

# RS-485 设计指南

摘要：本设计指南讨论 RS-485 标准的一些重要方面，旨在帮助工程师正确的设计数据传输电路。

## 1. 简介

1983 年，美国电子工业协会（EIA）批准了一个新的平衡传输标准（balanced transmission standard），称之为 RS-485。调查发现，这个标准获得了广泛的赞誉并被广泛应用到工业、医疗以及消费类产品，RS-485 已经成为了工业接口的主力。

本设计指南是为那些对 RS-485 标准不熟的工程师介绍设计 RS-485 电路的指导方针，这能够帮助他们在最短的时间内完成健壮而可靠的数据传输设计。

从整体上来看，本文档围绕以下主题来讨论 RS-485 标准：总线拓扑（bus topology）、信号电平（signal levels）、电缆类型（cable type）、总线终端（bus termination）、失效保护（failsafe）、总线负载（bus loading）、数据速率与总线长度（data rate versus bus length）、最小节点间距（minimum node spacing）、接地及隔离（grounding and isolation）。

## 2. 标准和特性

RS-485 仅仅是一个电气标准。与那些定义了功能、机械结构和电器规格的完整接口标准相比，RS-485 仅定义使用平衡多点传输线的驱动器（driver）和接收器（receiver）的电气特性。

很多更高级别的标准将 RS-485 规定为引用标准。例如中国的多功能电能表通讯协议标准 DL/T645 就明确指定以 RS-485 作为物理层标准。

RS485 的关键特性：

- 平衡接口（Balanced interface）
- 多节点可共用单一 5V 电源
- 总线共模电压范围：-7V~+12V
- 可挂接 32 个负载
- 最大 10Mbps（40 英寸内，约 12.2 米）
- 最长 4000 英尺（约 1219 米）通讯距离（100Kbps 的情况下）

## 3. 网络拓扑

RS-485 标准建议节点的组网方式为串行方式（daisy-chain），也称为单线（party line）或总线拓扑（bus topology），见图 1 所示。在这个拓扑中，驱动器、接收器和收发器（transceiver）以子网（或称为分支）形式通过短网线接入主干线。总线接口可以设计为全双工或半双工，如图 2 所示。

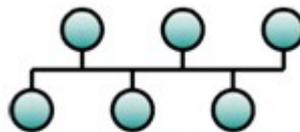


图 1：RS-485 总线结构

实现全双工需要 2 对信号线（4 跟），全双工收发器带有独立的发送和接收总线电缆。在全双工模式下，一个节点可以在接收数据的同时发送数据。

在半双工模式下，仅使用一对信号线。发送和接收数据不能同时进行。所有节点都必须通过方向控制信号进行控制，例如驱动器/接收器使能信号。这是为了确保在任何时刻，总线上只有一个驱动器有效。若同一时刻有超过一个驱动器访问总线，则会导致总线竞争，总线上的数据会紊乱，所以在整个运行期间，必须通过软件控制，避免多个驱动器同时向总线发送数据。

