

## Application Note

## 有关隔离式 CAN 总线设计的几大设计问题



Vikas Kumar Thawani

## 摘要

控制器局域网 (CAN) 总线是一种多主消息广播网络接口。由于其协议中定义的特性, 例如基于优先级的消息传递、处理总线争用的按位仲裁以及错误检测和恢复, 它在安全关键型应用中通常优于其他差分有线接口。隔离 CAN 端口是许多工业和汽车应用中遇到的常见设计难题。本文中引用了 TI 的集成隔离式 CAN 收发器 ISO1042、ISO1044 和 ISOW1044。以下汇总了关于隔离 CAN 节点的常见问题。

## 内容

|  |    |
|--|----|
| 1 要隔离 CAN, 我需要做什么? .....   | 2  |
| 2 可使用哪些选项隔离 CAN 总线? .....  | 2  |
| 3 现在我已有隔离式 CAN 信号路径, 该如何产生隔离式电源? .....                                   | 3  |
| 4 端接总线背后的原因是什么, 我是否需要它, 如何才能实现? .....                                    | 5  |
| 5 数据表中提到的共模范围和总线关断有什么区别? .....   | 6  |
| 6 现在我已经处理了端接电阻器, 那么在总线侧还需要哪些其他组件? .....                                  | 6  |
| 7 连接网络中的隔离式 CAN 节点时, 应该如何处理悬空总线侧接地连接? .....                              | 6  |
| 8 我可以运行的最小数据速率是否有限制? 网络中可实现的最大数据速率是多少? .....                             | 6  |
| 9 CAN 网络中可以连接的最大节点数有限制吗? .....   | 7  |
| 10 哪些因素决定了 CAN 网络中的最大通信距离? .....   | 7  |
| 11 CANH 到 GND 和 CANL 到 GND 之间可以引入的总线电容最大值是多少? 更高的电容会损害器件吗? .....         | 8  |
| 12 有没有方法可以延长最大通信距离? .....  | 8  |
| 13 什么是残桩长度? 与其相关的设计注意事项是什么? .....  | 9  |
| 14 当在连接多个节点的网络中进行通信时, 我发现 CAN 数据包的某些位与数据包的其余位相比具有更大的差分 CAN 电压。为什么? ..... | 10 |
| 15 参考文献 .....  | 11 |
| 16 修订历史记录 .....  | 12 |

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 要隔离 CAN，我需要做什么？

CAN 标准 ISO11898-2 (2016) 要求为兼容的 CAN 收发器提供  $\pm 12V$  共模电压范围支持。这意味着 CAN 接收器需要在 CAN 线上相对于总线侧接地承受高达  $\pm 12V$  的共模电压，并且仍然能够准确地复制总线上的差分电压转换。TI 提供了 CAN 收发器，例如 TCAN1042，它支持高达  $\pm 30V$  的扩展共模范围。如果 CAN 网络中的通信节点具有较大的接地电位差 (GPD)，并且高于收发器支持的共模电压范围，由于更长的通信距离或系统接地噪声 (例如在电机驱动应用中)，隔离 CAN 节点变得很有必要。隔离栅还充当对工业环境中常见的瞬态共模噪声 (例如 ESD/EFT/浪涌) 的高阻抗。在某些应用场景中进行适当的设计可以使系统设计人员通过隔离栅降低所有共模噪声，从而消除 CAN 总线上常见的一些外部元件。如需了解更多详情，请参阅：[如何通过隔离改善工业系统的 ESD、EFT 和浪涌抗扰性](#)。

## 2 可使用哪些选项隔离 CAN 总线？

通过在 MCU 和 CAN 收发器之间的数字逻辑接口处放置一个隔离栅，可以实现 CAN 总线隔离。系统设计人员使用分立或集成式解决方案来隔离 CAN 总线。可以使用数字隔离器 (例如 ISO7721) 和 CAN 收发器实现分立式解决方案。CAN 标准对 FD 数据速率 (2Mbps 和 5Mbps) 的总环路延迟和脉宽失真提出了严格的时序要求。分立式解决方案需要考虑信号路径中存在的可能影响时序的 PCB 寄生效应，以确保其符合 CAN 标准，因为时序对于按位仲裁和信号完整性至关重要。集成式隔离式 CAN 器件 (例如 ISO1042、ISO1044 和 ISOW1044)，除了节省布板空间外，还在数据表中保证了这些时序规范，从而消除了分立式解决方案所需的额外模拟和测试。图 2-1 使用 ISO1044 阐述了此概念。

