AN90039

用于汽车以太网应用的ESD保护器件（100Base-T1、1000Base-T1）

版本1.1——2023年2月21日 应用笔记

文档信息

信息	内容
关键字	汽车、以太网、100BASE-T1、1000BASE-T1、ESD
摘要	本应用笔记介绍适用于100BASE-T1和1000BASE-T1的现代半导体ESD保护器件的特性。ESD保护器件的作用是实现稳健的系统，使系统能够承受破坏性的ESD事件并提供更高的EMC性能。本文提供了使用共模扼流圈(CMC)来增强这种耐受性的建议。

1. 引言

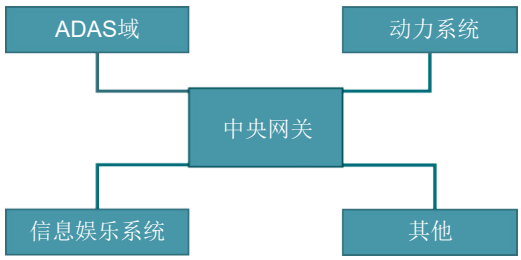
目前有几种以太网解决方案在工业和商业应用中非常流行，但几十年来，并没有在汽车领域得到广泛采用。到2016年，汽车行业中共推出了100BASE-T1和1000BASE-T1两个标准。另外两个标准10BASE-T1S和MGB-T1（千兆级）正在开发中。100BASE-T1和1000BASE-T1由电气与电子工程师协会(IEEE)发布，并包含在IEEE 802.3bw和IEEE 802.3bp中。虽然这两个标准基于工业和商业以太网应用，但针对一些特定的汽车要求进行了修订，这类要求主要与电磁兼容性(EMC)有关[1]。这些修订由开放技术联盟委员会完成。

汽车以太网可实现快速稳定的数据通信，能够为多个电子控制单元(ECU)总线拓扑赋予灵活性，非常有望满足未来的实时数据共享、带宽和稳定工作需求。这些特性有助于加速汽车网络架构从域架构向区域架构的演进。汽车以太网可以与其他几种协议配对使用，例如音频和视频(AVB)，因此，更有机会在ADAS、X-Domain和其他复杂系统中使用。

本应用笔记将介绍适用于100BASE-T1和1000BASE-T1的现代半导体ESD保护器件的特性。本文将展示ESD保护器件如何在电路中发挥协同作用，从而让系统能够耐受破坏性的ESD事件并具有更出色的EMC性能。此外，本文还将针对使用共模扼流圈(CMC)来增强这种耐受性提供建议。

2. 100BASE-T1和1000BASE-T1的拓扑结构

汽车以太网用法灵活，并能显著提高数据速率（与传统的CAN HS/FD相比），因此能够桥接各种复杂的通信域，如图1所示。这一特性进一步强化汽车以太网在未来车载数据通信架构中的作用，而在未来，ADAS、信息娱乐系统和动力系统等关键应用将在汽车领域内显著增长。



所有域都将主要使用汽车以太网应用进行连接。

图1. 现代车辆的典型拓扑结构

对于100/1000BASE-T1，使用非屏蔽双绞线。

图2. 使用汽车以太网连接两个ECU的典型配置

ECU通常使用非屏蔽双绞线(UTP)相互连接，就像在CAN或FlexRay应用中一样（图2）。这种做法有一些好处，例如使用简单、成本低。但是，应该考虑到非屏蔽电缆可能会出现电磁噪声耦合方面的问题。在真实的汽车线束中，不同的电缆会组合成一束电缆，因此它们之间存在一定的干扰风险。具体而言，在典型总线拓扑的UTP内，感应电气噪声可达到100 V，这已经得到几个测试中心的证实。在这种情况下，ESD保护器件不能触发，以避免发生通信故障和链路丢失。这就提出了一项新的要求，即ESD保护器件的触发电压要高于100 V。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

开放技术联盟推荐了一个包含电子元件的原理图，如图3所示。

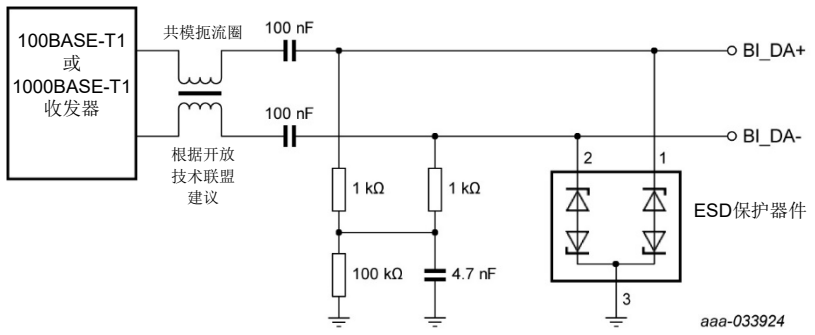
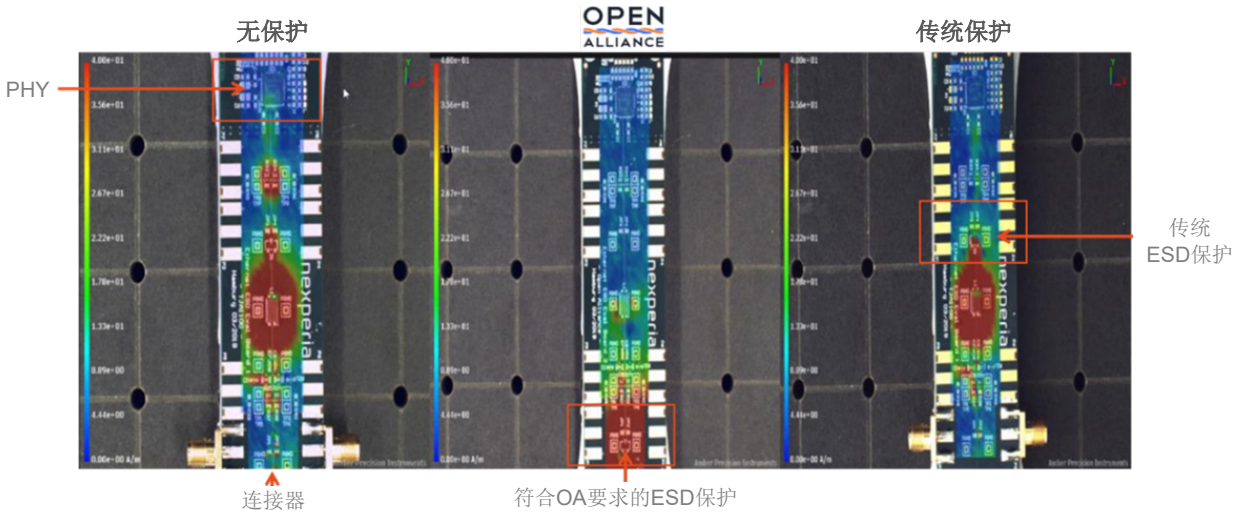


图3. 100/1000Base-T1接口

左侧的收发器模块包含物理层接口(PHY)以及一些基本的滤波元件和片上ESD保护。下一个必须具有的模块是带有共模终端的共模扼流圈(CMC)，用于减少不需要的共模，从而减少EMI。ESD器件位于连接器附近，它可以在一个封装（如SOT23）中包含两个ESD保护二极管，或者在DFN1006BD封装中为每条单独的线路包含两个ESD二极管。在其他类似的原理图中，ESD保护器件放在CMC和PHY之间。

注：强烈建议将ESD保护器件直接置于连接器上。在此位置，ESD电流会被钳位至GND，因此不会影响PCB、以太网PHY或其他元件，如图4所示。此外，根据100/1000MBase-T1规范的要求，触发电压超过100 V的ESD保护器件置于连接器上、CMC前面时，可以发挥更显著的保护作用。

100BASE-T1和1000BASE-T1之间的主要区别在于带宽（分别为66 Mbps和750 Mbps）。因此，它们对信号完整性(SI)有一些不同的要求，具体会体现在一些电路的选择上。相较于1000BASE-T1，在100BASE-T1中，ESD保护器件的器件电容可以略高一些。此外，CMC应遵循开放技术联盟(OA)关于100BASE-T1、1000BASE-T1和千兆级应用的规定。本应用笔记后面将提供更多相关信息。



红色突出显示高电流密度。对于OA方法，使ESD器件靠近连接器可在PHY位置提供最低的电流密度，这样整个电路可为系统提供最佳ESD性能。

图4. ESD事件期间以太网电路的场扫描图

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

3. 用于100BASE-T1和1000BASE-T1的ESD保护器件

由于100BASE-T1和1000BASE-T1拓扑结构和电路几乎相同，因此它们对所用ESD保护器件的要求非常相似。ESD器件必须遵循ESD保护器件的OA规范（汽车以太网规范(opensig.org)）。以下是一些主要要求：

