

使用ADM2795E实现恶劣工业环境中的隔离RS-485通信接口的系统级EMC解决方案

作者: Richard Anslow、James Scanlon和Brian Sweeney

简介

ADM2795E是一款5 kV rms信号隔离RS-485收发器，其集成ADI公司的iCoupler®技术，将RS-485收发器和国际电工委员会 (IEC) 电磁兼容性 (EMC) 保护集成于单封装中。ADM2795E适用于恶劣工业环境中面临着多种威胁的RS-485通信接口，这些威胁可能干扰通信或导致永久性损坏。工业自动化可编程逻辑控制器 (PLC) 通信端口通常使用RS-485接口，这些端口可能经受较大的共模噪声、接地电位差、接线错误和高压瞬变，如静电放电 (ESD)、电快速瞬变 (EFT) 和雷电浪涌。工业自动化的系统级IEC标准 (如IEC 61131-2) 规定了多种IEC ESD、EFT和浪涌保护级别以及对辐射、传导和磁场干扰的抗扰度。

经认证的IEC EMC性能概述

ADM2795E可提供完整的系统级解决方案，该方案符合IEC 61000浪涌、EFT和ESD标准以及对传导、辐射和磁场干扰的抗扰度，这些干扰在工业环境中很常见。隔离鲁棒性和

EMC保护的集成大幅节省了印刷电路板 (PCB) 空间，以供通信端口接口使用。ADM2795E还集成了全面的±42 V高压故障保护。

本应用笔记给出了参考评估板和示例测试设置，演示了ADM2795E的IEC EMC认证性能：

- RS-485 A和B总线引脚提供4级EMC认证保护
 - IEC 61000-4-5浪涌保护 (±4 kV)
 - IEC 61000-4-4 EFT保护 (±2 kV)
 - IEC 61000-4-2 ESD保护
 - 接触放电: ±8 kV
 - 气隙放电: ±15 kV
 - IEC 61000-4-6传导射频抗扰度 (10 V/m rms)
- 经认证的IEC 61000隔离栅抗扰度
 - IEC 61000-4-2 ESD、IEC 61000-4-4 EFT、IEC 61000-4-5浪涌、IEC 61000-4-6传导射频抗扰度、IEC 61000-4-3辐射抗扰度、IEC 61000-4-8磁场抗扰度

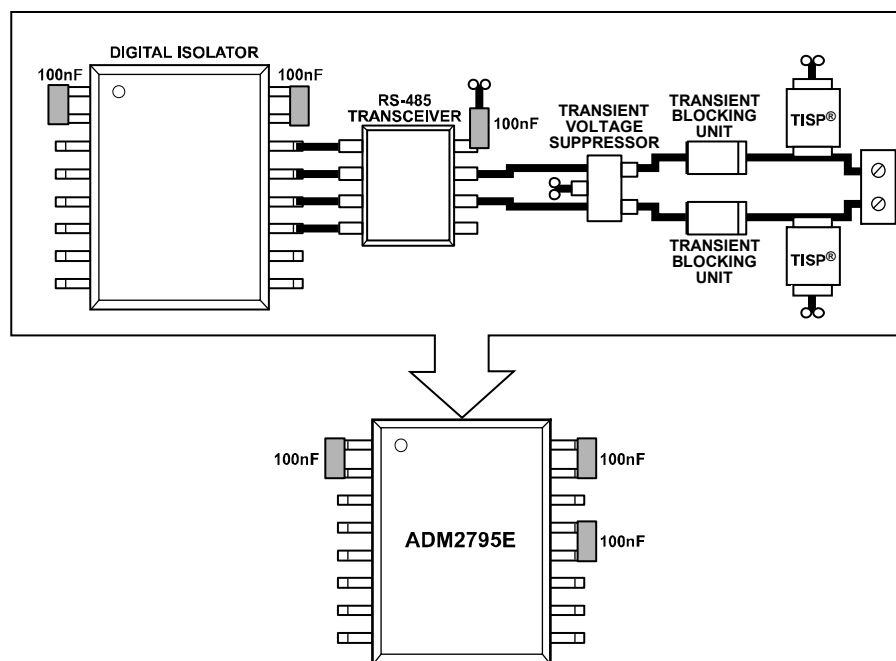


图1. ADM2795E的集成IEC 61000-4-5认证浪涌解决方案，为设计师显著节省了PCB面积

目录

简介.....	1	IEC传导、辐射和磁场抗扰度.....	8
经认证的IEC EMC性能概述.....	1	IEC 61000-4-6传导射频抗扰度.....	8
修订历史.....	2	IEC 61000-4-3辐射射频抗扰度.....	9
IEC ESD、EFT和浪涌保护.....	3	IEC 61000-4-8磁场抗扰度.....	9
静电放电.....	3	过压故障保护.....	10
电快速瞬变.....	4	±42 V接线错误保护.....	10
浪涌.....	6	RS-485网络偏置和端接.....	10