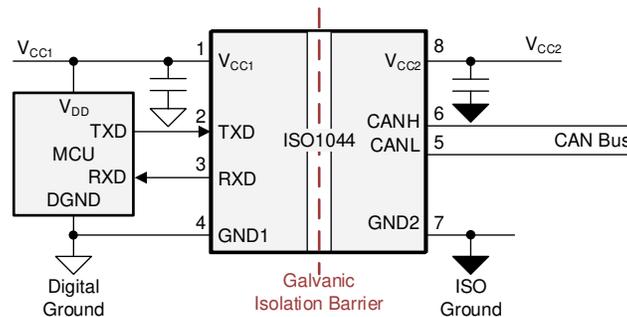


图 2-1. 集成式超小型封装隔离式 CAN 器件 ISO1044

### 3 现在我已有隔离式 CAN 信号路径，该如何产生隔离式电源？

有多种选项可用于产生 CAN 节点的隔离式电源。如果现场侧（例如，总线侧）电路需要更多的电源而不仅仅是为 CAN 收发器供电，那么像 TI 的 SN6505B 那样驱动外部变压器的推挽式变压器驱动器便是一种易于使用且成本低的解决方案，如图 3-1 所示。对于空间受限的应用，ISOW1044 了在单个芯片中提供信号隔离、直流/直流转换器和 CAN FD 收发器，以减小解决方案尺寸并简化设计流程，如图 3-2 所示。有时，在某些工业应用（例如 DeviceNet）中，现场侧提供 24V 电源，可按图 3-3 中所示使用。要详细了解此主题，请阅读应用简报 [如何在隔离式 CAN 系统中隔离信号和电源](#)