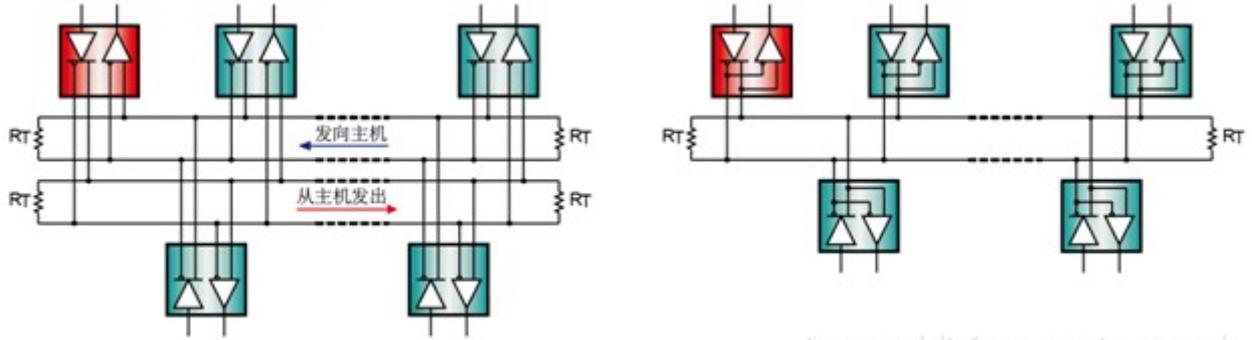


图 2：RS-485 的全双工和半双工总线结构

#### 4. 信号电平

符合 RS-485 标准的驱动器能够提供不小于 1.5V 的差分输出（在 54Ω 负载下），符合 RS-485 标准的接收器能检测小到 200mV 的差分信号输入。即便是在线缆和连接器严重降级的情况下，这两个值仍能为高可靠性的数据传输提供充足的余量。RS-485 的这种健壮性，也是它为什么在电磁干扰环境中也能出色的长距离组网的原因。



图 3：RS-485 规定的最小总线信号电平

#### 5. 电缆类型

在双绞线上传输差分信号对 RS-485 应用是有利的，因为外部干扰源会以共模方式均等的耦合到两根信号线上，这些噪声会被差分接收器过滤掉。

工业 RS-485 电缆分为有保护套、无保护套、双绞线、非屏蔽双绞线，符合美国 22-24AWG 线规的电缆特性阻抗为 120Ω。图 4 显示了 4 线对电缆的横截面，这种非屏蔽双绞线典型用于 2 个全双工网络。内有 2 对或 1 对信号线的电缆可用于低成本的半双工系统设计。



图 4：RS-485 通讯电缆举例

除了网络布线，RS-485 标准强制设备的印制电路板布局和连接器要与网络的电器特性保持一致，可以通过使印制电路板上的两根信号线尽可能靠近并等长来实现。

#### 6. 总线终端和分支（子网）长度

为避免信号反射，数据传输线必须有终点，并且分支长度尽可能的短。正确的终端需要终端电阻  $R_T$  匹配，其值为传输线的特性阻抗  $Z_0$ 。RS-485 标准建议线缆的  $Z_0=120\Omega$ 。电缆干线通常终端匹配 120Ω 的电阻，线缆的末尾处各一个。见图 5 的左半部分。

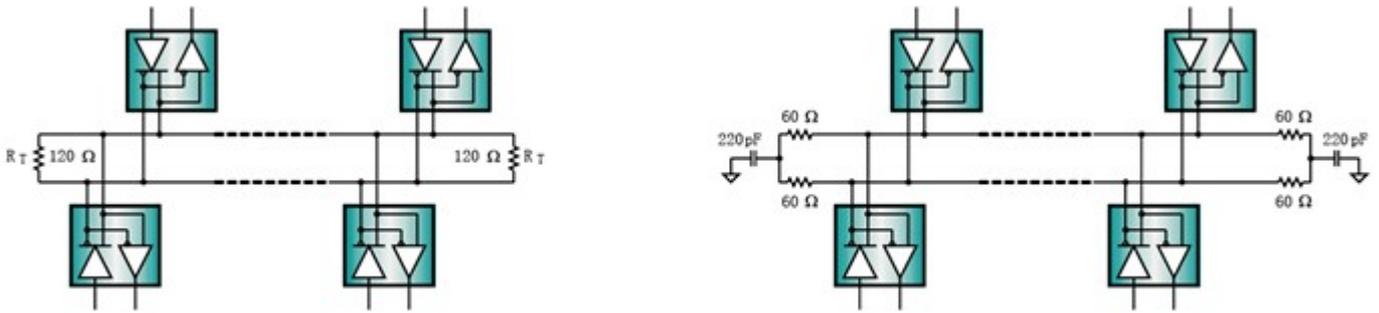


图 5：正确的 RS-485 终端

<http://blog.csdn.net/>

在干扰环境下的应用常常使用两个 60Ω 电阻代替 120Ω 电阻，组成一个低通滤波器，以提供额外的共模干扰滤除能力，见图 5 右。在这种情况下，电阻值的配对就变得很重要（最好使用 1% 的精密电阻）。相同的电阻值能够确保两个滤波器具有相同的频率衰减，如果电阻的精度较低（比如 20%），会引起滤波器的转折频率（Corner frequency）出现差异，共模干扰会转为差模干扰，因此会降低接收器的干扰容限。