修订历史

2016年12月—修订版0：初始版

IEC ESD、EFT 和浪涌保护

电气和电子设备的设计必须满足系统级IEC标准。以下是系统级IEC标准示例：

- 过程控制和自动化：IEC 61131-2
- 电机控制：IEC 61800-3
- 楼宇自动化：IEC 60730-1

对于数据通信线路，这些系统级标准将规定以下三种类型的高压瞬变的多个保护级别：

- IEC 61000-4-2 ESD
- IEC 61000-4-4 EFT
- IEC 61000-4-5浪涌

所有这些规范都定义了测试方法，用以评估电子和电气设备对指定现象的耐受性。下面概要说明各种测试。已根据这些IEC EMC规范全面测试了ADM2795E，并认证其符合IEC EMC。

静电放电

ESD是指静电荷在不同电位的实体之间的突然传输，由靠近接触或电场感应引起。其特征是在短时间内产生高电流。IEC 61000-4-2测试的主要目的是确定系统在工作过程中对系统外部ESD事件的抗扰度。IEC 61000-4-2介绍了使用两种耦合方法的测试，即接触放电和气隙放电。接触放电要求放电枪与受测单元直接接触。在气隙放电测试期间，放电枪的充电电极朝向受测单元移动，直到气隙上发生电弧放电。放电枪不与受测单元直接接触。气隙测试的结果和可

重复性会受到多种因素的影响，包括湿度、温度、气压、距离和放电枪逼近受测单元的速率。气隙放电测试方法能够更好地反映实际ESD事件，但可重复性不及接触放电测试。因此，接触放电是首选测试方法。

测试期间，数据端口须经受至少10次正极放电和10次负极放电，脉冲之间间隔最短为1秒。测试电压的选择取决于系统端环境。

图2所示为IEC 61000-4-2规范所述的8 kV接触放电电流波形。一些关键波形参数包括小于1 ns的上升时间和大约60 ns的脉冲宽度。

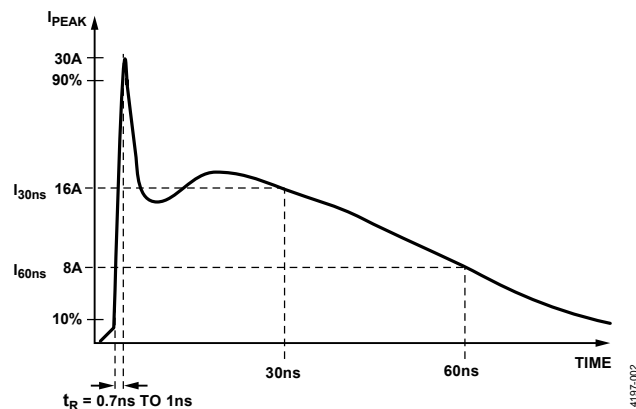


图2. IEC61000-4-2 ESD波形 (8 kV)

图3所示为针对接触放电和气隙放电测试ADM2795E评估板是否符合IEC 61000-4-2 ESD标准的示例测试设置。

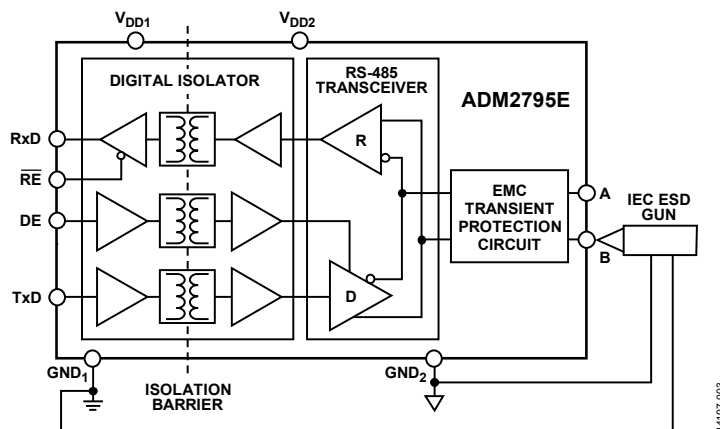


图3. 针对GND₁或GND₂的IEC 61000-4-2 ESD测试

执行测试时，IEC ESD枪连接至本地总线GND₂。针对GND₂测试时，ADM2795E对IEC 61000-4-2事件具有鲁棒性，通过了标准中认可的最高级别（4级），其定义的接触放电电压和气隙放电电压分别为±8 kV和±15 kV。

同样，执行测试时，IEC ESD枪连接至逻辑侧GND₁。针对GND₁的测试验证了ADM2795E隔离栅的鲁棒性。隔离栅可承受的IEC 61000-4-2 ESD为±9 kV的接触放电电压和±8 kV的气隙放电电压。测试在收发器正常工作时执行，ADM2795E时钟数据为2.5 Mbps。表1和表4总结了经认证的测试结果。