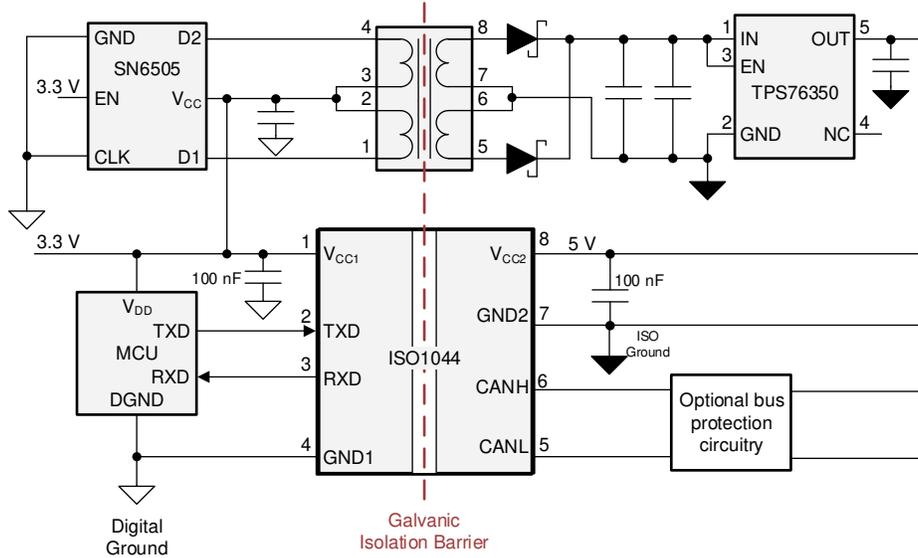


图 3-1. 采用推挽式拓扑的隔离式电源产生

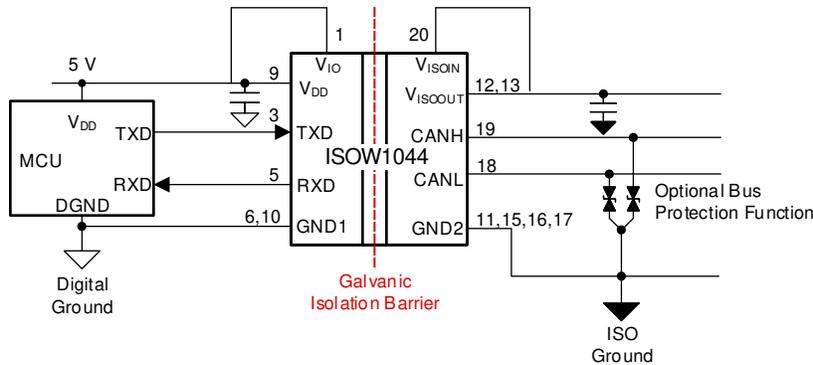


图 3-2. 采用小型 ISOW1044 的隔离信号和电源

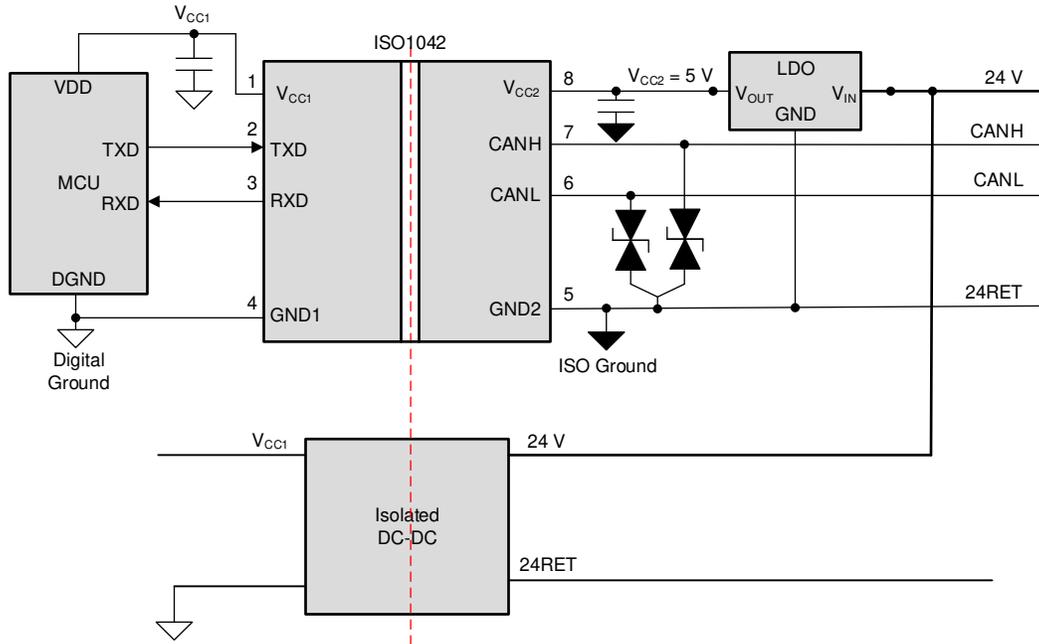


图 3-3. DeviceNet 应用原理图

## 4 端接总线背后的原因是什么，我是否需要它，如何才能实现？

ISO11898 标准将网络互连介质指定为具有  $120\ \Omega$  特性阻抗 ( $Z_0$ ) 的单根双绞线电缆 (屏蔽或非屏蔽)。电缆两端应采用阻值等于线路特性阻抗的电阻进行端接以避免信号反射。终端电阻器应放置在网络的两个极端，如图 4-1 所示。CAN 总线需要端接以实现正确功能 (与另一个工业接口 RS-485 不同 - 其端接是可选的) 的另一个原因是，显性到隐性信号边缘没有被有功驱动，因此总线的 RC 衰减带来了这种转换。如果总线上没有端接，当 TXD 输入不断变化时，可能会错过显性到隐性的转换，从而导致数据丢失。

对于不断添加新节点的网络，如果需要确保节点的硬件设计相似，软件控制的端接不失为一个很好的设计选项，如图 4-2 所示。光耦仿真器 (ISOM8610) 或 optoMOS (光控继电器) 电路可以添加到每个节点设计中。通过软件，设计可以通过 MCU 的 GPIO 驱动 TERM，从而启用或禁用跨 CANH-CANL 的端接。因此，网络中最远的两个终端节点可以驱动 TERM=High，以启用跨总线的  $120\ \Omega$  欧姆端接，而所有其他节点可以驱动 TERM=Low。这样，CAN 总线有效端接为  $60\ \Omega$  (两端并联  $120\ \Omega$ )；而每个节点的硬件设计可以相同。

