息，请参阅 bq79616-Q1 数据表中的“开始通信”。此外，用户可以使用 DEBUG_CTRL_UNLOCK、DEBUG_COMM_CTRL1 和 DEBUG_COMM_CTRL2 寄存器在通信调试模式下进行覆盖以接管 COMH 和 COML 的完全控制。有关更多详细信息，请参阅 bq79616-Q1 数据表中的“调试控制和状态”一节。此外，有关协议的基本时序和功能以及下面的图的更详细说明，请访问 bq79616-Q1 数据表的第 9.5.1.2 节。

bq7961X 器件的 RX 拓扑与 RS485 类似，但增加了设计机制，可在噪声条件下衰减高达 $\pm 20V$ 的共模电压。图 2-1 中的图表对差分信号的共模电压限制进行了最佳说明。在环境测试场景中，当没有发生通信时，COM*P 和 COM*N 的共模电压均保持在 2.5V。这是必要的，因为负信号的衰减不会在接收器本地接地和 5V CVDD 轨（专用于通信的内部 LDO）之间带来电压。如果发生通信，则器件将使用介于 0V（低）和 5V（高）之间的 CVDD 轨驱动 COM 引脚，并在数据包之间（空闲时间）和通信完成后返回到 2.5V。

如果由于 EV 逆变器噪声或大电流注入 (BCI) 测试等噪声条件而导致共模电压摆动，则 COM 引脚上的共模电压可能会振荡高达 $\pm 20V$ ，具体取决于隔离元件和注入的电流。该器件可承受高达 $\pm 20V$ 的此类噪声水平，因为内部衰减允许 5V 收发器处理响应，因此差分信号仍保持完整。高于该 $\pm 20V$ 水平时，存在钳制内部 ESD 结构或导致 COM 引脚损坏的风险。在确定 BCI 限值和测试时，应考虑该限制。

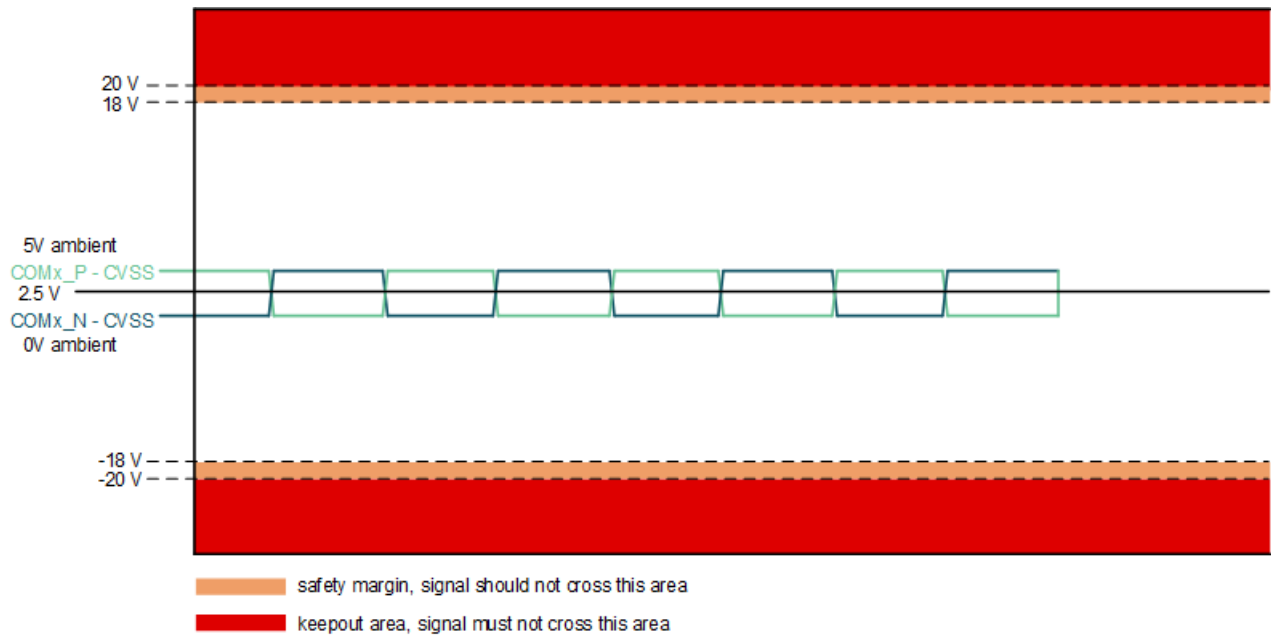


图 2-1. 共模电压图

3 信号完整性要求

正确的接收器波形时序和阈值是内部数字电路正确解释音调和数据通信的关键因素。请注意，这些因素可能会受到隔离元件选择和布线的影响。

3.1 接收器时序要求

如图 3-3 所示，音调信号（500kHz 时脉冲宽度为 1 μ s）或数据通信（2MHz 时脉冲宽度约为 250ns）波形之间的高电平和低电平时序不同。然而，音调和数据通信具有相似的上升/下降时间，并且都必须最大衰减低于 1V 的矩形波形。请注意， t_{high}/t_{low} 的时间是指信号必须高于或低于正确阈值才能成功积分的时间。如果信号在该 t_{high}/t_{low} 时间内具有较大的噪声，并且在一段时间内下降至阈值以下，则存在信号被检测到的风险。要使这些信号仍然能够被正确检测到，预计音调和数据通信的允许时间变化分别大约为 $1\mu s \pm 8\%$ 和 $250ns \pm 20ns$ 。

3.2 接收器阈值要求

图 3-1 展示了内部数字电路能够正确检测高电平与低电平转换的阈值。质量较好的波形的差分电压将高于 1.8V（负极侧低于 -1.8V）。它通常类似于具有圆形边缘的方波。

下面的图展示了质量较差或电压下降，但仍符合有效通信标准的波形。第一个图展示了 1.7V 的起始电压 (VSTART) 和 1.2V 的结束电压 (VEND)。第二个图展示了第二种情况，其中起始电压 (VSTART) 仅为 1.6V，结束电压 (VEND) 为 1.3V。如果起始振幅不是至少为 1.6V，则无论结束振幅如何，都不会检测到该位。当存在两个极性相反的相邻位（形成所谓的双位）时，最常看到这些类型的电压下降波形。

