

## 增强的RS-485性能：针对长距离现场总线优化的接收器故障安全、迟滞、共模范围和增益带宽

作者：Richard Anslow

### 简介

通常采用RS-485接口的工业自动化可编程逻辑控制器(PLC)通信端口可能受到较大的共模噪声、地电位差、接线错误、高压瞬变等危险条件的影响。尤其是有多个RS-485节点的长距离布线中，这些危险条件可能会妨害数据通信，或是对RS-485接口造成永久性损伤。

图1所示为一个强大的RS-485通信网络，其中，现场总线通信布线长度超过1000米。

ADM3095E可为总线电源提供强大的高压故障保护和电磁兼容性(EMC)瞬变保护，如IEC 61000-4-5浪涌。

面向EVAL-ADM3095EEBZ评估板的ADM3095E数据手册和用户手册对ADM3095E的EMC性能进行了全面的总结。

另外，ADM3095E的共模范围扩展至 $\pm 25$  V，允许两个或以上ADM3095E器件RS-485地(GND)引脚之间的电位差达到 $\pm 25$  V。

### 在整个 $\pm 25$ V共模范围内的RS-485性能得到全面增强

电信行业协会(TIA)/电子工业联盟(EIA)-485-A Rs-485通信接口标准规定，在 $-7$  V至 $+12$  V的共模范围内，收发器工作时的总线驱动器差分电压至少为 $+1.5$  V。

ADM3095E拥有超宽的共模输入范围，为 $\pm 25$  V，电源电压范围为 $+3$  V至 $+5.5$  V，同时还能达到或超过TIA/EIA-485-A标准。 $\pm 25$  V的共模输入范围可在长距离布线条件下提高系统鲁棒性，从而允许RS-485收发器间较大的地电位差。本应用笔记旨在展示ADM3095E在 $\pm 25$  V超宽共模输入范围内增强的RS-485性能。

在本应用笔记中，我们将考察商业建筑电信布线标准TIA/EIA-568-B.2以及交流和直流电缆效应对系统通信性能的影响。ADM3095E接收器针对低数据速率和长距离布线条件（这些条件下以电缆直流效应为主）的优化将在“数据速率与电缆长度”部分讨论。具体地，我们将说明ADM3095E的接收器增益带宽，突出其在 $\pm 200$  mV的接收器输入差分电压及低数据速率条件下可靠的工作能力（低数据速率在RS-485应用中十分常见）。

ADM3095E接收器故障安全和迟滞特性见“故障安全与迟滞”部分。ADM3095E总线空闲故障安全、开路故障安全和短路故障安全是构成故障安全特性的三个性能要素。故障安全特性的这些构成要素可在 $\pm 25$  V的整个共模范围内获得保障，增加的接收器迟滞还能改善长距离布线条件下的抗噪能力。

## 目录

简介.....	1	数据速率与电缆长度.....	4
在整个±25 V 共模范围内的 RS-485 性能得到全面增强.....	1	接收器增益带宽.....	6
修订历史.....	2	2.5 Mbps 数据速率、100 米电缆条件下的信号质量.....	6
RS-485 通信网络.....	3	故障安全与迟滞.....	7
长距离 RS-485 总线电缆的驱动.....	4	总线空闲、开路和短路故障安全.....	7