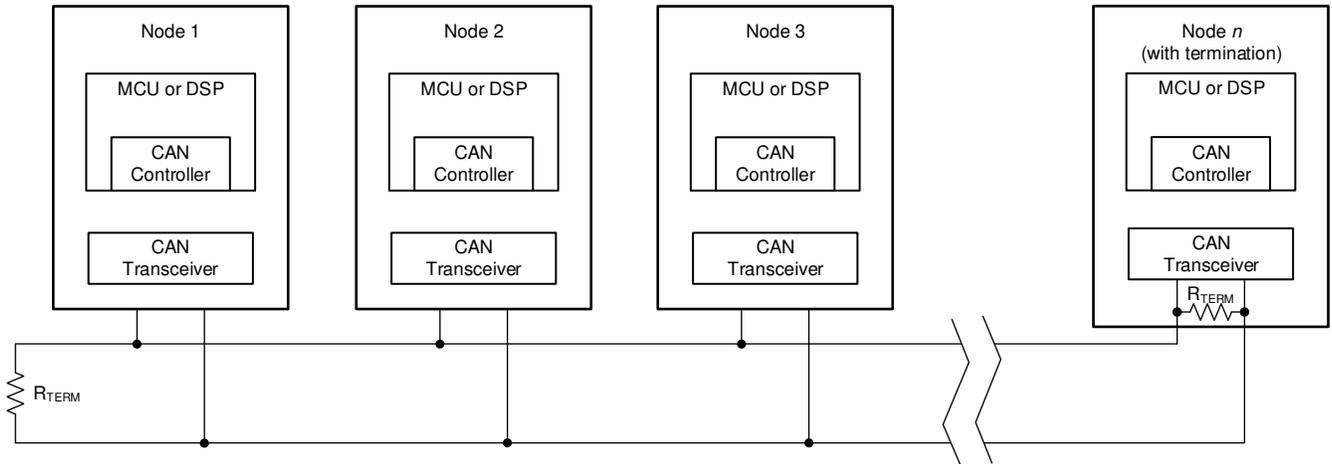


图 4-1. 典型 CAN 总线网络

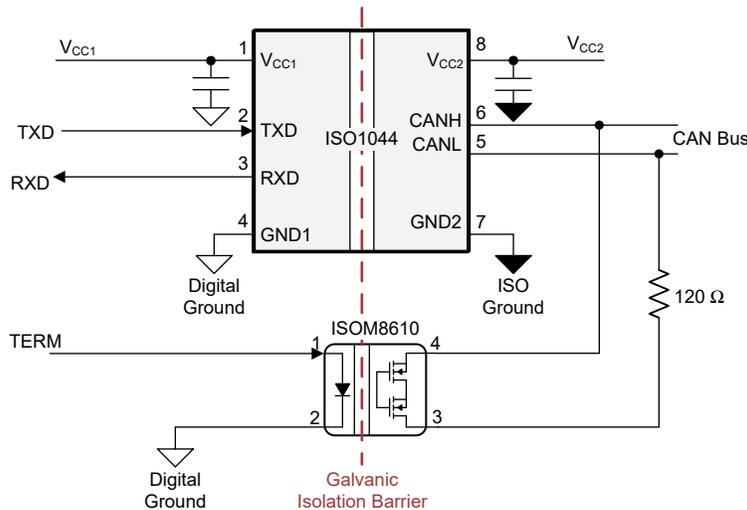


图 4-2. 使用 ISOM8610 的软件控制端接

## 5 数据表中提到的共模范围和总线关断有什么区别？

CAN 标准 ISO11898-2 (2016) 将共模电压范围定义为 CAN 总线上存在的共模电压范围，对于该范围，CAN 接收器能够准确地恢复总线上的差分信号并在 RXD 上复制它们。ISO1044 和 ISOW1044 具有  $\pm 12\text{V}$  共模电压范围，而 ISO1042 具有  $\pm 30\text{V}$  共模电压范围，有效工作条件中提到了这两点。该电压范围与总线侧接地有关，例如 GND2。总线关断，也称为总线短路电压或总线故障保护，在绝对最大额定值表中指定。对于 ISO1042，它为  $\pm 70\text{V}$ ，而对于 ISO1044 和 ISOW1044，它为  $\pm 58\text{V}$ 。这意味着在 12V/24V/48V 电源电压与 CAN 总线短路的临时故障条件下，两个器件都能够承受该短路条件而不会损坏。

