



摘要

BQ79600-Q1 是一款通信桥接器件，用于连接主机微控制器和 BQ7961X 系列电池监测器件。该器件能够通过 UART 或 SPI 接口与主机进行通信，并将通信转换为 BQ7961X 系列器件理解的差分菊花链协议。

双向菊花链端口支持基于变压器的隔离。在环形架构中，该器件支持自动主机唤醒或反向唤醒，使主机微控制器和 PMIC 进入低功耗模式（关断/睡眠），同时 BQ79600-Q1 监测堆叠式电池监测器件是否出现故障，并在检测到任何未屏蔽的故障时唤醒微控制器和 PMIC。

内容

1 电路设计	2
1.1 电源（BAT、CVDD、DVDD、VIO 引脚）	2
1.2 抑制输出（INH 引脚）	4
1.3 与主机的通信（MOSI/RX、MISO/TX、nCS、SCLK、nUART/SPI (SPI_RDY) 引脚）	4
1.4 故障输出（NFAULT 引脚）	6
1.5 与电池监测器件的通信（COMHP、COMHN、COMLP、COMLN 引脚）	6
2 布局指南	8
2.1 接地平面	8
2.2 电源和基准的旁路电容器	8
2.3 UART/SPI 通信	8
2.4 菊花链通信	8
3 菊花链信号完整性	9
3.1 菊花链接收器阈值	9
3.2 共模噪声和差模噪声	9
3.3 BCI 性能	10
3.4 辐射发射性能	10
4 总结	11
5 参考文献	11
6 修订历史记录	11

插图清单

图 1-1. 12V 电池和自动主机唤醒	2
图 1-2. 5V 稳压电源且不自动唤醒主机	3
图 1-3. 使用 UART 接口	5
图 1-4. 使用 SPI 接口	5
图 1-5. 菊花链隔离	6
图 2-1. 菊花链布局注意事项	8
图 3-1. 菊花链接收器阈值	9
图 3-2. X-Y 电容器	10

表格清单

表 1-1. 电源设计注意事项	4
表 1-2. INH 设计注意事项	4
表 1-3. SPI/UART 设计注意事项	6

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 电路设计

本节介绍了使 BQ79600-Q1 器件正常工作的电路设计建议。

1.1 电源 (BAT、CVDD、DVDD、VIO 引脚)

BAT、CVDD、DVDD 和 VIO 引脚是 BQ79600-Q1 中的电源，用于为芯片中的不同模块供电。

BAT 引脚是为内部 LDO 和唤醒电路供电的电池电源输入。使用反向唤醒功能时，应通过一个 $10\ \Omega$ 电阻将该引脚连接到 12V 电池，并使用一个 $0.1\ \mu\text{F}/50\text{V}$ 电容器旁路到 GND (将电容器尽可能靠近该引脚放置)。电池电压可低至 5.5V，高达 24V。如果不使用反向唤醒功能，可将该引脚连接到系统中 SBC/PMIC 的 5V 稳压电源，电压低至 4.75V，高达 5.25V。

CVDD 引脚是垂直接口专用的 5V 电源。该电压由 BQ79600-Q1 器件在内部生成。该引脚需要使用一个 $0.22\ \mu\text{F}/10\text{V}$ 电容器去耦至 GND，才能正确运行。将电容器尽可能靠近 CVDD 引脚放置，并且不要将任何外部负载连接到该引脚。如果未使用反向唤醒功能且 BAT 引脚由 5V 稳压电源供电，请将 CVDD 直接连接到 BAT 引脚并且仍连接 $0.22\ \mu\text{F}/10\text{V}$ 去耦电容器。

DVDD 引脚是为内部数字电路供电的 1.8V 稳压输出，由 BQ79600-Q1 器件从 CVDD 5V 电源内部生成。它需要使用一个 $0.22\ \mu\text{F}/10\text{V}$ 电容器去耦至 GND，才能正确运行。将电容器尽可能靠近 DVDD 引脚放置，并且不要将任何外部负载连接到该引脚。

VIO 引脚是 UART 和 SPI I/O 引脚的电源输入。该引脚应连接到外部稳压电源，通常为 3.3V 或 5V。用于 UART 或 SPI I/O 引脚的微控制器电压基准应与用于 VIO 的电压基准相同。在典型应用中，该稳压电压由系统中的 PMIC 生成，并同时连接到 BQ79600-Q1 VIO 引脚和微控制器中用于 UART 或 SPI I/O 的电源引脚。使用 $0.1\ \mu\text{F}/10\text{V}$ 电容器去耦至 GND，并将电容器尽可能靠近 VIO 引脚放置。应在驱动 SCLK、nCS、RX/MOSI、TX/MISO、NFAULT、nUART/SPI (SPI_RDY) 之前为 VIO 供电。