备注

红色表示可能会或可能不会检测到信号的区域（质量较差的波形区域），而橙色表示靠近触发阈值范围的区域。在正脉冲宽度期间，质量较好的波形将处于高于 1.7V 的绿色区域。

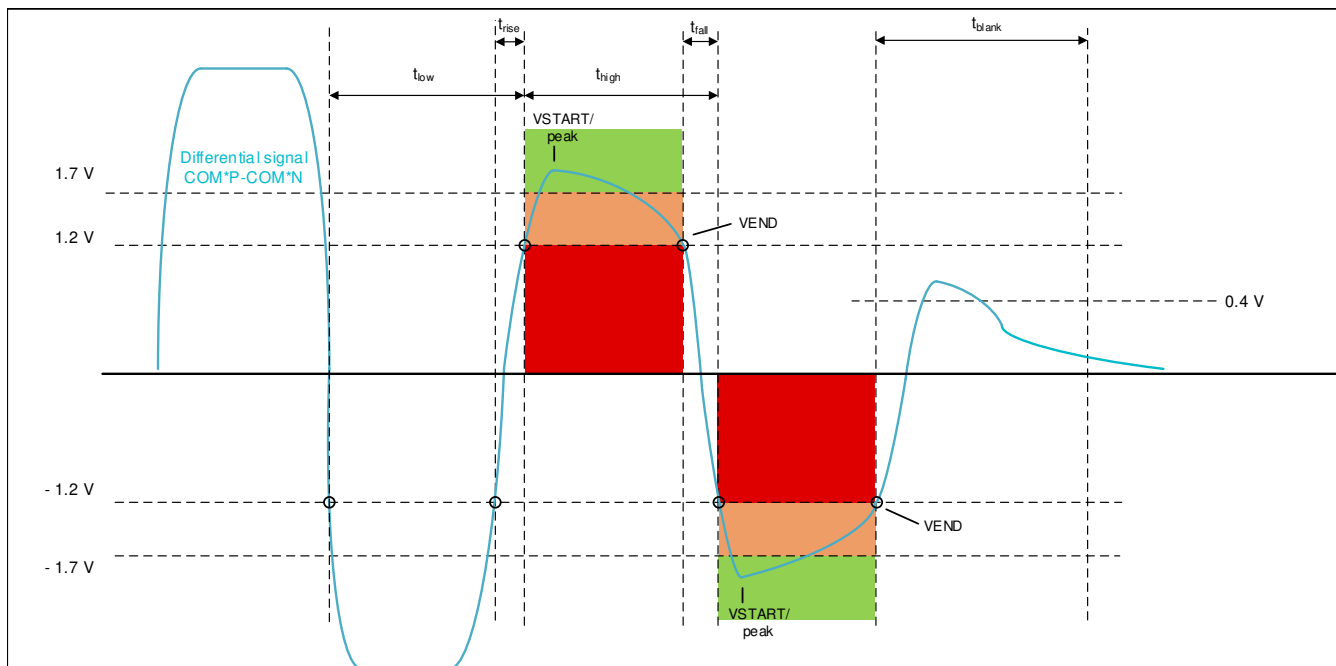


图 3-1. 差分信号眼图 - 1.7V VSTART

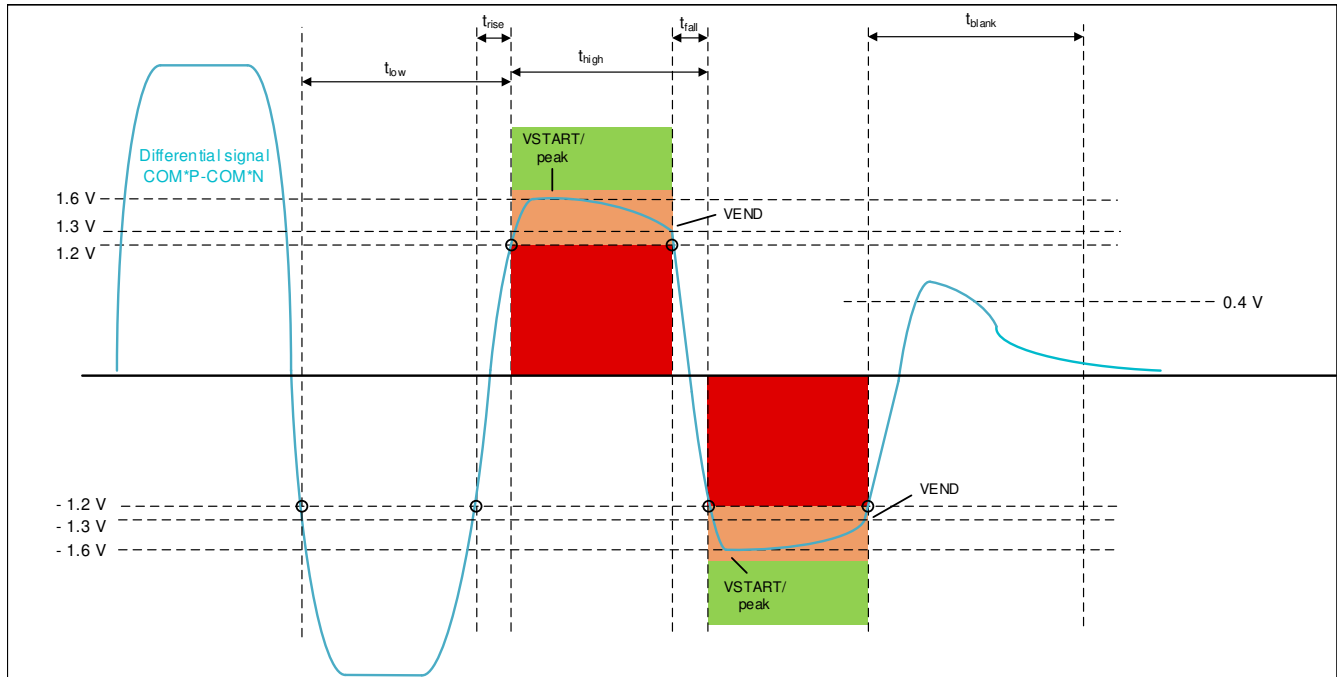


图 3-2. 差分信号眼图 - 1.6V VSTART

表 3-1 展示了有效菊花链通信的具体时序和电压要求。

表 3-1. 时序图

参数	工作条件	最小值	典型值	最大值
t_{high}	正脉冲宽度 COMP-COMN 从上升沿的 +1.2V 到下一个下降沿的 -1.2V	220ns	250ns	280ns
t_{low}	负脉冲宽度 COMP-COMN 从上升沿的 -1.2V 到下一个下降沿的 +1.2V	220ns	250ns	280ns
t_{rise}	上升压摆率 COMP-COMN 从 -1.2V 到上升沿的 +1.2V			60ns
t_{fall}	下降压摆率 COMP-COMN 从 +1.2V 到下降沿的 -1.2V			60ns
V_{start}	起始振幅 结束振幅高于 1.3V	1.6V		
V_{start}	起始振幅 结束振幅介于 1.2V 和 1.3V 之间	1.7V		
t_{blank}	消隐时间 在最后一位之后	4us		
唤醒音调 (t_{high}/t_{low})	唤醒音调脉冲宽度 对于唤醒音调, COMP-COMN 从上升沿的 +1.2V 到下一个下降沿的 -1.2V, 反之亦然	1us		

图 3-3 展示了连接 BQ79600 器件所需的阈值。主要区别在于阈值和时序基准基于 1.8V 阈值。