表1. IEC 61000-4-2认证测试结果

ESD枪连接	IEC 61000-4-2测试结果	经认证的结果
GND ₂	±15 kV (气隙放电)，±8 kV (接触放电)，4级保护	是
GND ₁	承受±8 kV (气隙放电)，±9 kV (接触放电)	是

图4所示为IEC 61000-4-2标准中的8 kV接触放电电流波形与人体模型 (HBM) ESD 8 kV波形的对比。从图4中可以看出，两个标准规定的波形形状和峰值电流差异很大。与IEC 61000-4-2 8 kV脉冲关联的峰值电流为30 A，相应的HBM ESD峰值电流要小5倍多，为5.33A。另一差异为初始电压尖峰的上升时间，对于IEC 61000-4-2 ESD，上升时间为1 ns，相较于与HBM ESD波形关联的10 ns时间要快得多。与IEC ESD波形关联的功率值显著大于HBM ESD波形的相应值。与规定了多个HBM ESD保护级别的其他RS-485收发器相比，具有IEC 61000-4-2 ESD额定值的ADM2795E更适用于在恶劣环境中工作。

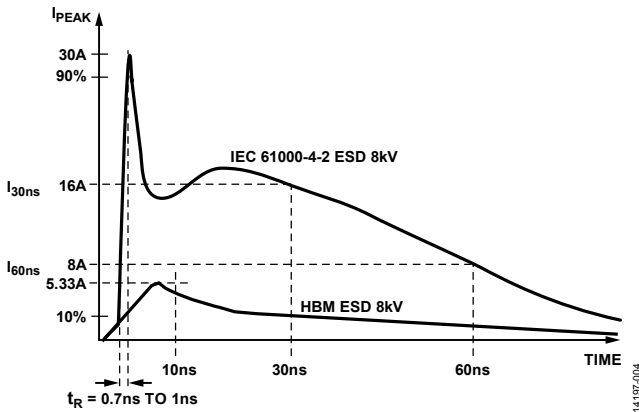


图4. IEC 61000-4-2 ESD 波形 (8 kV) 与HBM ESD 波形 (8 kV) 的对比

电快速瞬变

EFT测试要求将数个极端快速的瞬变脉冲耦合到信号线上，以代表容性耦合到通信端口的外部开关电路的瞬态干扰，

这种干扰可能包括继电器和开关触点抖动，以及切换感性或容性负载引起的瞬变，所有这些在工业环境中非常常见。EC 61000-4-4中定义EFT测试尝试模拟因为这些类型的事件产生的干扰。

图5显示EFT 50 Ω负载波形。EFT波形用具有50 Ω输出阻抗的发生器在50 Ω阻抗上产生的电压来描述。输出波形包括一个持续时间为15 ms的5 kHz高电压瞬变脉冲群，其重复间隔为300 ms。另外也可以产生持续时间为750 μs的100 kHz高频脉冲群执行EFT测试。每个脉冲具有5 ns的上升时间和50 ns的持续时间，在波形的上升和下降沿的50%点之间测量。单个EFT脉冲的总能量与ESD脉冲相似。