分支的电气长度（收发器和电缆干线的导线距离）应小于驱动器上升沿时间的十分之一：

$$L_{Stub} \leq \frac{t_r}{10} \times v \times c \tag{1}$$

这里：

$L_{Stub}$  = 最大分支长度（单位英尺）

$t_r$  = 驱动器（10/90）上升沿时间（单位 ns）

$v$  = 信号在电缆上传输的速率相对于光速的比率

$c$  = 光速（ $9.8 \times 10^8$  ft/s）

表 1 列出了使用图 4 电缆时的最大分支长度（ $v=78\%$ ）。

表 1：分支长度 VS 上升沿时间

设备	信号速率 (Kbps)	上升沿时间 $t_r$ [ns]	最大分支长度 (ft)
SN65HVD12	1000	100	7
SN65LBC184	250	250	19
SN65HVD3082E	200	500	38

注：具有缓慢上升沿的驱动器适合那些需要长分支的应用，并且缓慢的上升沿可以减少设备的 EMI。

## 7. 失效保护

失效保护使得接收器在缺少信号时有能力输出一个确定的状态。

三个原因可能导致信号损耗（LOS）：

- 1、开路：线缆中断或者收发器从总线断开
- 2、短路：差分信号线芯因外部绝缘层失效而接触在一起
- 3、总线空闲：总线上的驱动器都不发送信号

上述条件下，当输入信号为零时，会使传统的接收器输出随机状态，现在的收发器内部都包含一个偏置电路，可以对开路、短路和总线空闲进行保护，即使信号损耗时，接收器也能强制输出一个确定的状态。

这种失效保护电路有个缺点：最坏情况下的噪声余量只有 10mV，因此在干扰环境中，要增加外部失效保护电路以增加噪声余量。

外部失效保护电路由一个电阻分压器组成，可以产生足够的总线差分电压，以驱动接收器产生一个确定的输出状态，为了确保有足够的噪声余量， $V_{AB}$  应包含测量到的最大噪声： $V_{AB} = 200\text{mV} + V_{Noise}$

失效保护偏置电阻值的计算要按照最坏条件，即最大的噪声和最小的供电电压的情况之下：

$$R_B = \frac{V_{Bus-min}}{V_{AB} \times (1/375 + 4/Z_0)} \quad (2)$$

如果最小总线电压为 4.75V (5V-5%)、 $V_{AB}=0.25$ 、 $Z_0=120\Omega$  时， $R_B$  为 528Ω。在终端匹配电阻  $R_T$  上串接两个 523Ω 电阻构成的失效保护电路如图 6 所示。

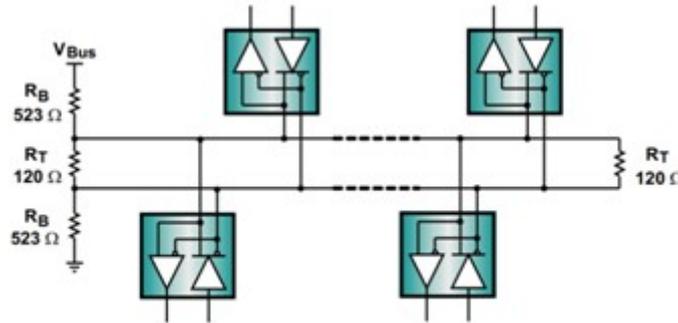


图 6：外部失效保护偏置电路

### 8. 总线负载

驱动器输出的电流取决于负载、收发器和失效保护电路所需要的电流。为了估计总线上的最大负载数目，RS-485 规定了一个术语：单位负载（UL），用来表示一个大约 12KΩ 的阻抗。服从标准的驱动器必须能够驱动 32 个这样的单位负载。现在的发送器通常会减小单位负载，比如只有 1/8UL，这就允许在总线上连接最多 256 个这样的收发器。