## 6 现在我已经处理了端接电阻器，那么在总线侧还需要哪些其他组件？

ISO1042、ISO1044 和 ISOW1044 已在总线侧集成了  $\pm 8\text{kV}$  IEC ESD 保护（根据 61000-4-2），并在总线上没有其他组件的情况下进行测试。有时，系统设计人员使用共模扼流圈（CMC）来减少辐射以满足 CISPR32 等要求，或提高抗扰度性能以满足电气快速瞬变（根据 IEC61000-4-4）。CMC 可衰减进入或离开器件的共模信号。分离式终端电容器也可能在有噪声的系统场景中很有用 - 这同样有助于减少辐射或提高抗扰度。

可以在 CANH/CANL 线上使用低值串联电阻器（约 10 欧姆），以防电缆上出现雷击浪涌（根据 IEC61000-4-5 测试），从而在浪涌事件期间减少流向器件内部钳位结构的电流。这些串联电阻会衰减差分信号，因为它与总线上的 60 欧姆负载形成分压器。总线上的最终组件极具系统针对性，应测试终端设备以完全确定其设计中需要哪些组件。请参阅 TI 设计具有集成电源的隔离式 CAN 模块参考设计，其中实现了这些设计注意事项并显示了实际的实验室测试结果。

## 7 连接网络中的隔离式 CAN 节点时，应该如何处理悬空总线侧接地连接？

由于 CAN 是差分接口，只要 CANH/CANL 的两根线在网络的所有节点之间互连，整个网络就可以正常工作，但前提是 CAN 线的共模电压相对于接收 CAN 节点的总线侧接地处于其建议的工作条件下。但是，在有噪声的系统场景中，最佳实践是使用第三条接地参考线并在所有节点之间连接它。这样，每个 CAN 节点的接收器都有一个参考，不会违反共模电压范围。如果电缆是屏蔽式的，屏蔽可以作为公共接地参考，屏蔽仅在一个节点连接到地电位，以避免任何接地回路。通过将隔离式 CAN 收发器的逻辑侧接地连接到本地接地，恰当的系统设计可以确保 CAN 总线上感应的大型共模电压（由于噪声拾取）跨隔离栅压降。

## 8 我可以运行的最小数据速率是否有限制？网络中可实现的最大数据速率是多少？

大多数隔离或非隔离式 CAN 收发器都具有称为显性超时（DTO）的保护特性。如果器件保持总线显性的时间大于 DTO，则此特性将禁用该器件的发送器。在软件故障或硬件故障导致 TXD 持续低水平的情况下，此特性很有用。由于位填充规则，CAN 协议不允许连续传输超过 5 个相同状态的位，除非在错误条件下。因此，在错误场景中，需要传输 5 个显性位，然后是错误帧的 6 个连续显性位。因此，一个显性位的  $11 \times$  位时间  $\leq$  DTO 时间。这决定了最小数据速率（或最大一位显性时间段）。

尽管 ISO1042、ISO1044 和 ISOW1044 能够支持最大 5Mbps 的数据速率，但网络中可实现的实际最大值取决于最大电缆长度（例如，最远节点之间的距离）、电缆类型（这将决定互连介质中的信号速度），以及由于电缆、单个节点、PCB 走线、连接器等原因 CAN 总线上存在的总电容。按位仲裁是 CAN 协议的关键。这意味着在 CAN 数据包的仲裁阶段，发送器发送的位需要到达最远的接收器并返回到通过 RXD 进行监控的发送器，以便其移动到数据包的 CAN-ID 部分中的后续位。因此，仲裁阶段的最快位时间必须大于发送器节点的环路延迟 +  $2 \times$  电缆的传播延迟（CAT5e 电缆通常为 5ns/米）。这表明仲裁期间的最大数据速率与最大通信距离之间存在反比关系。CAN 数据包数据阶段的最大数据速率将受到收发器引入的位时序失真和控制器采样点裕量的限制。总线上的总电容也会影响时序，因为如果总线上的电容更高，显性到隐性边缘转换时间可能会延长。