图 1-1 显示了直接使用 12V 电池为 BQ79600-Q1 供电并使用反向唤醒功能时建议的电源电路设计。图 1-2 显示了使用 5V 稳压电源为 BQ79600-Q1 供电且未使用反向唤醒功能时建议的电源电路设计。

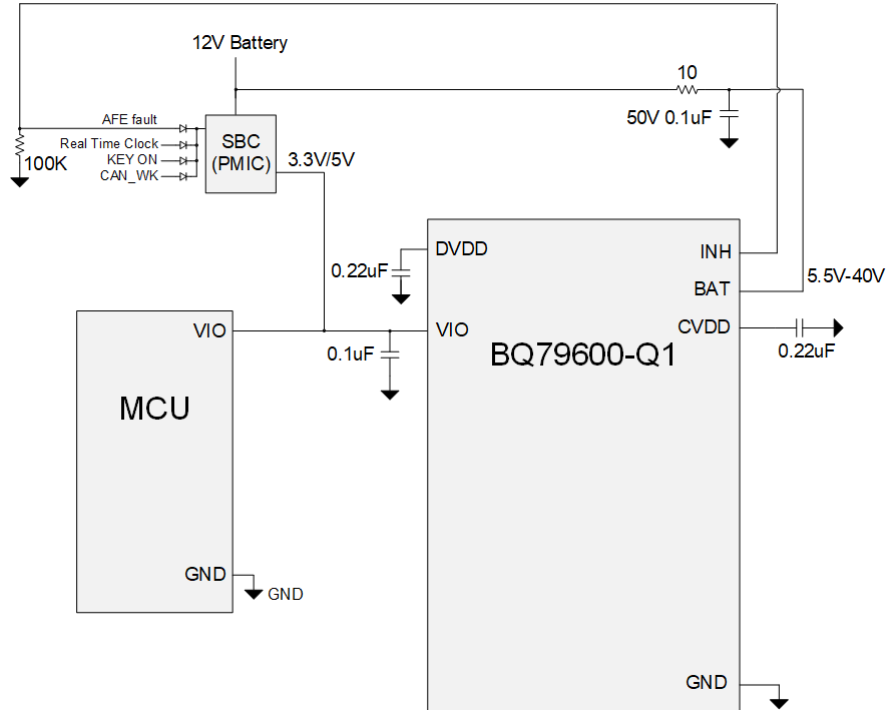


图 1-1. 12V 电池和自动主机唤醒

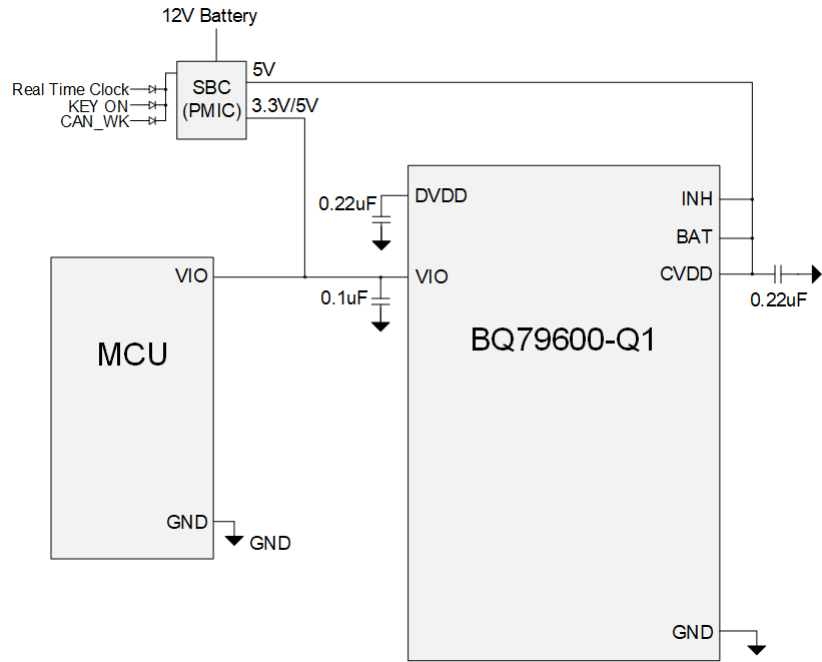


图 1-2. 5V 稳压电源且不自自动唤醒主机

表 1-1. 电源设计注意事项

引脚	用途	使用反向唤醒	未使用反向唤醒
BAT	为内部 LDO 和唤醒电路供电。	通过 10 Ω 电阻连接到外部 12V 电池，并使用 0.1 μF/50V 旁路到 GND。	通过 10 Ω 电阻连接到外部 12V 电池并使用 0.1 μF/50V 旁路到 GND，或连接到 5V 稳压电源并短接至 CVDD。
CVDD	用于菊花链通信的 5V 电源。	通过 0.22 μF/10V 去耦至 GND。	通过 0.22 μF/10V 去耦至 GND。如果 BAT 由 5V 电源供电，则将该引脚连接到 BAT 引脚。
DVDD	用于内部数字电路的 1.8V 电源。	使用 0.22 μF/10V 电容器旁路到 GND。	
VIO	用于 UART/SPI 输入/输出引脚的 3.3V 或 5V 电源输入。	使用 0.1 μF/10V 电容器去耦至 GND。	