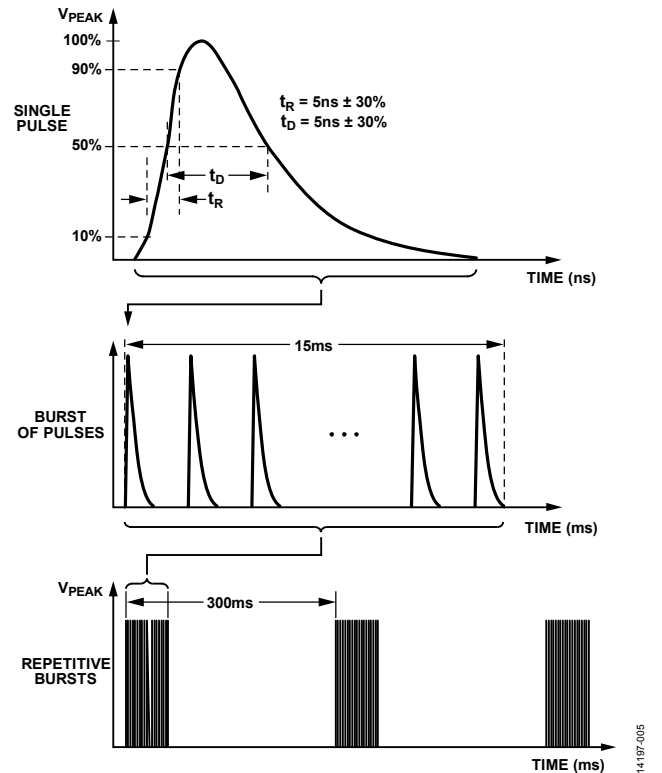


图5. IEC 61000-4-4 EFT 50 Ω负载波形

测试期间，这些EFT快速突发瞬变通过容性箝位器耦合到通信线路，如图6所示。EFT通过箝位器容性耦合到通信线路，而不是直接接触。该箝位器同样降低了EFT发生器的低输出阻抗所引起的负载。箝位器和电缆之间的耦合电容取决于电缆直径、屏蔽和绝缘。EFT箝位器边缘放置在距受测设备 (EUT) EVAL-ADM2795EEBZ评估板50 cm的位置。EFT发生器设置为输出5 kHz或100 kHz重复EFT突波。在5 kHz和100 kHz测试设置下测试EVAL-ADM2795EEBZ。

EFT 箝位器连接至 GND_2 时, EVAL-ADM2795EEBZ 对 IEC 61000-4-4 EFT 瞬变具有鲁棒性, 保护级别达到了标准中认可的最高级别 (4 级), 其定义的电压级别为 ± 2 kV。IEC 61000-4-4 箝位器连接至 GND_1 时, EVAL-ADM2795EEBZ 对 IEC 61000-4-4 EFT 瞬变具有鲁棒性, 承受的电压可达 ± 2 kV。测试在收发器

正常工作时执行, EVAL-ADM2795EEBZ 时钟数据为 2.5 Mbps。无论是否将 RS-485 电缆屏蔽设置为连接至 GND_2 , 表 2 中所示的结果均有效。EVAL-ADM2795EEBZ 可承受高达 ± 2 kV 的 IEC 61000-4-4 EFT 而不损坏。表 2 和表 4 总结了经认证的测试结果。

表 2. IEC 61000-4-4 认证测试结果

EFT 箝位器连接	IEC 61000-4-4 测试结果	经认证的结果
GND_2	± 2 kV 4 级保护	是
GND_1	承受 ± 2 kV	是

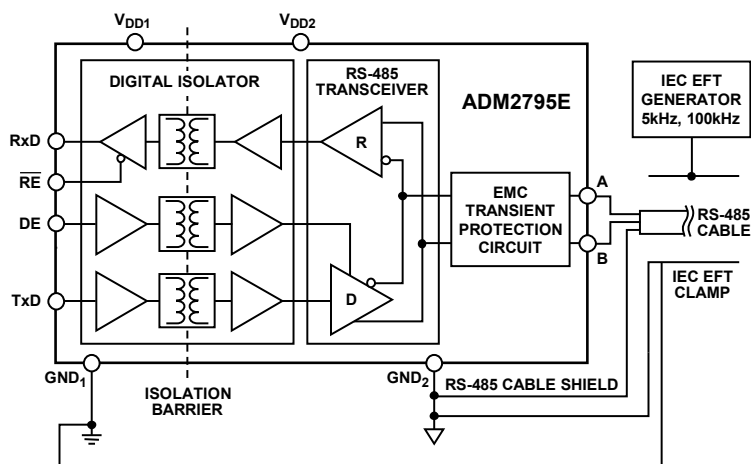


图 6. 针对 GND_1 或 GND_2 的 IEC 61000-4-4 EFT 测试

浪涌

浪涌瞬变由开关或雷电瞬变产生的过压引起。开关瞬变的原因可以是电源系统切换、电源分配系统的负载变化或短路等各种系统故障。雷电瞬变的原因可以是附近的雷击将高电流和电压注入电路中。IEC 61000-4-5定义了用于评估对这些破坏性浪涌的抗扰度的波形、测试方法和测试级别。波形规定为开路电压和短路电流形式的波形发生器输出。RS-485端口主要使用1.2/50 μs波形，本部分将予以介绍。波形发生器的有效输出阻抗为2 Ω，因此浪涌瞬变相关的电流非常高。

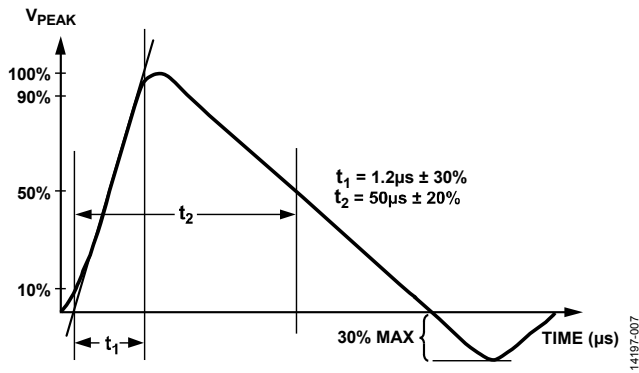


图7. IEC 61000-4-5浪涌1.2 μs/50 μs波形

图7所示为1.2 μs和50 μs浪涌瞬变波形。ESD和EFT拥有类似的上升时间、脉冲宽度和能量级别，但浪涌脉冲的上升时间为1.25 μs，脉冲宽度为50 μs。