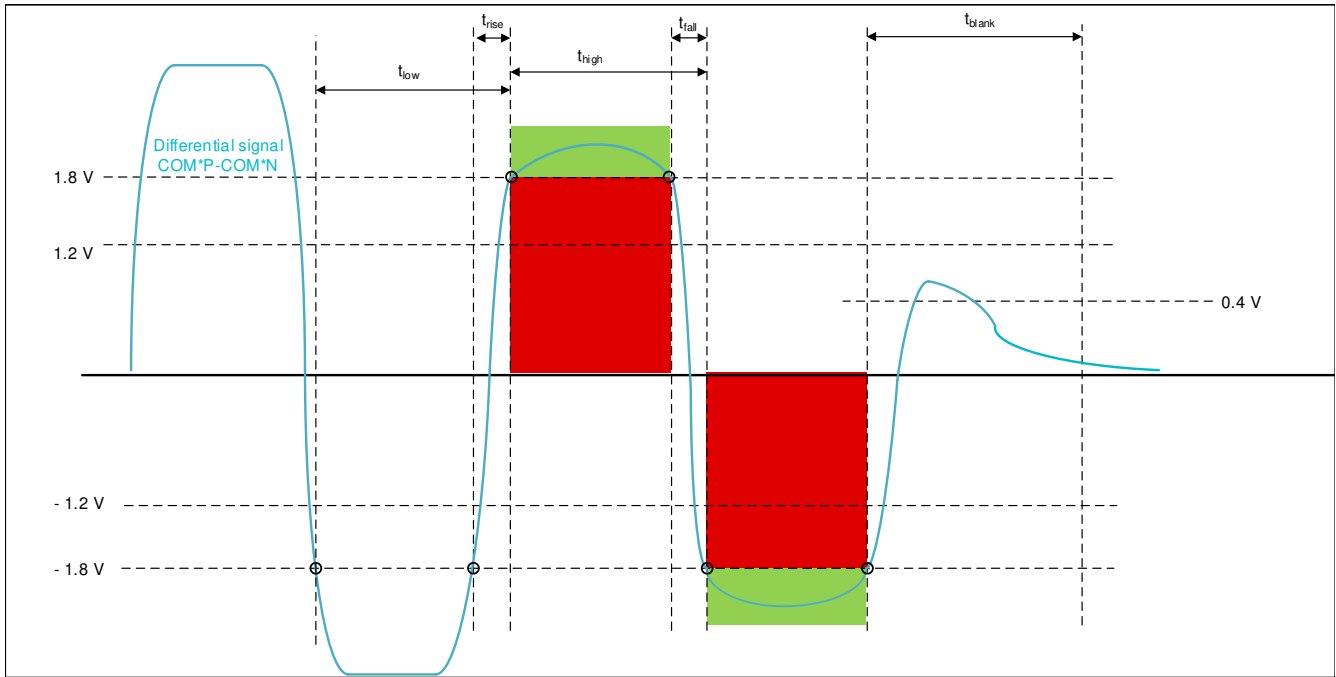


图 3-3. 差分信号眼图 - BQ79600

4 调试故障寄存器

bq7961X 器件配备了許多故障寄存器，可帮助用户确定器件之间信号噪声的原因和影响。最重要的是，我们建议始终检查 `FAULT_SUMMARY` 寄存器以确定通信期间是否发生错误。如果 `FAULT_SUMMARY` 标志 `FAULT_COMM` 错误，则后续步骤是读回 3 个 `FAULT_COMM1/2/3` 寄存器和 `DEBUG` 寄存器，以识别确切的问题。有关这些寄存器和指示器的更多信息，请参阅 bq79616-Q1 数据表第 9.6.4.14 节。

5 隔离类型

利用 bq7961X 系列器件，TI 为设计完整系统中堆叠器件之间的隔离接口提供了多种选项。其中包括：

1. 变压器/电流/电感
2. 电容 + 扼流圈
3. 仅电容

请注意，各个元件的属性和特性会影响信号完整性、稳健性和 EMC 性能。在以下各节中，我们将详细介绍每种隔离类型和建议的元件选择。

5.1 变压器隔离

对于较长的菊花链电缆或高噪声应用，系统可能需要使用变压器隔离来提供超稳健的通信形式。与电容耦合通信相比，该设计选择允许菊花链通信实现电流隔离并承受更高的噪声源。建议使用一组特定的参数来满足符合汽车标准的温度、电压和可靠性等级。建议选择电感值保持在 150 - 600uH 范围内的器件，以获得理想性能。表 5-1 列出了已使用 bq7961X 器件进行测试的建议器件型号。选择该列表或参数之外的器件需要系统设计人员进行全面验证，以确保通信在整个温度范围内保持稳定，能够承受快速通信事务，并提供适当的 EMI 滤波。请注意，强烈建议在菊花链接口（顶部器件的 COML 和连接的下部器件的 COMH）的两侧使用相同的变压器器件型号，这一点很重要。