- 双向
- 在1000个15 kV ESD脉冲后性能没有下降(IEC61000-2-4)
- 触发电压 > 100 V
- V_{DC} > 24 V（电池短路）

此外，我们通过一组测量对ESD保护器件的合规性进行了测试：

表1. ESD保护器件合规性测量

测试	目的
散射参数	验证信号完整性
ESD损坏	验证ESD事件后的信号完整性
ESD放电电流	ESD事件期间流入PHY的残余ESD电流评估
射频钳位	验证耐受性

在上述测量中，我们对100BASE-T1和1000BASE-T1使用相同的设置，但是“通过”和“未通过”条件定义存在略有不同的限制，尤其是带宽差异等原因引起的散射参数。具体限制参见相应规范的附录。

3.1. 散射参数

散射参数测量的理念是在频域中观察ESD保护器件的SI行为，即插入损耗(IL)、回波损耗(RL)和共模抑制比(CMRR)。作为混合模式散射参数矩阵中的矩阵元素，这些参数分别称为S_{dd21}、S_{dd11}和S_{dc21}。索引“dd”指的是差分，“dc”指的是差模共模。

- **IL**是指ESD保护器件随频率传输的信号部分。传输的信号越多越好。简而言之，IL表示通过ESD器件传输的信号量。可以将其看作是一个以阻抗为重点的传递函数。“通过”条件是保持在规范中定义的限制之上。
- **RL**表示ESD保护器件随频率变化而反射的信号部分。反射的信号越少越好。标准化委员会也对此定义了限制。“通过”条件是保持在限制以下。
- **CMRR**表示随频率变化从差模转换为共模的信号部分。这种模式转换是由网络中的不对称引起的，在差分信号中应尽量减少。

图5显示了一些散射参数示例。100BASE-T1和1000BASE-T1的数据速率和带宽决定了二者的所有散射参数限制都不相同。

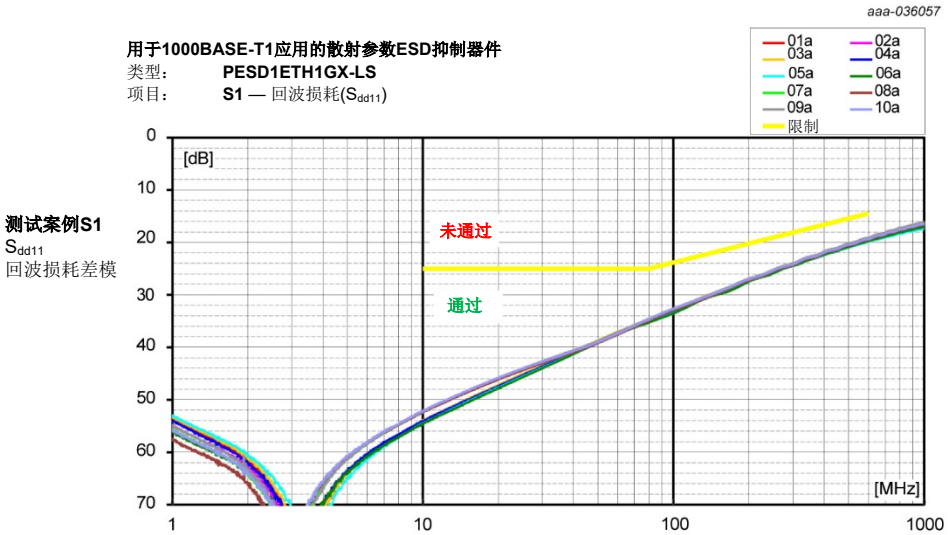
有关散射参数的更多一般信息，请访问Nexperia YouTube频道Nexperia - YouTube。

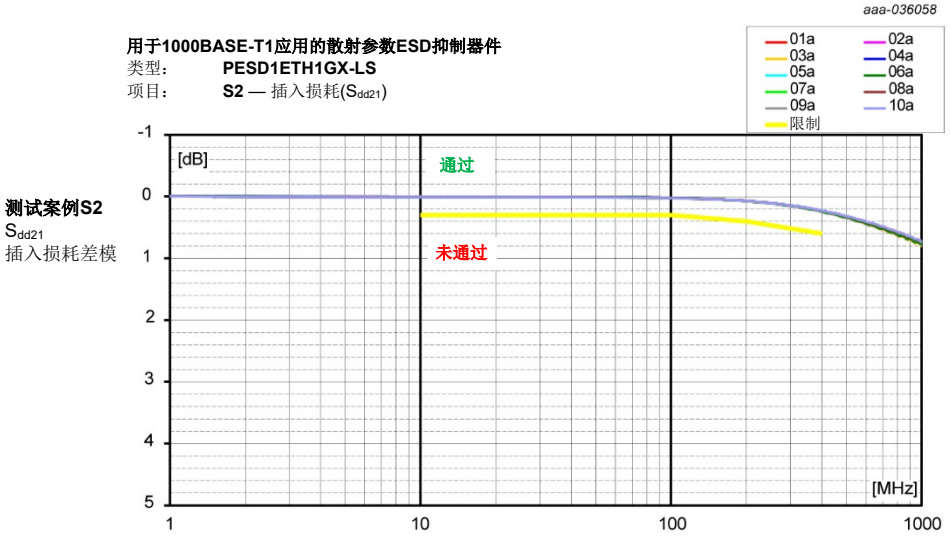
对于开放技术联盟以太网，规范（汽车以太网规范(opensig.org)）中定义了特殊限制。

扫描二维码

汽车以太网

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。
©2023 Nexperia B.V.保留所有权利





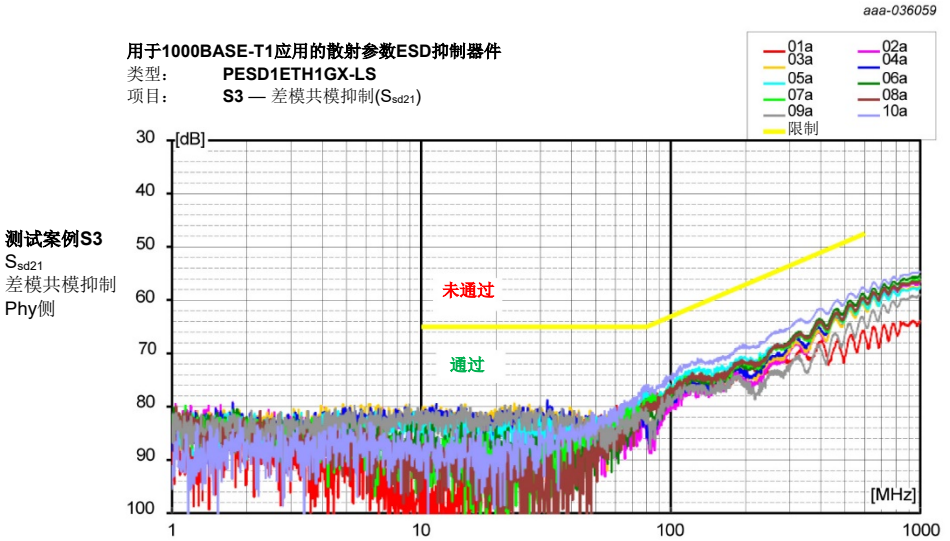


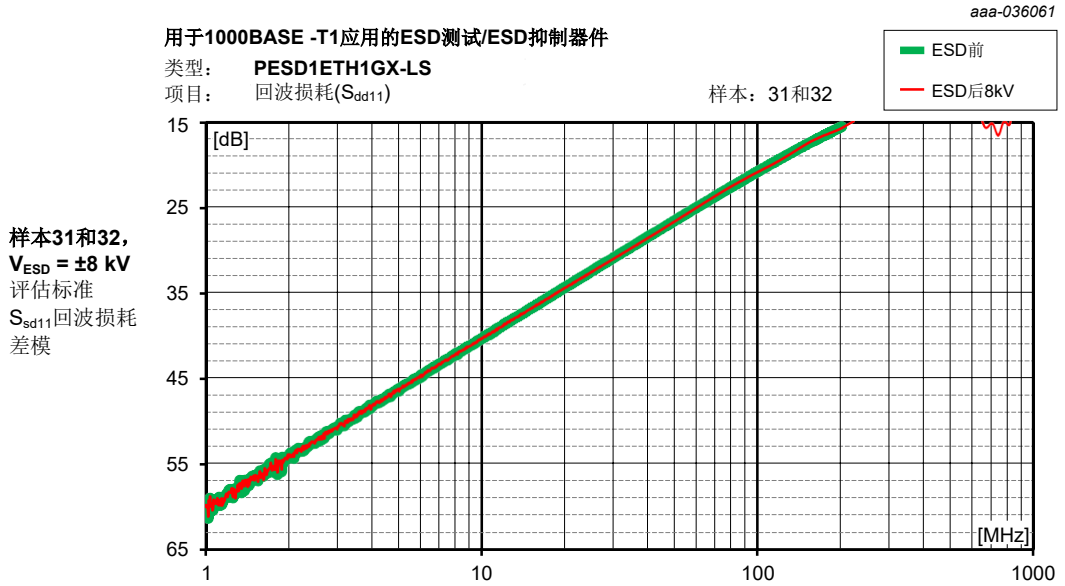
图5. 散射参数测量；来自PESD1ETH1GXLS-Q的测试报告，由Forschungs-und Transferzentrum an der Westsächs. HS Zwickau (FTZ)测量。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