因为失效保护电路最多会相当于 20 个单位负载，所以收发器的最发数目  $N$  减小为：

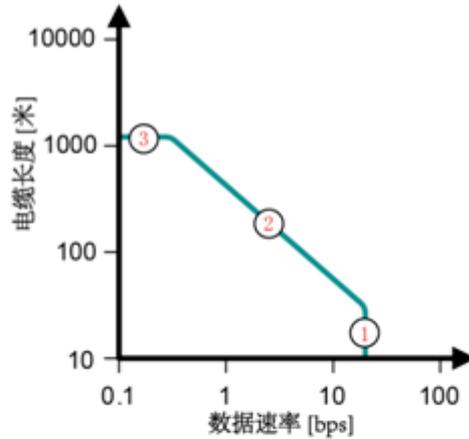
$$N = \frac{32UL_{STANDARD} - 20UL_{FAILSAFE}}{UL_{per\ transceiver}} \quad (3)$$

所以，当使用 1/8UL 的收发器时，总线上最多可以挂接 96 个这样的驱动器。

### 9. 数据速率 VS 总线长度

对于一个给定的数据速率，最大总线长度受传输线损耗和信号抖动（signal jitter）影响。波特周期抖动 10% 或者以上时，数据的可靠性会急剧减小。图 7 显示的是使用常规 RS-485 线缆，10% 的信号抖动情况下，电缆长度与数据速率的关系。

1. 图中的①部分显示的是在短距离下的高速传输。这里，传输线的损耗可以忽略不计，因为驱动器的数据速率占主导作用（上升沿时间）。尽管表推荐最大 10Mbps，但现在的快速接口最快可达到 40Mbps。
2. 图中的②部分显示的是传输线由短到长，传输线的损耗也要考虑进去。因此随着线缆长度的增加，数据速率必须减小。一个经验法则是：传输线长度（m）乘以数据速率必须小于  $10^7$ 。相对于现在的电路性能，这个经验法则十分保守。因此在给定的波特率下，图中显示的传输距离是比实际小很多的。
3. 图中的③部分显示的是更低的数据速率。传输线阻抗和不经过处理的信号（比如将电信号转换为光信号，则是将信号进行处理的一种办法，译注。）限制了线缆的长度。这里的线阻接近终端匹配电阻，对于阻抗为 120Ω、非屏蔽双绞线的 22 AWG 电缆，电压分压导致信号衰减 -6dB 时，大约出现在在 1200 处。



- 1) 图中的①部分显示的是在短距离下的高速传输。这里，传输线的损耗可以忽略不计，因为驱动器的数据速率占主导作用（上升沿时间）。尽管表推荐最大 10Mbps，但现在的快速接口最快可达到 40Mbps。
- 2) 图中的②部分显示的是传输线由短到长，传输线的损耗也要考虑进去。因此随着线缆长度的增加，数据速率必须减小。一个经验法则是：传输线长度 (m) 乘以数据速率必须小于  $10^7$ 。相对于现在的电路性能，这个经验法则十分保守。因此在给定的波特率下，图中显示的传输距离是比实际小很多的。
- 3) 图中的③部分显示的是更低的数据速率。传输线阻抗和未经处理的信号（比如将电信号转换为光信号，则是将信号进行处理的一种办法，译注。）限制了线缆的长度。这里的线阻接近终端匹配电阻，对于阻抗为 120  $\Omega$ 、非屏蔽双绞线的 22 AWG 电缆，电压分压导致信号衰减 -6dB 时，大约出现在在 1200 处。