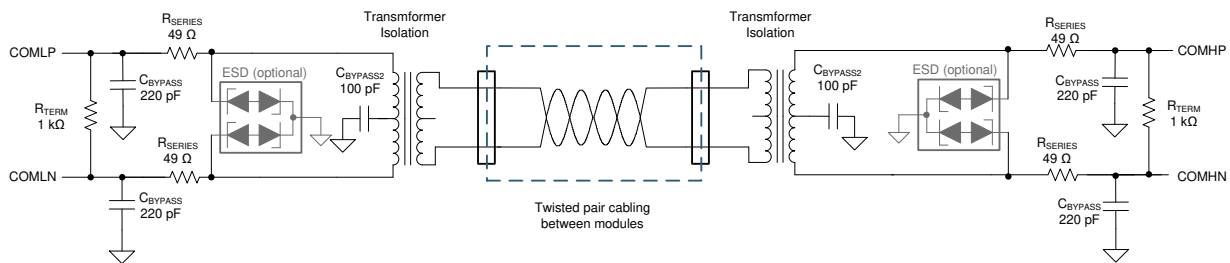


图 5-1. 跨 PCB 的变压器隔离

表 5-1. 建议的变压器器件型号

器件型号	供应商	电感 (OCL) uH	高度 (mm)
HMU1228NL	Pulse	150-370	6.85
HM2147NL	Pulse	580-1285	3.45
SM91502AL	Bourns	150-450	5.72

5.2 仅电容器隔离

对于低噪声环境或安装在同一 PCB 上的器件，通常最佳做法是仅选择电容器用于隔离。我们建议这些电容器为 2.2nF，具有较高的额定电压（是系统总电池包电压的两倍），并且符合汽车标准。我们的参考原理图使用 Knowles 提供的 1206J2K00222KXR。可以使用高达 5.6nF 的电容器来实现这种隔离。

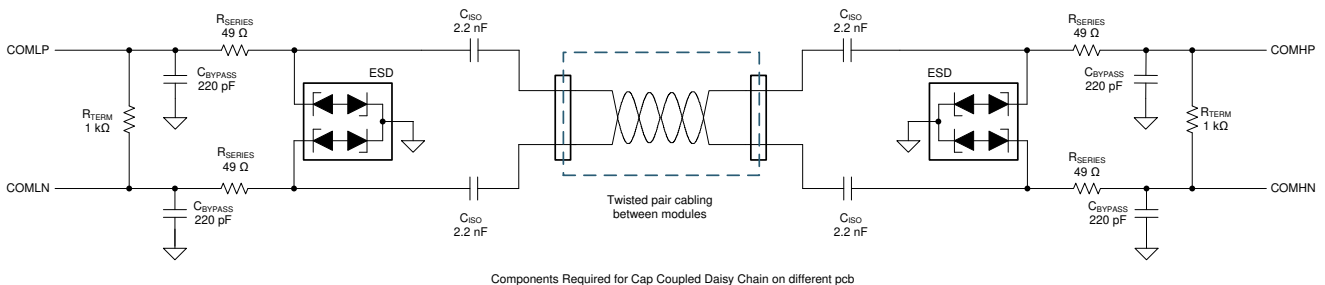
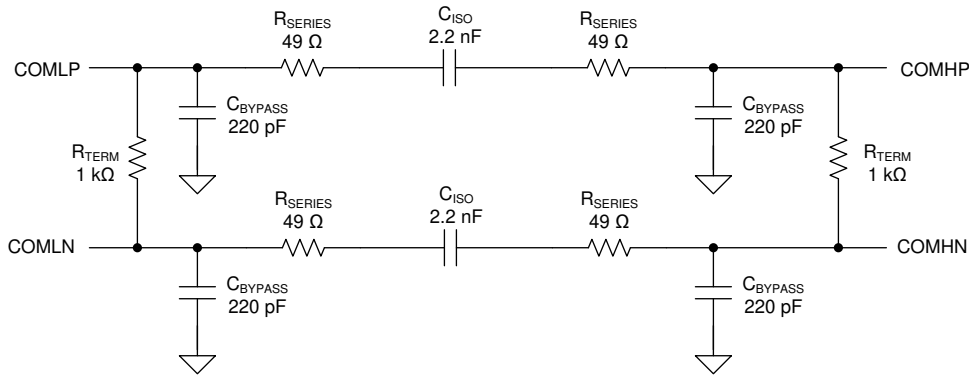


