用失效保护偏置 RS-485 接收器以正确检测总线信号

摘要

所有 RS-485 接收器都需要一个最小的差分输入电压才能正常工作，否则它们可能会产生错误的输出信号，甚至开始振荡。为了防止这种故障，将电阻分压器，即失效保护（fail-safe）偏置网络连接到总线上，以保持输入电压高于最低水平。

不幸的是，RS-485 总线节点设计中最常见的错误之一是接收器输入的失效保护偏置缺失或不足，从而导致上面提到的接收器错误输出。

为了帮助工程师更深入地了解 RS-485 接收器的操作和失效保护偏置的需求，本技术简介解释了接收器的功能原理及其在各种输入条件下的切换行为。本文还提供了各种总线配置的失效保护偏置示例，并介绍了能容忍 0V 输入的全失效保护接收器。

目录

1. 标准接收器工作原理 3
2. 最小差分输入电压 4
3. 总线条件 4
4. 失效保护偏置 5
   - 4.1 单工接口：点对点和点对多 6
   - 4.2 全双工接口：点对点 6
   - 4.3 全双工接口：多点 6
   - 4.4 半双工接口：点对点和多点 7
   - 4.5 全失效保护接收器和发送器 9
5. 结论 9
6. 参考 9
7. 修订记录 10

© 2023 Renesas Electronics

图目录

图 1. 带比较器的输入分压器 3
图 2. 输入电压衰减和偏移 3
图 3. 接收器输入条件及对应输出状态 4
图 4. 有效驱动总线 4
图 5. 无源或未被驱动的总线 4
图 6. 未被驱动、未被端接的总线 5
图 7. 接收器与已被端接总线断开 5
图 8. 失效保护总线电压应该包括至少 50mV 的噪声裕度 5
图 9. $Z_0 = R_T \,||\, 2R_B$ 5
图 10. 在单工模式下的点对点（左）、点对多（右）数据链路 6
图 11. 全双工点对点总线：驱动器输出始终使能(左)， 驱动器输出受控（右） 6
图 12. 全双工多点总线，更高的数据吞吐量 7
图 13. 短距离点对点半双工接口 8
图 14. 长距离多点半双工接口 8
图 15. 全失效保护收发器电压输入范围 9

1. 标准接收器工作原理

RS-485 接收器必须在-7V 至+12V 的宽共模电压范围内检测到±200mV 的小差分总线信号。为了完成这项任务，接收器由一个带偏置级的差分输入分压器和一个差分比较器组成，如图 1 所示。

输入电阻 R_{IN} 和偏置电阻 R_B 之间的分压作用使线路电压(V_{AB})衰减约 10 至 15 倍。然后，衰减的输入信号(Vab)被平移(偏置)到大约 $V_{CC}/2$。这对于单电源比较器能够处理大的负总线信号是必要的。