## 修订历史

2017年3月—修订版0：初始版

# RS-485通信网络

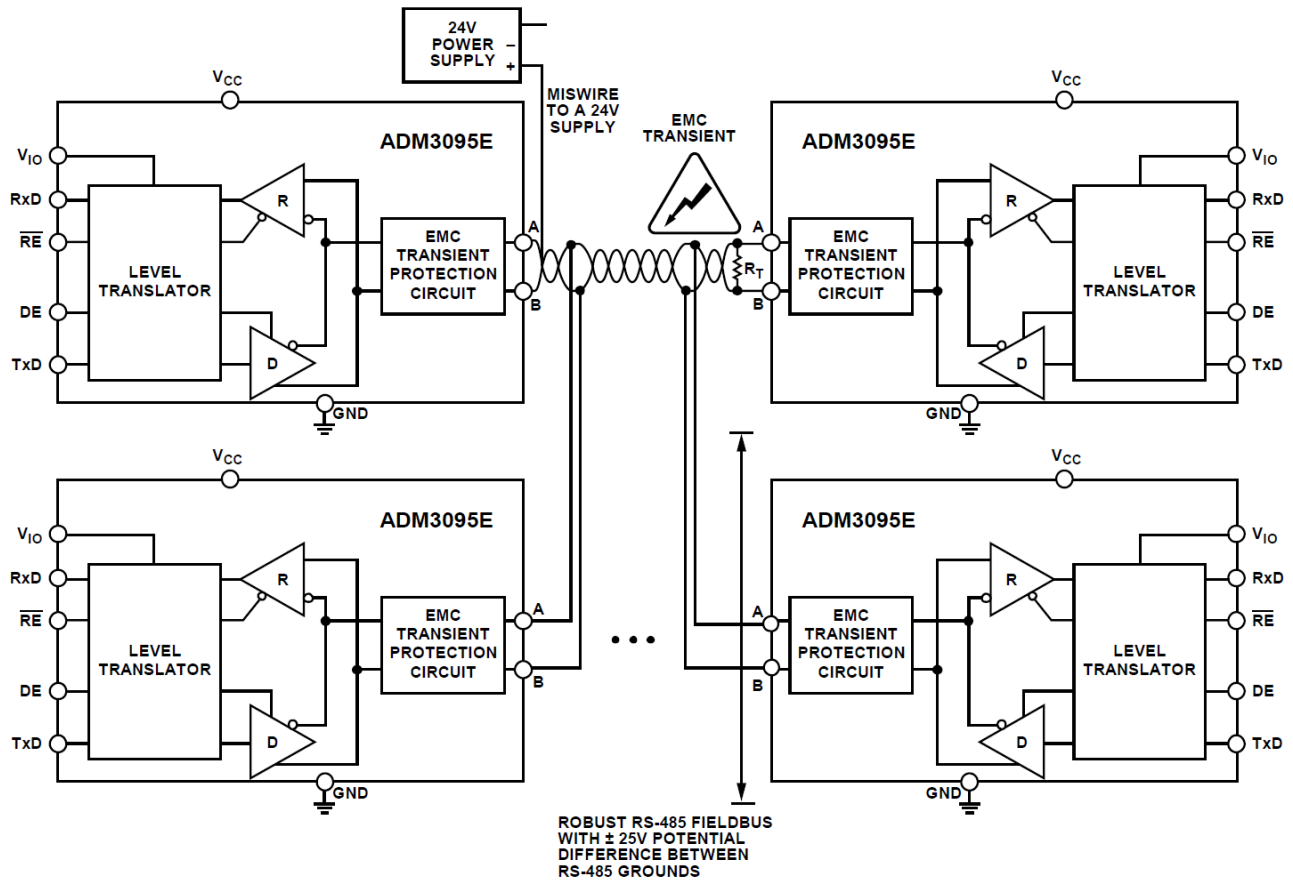


图1. 利用ADM3095E高达 $\pm 25V$ 的共模范围，在长距离布线条件下提高通信鲁棒性

14198-001

## 长距离RS-485总线电缆的驱动

在长电缆上使用RS-485时，需要注意多个重要因素，比如电缆质量和规格以及电缆长度对RS-485信号的影响。

在RS-485现场总线中使用高数据速率时，电缆交流效应占据主导，RS-485现场总线应用局限于短电缆，通常不到100米。在较低的数据速率下，可以将电缆长度扩展至1200米，此时，电缆直流电阻占据主导。现场总线中所用RS-485收发器的时序性能可以提高通信可靠性。ADM3095E接收器性能针对低数据速率和长电缆而优化。

### 数据速率和电缆长度

TIA/EIA-485-A标准要求合规的RS-485驱动器能生成不得低于1.5 V的差分电压幅度 $V_{OD}$ 。TIA/EIA-485-A标准还要求合规的RS-485接收器能在 $\pm 200$  mV的输入差分电压 $V_{ID}$ 下可靠地工作。

对于长电缆应用，在驱动器节点 $V_{OD}$ 与接收器节点 $V_{ID}$ 之间，RS-485总线电压可以直流衰减达1.3 V。

对于电缆较短的应用，信号直流衰减问题不大，RS-485接收器可以看见RS-485驱动器产生的大部分幅度。

TIA/EIA-568-B.2标准为电缆交流和直流对RS-485信号质量的影响提供了相应的背景知识。我们将基于电缆效应，考察所需的RS-485收发器性能和RS-485接收器性能。