表3. IEC 61000-4-5认证测试结果

浪涌发生器连接	IEC 61000-4-5测试结果	经认证的结果
GND ₂	±4 kV 4级保护	是
GND ₁	承受±4 kV	是

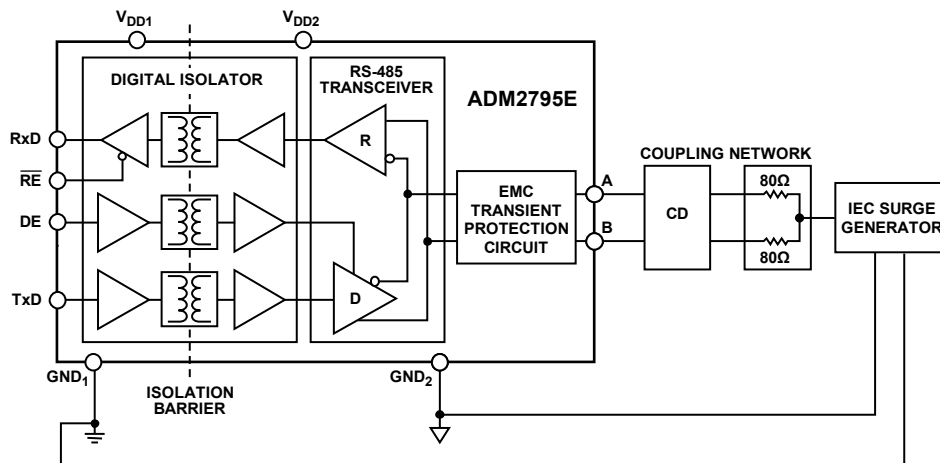


图8. 针对GND₁或GND₂的IEC 61000-4-5浪涌测试

此外，浪涌脉冲能量比ESD或EFT脉冲的能量高出三到四个数量级。因此，浪涌瞬变被认为是最严重的EMC瞬变。

IEC 61000-4-5浪涌测试涉及使用耦合/去耦网络 (CDN)，以便将浪涌瞬变耦合至RS-485 A和B总线引脚。半双工RS-485器件的耦合网络包含A和B线路上的80 Ω电阻以及耦合器件。电阻并联总和为40 Ω。耦合器件可以是电容、气体放电器、箝位器件或可使EUT在应用测试期间正确工作的任何方法。浪涌测试期间，将5个正脉冲和5个负脉冲施加于数据端口，各脉冲间隔最长时间为1分钟。标准要求器件在测试期间必须设置为正常工作状态。图8显示浪涌测试的测试设置。测试在收发器正常工作时执行，ADM2795E时钟数据为2.5 Mbps。

IEC浪涌发生器连接至GND₂时，ADM2795E对IEC 61000-4-5事件具有鲁棒性，保护级别达到了标准中认可的最高级别 (4级)，其定义的峰值电压为±4 kV。

IEC浪涌发生器连接至GND₁时，ADM2795E对IEC 61000-4-5事件具有鲁棒性，承受的浪涌电压可达4.0 kV。ADM2795E可承受高达4.0 kV的IEC 61000-4-5浪涌电压而不损坏，且数据传输中无位错误。针对GND₁的测试验证了ADM2795E隔离栅的鲁棒性。表3和表4总结了经认证的测试结果。

表4所示为达到了所述IEC系统级EMC标准的ADM2795E性能和分类。

性能与各个分类的对应如下所示：

- A类：正常工作
- B类：性能暂时丧失（位错误）
- C类：系统需要复位
- D类：功能永久丧失

表4. ADM2795E的EMC认证系统级分类汇总

测试	接地	分类	最高有效水平
IEC 61000-4-5浪涌	GND ₁	A类	±4 kV
	GND ₂	B类	±4 kV
IEC 61000-4-4电快速瞬变	GND ₁	B类	±2 kV
	GND ₂	B类	±2 kV
IEC 61000-4-2静电放电	GND ₁	B类	±8 kV（气隙放电），±9 kV（接触放电）
	GND ₂	B类	±15 kV（气隙放电），±8 kV（接触放电）
IEC 61000-4-6传导射频抗扰度	GND ₁	A类	10 V/m rms
	GND ₂	A类	10 V/m rms
IEC 61000-4-3辐射射频抗扰度	GND ₂	A类	30 V/m
IEC 61000-4-8磁场抗扰度	GND ₂	A类	100 A/m

IEC 传导、辐射和磁场抗扰度

IEC 61000-4-6传导射频抗扰度

IEC 61000-4-6传导抗扰度测试适用于在存在射频场的环境中工作或连接至主电源或其他网络（信号或控制线路）的产品。传导干扰源为来自射频发射器的电磁场，可作用于连接至已安装设备的整个电缆。