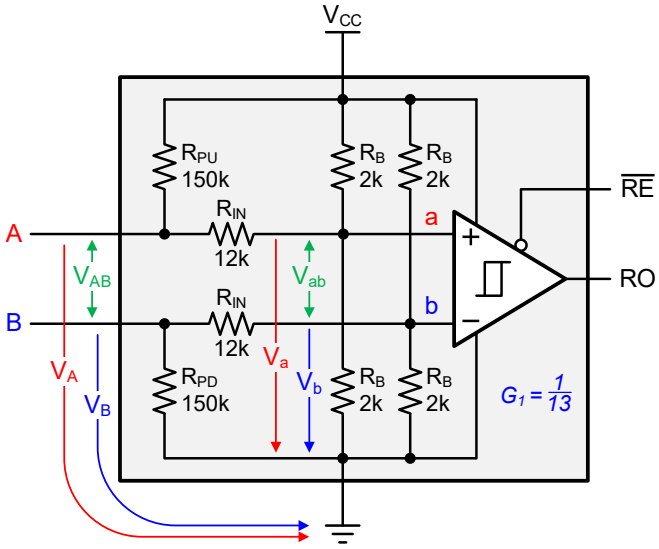

图 1. 带比较器的输入分压器

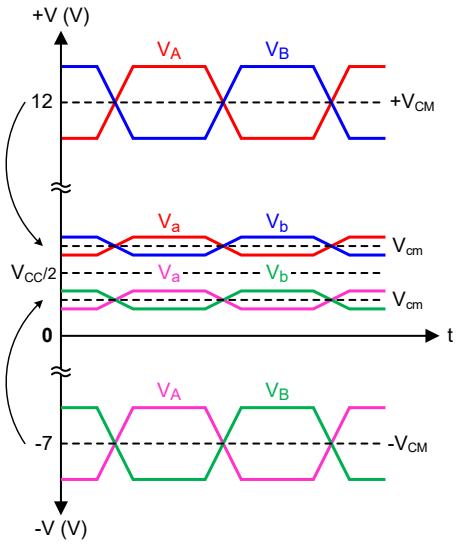

图 2. 输入电压衰减和偏移

图 2 显示了大的正负线电压如何被衰减，然后平移到比较器的正工作电压范围。用共模分量和差分分量分别表示线路电压 V_A 和 V_B：$V_A = V_{CM} + V_D/2$，$V_B = V_{CM} - V_D/2$，则内部比较器输入电压：

$$V_a = \left(V_{CM} + \frac{V_D}{2}\right) \cdot G_1 + V_{CC} \cdot G_2 \qquad \text{公式 - 1}$$

$$V_b = \left(V_{CM} - \frac{V_D}{2}\right) \cdot G_1 + V_{CC} \cdot G_2 \qquad \text{公式 - 2}$$

其中 G1 为分压器的增益因子，G2 为偏置级的增益因子。 根据信号约定，

$V_a - V_b = V_{ab}$，$V_D = V_A - V_B = V_{AB}$。则比较器输入电压为:

$$V_{ab} = \left(V_{CM} + \frac{V_{AB}}{2}\right) \cdot G_1 + V_{CC} \cdot G_2 - \left(V_{CM} - \frac{V_{AB}}{2}\right) \cdot G_1 - V_{CC} \cdot G_2 \qquad \text{公式 - 3}$$

由公式 - 3 可知，接收器差分输入结构消除了所有共模分量和直流偏置分量，将比较器差分输入电压的表达式简化为:

$$V_{ab} = V_{AB} \cdot G_1 \quad \text{其中} \quad G_1 = \frac{1}{1 + 2R_{IN}/R_B} \qquad \text{公式 - 4}$$

对于图 1 的接收器，R_{IN} = 12kΩ， R_B = 2kΩ，其信号增益 G1 = 1/13 或 0.077。

2. 最小差分输入电压

RS-485 标准规定的最小差分输入电压为±0.2V。瑞萨的接收器(和收发器)数据手册将上限和下限指定为最小和最大输入电压阈值，V_{TH-MIN} 和 V_{TH-MAX}。表 1 给出了 80Mbps 高速接收器 ISL32173 的示例。

表 1. 接收器最小输入电压规格

参数	符号	测试条件	温度(℃)	最小	典型	最大	单位
直流特性							
接收器差分阈值电压	V_{TH}	-7V ≤ V_{CM} ≤ 12V	全温范围	-200	-	200	mV
接收器输入滞后	ΔV_{TH}	V_{CM} = 0V	25		30		mV

除了电气规格外，下列真值表将接收器差分输入电压范围对应相应的输出的逻辑状态来描述器件的开关特性(表 2)。为了将表 2 中描述的开关特性可视化，图 3 描述了接收器的输入条件及其相应的输出状态。

表 2. 接收器真值表

输入(A-B)	输出 (RO)
V_{AB} ≥ 0.2V	高
0.2V ≥ V_{AB} ≥ -0.2V	不确定
V_{AB} ≤ -0.2V	低
Inputs open	高