图 7：线缆长度 VS 数据速率

### 10. 最小节点间距

RS-485 总线是分布参数总线：电气特性主要由沿物理介质分布的电感和电容所决定，这里的物理介质包含相互连接的电缆和印制电路板上的布线。

总线上的设备增加，总线电容也会增加，设备间的互联会降低总线阻抗，导致总线的介质和负载部分阻抗不匹配。当输入信号到达这些位置时，会有部分反射回信号源，造成驱动器输出信号失真。

要确保从驱动器输出的第一个信号传输到接收器输入端时电压等级仍有效，需要总线上任何一处的最小负载阻抗  $Z' > 0.4 * Z_0$ ，可以通过限制总线上两节点的间距不小于 d 来实现，d 为：

$$d > \frac{C_L}{5.25 * C} \quad (4)$$

这里  $C_L$  为总线负载电容，C 为每单位长度的介质电容（电缆或 PCB 布线）。

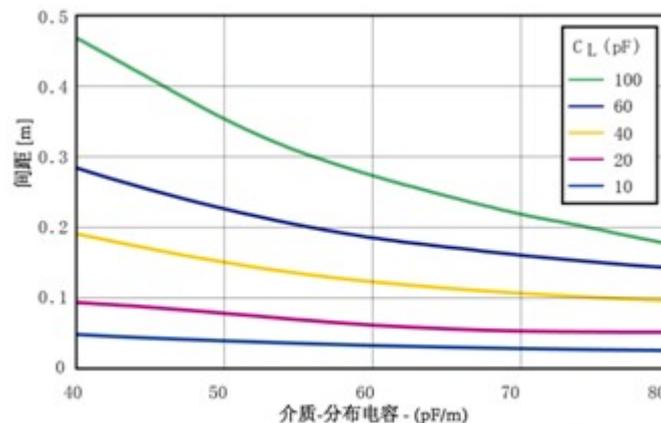


图 8：节点最小间距与设备、介质电容的关系

方程式 4 显示了设备最小间距是分布式介质和负载电容的函数关系，图 8 显示了它们的图标关系。

负载电容包括：总线引脚电线、连接器、印制电路板布线、保护装置和任何连接到干线上的物理连线。因此收发器到总线干线的电气距离要尽可能短。

典型的 5V 收发器具有 7pF 电容，3.3V 收发器要翻倍，即大约 16pF 电容，电路板印制线每厘米会增加 0.5~0.8pF 电容，这取决于电路板的材质和结构，连接器和保护装置（比如防雷击电路，译注）的电容值可能范围会很大，非屏蔽双绞线介质的分布电容大约在 40pF/m~70pF/m。

### 11. 接地和隔离

当设计一个远程数据链路时，设计者必须假设存在很大的接地电势差（GPD）。这些电压（ $V_n$ ）会以共模干扰的形式叠加到传输线上。如果叠加的干扰信号超出接收器输入共模范围，依靠本地接地作为电流回路是很危险的，见图 9a。