3.2. ESD损坏：ESD事件后测试信号完整性

该测试的重点是评估ESD对SI的影响。因此，基本上测量的散射参数与前文相同，但测量是在8 kV和15 kV条件下，在每个极性20个脉冲前后完成的。目标规范是，在ESD应力脉冲后，ESD器件在1 MHz至200 MHz的频率范围内的偏差不允许超过1 dB。图6显示其中一个ESD器件的S_{dd11}结果。



未观察到偏差。

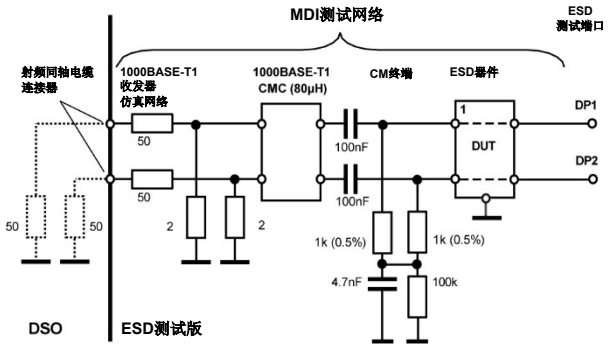
图6. S_{dd11} 8 kV ESD脉冲前后

3.3. ESD放电电流测量

在ESD事件期间，ESD保护器件将大部分ESD脉冲钳位到地。然而，在实际应用中，总有一部分脉冲会越过ESD保护进入PHY。该残余电流是评估ESD器件保护能力的重要参数。对于开放技术联盟以太网100/1000Base-T1，该残余电流是使用标准化设置测量的。设置参见图7。包括CMC和ESD保护在内的整个电路都包含在该设置中。PHY的特性用一个2 Ω电阻器进行了简化。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

ESD耦合：	符合ISO 10605的直接放电法 (C = 150 pF, R = 330 Ω)
测试电路：	 CMC类型： ESD饱和等级II： 不可用 ESD饱和等级I： muRata DLW32MH101XT2
ESD测试电压：	±3 kV、±5 kV、±6 kV、±7 kV、±15 kV
评估标准：	测得的ESD放电电流形状

该电路表示完整的以太网电路，如图1所示。PHY替换为一个2 Ω的电阻器。

图7. PESD1ETH1GLS-Q测试报告中ESD放电电流测量的测量设置

两个极性的测量都在最高15 kV的电压下进行的。“通过”条件限制来自于2 kV和4 kV人体模型(HBM)。图8显示了15 kV脉冲的结果，包括来自ESD枪的限制和参考电流。

扫描二维码

JEDEC HBM规范

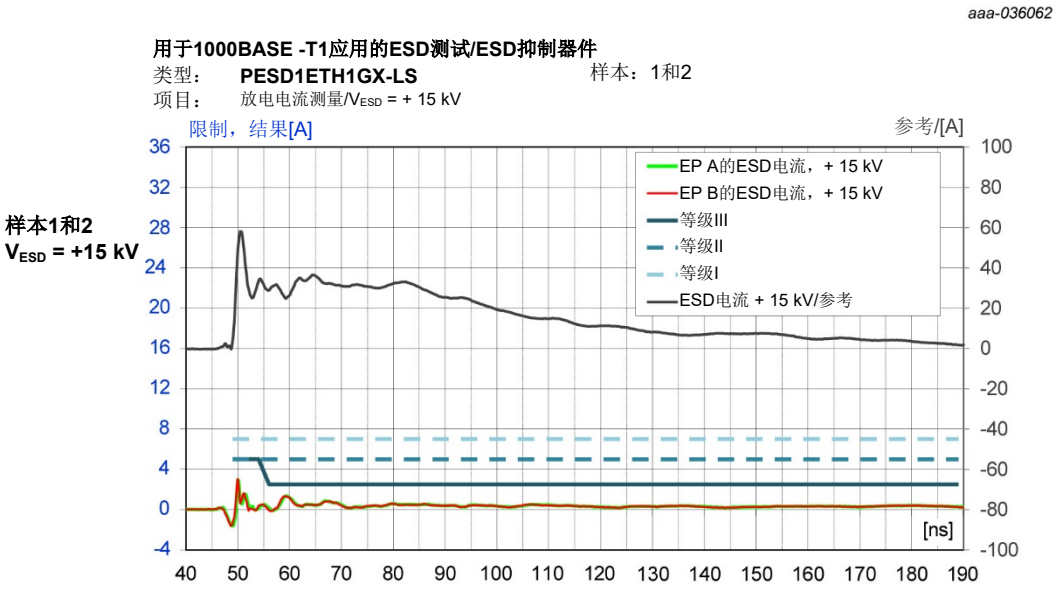


图8. PESD1ETH1GLS-Q在15 kV时的ESD放电电流

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

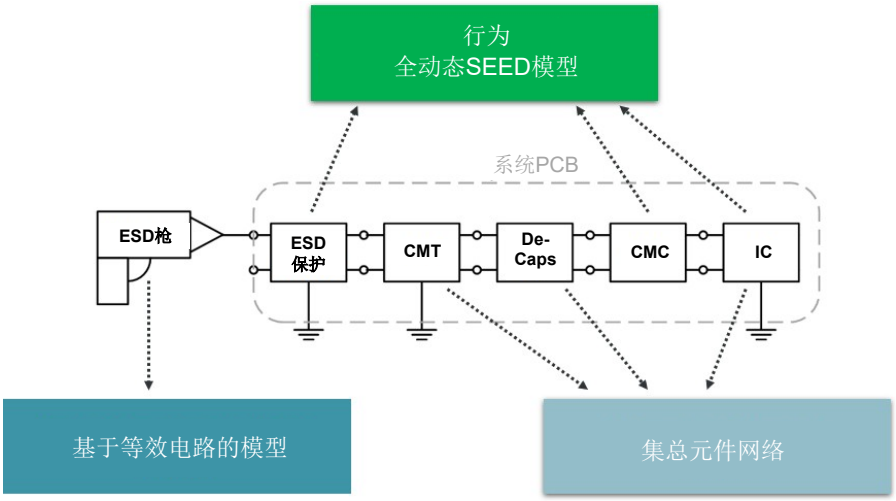
©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

3.4. SEED——ESD放电电流仿真测量

系统ESD性能的系统预测并不简单。独立收发器和无源元件（包括外部ESD保护器件）的ESD耐受性水平不能代表总体系统ESD耐受性水平。

因此，必须仔细考虑所有集成元件之间的交互。这里要特别注意外部ESD保护、CMC以及IC PHY收发器引脚的片上ESD保护特性的合理适配。请注意，这些元件表现出强烈的非线性高电流行为。

系统高效ESD设计(SEED)方法允许仿真整个系统中与ESD相关的瞬态高电压、高电流行为。在这里，需要使用行为模型和等效电路对各个元素进行精确建模。完整的仿真环境还包括ESD脉冲发生器模型。通过这种综合仿真方法，可以预测流经系统不同部分的残余ESD应力电流以及不同系统节点的电压。



全动态SEED模型用于表示ESD保护元件和CMC的行为，共模终端(CMT)和去耦电容(De-Caps)由集总元件网络表示，IC内部ESD保护由2 Ω集总电阻建模，如图10所示。