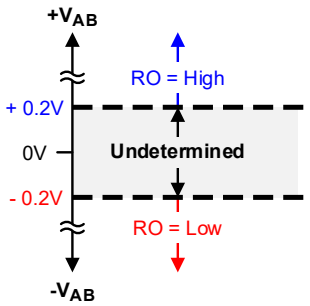

图 3. 接收器输入条件及对应输出状态

3. 总线条件

在有效驱动总线的情况下，驱动器提供足够高的总线差分电压，根据驱动器输出差分电压的极性，接收器输出高或低。如图 4 所示。

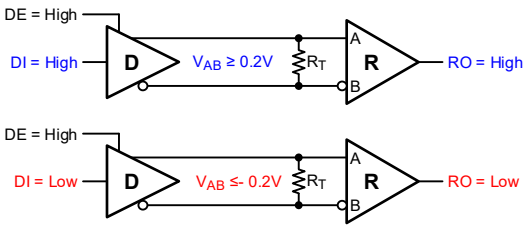

图 4. 有效驱动总线

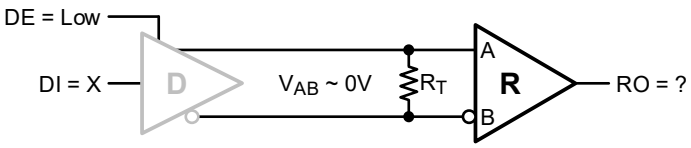

图 5. 无源或未被驱动的总线

但是，如果驱动器被禁止输出(如图 5)，则只剩下 120Ω 端接电阻(R_T)将接收器的 A、B 端子连接起来。在这种情况下，每个终端的高输入阻抗(大约 15kΩ)与低阻抗 R_T 形成分压器。这导致总线差分电压跌落到近 0V，远低于所需的 0.2V 最小值。在这种情况下，接收器的输出状态是不确定的，这意味着输出可能是高或低，甚至振荡。

因此，重要的是要认识到，在任何情况下都必须避免输入差分电压在±200mV 之间，即在真值表中表示为 0.2V≥V_{AB}≥-0.2V 的情况出现。

另一种情况是输入开路。当未被端接的总线驱动器被禁止时(图 6)，或者总线和接收器输入之间的电缆断裂或连接器损坏时(图 7)，就会发生这种情况。

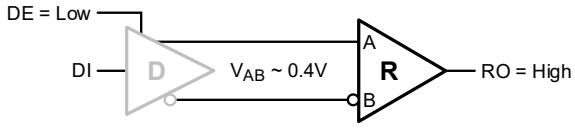

图 6. 未被驱动、未被端接的总线

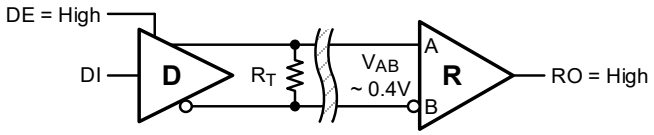

图 7. 接收器与已被端接总线断开

在这种情况下，高阻抗电阻(R_{PU} 和 R_{PD})为输入提供弱偏置，从而产生约 0.4V 的 V_{AB}，从而保持接收器输出高。这个功能被称为失效保护开启（Fail-safe open）功能，因为它不是实际接收器操作所必需的。请注意，R_{PU} 和 R_{PD} 的值大约是 R_{IN} 的十倍，以尽量减少对分压器增益 G1 的影响。

4. 失效保护偏置

现在我们了解了未被驱动总线如何产生 0V 总线电压，我们需要通过上拉和下拉电阻来偏置总线，通常称为偏置电阻 R_B。这些电阻与 R_T 形成分压器，产生大于 0.2V 的总线差分电压(图 8)，以保持接收器输出高电平。这种方法被称为“失效保护偏置”。

由于电阻网络通常由收发器/接收器电源中的其中一个供电，比如 V_S，我们必须假设该电阻网络的最小供电值 V_{CC_min}，以确保在最坏情况下仍然有可靠的失效保护偏置操作。

此外，总线差分电压 V_{AB} 应在输入阈值 V_{TH-MAX} 之上，并且包括噪声裕度容限 V_N，以允许可能耦合到总线的外部源的差分噪声，于是 $V_{AB} = V_{TH-MAX} + V_N$。对于平衡良好的数据链路，通常假设 V_N 为 50mV 至 100mV。