1.2 抑制输出 (INH 引脚)

INH 引脚是 PMOS 开漏输出，用于在使用反向唤醒功能时控制 PMIC 等外部稳压器。该引脚需要通过一个 100K Ω 的下拉电阻连接到 GND，才能正常运行。如果未使用反向唤醒功能，则将 INH 直接连接到 BAT 引脚。

表 1-2. INH 设计注意事项

引脚	用途	使用反向唤醒	未使用反向唤醒
INH	PMOS 开漏输出，用于控制系统稳压器。	将一个 100K Ω 电阻连接到 GND。	将该引脚连接到 BAT 引脚。不保持悬空。

1.3 与主机的通信 (MOSI/RX、MISO/TX、nCS、SCLK、nUART/SPI (SPI_RDY) 引脚)

BQ79600-Q1 支持使用 MOSI/RX、MISO/TX、nCS、SCLK 和 nUART/SPI (SPI_RDY) 引脚通过 UART 接口或 SPI 接口与主机微控制器进行通信。本节介绍了使用上述每个通信接口所需的电路配置。

备注

MISO/TX 引脚在空闲时被 BQ79600-Q1 器件拉高 (nCS = HIGH)。因此，无法与其他从器件共享 SPI 接口。请对其他从器件使用 MCU 中的另一个 SPI 接口。

nUART/SPI (SPI_RDY) 引脚是一个具有以下 2 种功能的数字 I/O 引脚：

1. 该引脚用于选择 SPI 或 UART 接口。要使用 UART 接口，请将引脚连接到 GND。要使用 SPI 接口，请通过一个 10K Ω 至 100K Ω 的上拉电阻将该引脚连接到 VIO，并将该引脚连接到微控制器的 GPIO 引脚。
2. 选择 SPI 模式后，该引脚具有附加功能。在 SPI 模式下初始化器件后，该引脚提供 BQ79600-Q1 的输出信号，用于向主机指示何时可以读取或写入数据。

nCS 引脚是数字输入，用作 SPI 接口的低电平有效芯片选择引脚。在 SPI 模式下，通过一个 10K Ω 至 100K Ω 的上拉电阻将该引脚连接到 VIO，并连接到 SPI 主微控制器的 nCS 引脚。BQ79600-Q1 器件使用 MOSI/RX 引脚上接收到的特定信号模式（称为“ping”）来更改器件的电源状态。在 SPI 模式下，ping 仅在 nCS 保持低电平时有效。为避免器件读取意外的 ping，使用 SPI 接口时无法将 nCS 信号硬接线到 GND。在 UART 模式下，将该引脚连接到 GND。

SCLK 引脚是 SPI 接口的时钟输入。如果选择了 SPI 模式，请通过一个 10K Ω 至 100K Ω 的下拉电阻将该引脚连接到 GND，并连接到 MCU 上的 SPI SCLK 引脚。在 UART 模式下，直接连接到 GND。

MISO/TX 引脚是 SPI 主输入从输出或 UART 发送器输出。在 MCU 侧通过一个 10K Ω 至 100K Ω 的上拉电阻将该引脚连接到 VIO。如果使用 SPI 接口，请将该引脚连接到 MCU 上的 SPI MISO 引脚。如果使用 UART 接口，则连接到 MCU 上的 UART RX 引脚。

MOSI/RX 引脚是 SPI 主输出从输入或 UART 接收器输入。通过一个 10K Ω 至 100K Ω 的上拉电阻将该引脚连接到 VIO。不要让它处于未连接状态。如果使用 SPI 接口，请将该引脚连接到 MCU 上的 SPI MOSI 引脚。如果使用 UART 接口，则连接到 MCU 上的 UART TX 引脚。

图 1-3 显示了主机 MCU 使用 UART 接口与 BQ79600-Q1 器件通信时的建议设计。有关主机 MCU 与 BQ79600-Q1 之间使用 SPI 接口进行通信时的建议设计，请参阅图 1-4。