### 插入损耗和信号衰减

使用以下公式确定任何5e类电缆在任何频率下的插入损耗。图2采用的是以下公式（TIA/EIA-568-B.2标准中有提及）和TIA/EIA-568-B.2标准表4和表5提供的数据。

$$\text{插入损耗}_{\text{CABLE, 100m}} \leq k1\sqrt{f} + k2 \times f + \frac{k3}{\sqrt{f}} \text{ dB}/100 \text{ m}$$

其中：

$k1$ 、 $k2$ 和 $k3$ 为电缆插入损耗公式的常数。

$f$ 为5e类电缆上的数据传输频率。

参见图2，确定最大数据速率，它是电缆长度的函数。例如，对于20 Mhz的数据速率，可以实现100米布线，电缆衰减为-9 dB。

如果选择-9 dB@20 Mhz作为基准，则对于1 Mhz的数据速率，电缆衰减为-2 dB，相当于约450米的布线。

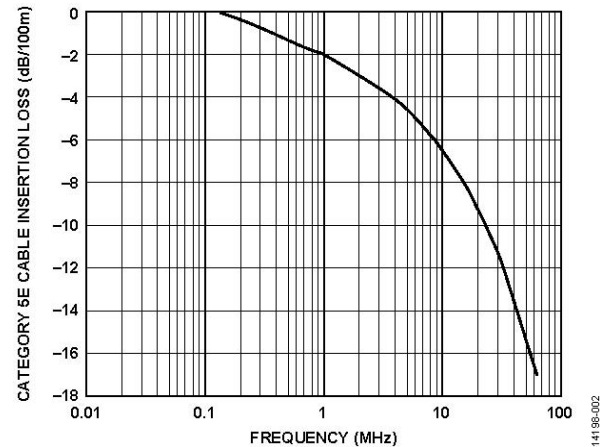


图2. 依据TIA/EIA-568-B.2标准的5E类电缆衰减

Rs-485数据手册中说明的衰减参数也可以用来估算数据速率和电缆长度。例如，面向PROFIBUS®应用的百通3079A电缆的最大衰减规格如表1所示：

表1. 百通3079A电缆的频率和衰减指标

频率(MHz)	衰减(dB)/100米
0.2	1.1
4.0	2.65
16.0	5.4

图2假定数据传输时电缆处于理想条件；但TIA/EIA-568-B.2标准中也探讨了串扰损耗和其他非理想电缆损耗。表2列出了一些理想的电缆参数以及非理想电缆性能对系统通信完整性的意义。

在TIA/EIA-568-B.2标准中提到的危险以外，系统设计师在确定特定电缆长度条件下可能的数据速率时，还须考虑时序和数据协议问题。RS-485总线信号使用的编码方案和数据模式，如伪随机二进制序列(PRBS)随机数据，会对符号间干扰及可能的数据误差造成影响。协议要求，如数据传输中的空闲时间，可能导致有效传输数据速率下降。

在测试系统以确定可靠的数据传输速率时，要考虑系统抖动、传播延迟和发射和接收信号中的偏斜。TIA/EIA-568-B.2标准规定了允许的最大传播延迟和偏斜。例如，在频率为1 Mhz时，允许的最大电缆传播延迟为570 ns/100米，允许的最大电缆偏斜为45 ns/100米。

基于对这些现实问题的考虑,图3列出了针对电缆长度和数据速率的保守估算值。

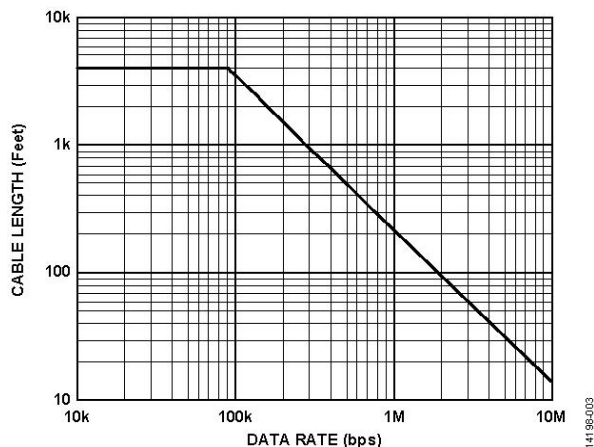


图3. 电缆长度和数据速率保守估算值

### 电缆长度和直流电阻

在长电缆点对点链路条件下,有必要考察电缆直流电阻的影响以及所需的RS-485收发器性能。

图3中曲线的平坦部分对应于基于电缆阻性损耗的长距离低数据速率通信。TIA/EIA-568-B.2标准规定,按照ASTM D4566测量,任何导体的直流电阻不得超过 $9.38 \Omega/100$ 米(328英尺),基于或修正为 $20^{\circ}\text{C}$ 的温度。