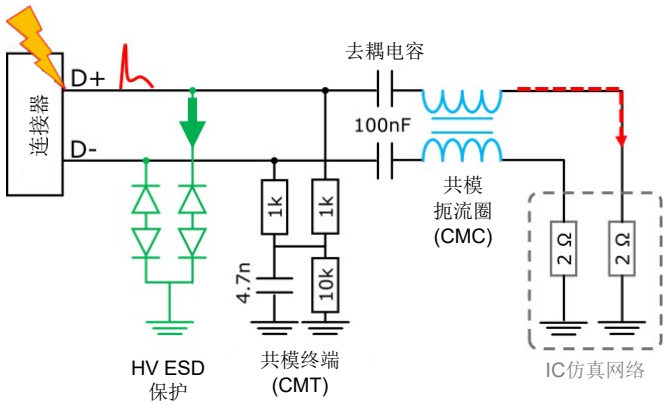
图9. ESD放电电流测量参考电路SEED模型等效电路框图

通过评估IC PHY收发器数据引脚违反关键准静态和动态IV限制的情况，可以确定系统级ESD耐受性。图10显示了系统模型的100/1000BASE-T1电路，以及根据IEC 61000-4-2使用4 kV ESD脉冲对进入IC的残余电流进行系统级测量和仿真的比较。

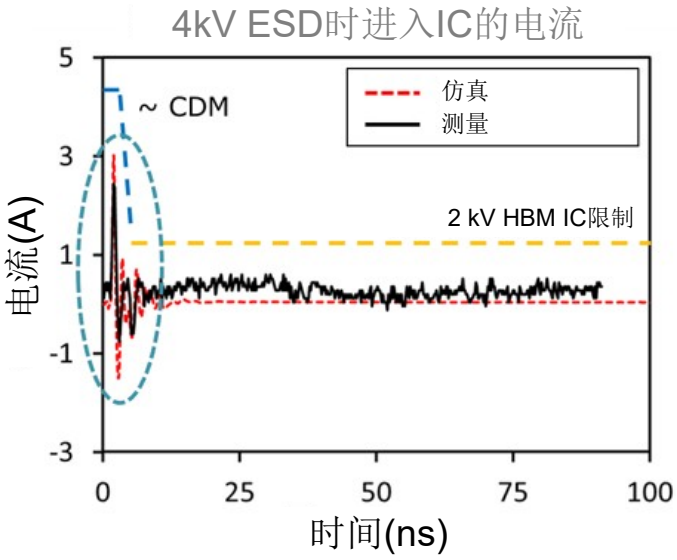
一般而言，测量结果与仿真结果非常吻合。仿真准确捕获了流入IC的电流脉冲的主要特性，相对于IC CDM限制属于过冲，而相对于IC HBM限制属于稳态行为。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利



进入IC的ESD放电电流的系统级仿真设置（由2 Ω电阻网络表示）。



在回弹高压ESD保护器件的保护下，采用L = 200 μH的CMC，测量和仿真4 kV ESD发生器放电到D+数据线路时进入IC的残余电流。

图10. ESD放电的系统级仿真；设置和结果

有关为汽车以太网电路设置瞬态系统级SEED仿真的更多信息，以及有关CMC和ESD发生器上带回弹的高压ESD保护的建模详情，请参阅Nexperia白皮书*《运用SEED设计方法，根据开放技术联盟100BASE-T1规范高效预测ESD放电电流》*[4]以及Nexperia汽车ESD手册[5]。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

4. ESD保护器件的SI和影响

4.1. PCB层叠

汽车应用最常用的是四层或更多层的印刷电路板(PCB)。大规模生产中的大多数应用通常基于标准的FR4 PCB技术。典型PCB层叠及尺寸如图11所示。需要注意的是，这种层叠只是一个例子。PCB还有很多常见的尺寸，它们适用各种用途，因此也很有价值。虽然太网应用很适合使用微带线，但也可以使用带状线。

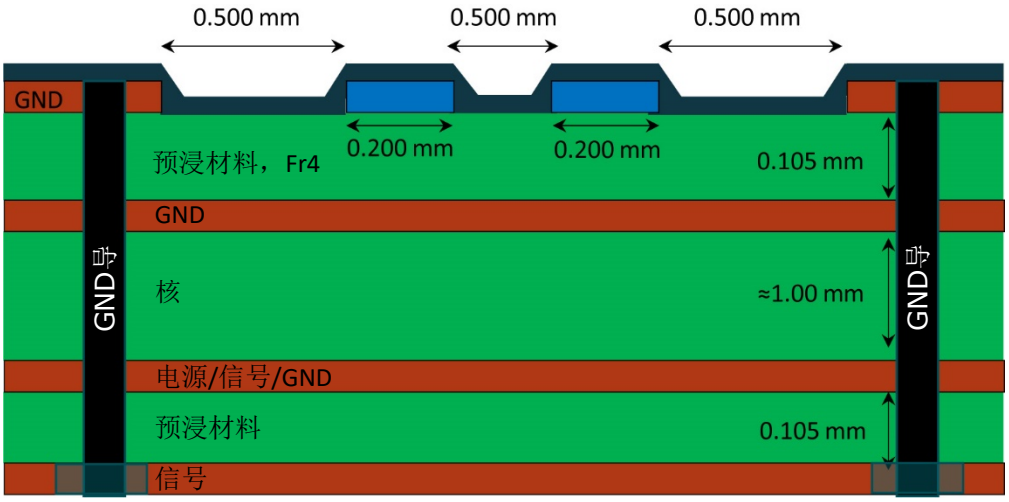


图11. 基于4层PCB铜和FR4的典型层叠和微带线配置示例

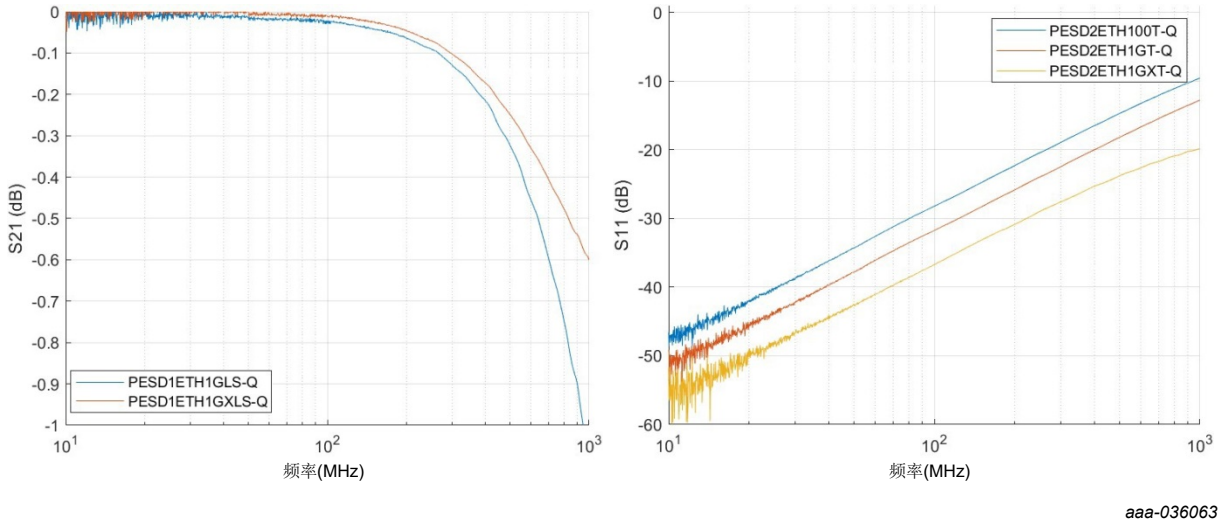
高速应用的重点是将数据走线保持在受控的电磁环境中。因此，应考虑将接地(GND)层放在走线正下方，且没有任何切口和凹槽。同时建议在信号走线旁边增加一个接地层。使用多个导通孔连接到接地层是一个不错的选择。这些措施不仅能改善SI，还可改善EMC，最大限度地减少PCB内的内部干扰。