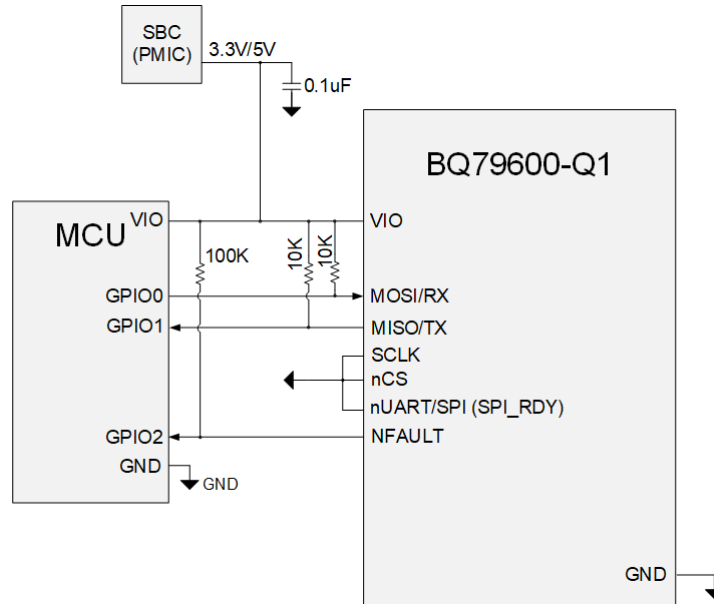


图 1-3. 使用 UART 接口

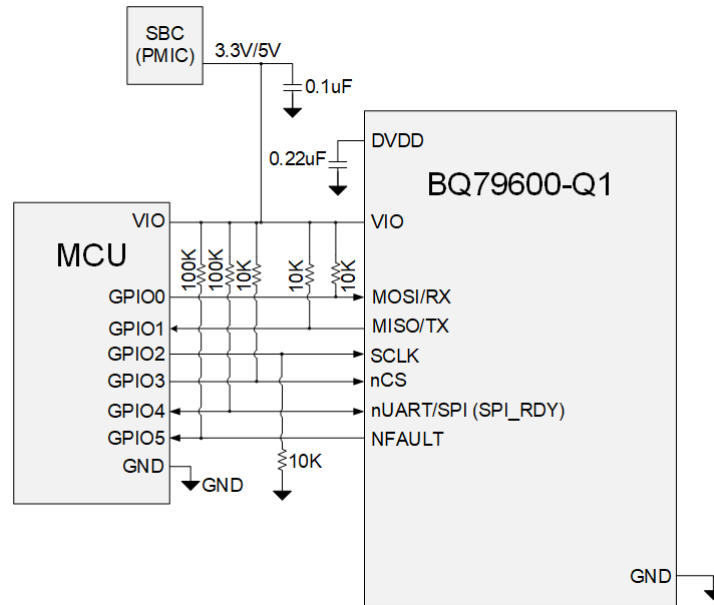


图 1-4. 使用 SPI 接口

表 1-3. SPI/UART 设计注意事项

引脚	SPI 模式	UART 模式
MOSI/RX	通过一个 10KΩ 至 100KΩ 的上拉电阻连接到 VIO，并连接到 MCU 的 SPI SIMO 引脚。	通过一个 10KΩ 至 100KΩ 的上拉电阻连接到 VIO，并连接到 MCU 的 UART TX 引脚。
MISO/TX	在 MCU 侧通过一个 10KΩ 至 100KΩ 的电阻上拉至 VIO。连接到 MCU 的 SPI SOMI 引脚。请勿连接 SPI 总线上的其他从器件，因为 MISO 线路在空闲时被 BQ79600-Q1 器件拉高。	在 MCU 侧通过一个 10KΩ 至 100KΩ 的电阻上拉至 VIO。连接到 MCU 的 UART RX 引脚。
SCLK	通过一个 10KΩ 至 100KΩ 的下拉电阻连接到 GND，并连接到 MCU 的 SPI SCLK 引脚。	连接到 GND。
nCS	通过一个 10KΩ 至 100KΩ 的上拉电阻连接到 VIO，并连接到 MCU 的 SPI nCS 引脚。	连接到 GND。
nUART/SPI (SPI_RDY)	通过一个 10KΩ 至 100KΩ 的上拉电阻连接到 VIO，并连接到 MCU 上的 GPIO 引脚。	连接到 GND。

1.4 故障输出 (NFAULT 引脚)

NFAULT 引脚是低电平有效故障指示器，在发生故障时，该引脚将拉低以向主机发出已发生故障的信号。nFAULT 是开漏低电平有效引脚，因此需要通过一个 100KΩ 的电阻将其上拉至 VIO。将 nFAULT 连接到主机 MCU 上的 GPIO。如果不使用，则连接到 GND。有关建议的 NFAULT 连接，请参阅图 1-3。