图 5-2. 跨多个 PCB 仅使用电容器

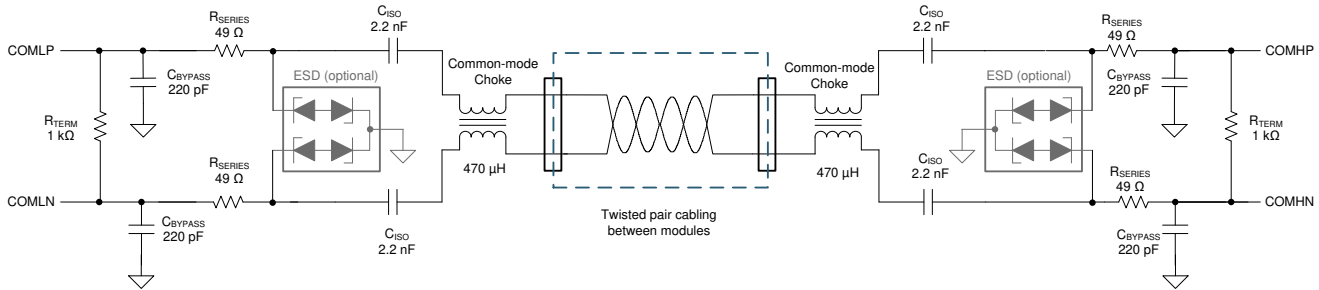


Components Required for Cap Coupled Daisy Chain on the same PCB

图 5-3. 在同一 PCB 上仅使用电容器

5.3 电容器和扼流圈隔离

如果系统使用基于电容的隔离，那么对于较长的菊花链电缆或高噪声应用，可能需要使用与电容器串联的附加共模扼流圈滤波器。对于这些应用，为确保正常运行，建议至少使用汽车级 $100 \mu\text{H}$ 共模滤波器。为了在嘈杂的环境中实现更佳性能，应使用双共模滤波器 ($100 \mu\text{H}$ 和 $470 \mu\text{H}$)。对于单共模滤波器应用，建议使用 TDK $51 \mu\text{H}$ $2.8\text{k}\Omega$ 扼流圈 (ACT45B-510-2P-TL003)。对于双共模滤波器应用，建议使用 TDK $100 \mu\text{H}$ $5.8\text{k}\Omega$ 扼流圈 (ACT45B-101-2P-TL003) 和 Wurth $470 \mu\text{H}$ $2.2\text{k}\Omega$ (744242471)。请注意，共模阻抗规格对于抑制较高噪声源至关重要。在确定铁氧体磁珠的选择时可以应用相同的原則。



Components Required for cap-choke Daisy Chain with Cabling

图 5-4. 跨多个 PCB 使用电容器和扼流圈

6 使用 bq79600-Q1 的混合隔离电路

当使用 bq79600-Q1 器件作为通信桥接器并结合 bq79616-Q1 器件的任何型号作为堆栈器件时，务必验证基底和第一个堆栈器件之间隔离接口的稳健性。之所以要执行该过程，是因为该器件支持基底器件 COMH 侧与堆栈器件 COML 侧的混合隔离类型。通常，这意味着 bq79600-Q1 将具有先前列表中的变压器，然后用户可以为 bq79616-Q1 堆栈器件侧选择三种支持的隔离类型中的任何一种（即两侧的变压器器件型号相同（如果需要变压器隔离））。每种混合使用不同变压器、电容器和扼流圈器件型号的情况尚未经过测试，因此用户务必在选择隔离元件后确保保持信号完整性。从原理图上看，主要区别在于 bq79600-Q1 电路上的去耦电容器为 100pF，而 bq79616-Q1 器件的去耦电容器为 220pF。