4.2. 散射参数仿真

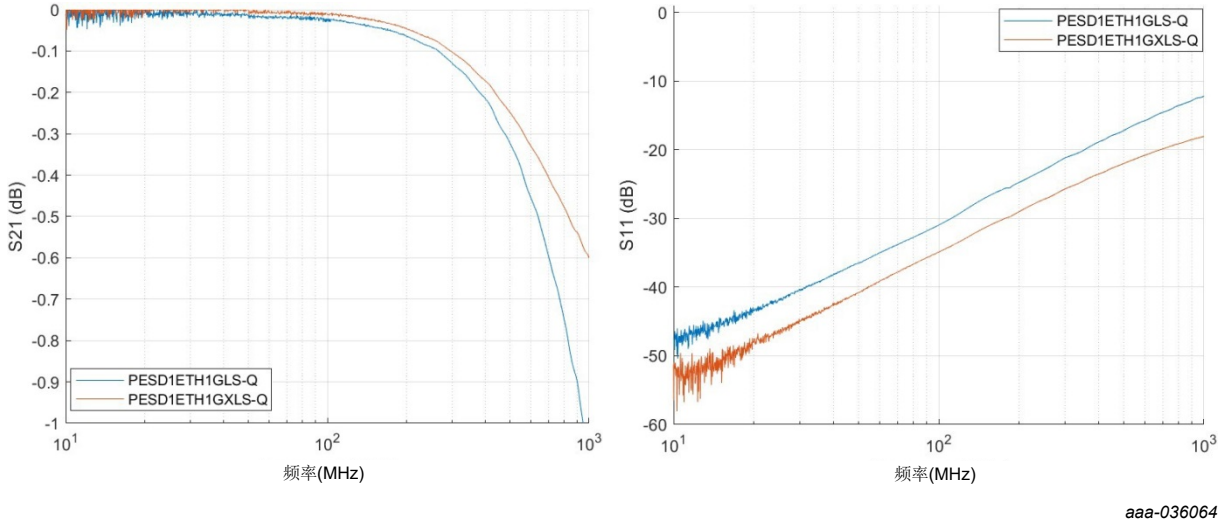
SI是汽车以太网的关键因素之一。即使是100 Mbps和1000 Mbps的数据速率，也需要特别注意数据传输，尤其是在多节点以太网拓扑中。如第3节所述，ESD保护器件的SI通过额外的测量进行衡量。在本部分中，ESD保护器件的散射参数是根据专门的IL、RL和CMRR限制测量的。

Nexperia为100BASE-T1和1000BASE-T1提供两种不同封装的ESD保护器件，分别是成熟的SOT23和无引脚DFN1006BD。所有器件均使用VNA进行测量，散射参数（参见图12）可以应要求以标准格式（.s2p或.s4p）提供。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。
©2023 Nexperia B.V.保留所有权利



SOT23封装的ESD器件



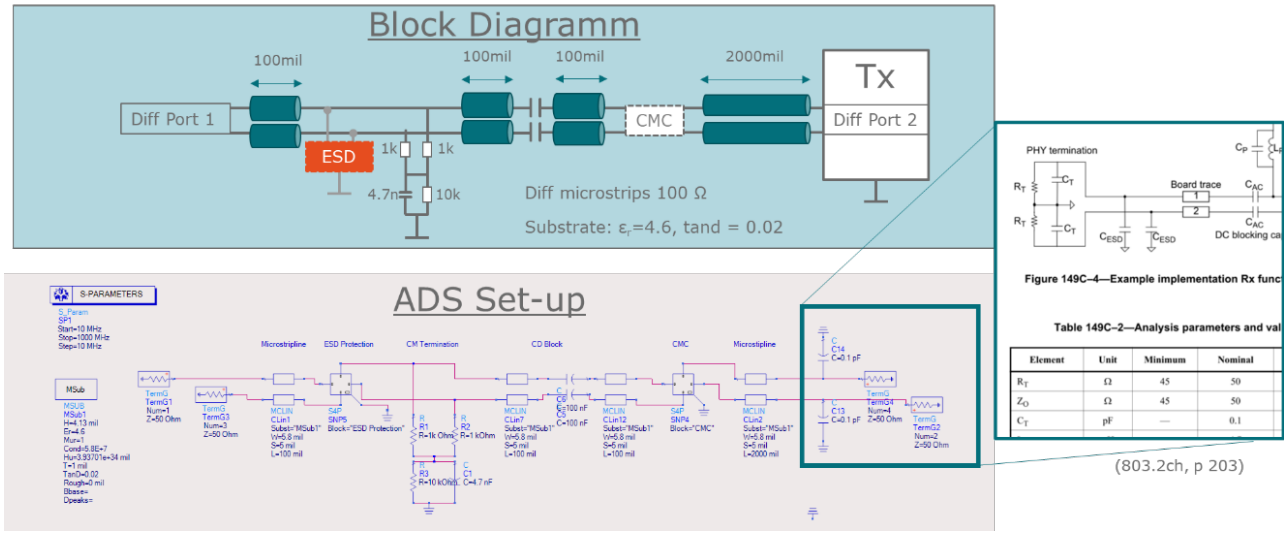
DFN1006BD封装的ESD器件

图12. 散射参数与频率的关系；SOT23和DFN1006BD封装

这些测得的散射参数可进一步用于SI仿真。图13显示了Keysight[3] ADS高级设计系统中使用的框图和仿真设置，其中微带线（≈100 Ω 差分）使用内置模型表示并采用典型的有损FR4 PCB材料。直流模块和端接网络仿真使用的是理想的集总元件。ESD保护器件以及CMC (DLW43MH201XK2L4532)用测得的散射参数表示。按照803.2ch p203中的建议，PHY的影响用50 Ω和0.1 pF的相应终端来代表。

显示的仿真结果包括803.2bp中IR和RL的一些限制。在较高频率下，结果略有差异，这主要是器件之间的电容差异造成的。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。
©2023 Nexperia B.V.保留所有权利