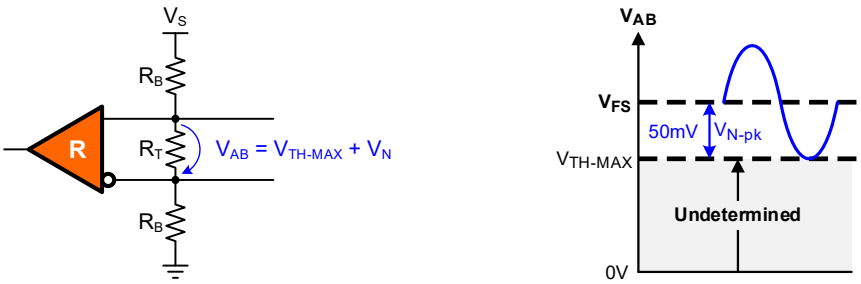

图 8. 失效保护总线电压应该包括至少 50mV 的噪声裕度

对失效保护偏置网络的另一个要求是，在交流方向上，终端电阻与偏置电阻的并联电路需要匹配电缆的特性阻抗：$Z_0 = R_T \,||\, 2R_B$(如图 9)，对于 RS-485 电缆来说，其特性阻抗值为 120Ω。

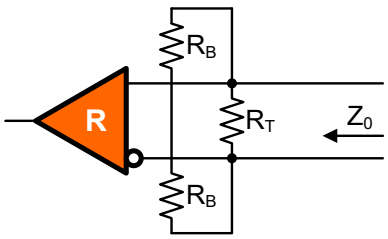

图 9. $Z_0 = R_T \,||\, 2R_B$

下面几节将展示各种接口类型的失效保护偏置端接。

4.1 单工接口：点对点和点对多

单工接口只在一个方向上传输(如图 10)。它们由单个驱动器和一个或多个接收器组成。总线端接位于电缆远端，与驱动器相对。

如果驱动器是永久使能的（如图 10 左），那么只需要一个 120Ω 的端接电阻。但如果驱动器是受控输出可以被禁止的（如图 10 右），则必须安装一个失效保护偏置电阻网络。在这种情况下，相应电阻阻值的计算公式如下:

$$R_B = 52\Omega \cdot \frac{V_S}{V_{AB}}$$ 公式 - 5

$$R_T = \frac{R_B \cdot 120\Omega}{R_B - 60\Omega}$$ 公式 - 6

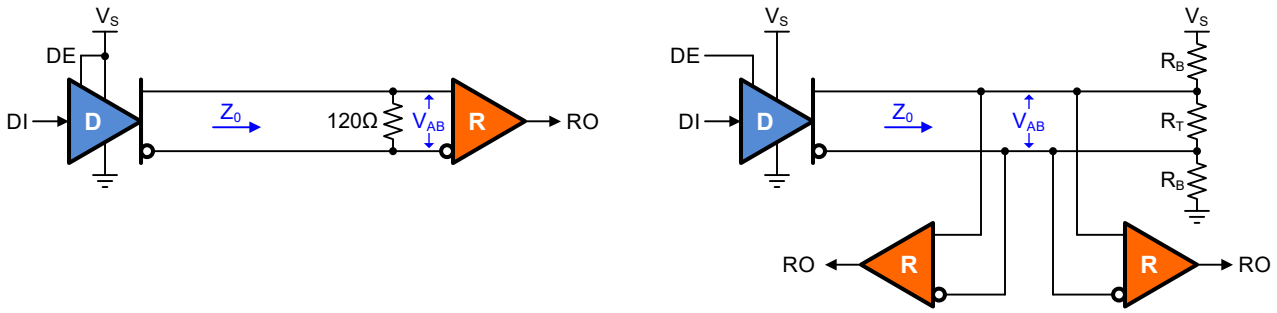

图 10. 在单工模式下的点对点（左）、点对多（右）数据链路

4.2 全双工接口：点对点

这种接口相当于两个方向相反的单工点对点数据链路(如图 11)。发送通道和接收通道分别对应主节点的驱动器输出和接收器输入。同样地，根据驱动器控制方法，总线端接可以是简单的 120Ω 电阻或失效保护偏置电阻网络。在后面这种情况下，电阻的阻值计算公式与图 10 相同:

$$R_B = 60\Omega \cdot \frac{V_S}{V_{AB}}$$ 公式 - 7

$$R_T = \frac{R_B \cdot 120\Omega}{R_B - 60\Omega}$$ 公式 - 8

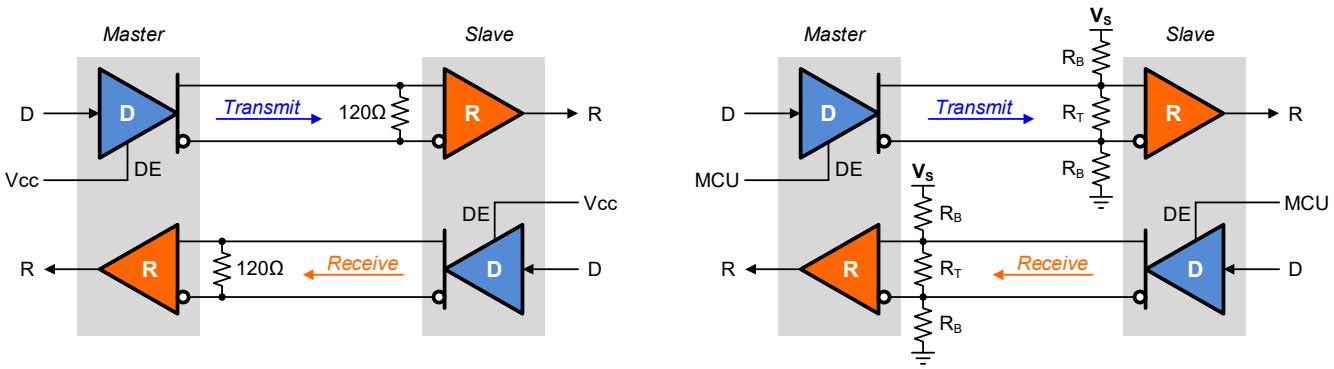

图 11. 全双工点对点总线：驱动器输出始终使能(左)， 驱动器输出受控 (右)

4.3 全双工接口：多点

全双工多点接口的发送通道实际上是一个多分支总线，因为只有一个驱动器驱动多个接收器(如图 12)。因此，它的驱动器是可以永久使能的，这样就可以将发送通道的端接电阻简化到单个 120Ω 电阻。但图 12 假设驱动器具有使能控制，则需要失效保护偏置电阻网络进行端接，其电阻标示通过添加后缀“Tx”与接收通道来区分。