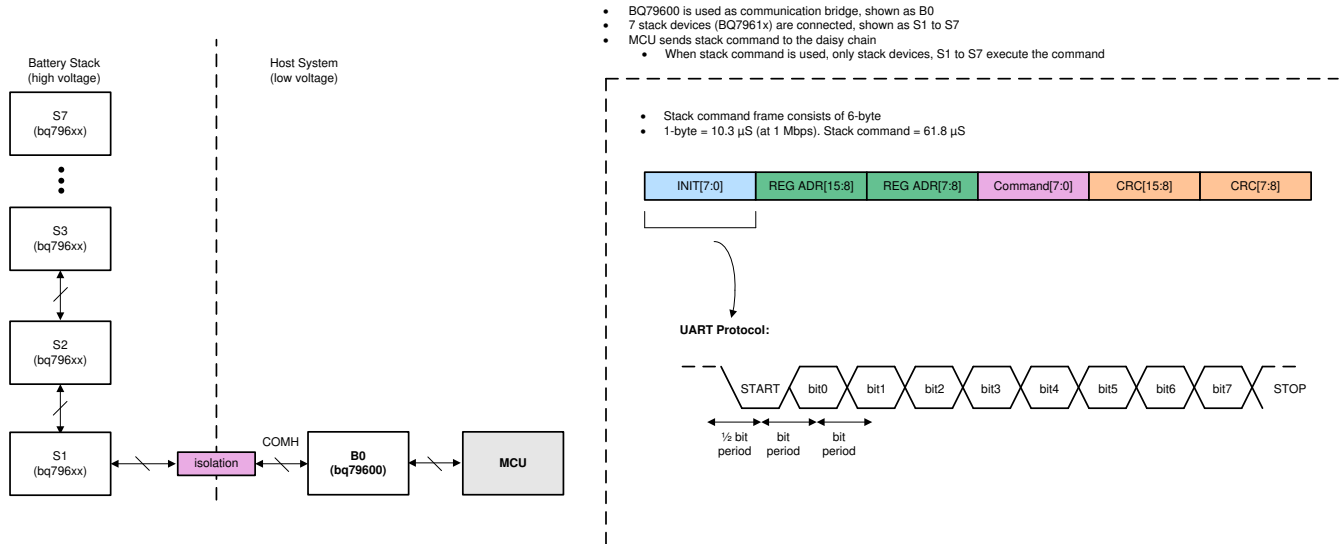


图 6-1. 示例：BQ79600-Q1 连接到 BQ79616-Q1 时序

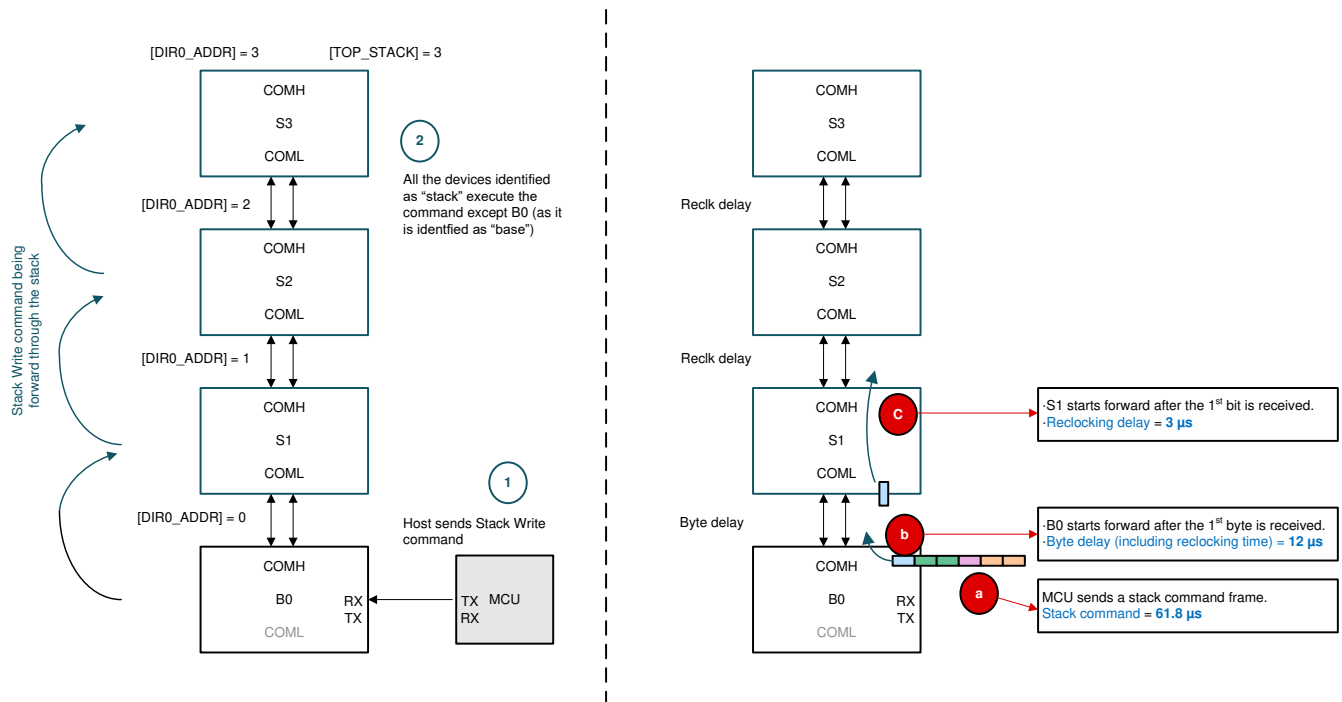
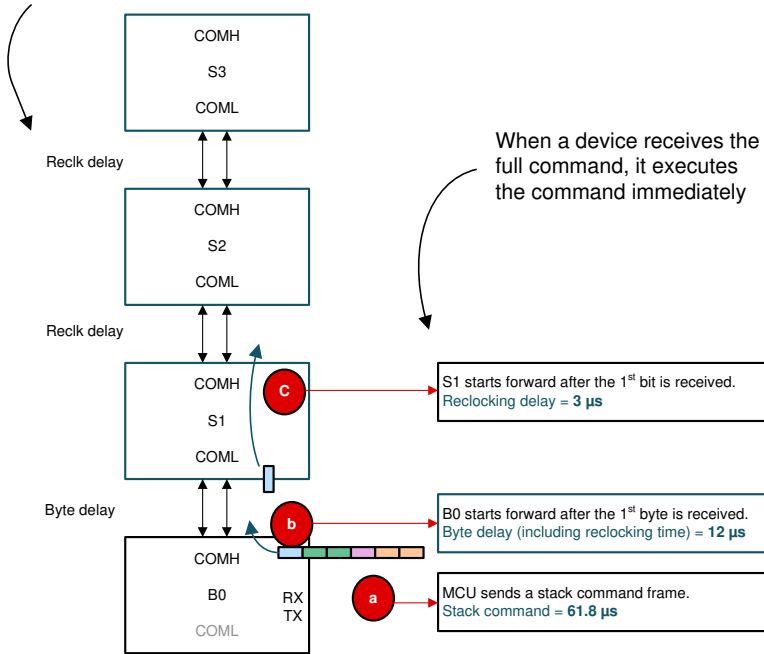


图 6-2. 堆栈命令如何发送

This is the tRECLK_DC spec in DS:
3us typ, 5 μs max (will be using 3 μs for all calculations in this ppt)



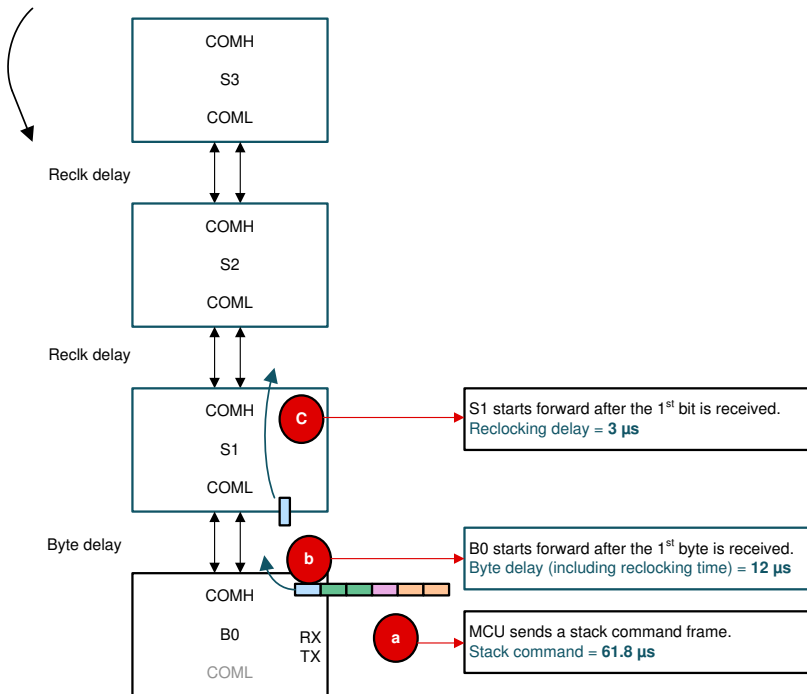
The timing analysis can be different depends on the definition of start and stop of time count

For simplicity, the command frame timing analysis use the following definition:

- t_start = MCU finishes sending the command
- t_stop = top device receives the full command