PHY通过并联使用50 Ω和0.1 pF来表示。微带线由内置的ADS模型表示，共模终端和直流模块包括在理想的集总元件中。CMC由散射参数以及ESD保护器件表示。

图13. ADS中用于研究SI的仿真设置

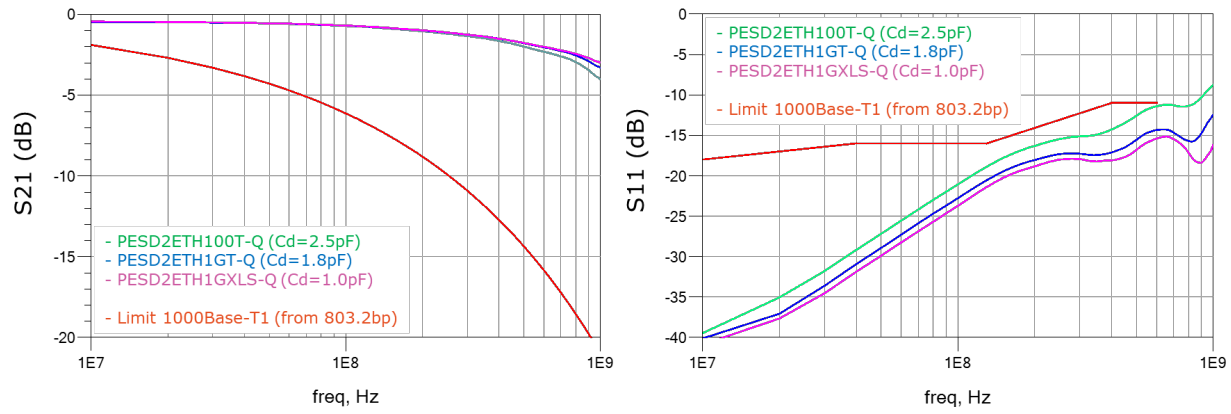


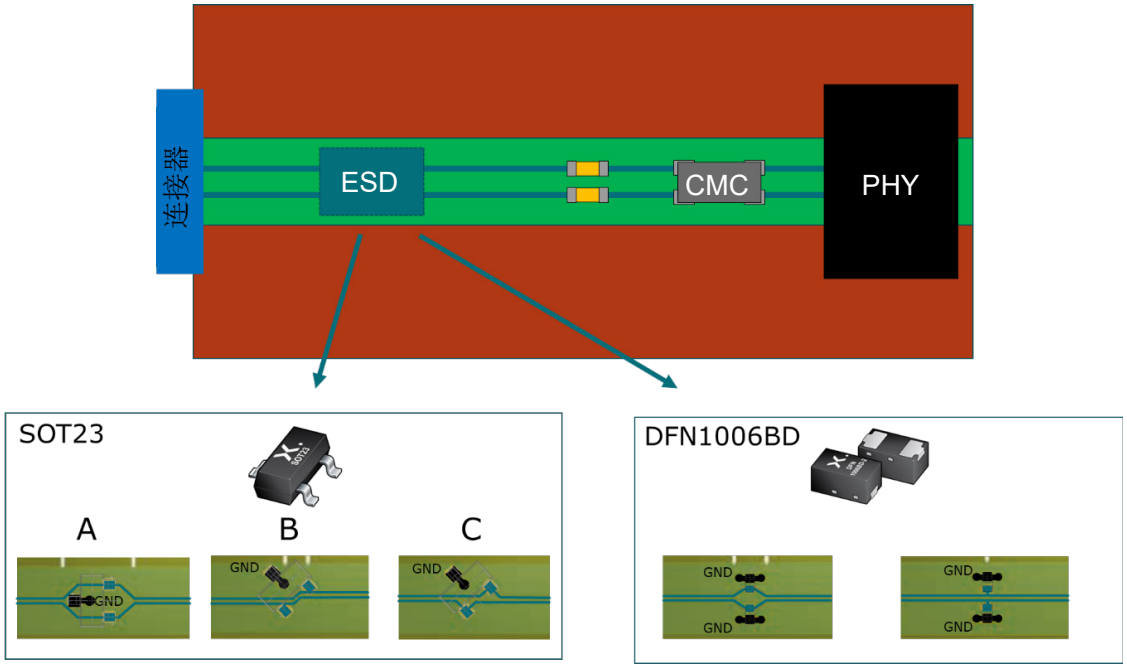
图14. 仿真结果

4.3. ESD保护器件的PCB布线

考虑SI和ESD性能时，ESD保护器件的进出PCB布线非常重要。出于ESD性能考量，将信号线严格布线在焊盘上并避开任何短截线等非常重要。这些短截线本身就有一些寄生电感，会阻碍ESD脉冲进入ESD器件，尤其是较长的短截线。走线的阻抗保持在100 Ω对于SI性能非常重要，这意味着在介电环境中需要仔细调整PCB和走线尺寸，并且在理想情况下两条信号线为一条直线。在实际应用中，由于设计限制，可能需要在最佳SI和ESD性能之间作出取舍。我们研究了适合SOT23和DFN1006BD这两种不同封装的几种选择，具体参见图15。对于SOT23，最佳折中方案是选项C，而对于DFN1006BD则为选项A（见表2）。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利



进出ESD器件的布线非常重要。SOT23和DFN1006BD有不同的选项。下面的表2显示了各自的优缺点。

图15. PCB上以太网网络的布线选项（包括整个电路）

表2. SOT23和DFN1006BD布线选项的评估

	SOT23			DFN1006BD	
布线选项	A	B	C	A	B
SI	↓	↑	↑	↑	↑
ESD	↑	↓	↑	↑	↓

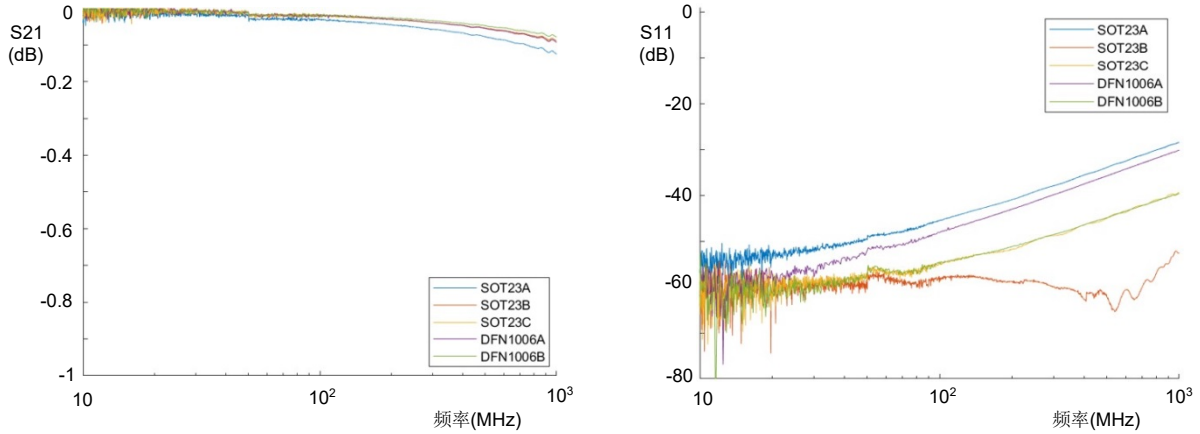


图16. SOT23和DFN1006BD封装的散射参数

从连接器布线到IC时应避免换层，因为会导致SI问题，尤其是高速接口。当ESD保护器件不能与相应IC放置在同一层时，走线应越过ESD保护器件的焊盘，以确保ESD可靠地工作，如图17所示。请插入相邻的接地导通孔，为信号传输提供合适的接地参考。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

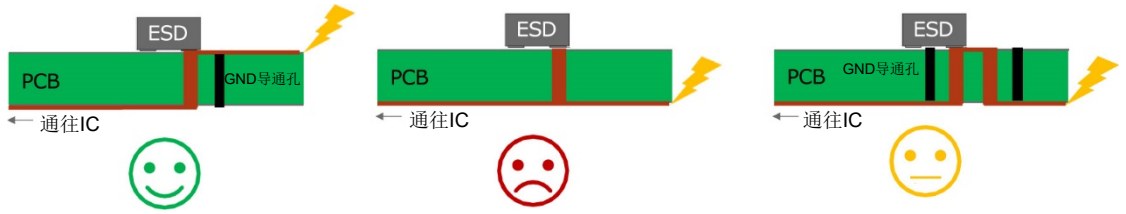
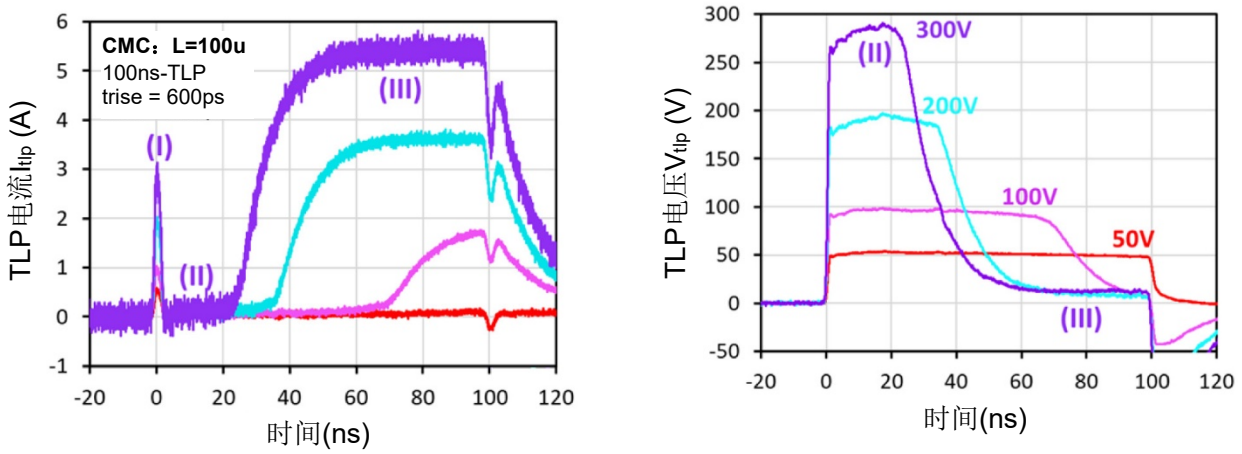


图17. ESD器件不能与相应IC放置在同一层时的布线选项

5. 如何选择共模扼流圈(CMC)

CMC是以太网电路中非常重要的组件。它最初的作用（与CMT结合使用）是阻断共模电流，从而防止电磁辐射(EMI)。在以太网系统的整个拓扑结构中，节点之间的布线使用的是非屏蔽双绞线(UTP)电缆，因此防止EMI非常必要。这些电缆通常捆扎成束，与车内使用的其他电缆相邻放置。这种情况非常有可能在电缆线束中发生共模感应。如第3节所述，这可能会导致高电压，因此而要求ESD保护器件的触发电压达到100 V。此外，这种现象还导致需要CMC来降低EMI。

CMC的另一个作用是保护电路（尤其是IC），防止进入电流。结合外部ESD保护器件，可达到最佳协同效果。要观察ESD事件期间可能发生的单端激励期间的CMC行为，可以使用TLP测量方法，如图18所示。



阶段(I)表示来自TLP的测量伪影；阶段(II)显示阻断特性；阶段(III)显示阻断阶段的结束和CMC饱和的开始。

图18. 基于TLP测量的1000BT1应用中典型CMC的电流和电压响应

在TLP测量期间，电流的第一个峰值（图18中的阶段I）与扼流圈的寄生电容部分相关。但它完全被应用的TLP方法的测量伪影覆盖[6]。CMC的电感特性决定了它的阻断机制，CMC一般会在短时间内阻断进入的瞬态脉冲（图18中的阶段II），直至饱和。该阻断机制的持续时间很大程度上与电压和时间有关。在阶段III，CMC失去其感应特性，进入饱和状态并开始传导电流。此时重要的是脉冲电压越高，CMC进入饱和的速度就越快。第6节还会再讲到这一点。

电压越高，驱动CMC进入饱和状态的速度就越快。当查看图19中具有不同电感的CMC的饱和时间时，可以清楚地观察到这种现象。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