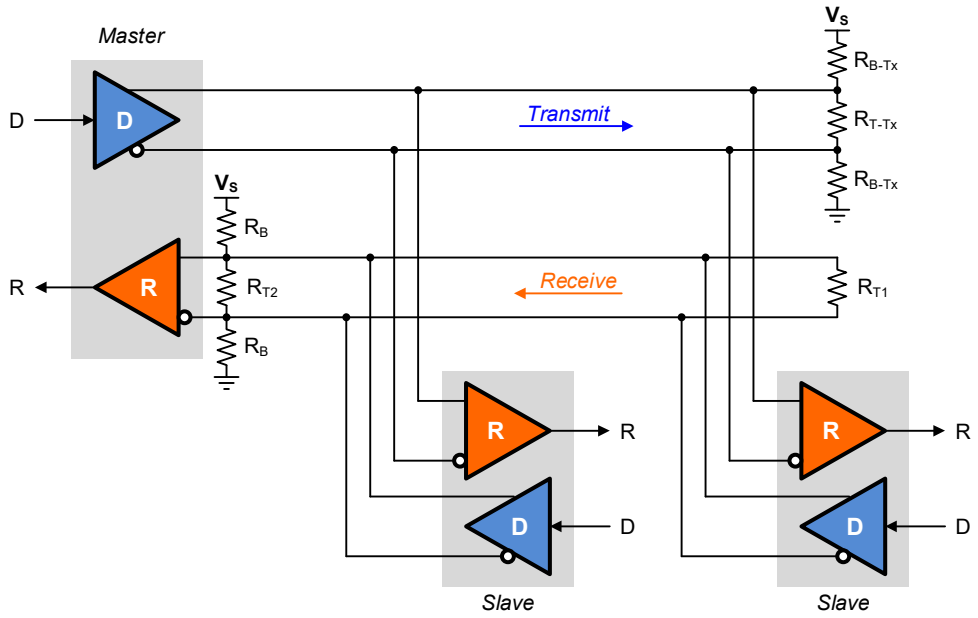

图 12. 全双工多点总线，更高的数据吞吐量

发送通道的电阻阻值计算公式如下：

$$R_{B-Tx} = 52\Omega \cdot \frac{V_S}{V_{AB}}$$ 公式 - 9

$$R_{T-Tx} = \frac{R_B \cdot 120\Omega}{R_B - 60\Omega}$$ 公式 - 10

接收通道是具有多驱动的多点总线，各个驱动器的使能功能必须受控，以防止多个驱动同时访问总线的情况发生，这种情况被称为总线争用。

由于驱动器输出信号在接收通道的两个方向上均会传播，因此电缆两端都必须端接。在电缆临近主节点接收器附近使用失效保护偏置电阻网络来端接，另一端用单个 120 Ω 电阻进行端接。接收通道的电阻阻值计算公式为:

$$R_B = \frac{V_S / V_{AB} + 1}{0.036}$$ 公式 - 11

$$R_{T2} = \frac{R_B \cdot 120\Omega}{R_B - 60\Omega}$$ 公式 - 12

$$R_{T1} = 120\Omega$$ 公式 - 13

4.4 半双工接口：点对点和多点

最常用见的 RS-485 接口配置是半双工总线。它用于多点和点对点数据链路。使用主从通信原理，任何节点都可以在任何时间接收数据，从而允许一直使能接收器。然而发送数据时需要驱动使能控制以防止总线冲突。

由于驱动器输出信号会在总线的两个方向上传播，因此总线在两端都需要端接。对于总线长度约 100 米以内的，通常在电缆靠近主收/发器端用失效保护偏置电阻网络进行端接，而电缆的另一端接一个简单的 120 Ω 电阻。因此，电阻阻值计算方法与全双工总线的接收通道电阻阻值计算方法相同。

$$R_B = \frac{V_S / V_{AB} + 1}{0.036}$$ 公式 - 14

$$R_{T2} = \frac{R_B \cdot 120\Omega}{R_B - 60\Omega}$$ 公式 - 15

$$R_{T1} = 120\Omega$$ 公式 - 16

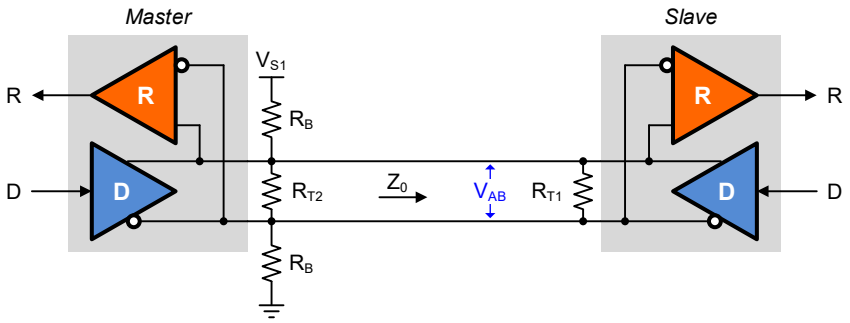

图 13. 短距离点对点半双工接口

对于长距离网络，总线电缆的直流电阻与 120 Ω 电阻的分压作用会导致信号的显著衰减，因此建议在电缆两端都用失效保护偏置电阻网络（如图 14）。电阻阻值计算公式变为:

$$R_B = \frac{2V_S / V_{AB} + 1}{0.036}$$ 公式 - 17

$$R_T = \frac{R_B \cdot 120\Omega}{R_B - 60\Omega}$$ 公式 - 18

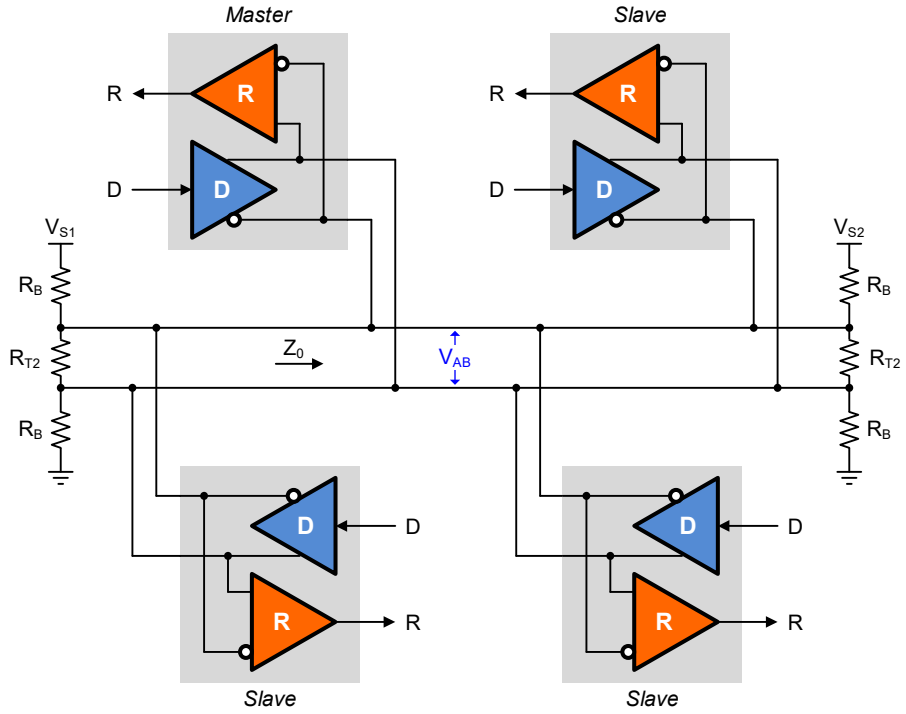

图 14. 长距离多点半双工接口

4.5 全失效保护接收器和发送器

全失效保护(FFS)收发器提供内部失效保护偏置，这意味着它们的输出在以下条件下变为高电平:

- 输入悬空，即当设备与总线断开连接时
- 输入短路，即当总线出现短路故障时
- 接近 0V 输入，即当端接总线无驱动时

全失效保护（FFS）能力是通过内部电流源代替上拉/下拉电阻将 V_{TH-MAX} 偏移到略负的-50mV 值来实现的（如图 15）。当总线电压仍然略负时，这时接收器的输出已经为高，从而能够检测 0V 总线电压。

因此在低噪声环境中，这类 RS-485 可以在没有外部失效保护偏置的情况下工作，这有助于节省成本和板上空间。然而在电气高噪声环境中仍然需要外部失效保护偏置网络。它们的电阻值计算公式，可以与标准收发器或具有失效保护开启功能收发器相同。

与标准收发器相比，FFS 收发器的优点是:

- 对于给定的失效保护总线电压，由于 V_{TH-MAX} 较低，噪声裕度较高
- 对于给定的噪声裕度 V_N，所需的最小总线输入电压更小，从而允许使用更高的电阻值来减少电流消耗