1.5 与电池监测器件的通信 (COMHP、COMHN、COMLP、COMLN 引脚)

COMHP、COMHN、COMLP 和 COMLN 引脚是交流耦合双向输入/输出引脚，用于与 TI 的电池监测器 IC (如 BQ7961X-Q1 系列器件) 进行通信。要在北向通信，BQ79600-Q1 的 COMHP/N 差分引脚应通过适当的隔离连接到电池组中第一个电池监测器 IC 的 COMLP/N 引脚。同样，要在南向通信 (例如使用环形架构时)，BQ79600-Q1 的 COMLP/N 差分引脚应通过适当的隔离连接到电池组顶部电池监测器 IC 的 COMHP/N 引脚。如果不使用这些引脚，则保持未连接状态。

要在低压系统和高压域之间进行隔离，建议使用变压器隔离，因为这是从系统中消除共模噪声的有效方法。图 1-5 显示了接口元件值。仅当使用环形架构时，才需要标红的电路。

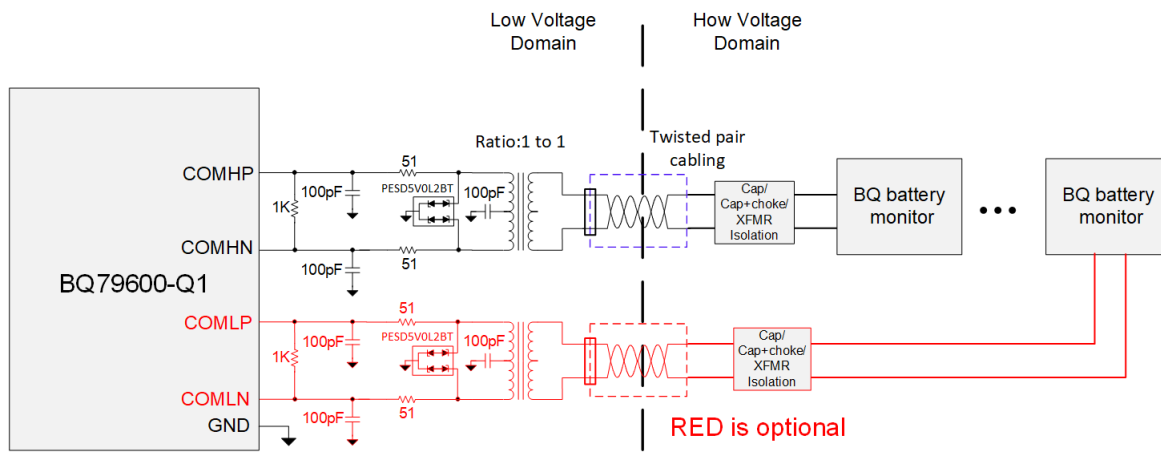


图 1-5. 菊花链隔离

使用环形架构的好处是，即使两个堆叠器件之间的通信线中断，主机也可以继续与堆叠的电池监测器器件进行通信。在非环形方案中，两个器件之间的通信中断会阻止与所有上游器件的通信。当 BQ79600-Q1 桥接器件和 BQ7961X-Q1 堆叠器件之间使用环形架构时，如果主机检测到通信接口断开，它将能够切换通信方向，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。有关在使用环形架构时如何反转通信方向的步骤，请参阅器件的数据表。

当 BQ7961X-Q1 堆叠器件处于睡眠模式而 BQ79600-Q1 处于睡眠模式或关断模式时，环形架构还支持传输故障状态。

组成部分	用途	建议
变压器	变压器在低压域和高压域之间提供电隔离。	HMU1228NL 变压器或 HM2147NL 变压器。
端接电阻器	使用此电阻器是为了防止反射信号干扰通信。	COMHP 和 COMHN 引脚之间的 1K Ω 电阻。如果使用环形架构，则在 COMLP 和 COMLN 引脚之间连接一个 1K Ω 电阻。BQ79600-Q1 侧和 BQ7961X-Q1 侧的连接两端均应有一个端接电阻。
串联电阻：	串联端接电阻用于实现阻抗匹配。	COMHN 和 COMNP 线路上的 51 Ω 串联电阻，如图 1-5 所示。如果使用环形架构，还需要在 COMLN 和 COMLP 线路上均使用 51 Ω 串联电阻。
旁路电容器	旁路电容器可在 BCI 测试期间提供滤波并提高性能。	COMHN 和 COMHP 上都有 100pF/50V 电容器连接到 GND。如果使用环形架构，则 COMLN 和 COMLP 上都有 100pF/50V 电容器连接到 GND。
ESD 保护	建议添加 ESD 保护，以在通信线上提供 ESD 隔离。	PESD5V0L2BT ESD 器件。
变压器中心抽头端子上的电容器	变压器需要在中心抽头处连接一个 100pF 电容器。	100pF/50V 电容器。