另一个因素是封装或CMC的大小。进一步研究比较具有相同电感但采用不同封装的CMC的TLP图表时，我们发现使用1812时的阻断电压比使用1210大约翻了一番。表现出这种特性的原因可能是铁氧体体积更大。

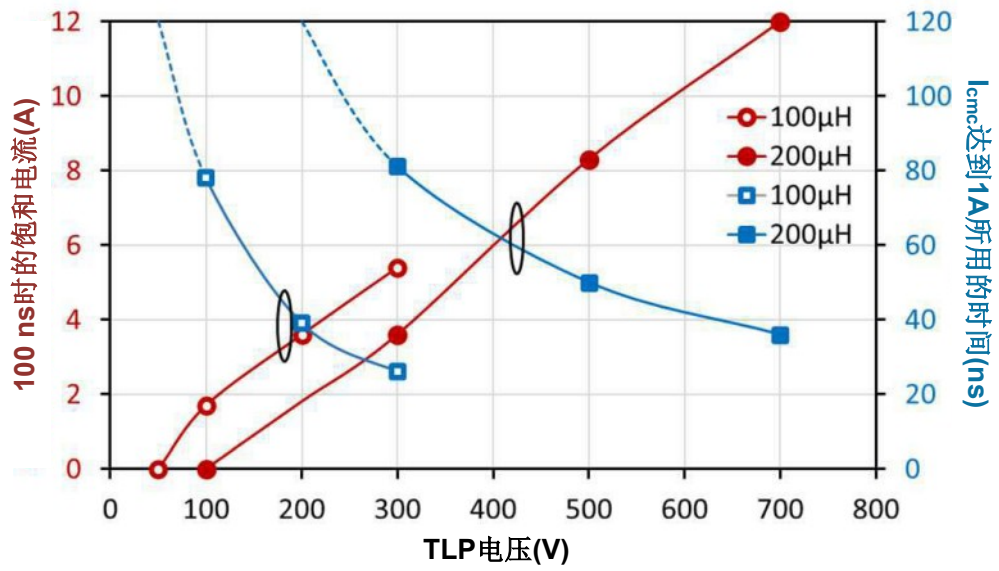


图19. 两个具有不同电感的CMC的饱和特性

基于这些结果，我们在表3提供了一些关于为汽车以太网应用选择CMC的建议。

表3. 汽车以太网应用的最小和推荐CMC电感值

应用	最小L	推荐的L
10Base-T1s	100 μH	200 μH
100Base-T1	100 μH	200 μH
1000Base-T1	80 μH	100 μH (200 μH)

如果有足够的SI裕量，更好的做法是在铁氧体材料含量更高的更大封装中使用CMC，从而获得更高的阻断能力。

6. 硅基技术和其他ESD技术

除了成熟的硅基技术外，还有其他几种具有高触发特性的技术。最流行的是基于压敏电阻的技术，这种技术使用特定的陶瓷材料来形成类似齐纳的IV曲线，参见图20中的红色曲线（红色为竞品2）。然而，由于缺少回弹，压敏电阻只能提供非常高的钳位电压。在20 A时，与PESD2ETH1GXT-Q相差约为300 V。这个差距非常大，会导致CMC几乎瞬间达到饱和，因此，残余电流远远超过限制，如图21所示。

其他抑制技术（聚合物或陶瓷）有回弹功能，但需要两倍以上的触发电压。图20（绿色和蓝绿色分别代表竞品1和3）显示触发电压高达440 V，这一过高的电压会导致显著的电流过冲，明显违反限制（图21）。尽管在进行这些测量时包括了完整的以太网电路（包括CMC），但那些高触发电压和钳位电压会驱动任何典型的CMC非常快速地进入饱和状态，因此CMC的阻断功能无法发挥其有益作用。最终，PHY的IO引脚上的电压和电流将显著增加，超过限制并可能损坏PHY。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

应再次强调的是，Nexperia的PESDxETHxy-Q系列的所有器件都表现出与PESD1ETH1GXLSQ非常相似的特性，如图21所示。在Nexperia，鉴定和发布过程包含ESD放电电流测量。

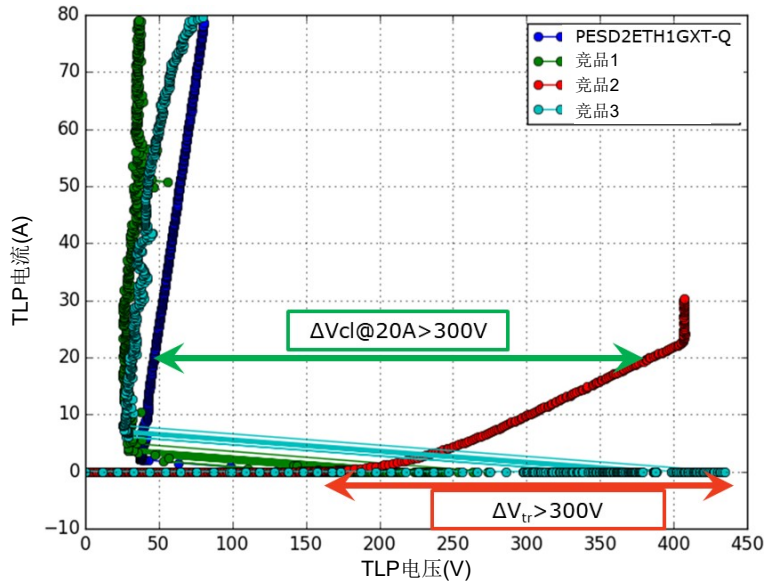


图20. PESD2ETH1GXT-Q与三个不同竞品的TLP比较

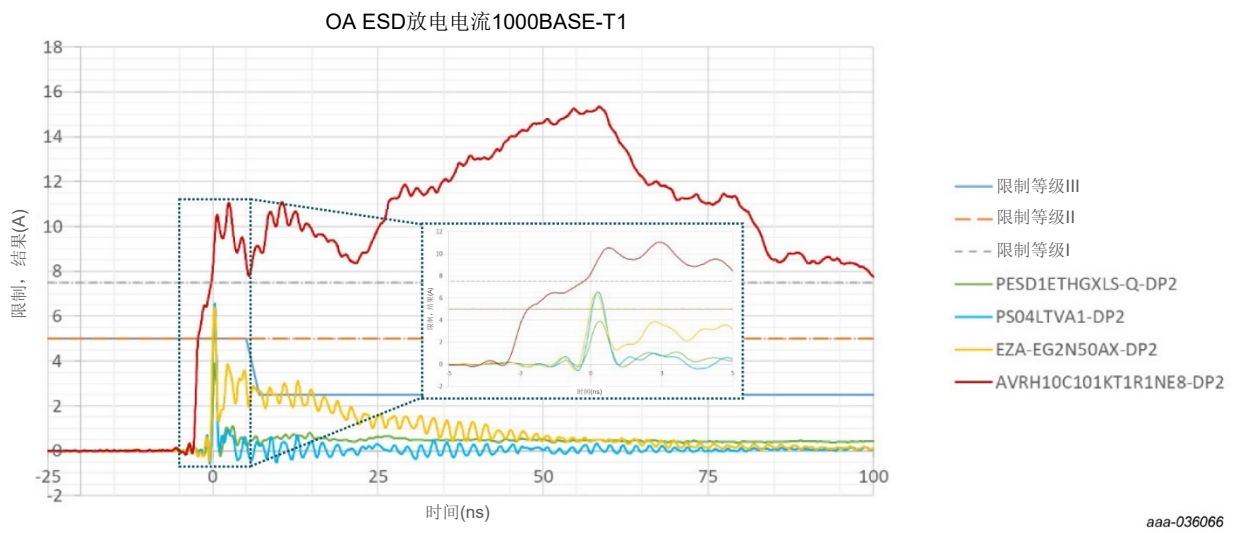


图21. PESD2ETH1GXT-Q与三个不同竞品的ESD比较

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

7. 汽车以太网应用的未来展望

除了已经建立的100BASE-T1和1000BASE-T1应用和规范之外，还有一些其他观点，尤其是拓扑结构。通过进一步研究UTP的EMC特性发现，辐射要比屏蔽电缆高得多。这对于某些应用可能并不重要，但在某些应用中可能会导致严重的问题，尤其是对于FM和DAB频段的车用天线，Rosenberger曾就此进行过论述[7]。因此，也可以使用屏蔽电缆，例如屏蔽双绞线(STP)。这将直接影响对拓扑的要求。首先，因为电缆的屏蔽层会减轻共模耦合，所以不需要CMC。其次，由于采用屏蔽电缆，不再需要100 V的触发电压。ESD保护器件需要具有低触发和最低钳位电压特性，V_{rwm}在低于10 V的范围内（通常为5 V、3.3 V甚至更低）。