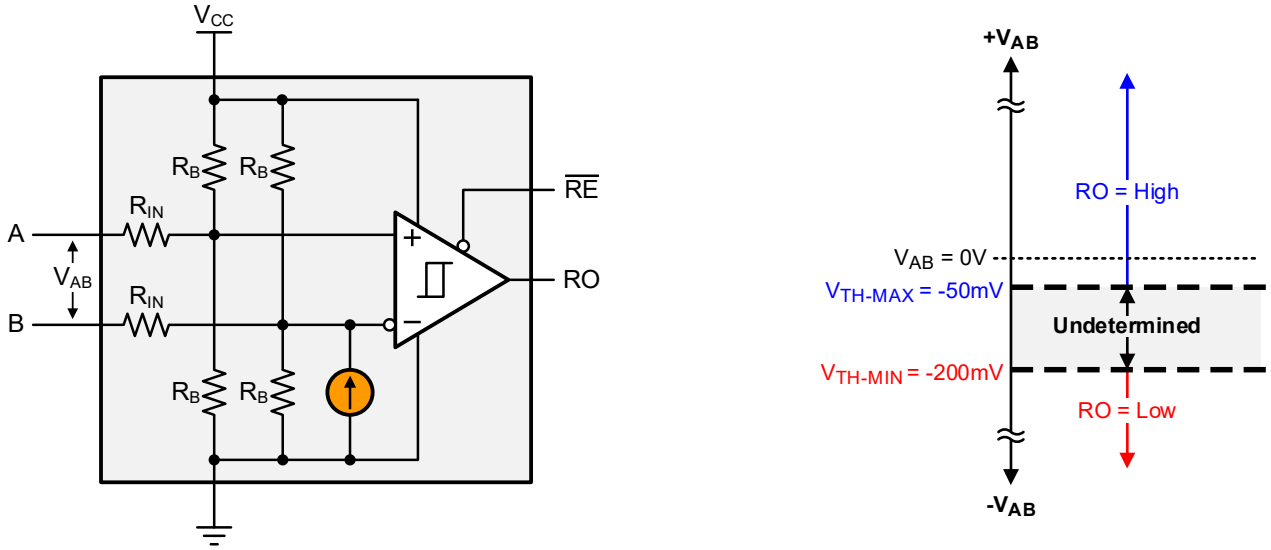

图 15. 全失效保护收发器电压输入范围

5. 结论

在 RS-485 网络中的外部失效保护偏置建议用于在某些时间无驱动的数据链路，例如在驱动器之间的总线访问切换期间，以及总线通信停止时。

使用标准或具有失效保护开启功能收发器的网络应始终应用失效保护偏置，而全失效保护（FFS）收发器可能仅需在电气高噪声环境中需要外部失效保护偏置。

瑞萨广泛的 RS-485 产品组合提供两种失效保护类别的收发器，适用于更宽范围的数据速率，封装，工作温度和过压保护等要求。

6. 参考

1. ANSI TIA-485-A, “Electrical Characteristics of Generators and Receivers for Use in Balanced Digital Multipoint Systems”,
2. AN1986, “External failsafe biasing for RS-485 buses”,

7. 修订记录

修订	日期	描述
1.00	2023 年 5 月 23 日	初始发行

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

RENESAS ELECTRONICS CORPORATION AND ITS SUBSIDIARIES (“RENESAS”) PROVIDES TECHNICAL SPECIFICATIONS AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES “AS IS” AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for developers skilled in the art designing with Renesas products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate products for your application, (2) designing, validating, and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, or other requirements. These resources are subject to change without notice. Renesas grants you permission to use these resources only for development of an application that uses Renesas products. Other reproduction or use of these resources is strictly prohibited. No license is granted to any other Renesas intellectual property or to any third party intellectual property. Renesas disclaims responsibility for, and you will fully indemnify Renesas and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, or liabilities arising out of your use of these resources. Renesas' products are provided only subject to Renesas' Terms and Conditions of Sale or other applicable terms agreed to in writing. No use o any Renesas resources expands or otherwise alters any applicable warranties or warranty disclaimers for these products.

(Disclaimer Rev.1.0 Mar 2020)

Corporate Headquarters

TOYOSU FORESIA, 3-2-24 Toyosu,
Koto-ku, Tokyo 135-0061, Japan

www.renesas.com

Contact Information

For further information on a product, technology, the most up-to-date version of a document, or your nearest sales office, please visit:

www.renesas.com/contact/

Trademarks

Renesas and the Renesas logo are trademarks of Renesas Electronics Corporation. All trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

© 2023 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.