采用ADM3095E,电缆长度为1200米时,ADM3095E RS-485驱动器输出的最大直流电阻为 $113 \Omega$ 。在点对点RS-485电缆链路上使用1200米的电缆时,图4和表3针对ADM3095E驱动器节点的驱动器差分电压幅度 $V_{OD}$ 和ADM3095E接收器节点接收器输入差分电压 $V_{ID}$ ,提供了三种场景。R2  $60 \Omega$ 端接电阻是双端接总线的简化版,1200米电缆两端的电阻各为 $120 \Omega$ 。

如表3所示,RS-485接收器必须能够在输入差分电压低至 $\pm 300$  mV的条件下可靠地工作。事实上,TIA/EIA-485-A Rs-485通信接口标准对收发器的接收器输入电压进行了更加严格的规定,为 $\pm 200$  mV。

表2. 电缆条件及其影响

理想电缆条件	非理想电缆条件对系统性能的影响
Rs-485电缆网络上无外部噪声干扰	潜在的噪声源有可能降低系统可靠性和有效数据速率。ADM3095E数据手册介绍了一些常见的系统噪声源和高压瞬变的背景知识,比如IEC 61000-4-2静电放电(ESD)、IEC 61000-4-4电快速瞬变(EFT)和IEC 61000-4-5浪涌。ADM3095E在恶劣的EMC环境中的性能见ADM3095E数据手册和EVAL-ADM3095EEBZ评估板用户手册。
双绞线电缆两根电线之间的差异导致的时序偏斜很小或不会导致时序偏斜	过度偏斜的数据输出可能会导致系统数据错误。TIA/EIA-568-B.2标准规定,5e类电缆的传播延迟偏斜不得超过 $45 \text{ ns}/100$ 米。
双绞线对之间零串扰	串扰是衡量RS-485发射器和接收器之间无用信号耦合的一项指标,在布线近端和无端测量。TIA/EIA-568-B.2标准提供了若干经验模型和统计模型,用于预测串扰会在多大程度上对系统造成不利影响。增加电缆屏蔽可以降低串扰,改善信噪比(SNR)。
直流平衡数据传输	直流过度不平衡会影响信号的完整性,长距离布线条件下尤其如此。TIA/EIA-568-B.2标准为最大直流电阻不平衡提供了指导数值,线对中任何两根导线之间的限值为5%。
点对点RS-485电缆链路,无电缆分支	长电缆分支会导致显著的阻抗失配,造成信号反射和数据错误。使用点对点链路可提高有效数据速率。

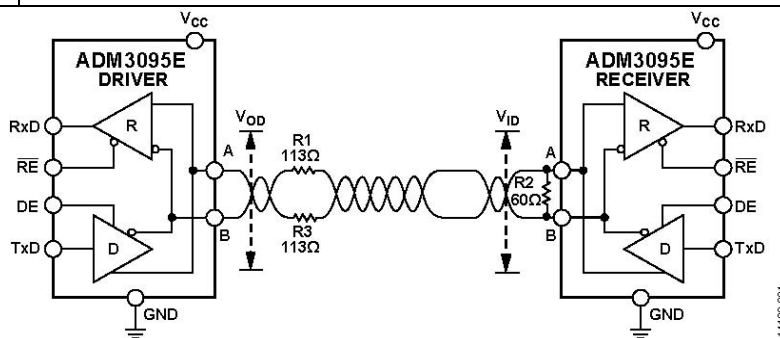


图4. 点对点RS-485电缆链路和直流总线电压

接收器增益带宽

图5展示的是ADM3095E测得的接收器性能，其中，输入共模电压为+25 V， $V_{ID}$ 为 $\pm 600$  mV，数据速率为2.5 Mbps。在该测试设置中，ADM3095E显然超越了图3所示性能要求。在实际应用中，在数据速率高达2.5 Mbps的条件下，通常不会观察到低至 $\pm 600$  mV的总线差分电压。