汽车以太网不断发展，可用协议也将越来越多。协议扩展大体上分为两种。第一个新协议是10BASE-T1S，适用于较低的数据速率。它将填补以太网和CAN应用在10 MBps范围内的空白。10BASE-T1S计划包含以太网协议的大部分优点，同时也是一个低成本系统。主要总线拓扑结构和使用UTP的布线将与1000BASE-T1等相同。电路也与100BASE-T1非常相似（参见图3），因此对ESD保护的要求基本相同。一个重要的区别是对器件电容有严格的要求，这主要是因为整个总线拓扑结构可能包括多达50个节点，导致电容负载较高。电容范围将在0.5 pF的范围内。

第二个新协议是MGB-T1，它将开放技术联盟汽车以太网系列扩展到2.5/5/10 Gbps的更高数据速率。开放技术联盟委员会已经在内部对MGB-T1进行讨论。其总线拓扑将不同于100/1000BASE-T1。并且对SI和EMC有严格的要求，因此将使用屏蔽电缆。CMC的使用也在公开讨论中。在使用屏蔽电缆且没有CMC的配置中（在最坏的情况下），ESD器件应与PHY的片上ESD保护相匹配。由于数据速率较高，SI将成为MGB.T1应用中更为重要的因素。应结合使用低器件电容和具有更低寄生效应的紧凑型封装，以满足对SI的严格要求。

8. 参考文献

1. C.M. Kozierok, C. Correa, R. Boatright and J. Quesnell. Automotive Ethernet – The Definitive Guide. Intrepid Control Systems, 2014.
2. S. Bub, M. Mergens, A. Hardock, S. Holland and A. Hilbrink, “Automotive High-Speed Interfaces: Future Challenges for System-level HV-ESD Protection and First- Time-Right Design”, *2021 43rd Annual EOS/ESD Symposium (EOS/ESD)*, 2021, pp. 1-10, doi: 10.23919/EOS/ESD52038.2021.9574746。
3. Advanced Design Systems, Keysight, www.keysight.com.
4. Nexperia. Efficient prediction of ESD discharge current according to OPEN Alliance 100BASE-T1 specification using SEED, 2019.
5. Nexperia. Automotive ESD Handbook.
6. High Power Pulse Instruments. “How to Use Picoprobes and Flexible Pitch Probes.” https://www.hppi.de/files/AN-010.pdf, 2021.
7. “Kassieren Sie die Schirmungsdividende!”, Application Note, 2022.

9. 修订记录

表4. 修订记录

修订编号	日期	描述
1.1	2023/2/21	更正了图16。
1.0	2023/1/30	初始版本。

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

10. 法律信息

定义

初稿——本文仅为初稿版本。内容仍在内部审查，尚未正式批准，可能会有进一步修改或补充。Nexperia对此处所含信息的准确性或完整性不做任何说明或保证，并对因使用此信息而带来的后果不承担任何责任。

免责声明

有限保证和责任——本文档中的信息据信是准确和可靠的。但是，Nexperia对此处所含信息的准确性或完整性不做任何明示或暗示的声明或保证，并对因使用此信息而带来的后果不承担任何责任。若文中信息并非来自Nexperia，则Nexperia对该信息的内容概不负责。

在任何情况下，对于任何间接性、意外性、惩罚性、特殊性或后果性损害（包括但不限于利润损失、积蓄损失、业务中断、因拆卸或更换任何产品而产生的开支或返工费用），无论此等损害是否基于侵权行为（包括过失）、保证、违约或任何其他法理，Nexperia均不承担任何责任。

对于因任何原因给客户带来的任何损害，Nexperia对本文所述产品的总计责任和累积责任仅限于Nexperia商业销售条款和条件所规定的范围。

修改权——Nexperia有权随时修改本文档所发布的信息，包括但不限于规格和产品描述，恕不另行通知。本文档将取代并替换之前就此提供的所有信息。

适用性——Nexperia产品并非设计、授权或担保适合用于生命维持、生命攸关或安全关键型系统或设备，亦非设计、授权或担保适合用于在Nexperia产品失效或故障时可导致人员受伤、死亡或严重财产损失或环境损害的应用。Nexperia及其供应商对在此类设备或应用中加入和/或使用Nexperia产品不承担任何责任，客户需自行承担因加入和/或使用Nexperia产品而带来的风险。

应用——本文档所载任何产品的应用只用于例证目的。此类应用若未进一步测试或修改用于特定用途，Nexperia对其适用性不做任何声明或保证。

客户负责自行使用Nexperia产品进行设计和应用，对于应用或客户产品设计，Nexperia均无义务提供任何协助。客户须自行负责检验Nexperia的产品是否适用于客户的规划应用和产品，以及是否适用于其第三方客户的规划应用和使用。客户应提供适当的设计和操作安全保障措施，以最大限度降低与应用和产品相关的风险。

对于因客户的应用或产品的任何缺陷或故障，或者客户的第三方客户的应用或使用导致的任何故障、损害、费用或问题，Nexperia均不承担任何责任。客户负责对使用Nexperia产品的应用和产品执行所有必要的测试，以避免这些应用和产品或者客户的第三方客户的应用或使用存在任何缺陷。Nexperia不承担与此相关的任何责任。

出口管制——本文档以及此处所描述的产品可能受出口法规的管制。出口可能需要事先经主管部门批准。

翻译——非英文（翻译）版文档仅供参考。如果翻译版与英文版之间存在任何差异，以英文版为准。

商标

注意：所有引用的品牌、产品名称、服务名称以及商标均为其各自所有者的资产。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

表目录

表1. ESD保护器件合规性测量 4
表2. SOT23和DFN1006BD布线选项的评估 13
表3. 汽车以太网应用的最小和推荐CMC电感值 15
表4. 修订记录 17

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。

©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

图目录

图1. 现代车辆的典型拓扑结构 2
图2. 使用汽车以太网连接两个ECU的典型配置 2
图3. 100/1000Base-T1接口 3
图4. ESD事件期间以太网电路的场扫描图 3
图5. 散射参数测量；来自PESD1ETH1GXLS-Q的测试报告，由Forschungs-und Transferzentrum an der Westsächs. HS Zwickau (FTZ)测量。 5
图6. S_{dd11} 8 kV ESD脉冲前后 6
图7. PESD1ETH1GLS-Q测试报告中ESD放电电流测量的测量设置 7
图8. PESD1ETH1GLS-Q在15 kV时的ESD放电电流 7
图9. ESD放电电流测量参考电路SEED模型等效电路框图 8
图10. ESD放电的系统级仿真；设置和结果 9
图11. 基于4层PCB铜和FR4的典型层叠和微带线配置示例 10
图12. 散射参数与频率的关系；SOT23和DFN1006BD封装 11
图13. ADS中用于研究SI的仿真设置 12
图14. 仿真结果 12
图15. PCB上以太网网络的布线选项（包括整个电路） 13
图16. SOT23和DFN1006BD封装的散射参数 13
图17. ESD器件不能与相应IC放置在同一层时的布线选项 14
图18. 基于TLP测量的1000BT1应用中典型CMC的电流和电压响应 14
图19. 两个具有不同电感的CMC的饱和特性 15
图20. PESD2ETH1GXT-Q与三个不同竞品的TLP比较 16
图21. PESD2ETH1GXT-Q与三个不同竞品的ESD比较 16

本文档中提供的所有信息均受法律免责声明的限制。
©2023 Nexperia B.V.保留所有权利

目录

1. 引言 2
2. 100BASE-T1和1000BASE-T1的拓扑结构 2
3. 用于100BASE-T1和1000BASE-T1的ESD保护器件 ... 4
3.1. 散射参数 4
3.2. ESD损坏：ESD事件后测试信号完整性 6
3.3. ESD放电电流测量 6
3.4. SEED——ESD放电电流仿真测量 8
4. ESD保护器件的SI和影响 10
4.1. PCB层叠 10
4.2. 散射参数仿真 10
4.3. ESD保护器件的PCB布线 12
5. 如何选择共模扼流圈(CMC) 14
6. 硅基技术和其他ESD技术 15
7. 汽车以太网应用的未来展望 17
8. 参考文献 17
9. 修订记录 17
10. 法律信息 18

© 2023 Nexperia B.V. 保留所有权利
更多详情，请访问：http://www.nexperia.com
如需获取销售办事处地址，请发送电子邮件至：salesaddresses@nexperia.com
发布日期：2023年2月21日