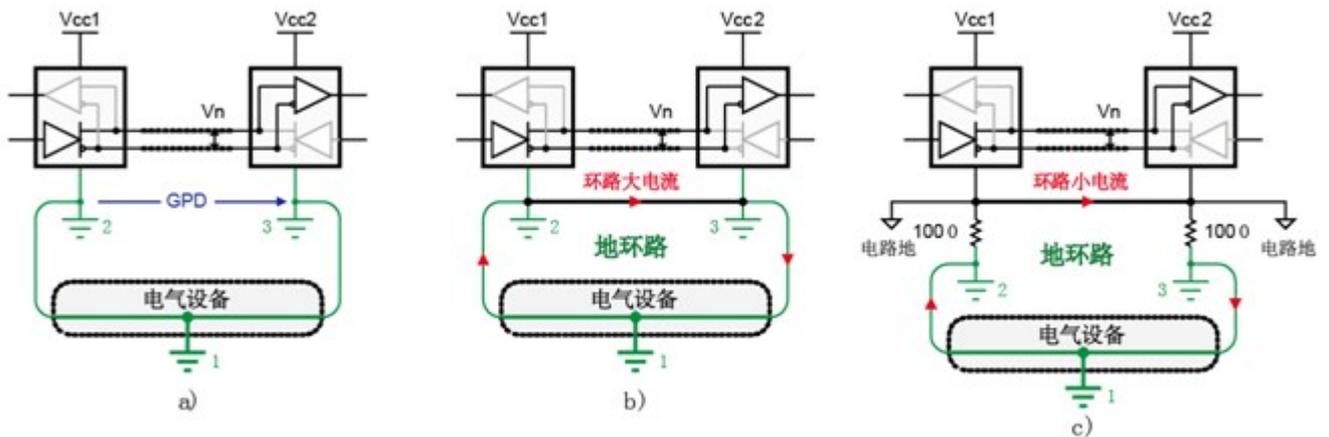


图 9：需要注意的设计缺陷：a) 过高的接地电势差，b) 过高的环路电流，c) 环路电流减小，但是环路地很大，对感应噪声会高度敏感

因为远程节点很可能是通过不同区域的电气设备供电，当维修这些设备时，会使得接地电势差超出接收器的输入共模范围。因此，今天能工作的数据链路可能在将来的某时段停止工作。

通过接地线直接与远端地相连也是不被推荐的，见图 9b。这是因为大的环路地电流会以共模噪声的形式驾到信号线上。

RS-485 标准推荐通过在设备地和系统地之间串接电阻来隔离这两个地，见图 9c。尽管这个方法减小了环路电流，但是大环路地的存在仍使数据链路对环路沿线某处产生的噪声敏感。因此，到现在为止，仍没有办法建立一个健壮的数据链路。