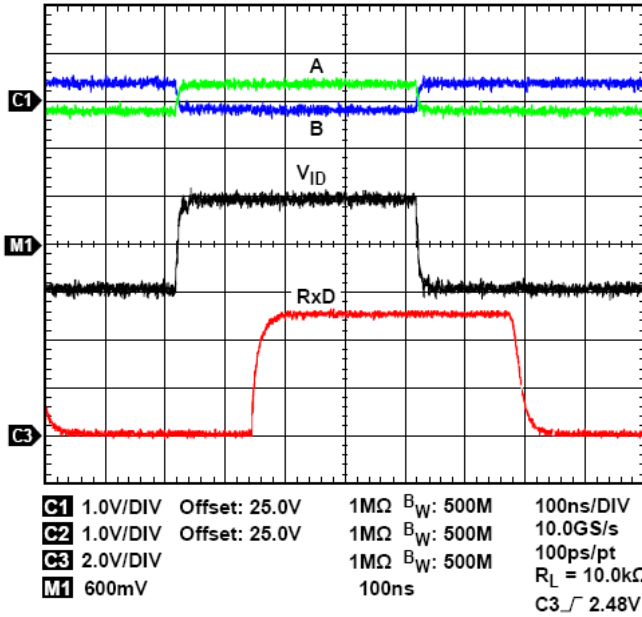


图5. ADM3095E Rs-485接收器性能，输入共模电压为+25 V， $V_{ID}$ 为 $\pm 600$  mV，数据速率为2.5 Mbps

图6所示为ADM3095E接收器增益带宽，即收发器的数据速率与接收器输入差分电压性能的关系。长距离布线采用低数据速率，通常低于0.25 Mbps。数据速率为0.25 Mbps时，据图6，ADM3095E接收器能在 $\pm 200$  mV的接收器输入差分电压下可靠地工作（TIA/EIA-485-A Rs-485通信标准规定了其最低水平）。

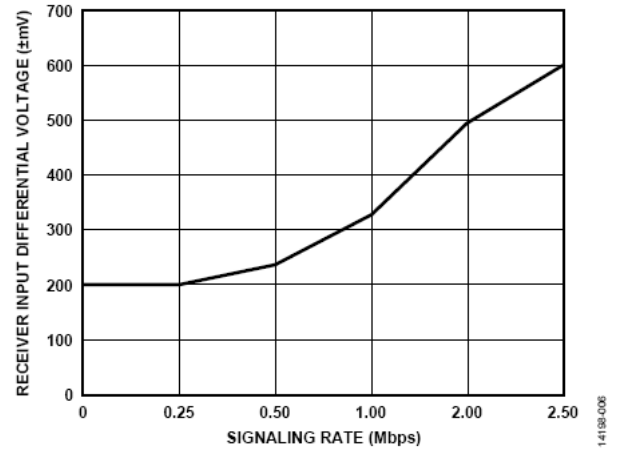


图6. 接收器输入差分电压与信令速度

2.5 Mbps数据速率、100米电缆条件下的信号质量

图7所示为ADM3095E工作于双节点网络上时的信号质量指标，其数据速率为2.5 Mbps，电缆为100米长的UNITRONIC® PROFIBUS 电缆。ADM3095E Tx D信号在发射节点测量，RS-485 A和B总线信号则在100米电缆远端的接收节点处测量。测量信号的示波器设为无限持续，展示了电缆带来的额外信号抖动对A和B总线信号的影响。图7显示，增加的100米电缆导致的信号抖动和衰减不会在ADM3095E接收器节点的Rx D信号中造成数据错误。在这一典型的实验室测量中，电缆影响带来的额外抖动不到5%，电缆衰减导致的Rx D脉冲宽度失真不到3%。

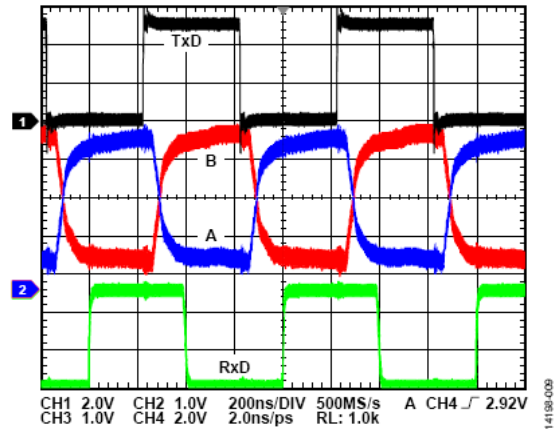


图7. 2.5 Mbps数据速率、100米RS-485电缆条件下的信号质量

表3. RS-485驱动器输出信号直流衰减

驱动器端引脚A (V)	引脚B(V)驱动器	驱动器输出差分电压(V), $V_{OD}$	接收器输入差分电压(V), $V_{ID}$
5.0	0	5.0	$\pm 1.05$
2.1	0	2.1	$\pm 0.44$
1.5	0	1.5	$\pm 0.31$