在所有这些情况下，建议都是基于电路板之间的电缆长度，并且在所有情况下，模块之间都要使用双绞线电缆。这些噪声隔离方法的主要目的是从信号中消除共模噪声。

通信线上的任何电容都将对性能产生影响。应计算并考虑所有有意电容和寄生电容。

2 布局指南

必须仔细设计该器件的布局。任何不遵守以下准则的设计都可能影响通信稳健性和 EMI 性能。必须注意进出器件的信号的布局，以避免将噪声耦合到敏感输入上。对接地和电源连接以及通信信号进行布局时也必须十分小心。

2.1 接地平面

为确保器件的最佳性能，建立干净的接地方案非常重要。器件上有一个接地引脚 (GND)。妥善做法是使用 PCB 顶层和底层进行信号路由，并使用中间层作为接地平面。即使在主要用于信号路由的 PCB 层上，如果可能，最好有一个小的接地覆铜岛来提供低阻抗接地，而不是简单地提供一个过孔来通过接地引线连接到一个更低的接地平面。在所有 PCB 层中的菊花链元件周围创建一个禁止区域 (没有其他引线，也没有接地平面)。

强烈建议 PCB 至少具有四层，其中一层完全用作连续的 VSS 层 (热风焊盘除外)。尽量避免在这一层走线，以保持接地层结构的连续性。

2.2 电源和基准的旁路电容器

以下引脚的旁路电容器必须尽可能靠近器件引脚放置，以确保性能正常。

- BAT、VIO、CVDD、DVDD

2.3 UART/SPI 通信

为了保证与主机 MCU 通信的信号完整性，这些引脚上的布线应尽可能短且直。

- MISO/TX、MOSI/RX、SCLK、nCS、nUART/SPI (SPI_RDY)

2.4 菊花链通信

为了获得极其稳健的菊花链通信，在 COMHP/N 和 COMLP/N 电路上进行正确的布局非常重要。

保持菊花链通信线上的信号完整性对于该器件的成功至关重要。

1. 保持差分引线尽可能短并且尽可能直。尽量减少引线转弯并避免引线出现任何绕圈。
2. 将差分引线保持在同一层。排布引线时应屏蔽并匹配引线阻抗。
3. 将隔离元件放置在靠近连接器的位置。
4. 使用电容隔离时，请将 COMxP/N 对的高压电容器 (其中 $x = H$ 或 L) 沿平行引线彼此靠近放置。
5. 在所有 PCB 层中的菊花链元件周围创建一个禁止区域 (没有其他引线，也没有接地平面)。