在IEC 61000-4-6测试中，射频电压从150 kHz阶跃至80 MHz或100 MHz。射频电压由1 kHz正弦波进行80%的幅度调制（AM）。针对3级（10 V的最高测试级别）测试第一个EVAL-ADM2795EEBZ评估板。对于IEC 61000-4-6测试，使用表5中详述的箝位器施加应力信号。箝位器放置在两个ADM2795E收发器之间的通信电缆上。对于所有测试，设备和EUT设置均为表5和图9中所述的设置。

表6所示为EUT通过了IEC 61000-4-6 3级的测试结果。对于所有测试，IEC 61000-4-6箝位器均放置在EUT (EVAL-ADM2795EEBZ) 上，电缆屏蔽浮空或接地。第二个EVAL-ADM2795EEBZ（辅助设备）放置在网络上以端接通信总线。IEC 61000-4-6发生器箝位器连接至EVAL-ADM2795EEBZ EUT的GND₁或GND₂以为IEC 61000-4-6瞬变电流提供返回电流通路。

已测试且认证ADM2795E评估板通过了IEC 61000-4-6传导辐射抗扰度测试3级（10 V/m rms，采用表6中所述的多种配置）。

表5. IEC 61000-4-6 EUT和设备

参数	详细说明
IEC 61000-4-6箝位器	Schaffner KEMZ 801，放置在距EUT 30 cm的位置
IEC 61000-4-6测试级别	3级，0.15 MHz至80 MHz，10 V/m rms，由1 kHz正弦波进行80%的幅度调制
EUT	EVAL-ADM2795EEBZ
EUT数据速率	2.5 Mbps
EUT电源	V _{DD1} 和V _{DD2} 上的9 V电池，在EUT上调节至5 V
EUT之间的电缆	5 m，Unitronic Profibus，22美国线规（AWG）
电缆端接	两个电缆末端的120 Ω电阻
通过/失败标准	通过：接收器中的数据脉宽失真在均值的10%内

表6. IEC 61000-4-6认证测试结果

相对于EUT的箝位器位置 (cm)	电缆屏蔽	电流通回路	IEC 61000-4-6测试频率 (MHz)	经认证的结果
30	浮空	GND ₁	0.15至80	通
30	接地	GND ₁	0.15至80	通
30	浮空	GND ₂	0.15至80	通
30	接地	GND ₂	0.15至80	通

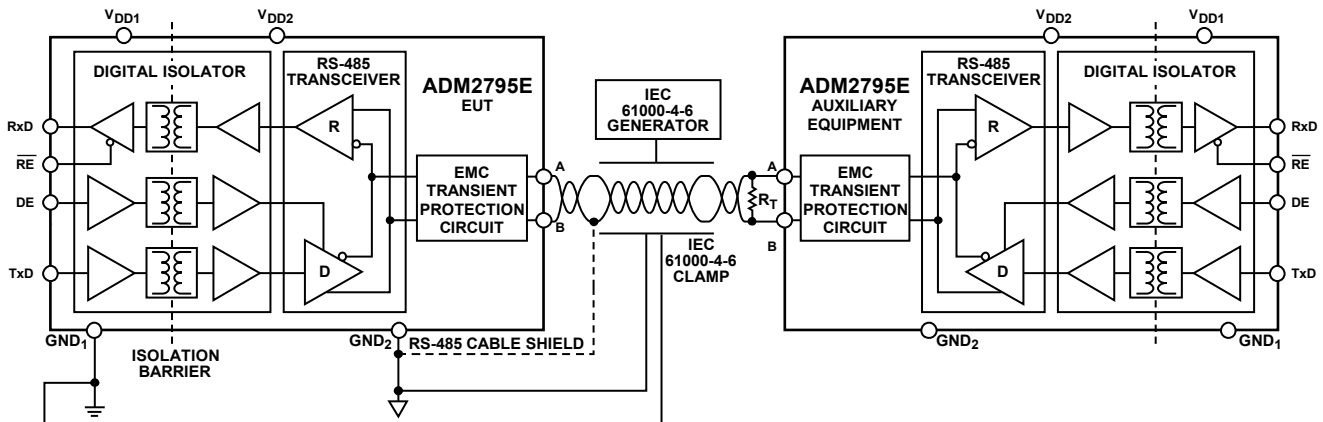


图9. 针对GND₁或GND₂的IEC 61000-4-6传导辐射抗扰度示例测试设置测试

IEC 61000-4-3辐射射频抗扰度

针对IEC 61000-4-3的测试可确保电子设备对常发生的辐射射频场具有抗扰性。在工业应用中，发出常发生的意外射频的一些设备包括电动机和电焊机。

在IEC 61000-4-3测试中，由屏蔽消声室中的天线使用预校准场（扫频从80 MHz至2.7 GHz）生成辐射射频场。射频电压在1 kHz下进行80%的幅度调制。EUT的各个面均经受垂直和水平极化。