## 9 CAN 网络中可以连接的最大节点数有限制吗？

每个节点在 CAN 总线上呈现特定的差分负载，在器件数据表的“接收器电气特性”部分中将其指定为  $R_{ID}$ （差分输入电阻）。对于 ISO1044 和 ISOW1044 至少指定了 40 千欧姆。除了网络远端的两个 120 欧姆端接电阻器之外，每个节点的差分电阻并联组合以加载即将在总线上显性驱动的发送器。驱动器应该看到的等效并联电阻需要大于 45 欧姆，因为 45 欧姆是驱动器指定驱动的最小负载，并产生 1.4V 的最小差分电压（如“驱动器电气特性”中所述）。所以在 ISO1044 和 ISOW1044 中，如果我们在总线上连接 222 个节点，则所有 CAN 节点在总线上提供的等效差分电阻为  $40000/222 = 180$  欧姆。该 180 欧姆电阻器与两个 120 欧姆端接电阻器并联，在驱动器上提供 45 欧姆的等效负载。这是 CAN 总线上最大节点数的理论限制。实际系统方面将进一步限制这一点。

## 10 哪些因素决定了 CAN 网络中的最大通信距离？

影响 CAN 网络中的最大通信距离的因素有几项：

1.  $I \cdot R$  电缆压降，这是由于直流电阻会在信号到达最远接收器时衰减该信号。最远接收器的最小可能显性信号需要大于 900mV（基于接收器阈值）才能被识别为有效显性信号。
2. 随着电缆长度的增加，CAN 总线上的容性负载增加，这会影响到显性到隐性边缘转换时间，而后者又与可能的最小位周期（例如，最大数据速率）相关。
3. 如节 8 所示，在仲裁期间，来自发送器的位需要到达最远的接收器。因此，最大通信距离与最终应用所需的最大数据速率的倒数密切相关。超过 100 米的总线长度的保守经验法则源自信令速率（以 Mbps 为单位）和总线长度（以米为单位）的乘积，该乘积应小于或等于 50。信令速率 (Mbps)  $\times$  总线长度 (米)  $\leq 50$

## 11 CANH 到 GND 和 CANL 到 GND 之间可以引入的总线电容最大值是多少？更高的电容会损害器件吗？

CANH 到 GND 或 CANL 到 GND 的电容最终会成为整个 CAN 总线上的差分电容。

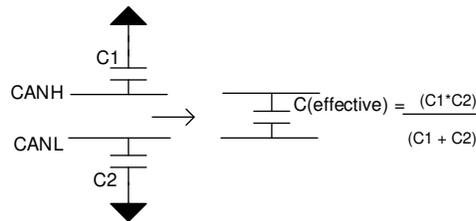


图 11-1. CAN 总线电容

隔离式 CAN 数据表给出了 100pF 总线电容的上升/下降时间，但如果增加差分电容，驱动器上升和下降时间将减慢，并耗尽时序预算。各种组件会导致此电容：

- 外部保护元件，例如 CMC、TVS 等
- 电缆（典型的 CAT5 电缆可提供 50pF/米的互电容）
- 连接器
- 总线上的节点数（每个节点将提供一定的差分电容）

隐性到显性边缘将依赖驱动器为该差分总线电容充电。通常这个过程会更快，因为有功电流源将为这个电容充电。在显性到隐性边缘上，驱动器被关闭，因此网络的 RC 衰减会导致这种转换。这里，R 是有效差分电阻，比如 60 欧姆（两个终端并联）。C 是网络的有效差分电容（它是上述所有 4 个组件的总和，因为它们都是并联的）。

假设 L 是电缆总长度（以米为单位），N 是每个节点的数量，每个节点都按照选定的 ISOCAN 数据表提供  $C_{ID}$  差分电容（为了简单起见，忽略外部 CMC / TVS 和连接器电容）：

$$C(\text{effective}) = \{L \times 50\} + \{N \times C_{id}\} \text{ pF} \quad (1)$$

- RC 时间常数会衰减显性到隐性边缘。这应该在位宽的 75% 之前完成低于 500mV（CAN 接收器的隐性下限阈值： $V_{IT}$ ）（假设 CAN 控制器此时正在采样）
- 假设 T 是最小位周期（对应于应用的最大数据速率）