一个可以容忍数千伏接地电势差并且健壮的可长距离传输的 RS-485 数据链路方法是信号及供电电源隔离，见图 10。

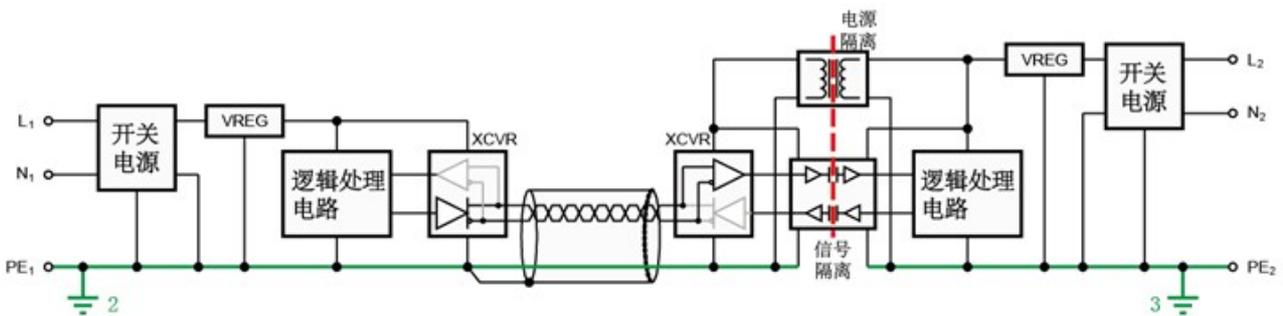


图 10：隔离的两路远程收发站

在这种情况下，电源隔离（隔离 DC/DC），信号隔离（光耦）可以阻止远程系统地之间的电流流动，以及避免了环路电流的产生。

然而，图 10 显示的仅是两个收发节点，图 11 给出了一个收发器隔离的多节点例子。除了一个非隔离收发器提供单一参考地外，其它所有收发器都通过隔离接入总线。

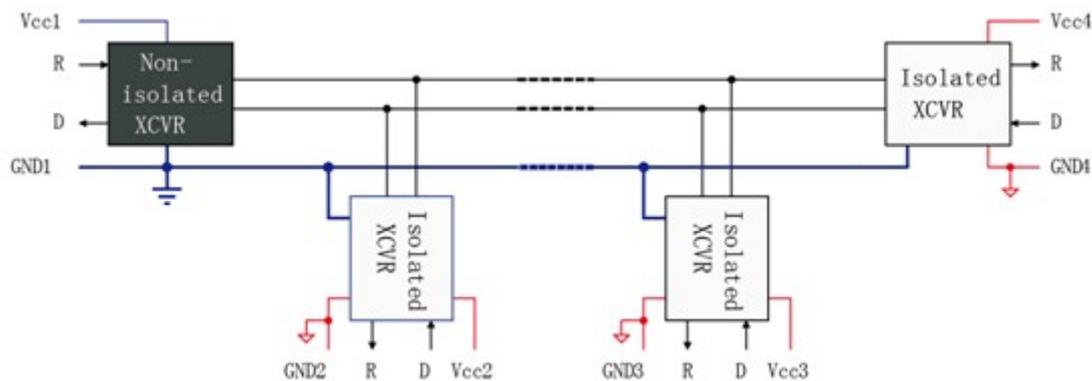


图 11：隔离的多节点现场总线

## 12. 结论

本设计报告涵盖了 RS-485 系统设计的主要方面，尽管这个主题有庞大的技术文献可参考，但本文的目的是向那些对 RS-485 不熟悉的工程师提供一个系统性的设计指南。

下面的参考文档提供了详细的应用报告，可以帮助你在短时间内完成一个健壮的 RS-485 兼容的系统设计。

TI 公司提供了大量的 RS-485 收发器产品。包括低 EMI、低功耗（1/8 UL）、高 ESD 保护（从 16kV~30kV）以及集成失效保护功能，可以应对开路、短路和空闲总线带来的问题。对于长距离应用需要的隔离条件，TI 也有对应的产品可以提供单向和双向、多种速率的数字信号隔离、DC/DC 电源隔离。

## 13. 参考

Removing Ground Noise in Data Transmission Systems application report (SLLA268)

Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS-485) design notes (SLLA036)

Detection of RS-485 Signal Loss, TI Analog Application Journal, 4Q 2006 (SLYT257)

Overtemperature Protection in RS-485 Line Circuits application report (SLLA200)

Device Spacing on RS-485 Buses, TI Analog Application Journal, 2Q 2006 (SLYT241)

PROFIBUS Electrical-Layer Solutions application report (SLLA177)

A Statistical Survey of Common-Mode Noise, TI Analog Application Journal, Nov 2000 (SLYT153)

Failsafe in RS-485 Data Buses, TI Analog Application Journal, 3Q 2004 (SLYT080)

The RS-485 Unit Load and Maximum Number of Bus Connections, TI Analog Application Journal, 1Q 2004 (SLYT086)

Using Signaling Rate and Transfer Rate application report (SLLA098)

Operating RS-485 Transceivers at Fast Signaling Rates application report (SLLA173)

RS-485 for E-Meter Applications application report (SLLA112)

Failsafe in RS-485 Data Buses, TI Analog Application Journal, 3Q 2004 (SLYT064)

Use Receiver Equalization to Extend RS-485 Data Communications application

RT Embedded <http://www.kontron.com>

report (SLLA169)

The RS-485 Unit Load and Maximum Number of Bus Connections application report (SLLA166)

Comparing Bus Solutions application report (SLLA067)

RS-485 for Digital Motor Control Applications application report (SLLA143)

422 and 485 Standards Overview and System Configurations application report (SLLA070)

TIA/EIA-485 and M-LVDS, Power and Speed Comparison application report (SLLA106)

Live Insertion with Differential Interface Products application report (SLLA107)

The ISO72x Family of High-Speed Digital Isolators application report (SLLA198)