图10所示为EVAL-ADM2795EEBZ的测试设置，EUT放置在电波暗室中，通过两块9 V电池供电。EVAL-ADM2795EEBZ板上调节器用于为 V_{DD1} 和 V_{DD2} 提供5.0 V电压。测试期间，EVAL-ADM2795EEBZ载有120 Ω 的端接电阻。模式发生器为ADM2795E TxD引脚提供2.5 Mbps的数据输入。ADM2795E接收器输出（RxD）通过示波器进行监控。

选择的通过标准为在存在IEC 61000-4-3辐射射频场时，RxD信号的位宽变化小于10%。

已测试且认证EVAL-ADM2795EEBZ评估板通过了IEC 61000-4-3辐射射频抗扰度测试4级（30 V/m）。4级为IEC 61000-4-3标准中的最高级别。

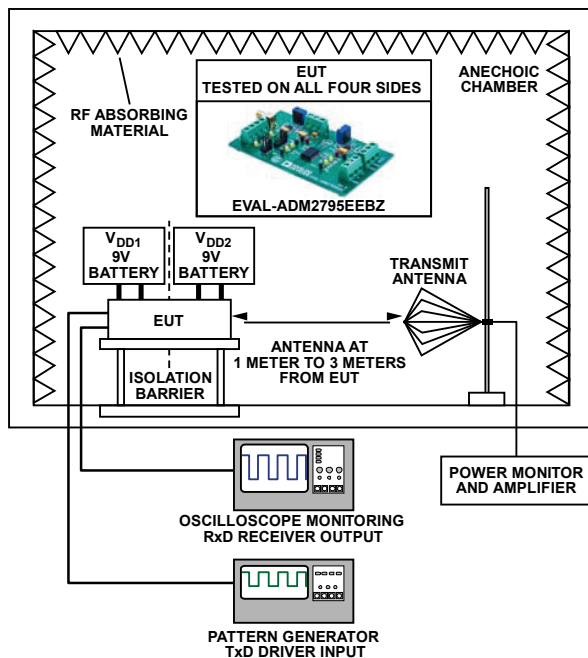


图10. IEC 61000-4-3辐射抗扰度测试

IEC 61000-4-8磁场抗扰度

针对IEC 61000-4-8的测试可确保电子设备对常发生的磁场具有抗扰性。典型工业通信应用中的磁场源为接近设备的电源线电流或50 Hz或60 Hz变压器。

在IEC 61000-4-8测试中，通过测试电流发生器驱动大型线圈（感应线圈）产生定义磁场强度的受控磁场。EUT放置在感应线圈中心，使其经受磁场。

图11所示为EVAL-ADM2795EEBZ的测试设置，EUT放置在电波暗室中，通过两块9 V电池供电。EVAL-ADM2795EEBZ板上调节器用于为 V_{DD1} 和 V_{DD2} 提供5.0 V电压。测试期间，EVAL-ADM2795EEBZ载有120 Ω 的端接电阻。模式发生器为ADM2795E TxD引脚提供2.5 Mbps的数据输入。ADM2795E接收器输出（RxD）通过示波器进行监控。选择的通过标准为在存在IEC 61000-4-8磁场时，RxD信号的位宽变化小于10%。

已测试且认证EVAL-ADM2795EEBZ评估板通过了IEC 61000-4-8磁场抗扰度测试5级（100 A/m）。5级为IEC 61000-4-8标准中规定的最高级别。

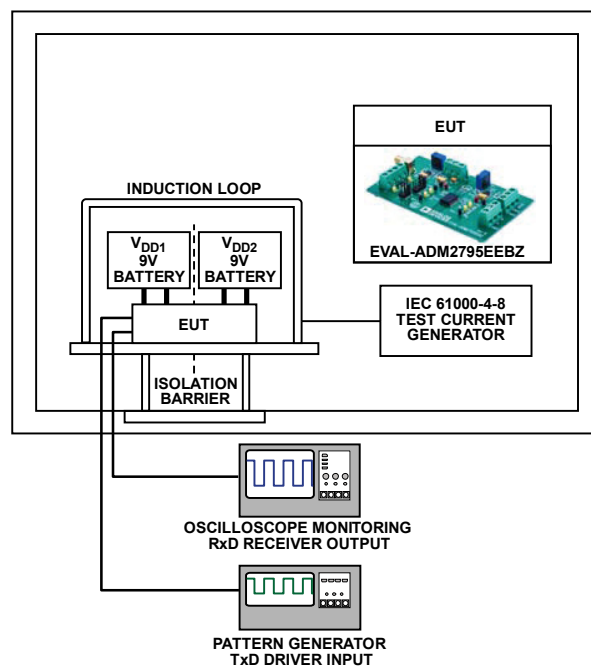


图11. IEC 61000-4-8磁场抗扰度测试

14197-010

14197-011

过压故障保护

ADM2795E是首款在3 V至5.5 V的V_{CC}工作范围内提供故障保护的RS-485收发器，且无需仔细检查RS-485收发器的逻辑引脚状态（TxD输入、DE和RE）。收发器在±25 V的整个扩展共模工作范围内也受故障保护。