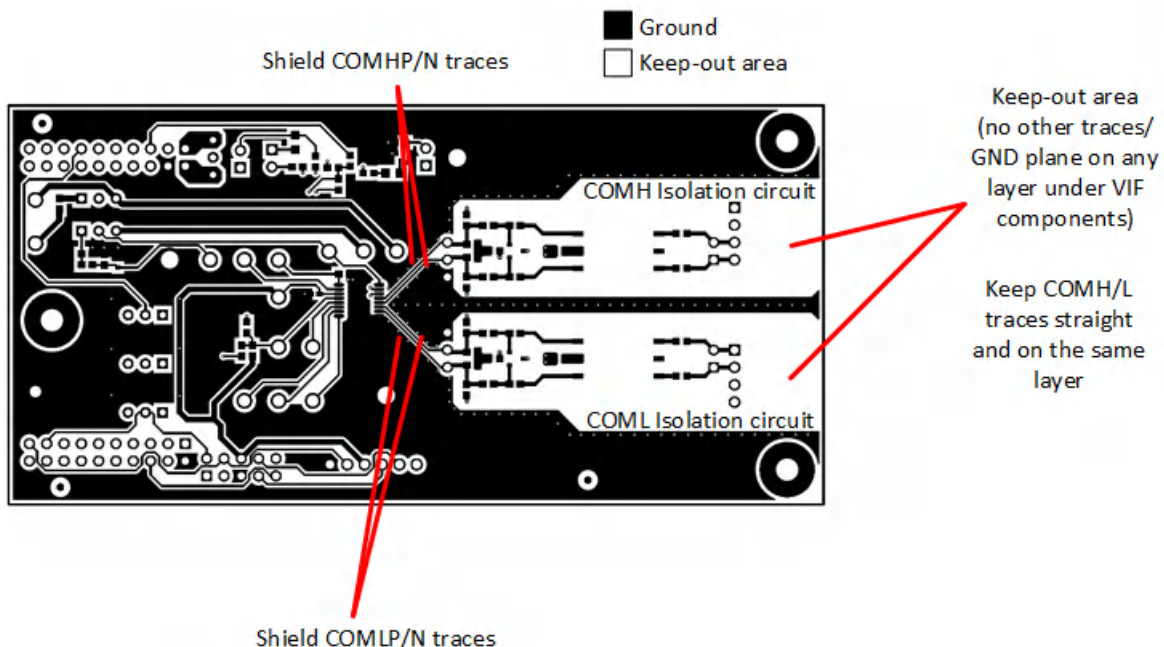


图 2-1. 菊花链布局注意事项

3 菊花链信号完整性

3.1 菊花链接收器阈值

下图显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。检测到高电平时，关键阈值电压为 1.75V；检测到低电平时，关键阈值电压为 -1.75V。然而，在 +/-1.13V 至 +/-1.75V 的范围内，数字电路可能会将这解释为高/低电平信号，但在达到 1.75V 阈值之前还不能确定。

对于音调，数字电路纯粹着眼于边缘检测转换，因此，只要 +1.75V 阈值极性更改为 -1.75V，就可以正确检测到该音调对。因此，将忽略在该音调对之后信号可能上升到 1.13V 以上的消隐时间。

对于数据通信，阈值必须在整个 250ns 高电平和 250ns 低电平期间保持在 1.75V 以上，才能正确解释命令。

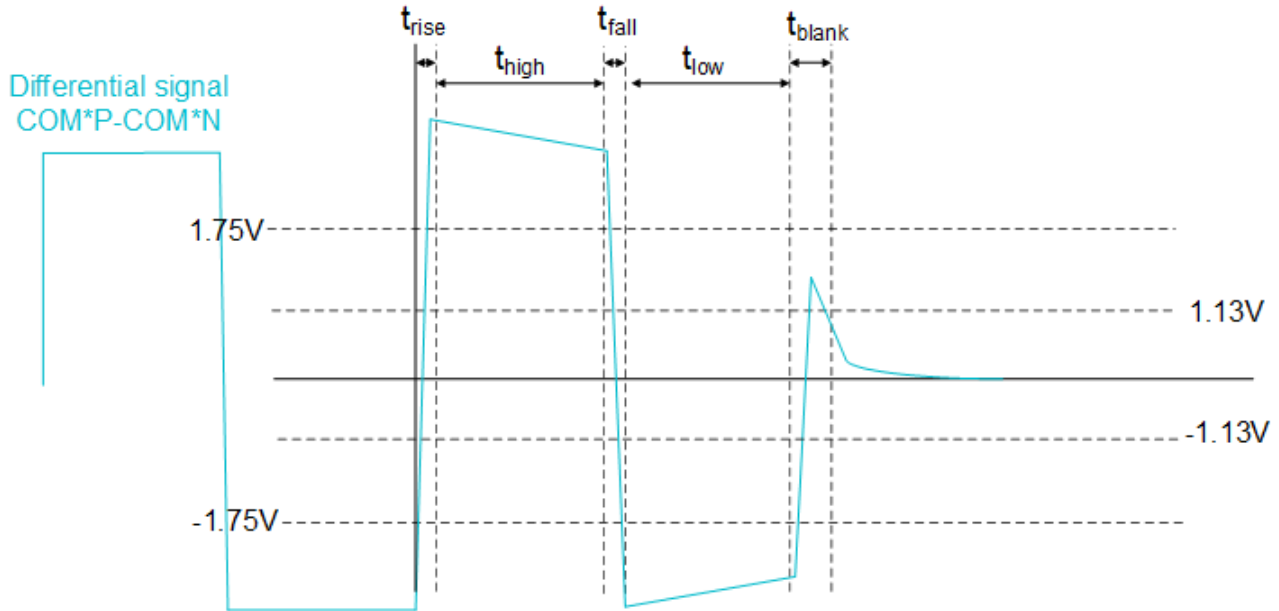


图 3-1. 菊花链接收器阈值

3.2 共模噪声和差模噪声

在极其嘈杂的环境中通常会使用并可能需要 X-Y 电容器。

- 差模噪声从一根线流出，然后在另一根线上返回。在两条线路之间放置一个 X 电容器来抑制噪声。
- 共模噪声从两条线中流出，并通过接地端杂散电容返回到机箱。在机箱之间放置一个 Y 电容器，如图 3-2 所示。