在方程式 2 中输入值。

$$3 \times R \times C \leq 0.75 \times \text{Bit time}(T) \quad (2)$$

根据上一公式，可以计算出可通过总线引入的最大总线电容， $C_{\max}$ 。CANH 到 GND 和 CANL 到 GND 可能会将此值翻倍。这是理论最大值。被忽略的元件也会产生影响。我们建议客户对其系统中的所有位错误进行全面测试。

## 12 有没有方法可以延长最大通信距离？

最简单的方法是降低数据速率，让信号有更多时间到达最远的节点。对于应用所需的特定数据速率，延长最大通信距离的一种方法是串联安装 CAN 中继器，以克服由电缆直流电阻的  $I \times R$  压降引起的信号衰减。CAN 中继器从 CAN 总线获取信号并将其复制到信号摆幅较高的总线另一侧。中继器的另一个优点是它允许额外的端接，而不会使单个总线段过载，这在使用非线性拓扑时非常有用。更多详细信息，请参阅[隔离式 CAN 灵活数据 \(FD\) 速率中继器参考设计](#)。

### 13 什么是残桩长度？与其相关的设计注意事项是什么？

残桩是节点终端和连接到 CAN 总线的电缆的电气长度，如图 13-1 所示。由于残桩线没有端接，信号反射会在残桩中产生，在接收器的输入阈值之间来回驱动信号电平，从而产生错误。

ISO 11898-2 标准规定最大总线长度为 40 米，最大速度为 1Mbps，最大残桩长度为 0.3 米。但通过精心设计，残桩长度可以更长。以下是计算最大残桩长度的保守经验法则，其理念是残桩引起的信号反射在转换时间本身期间仍然存在，并在以后消失。如果数据速率较慢且信号质量在网络中是可接受的，则可以使用比这更长的残桩设计。我们建议系统设计人员对其网络设计进行全面测试以得出结论。