ADM2795E RS-485驱动器输出和接收器输入受-42 V至+42 V AC/DC峰值范围内的任何电压的短路保护。故障状态中的最大电流为±250 mA。RS-485驱动器包括折返限流电路，该电路可减小电压超出收发器的±25 V共模范围限制时的驱动器电流。折返特性引起的这一电流减少可实现更好的功耗和热效应管理。

±42 V接线错误保护

ADM2795E在未安装RS-485端接或总线偏置电阻的总线上运行时将受到高压接线错误事件保护。典型的接线错误事件为高压24 V AC/DC电源直接连接至RS-485总线引脚连接器。ADM2795E可在RS-485总线引脚上承受相对于GND₂峰值高达±42 V的接线错误故障而不损坏。在ADM2795E RS-485 A和B总线引脚上确保接线错误保护，且在连接器和总线引脚进行热插拔时确保该保护。表7和表8总结了ADM2795E提供的高压接线错误保护。通过±42 V DC和±24 V ± 20% rms（50 Hz或60 Hz），采用热插拔和DC斜坡测试波形测试ADM2795E。在电源供电和不供电的情况下执行测试，RS-485 TxD输入、DE和RE使能引脚采用多种不同的状态。RS-485总线引脚可承受引脚A到地、引脚B到地以及引脚A和引脚B之间的高压接线错误。

表7. 接线错误保护表缩略语

字母	说明
H	逻辑引脚高电平
L	逻辑引脚低电平
X	电源通电或断电状态

表8. 高压接线错误保护

电源		输入			RS-485输出引脚 ^{1,2} 的接线错误保护
V _{DD1}	V _{DD2}	DE	RE	TxD	
X	X	H/L	H/L	H/L	-42 V dc ≤ V _A ≤ +42 V dc
X	X	H/L	H/L	H/L	-42 V dc ≤ V _B ≤ +42 V dc
X	X	H/L	H/L	H/L	-42 V ac ≤ V _A ≤ +42 V ac
X	X	H/L	H/L	H/L	-42 V ac ≤ V _B ≤ +42 V ac

¹ 这是引脚A和GND₂、引脚B和GND₂或引脚A和引脚B之间的AC/DC接线错误峰值电压。

² V_A指引脚A上的电压，V_B指引脚B上的电压。

RS-485网络偏置和端接

对于安装了偏置和端接电阻的RS-485 A和B总线引脚上的高压接线错误，偏置网络到ADM2795E电源V_{DD2}引脚之间具有电流路径。为了在这种情况下保护ADM2795E，器件配有集成V_{DD2}保护电路。

ADM2795E为一款具有故障保护的RS-485器件，同时也为其电源引脚提供保护。该故障保护意味着通过R₁上拉电阻的电流路径不会对V_{DD2}引脚造成损坏，但如果采用适当的额定功率，上拉电阻本身可能损坏（见图12）。R₁上拉电阻功率额定值取决于接线错误电压和电阻值。

如果图12的总线设置中A和B引脚之间存在接线错误，则ADM2795E会受保护，但如果采用适当的额定功率，则R_T总线端接电阻可能损坏。R_T端接电阻功率额定值取决于接线错误电压和电阻值。

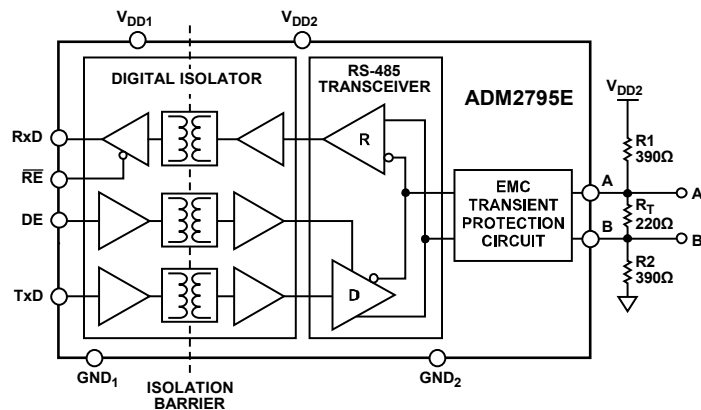


图12. 具有总线端接和偏置电阻的ADM2795E的高压接线错误保护

注释