图 6-3. 每个器件何时收到命令？

This is the tRECLK_DC spec in DS:
3us typ, 5us max



	Time for each device to fully receive the stack command (count from MCU finishes sending out the command)
B0	Assume t0 = MCU finishes sending the last byte of the command = t0 = 0 μs
S1	Byte delay = 12 μs
S2	Byte delay + reclk = Byte delay + reclk * (N-1), where N = stack device # = 12 μs + 3 μs * (2-1) = 15 μs
S3	Byte delay + reclk * (N-1) = 12 μs + 3 μs * (3-1) = 18 μs

In this example, S3 is the last device to receive the command. Hence, once MCU finishes sending the command, all stack devices will receive the command after 19us

Note: The command time (61.8 μs) shall be added to the timing above if counting from the start of MCU command

图 6-4. 器件接收或发送命令的序列

7 环形架构

bq7961X 菊花链接口提供了使用环形架构的选项。在该架构中，两个器件之间的电缆断开不会像正常的非环形方案那样阻止与所有上游器件的通信。当主机检测到通信中断时，该器件允许主机切换通信方向，以便与中断点两侧的器件进行通信。这样可以确保安全运行，直到线路中的中断点被修复。**CONTROL1[DIR_SEL]** 控制通信方向。器件将根据 **[DIR_SEL]** 和 **[TOP_STACK]** 设置重新配置 COMH 和 COML 端口。需要执行自动寻址过程来重新寻址反向通信方向的器件地址。下面是一个针对整个菊花链将通信方向更改为 **[DIR_SEL] = 1** 的示例：

1. 主机发送单个器件写入以更改基底器件 **[DIR_SEL] = 1**。基底器件将禁用其 COMH 并启用其 COML。
2. 主机发送广播写入反向以清除所有器件上的 **COMM_CTRL** 寄存器设置。
3. 主机发送广播写入反向以更改其余器件的 **[DIR_SEL] = 1**。在该步骤中，整个菊花链设置为在 **[DIR_SEL] = 1** 方向上传输通信（即每个器件设置为将主机发送的命令帧从其 COMH 传输到其 COML）。
4. 主机执行自动寻址过程，以在 **DIR1_ADDR** 寄存器中设置器件地址。除非器件已复位，否则主机可以跳过虚拟读取/写入步骤以在自动寻址过程中同步 DLL。
5. 主机设置新的栈顶器件，新的 ToS 设备将禁用其 COML 发送器。

设置两个通信方向的器件地址之后，主机可以在切换通信方向时跳过自动寻址步骤。

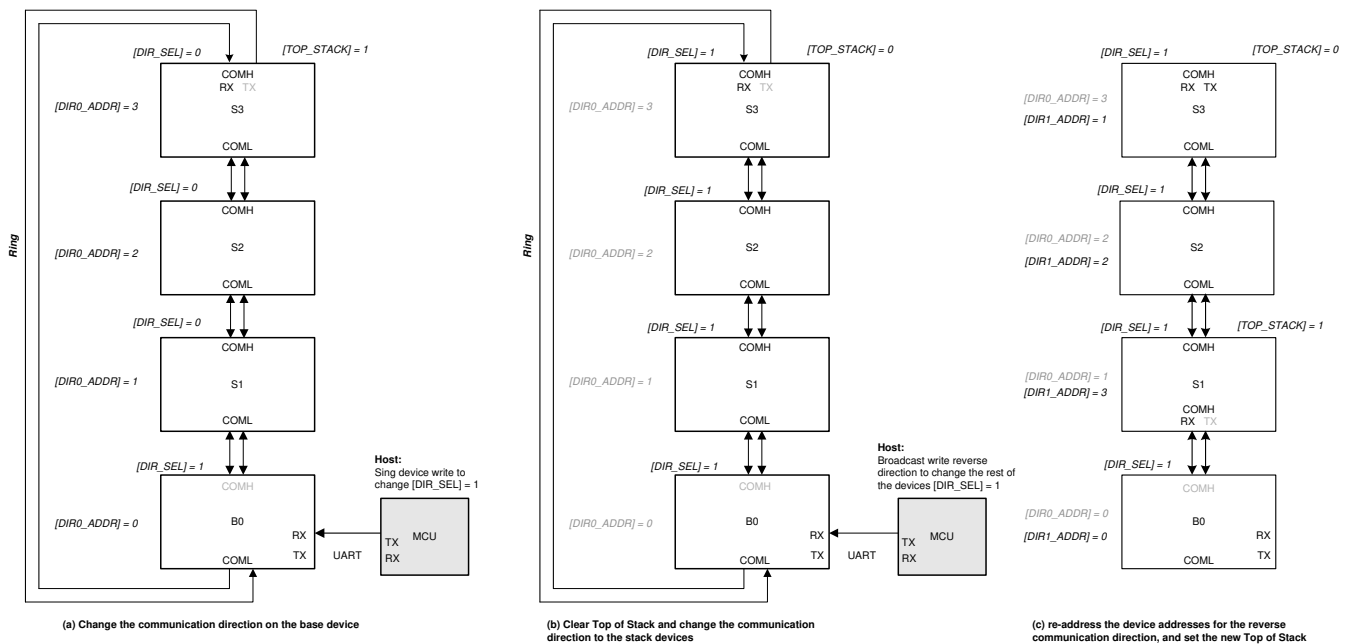
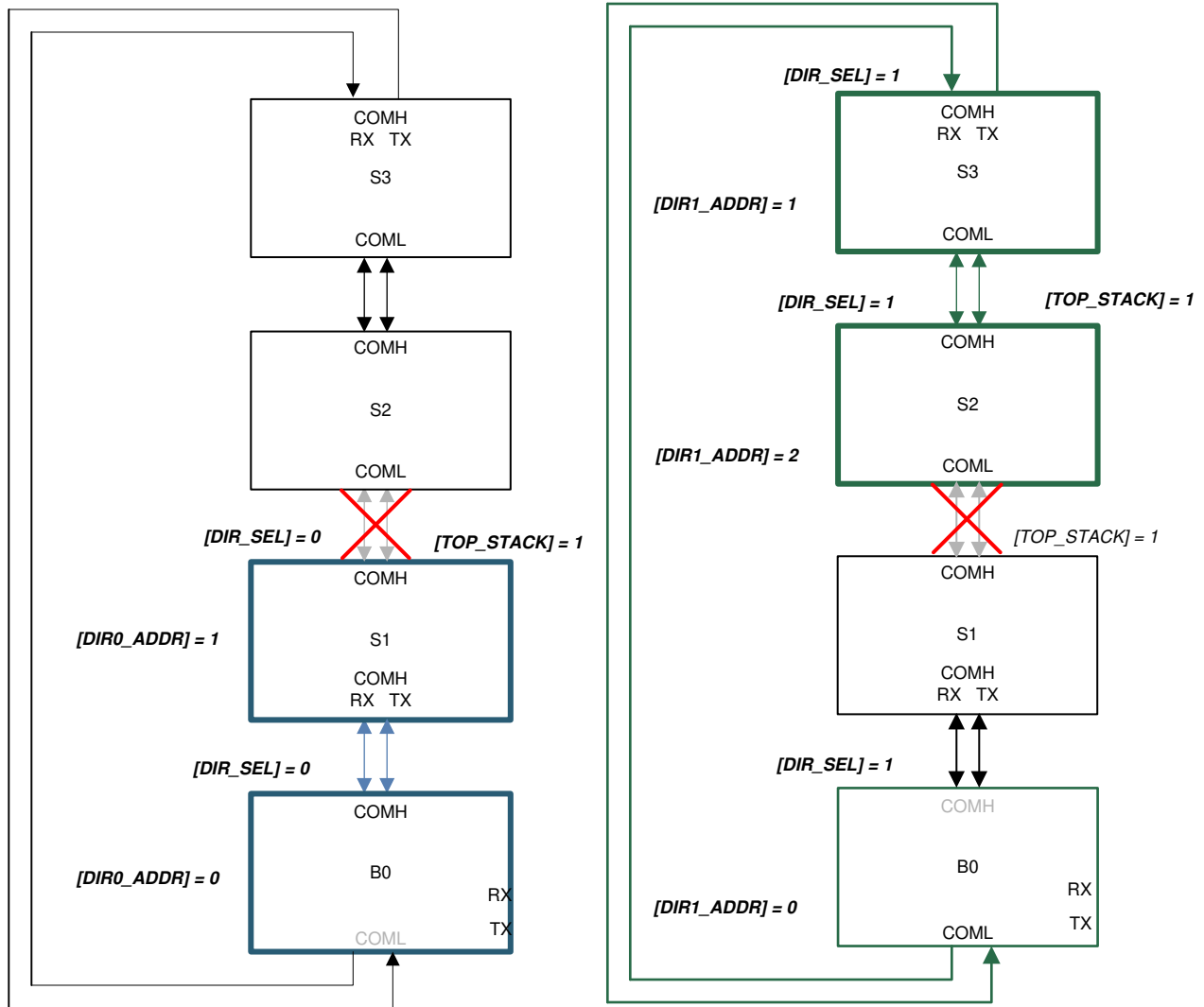