## 故障安全与迟滞

### 总线空闲、开路和短路故障安全

ADM3095E拥有一个真正意义上的故障安全功能，在整个接收器输入共模范围( $\pm 25$  V)内，为总线空闲、开路和短路提供了逻辑高电平接收器输出功能。

开路故障安全可以确保当RS-485 A引脚和B引脚断开且无端接电阻或其他节点时，ADM3095E接收器输出处于高电平状态。该特性存在于ADI公司所有的RS-485收发器上。ADM3095E A引脚上有一个内部上拉电阻。如果A引脚断开且浮动，则该上拉电阻会将A引脚上拉至 $-30$  mV以上。ADM3095E B引脚上有一个下拉电阻。如果B引脚断开且浮动，则该下拉电阻会将B引脚下拉至 $-200$  mV以下。在这种情况下，A引脚的电压大于B引脚电压，结果形成总线差分电压高电平，接收器输出逻辑为恒定高电平。

短路故障安全可以确保当两个节点将总线驱动至反向电平或者当总线线路短路时，ADM3095E接收器输出处于高电平状态。

总线空闲故障安全更复杂一些，当没有节点驱动RS-485上的信号时，可以提供ADM3095E接收器输出逻辑高电平。该故障安全特性主要有两种实现方法。第一种方法是采用故障安全RS-485收发器，该收发器有失调接收器阈值，比如， $-30$  mV而非TIA/EIA-485-A Rs-485标准规定的 $+200$  mV。带总线空闲故障安全特性的ADI RS-485收发器也有短路故障安全特性。第二方法是在总线上用上拉电阻和下拉电阻，确保获得最低差分电压，也称为有源端接法。基于电源电压和总线负载计算所需电阻值，包括端接电阻和接收器阻抗。

TIA/EIA-485-A Rs-485标准建议，RS-485收发器可以防止接收器失灵或者预防其中出现振荡条件。接收器迟滞有助于提高接收器稳定性，并提供了一种抗扰度测量方式，对长距离布线和恶劣现场总线环境尤其重要。

请参阅ADM3095E数据手册技术规格表，其典型接收器迟滞( $\Delta V_{TH}$ )为 $30$  mV，接收器差分输入阈值电压( $V_{TH}$ )为 $-200$  mV至 $-30$  mV，输入共模范围为 $\pm 25$  V。 $V_{TH}$ 为接收器输出( $V_{OC}$ 或 $V_{OH}$ )从高电平变成低电平或从低电平变成高电平的阈值。

$\Delta V_{TH}$ 实际上是从高电平变成低电平时的 $V_{TH}$  (图8中的 $V_{OL}$ )与从低电平变成高电平时的 $V_{TH}$  (图8中的 $V_{OH}$ )之间的差值。

$\Delta V_{TH}$  确保 $V_{TH}$ 周围的噪声不会在接收器输出端导致杂散逻辑高电平和低电平跃迁。

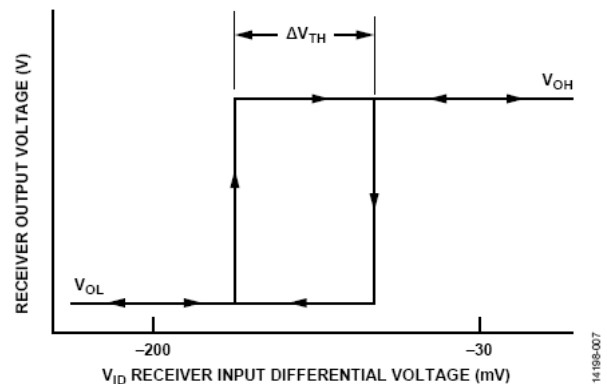


图8. ADM3095E接收器迟滞

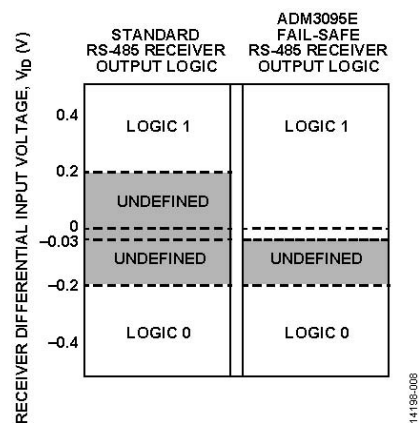


图9. ADM3095E接收器故障安全特性