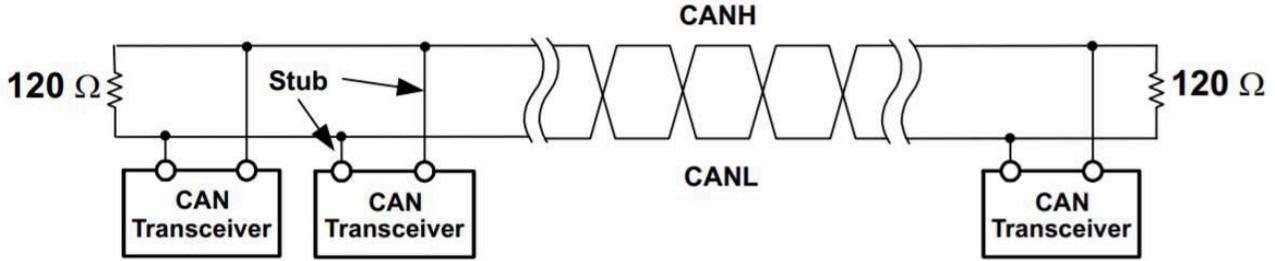


图 13-1. 显示残桩的 CAN 网络

$$2 * \text{残桩中信号的传播延迟} \leq (1/3) * \text{接收器的上升或下降时间} \quad (3)$$

对于 ISO1044：典型下降时间 = 40ns，假设 x 为残桩长度（以米为单位），信号在双绞线电缆中以 5ns/米的速度传播。

把值代入方程式 3 中， $2 * x * 5\text{ns/m} \leq (1/3) * 40$   
 $x \leq 1.33$  米。

## 14 当在连接多个节点的网络中进行通信时，我发现 CAN 数据包的某些位与数据包的其余位相比具有更大的差分 CAN 电压。为什么？

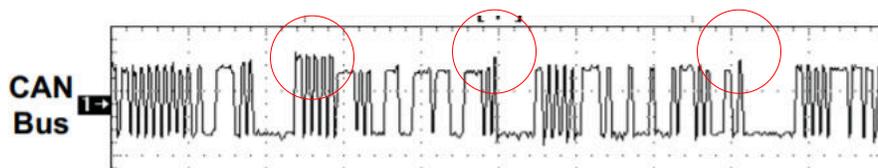


图 14-1. 差分 CAN 总线电压在某些位上显示更高的电压

CAN 数据包 (如 图 14-2 所示) 由数据包开头的 ID 位组成，这些位用于按位仲裁，以确定哪个节点将继续传输以及哪个/哪些其他节点将停止的优先级。此外，在数据包末尾，ACK 是确认位，由正确接收数据包的所有节点显性驱动。因此，当总线上的多个节点同时显性驱动时，与仅由主发送器节点驱动的其他位相比，差分电压的幅度更高。图 14-3 显示了三个节点通信的 CAN 总线流量的快照，我们可以清楚地看到 CAN 总线上的电压幅度更大。这些时间实例发生在在确认位期间或 B 和 C 在 ID 阶段一起传输时。

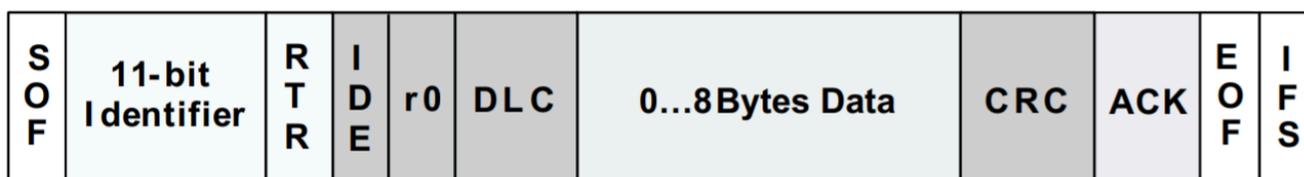


图 14-2. CAN 数据包：查看帧开头的 ID 位和帧末尾附近的 ACK

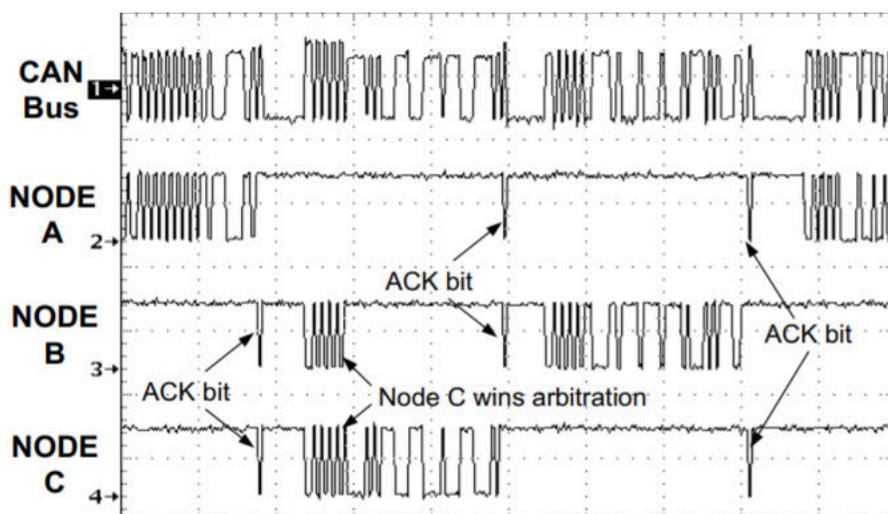


图 14-3. CAN 总线波形描述了为什么有些位的幅度更大

## 15 参考文献

- 德州仪器 (TI), [ISO1044 数据表](#)
- 德州仪器 (TI), [控制器局域网物理层要求](#)

## 16 修订历史记录

---

### Changes from Revision A (May 2021) to Revision B (October 2024) Page

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式..... 1
  - 添加了对光耦仿真器和 ISOM8610 的引用，其中通篇使用了光耦合器..... 1
  - 更改了使用 ISOM8610 的软件控制端接图像以包含 ISOM8610..... 5
  - 将公式 2 更改为  $3 \times R \times C \leq 0.75 \times \text{Bit time}(T)$  ..... 8
- 

### Changes from Revision \* (May 2020) to Revision A (May 2021) Page

- 添加了 ISOW1044 吞吐量文档..... 2
  - 更新了“采用小型 ISOW8721 的隔离信号和电源”图像..... 3
-

## 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