图 7-1. 更改菊花链中的通信方向的示例

当电缆损坏时，主机遵循相同的过程来更改通信方向。要访问菊花链中的所有器件，主机必须在菊花链的某些器件上 **[DIR_SEL] = 0** 以及其他器件上 **[DIR_SEL] = 1** 的情况下通信。菊花链还将有两个 ToS 器件，每个通信方向一个。



(a) Use [DIR_SEL] = 0 direction to communicate to S1

(a) Use [DIR_SEL] = 1 direction to communicate to S3 and S2

图 7-2. 使用环形架构在电缆断开的情况下访问所有器件

8 噪声抗扰度和发射

为确定可以考虑在汽车或电动汽车应用中使用 **bq7961X** 菊花链架构，我们执行多项 EMI 或 EMC 测试，以展示稳健性。但是，根据原理图或 PCB 布局设计选择、外部噪声源、与 UART 或 MCU 接头之间的距离以及校准设备，这些结果会有所不同。请联系 TI 销售团队或支持团队代表，以获得有关这些通过的规格的更多详细信息。以下是重现最佳情况结果的常见做法列表：

1. 遵循 [适用于高压汽车 BMS 的 BQ7961x-Q1 设计建议](#) 应用手册中的布局建议。
2. 严格遵循 [BQ79616-Q1](#)、[BQ75614-Q1](#) 和 [BQ79656-Q1 评估模块](#) 中详细介绍的参考 EVM 原理图和布局。
3. 常见的做法包括使用铁氧体、磁珠、滤波元件隔离 UART 或 MCU 连接。

9 菊花链电缆选择

通常，菊花链测试是通过器件之间最短、对称、匹配阻抗的板载 PCB 引线或两个独立 PCB 或评估模块之间 1 - 1.7m 长的双绞线来完成的。不过，根据适当的布局、隔离和命令之间的延迟，通信协议可以在需要时支持最长 20-40m 的布线，但对于大多数稳健的解决方案而言，不建议这样做。布线材料、扭绞和连接器可以提高通信稳健性，但由于为许多不同的系统架构提供了灵活性，我们不对这些因素提出严格的要求。然而，我们的许多温度和 EMC 测试均已使用基本铜双绞线（无屏蔽）完成了测试。不过最好使用 PP 材料而不是 PVC 材料，PVC 材料会随着时间和温度的变化而改变电缆的介电常数，从而对传输的信号产生影响，而更昂贵但更好的 PP 材料不存在该问题。通常，最佳做法是每英寸电缆支持至少 1-2 次扭绞，并在非常靠近连接器的位置开始扭绞。这将有助于降低 EMI 干扰的外部影响。

10 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[BQ7961x-Q1 系列最高符合 SafeTITM-26262 ASIL-D 标准的 12S、14S、16S 精密汽车电池监测器、平衡器和集成硬件保护器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI)，[BQ79600-Q1 具备自动主机唤醒功能且符合功能安全标准的汽车类 SPI/UART 通信接口](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI)，[BQ79616-Q1、BQ75614-Q1 和 BQ79656-Q1 评估模块 EVM 用户指南](#)。
- 德州仪器 (TI)，[适用于高压汽车 BMS 的 BQ7961x-Q1 设计建议](#) 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司