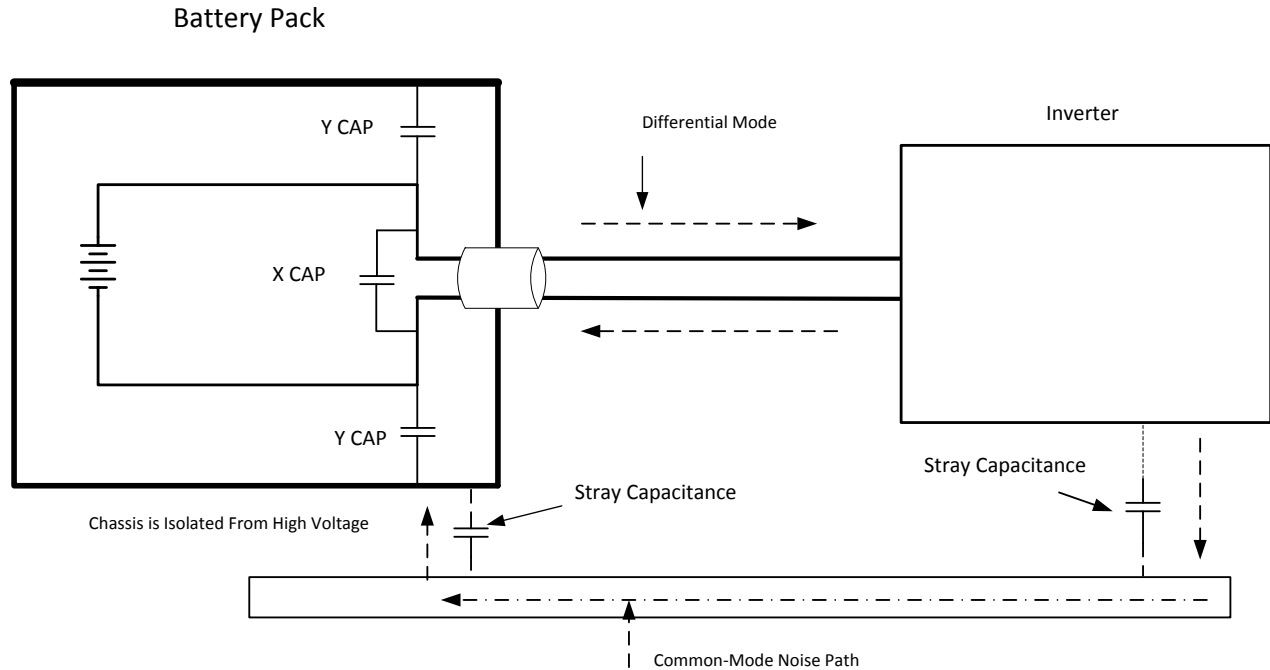


图 3-2. X-Y 电容器

设计注意事项

- 器件放置位置很重要。菊花链电缆不得置于汇流条或金属外壳表面。

3.3 BCI 性能

大电流注入 (BCI) 按照 ISO 11452-4 标准执行，使用较长电缆 (3m) 和 1Mbps 波特率。在通信线路上注入了 BCI 噪声。测试了 3 种不同的隔离方法：

- 将 BQ79600-Q1 上的变压器隔离更改为 BQ79616-Q1 上的变压器隔离
- 将 BQ79600-Q1 上的变压器隔离更改为 BQ79616-Q1 上的电容隔离
- 将 BQ79600-Q1 上的变压器隔离更改为 BQ79616-Q1 上的电容和扼流圈隔离

有关 BCI 性能的更多信息，请与当地 TI 销售代表联系。

3.4 辐射发射性能

辐射发射测试按照 CISPR 25 标准执行。电缆长度为 1.7m。测试了三种不同的隔离方法：

- 将 BQ79600-Q1 上的变压器隔离更改为 BQ79616-Q1 上的变压器隔离
- 将 BQ79600-Q1 上的变压器隔离更改为 BQ79616-Q1 上的电容隔离
- 将 BQ79600-Q1 上的变压器隔离更改为 BQ79616-Q1 上的电容和扼流圈隔离

有关辐射发射性能的更多信息，请与当地 TI 销售代表联系。

4 总结

可以对 BQ79600-Q1 器件进行配置，使其能够通过 UART 或 SPI 在微控制器单元 (MCU) 和电池监测器件之间进行通信。这种通信通过与我们的 BQ7961X 系列器件兼容的稳健菊花链协议来执行，该协议使用 COMHP、COMHN、COMLP 和 COMLH 交流耦合双向 I/O 引脚，这些引脚利用变压器隔离作为消除噪声的有效方法。此外，我们的器件还支持环形架构，可在通信线中断时，通过反转通信方向实现器件间持续可靠的通信。

5 参考文献

1. 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。
2. 德州仪器 (TI), [BQ79600-Q1 软件设计参考](#) 应用手册。
3. 德州仪器 (TI), [适用于高压汽车 BMS 的 BQ7961x-Q1 设计建议](#) 应用手册。

6 修订历史记录

Changes from Revision * (August 2020) to Revision A (October 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1
• 添加了参考文献部分.....	11

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