

摘要

硬件工程师必须仔细选择其设计所需的所有元件。选择正确的 ESD 保护器件可能具有挑战性，因为保护 PCB 上的器件免受 ESD 应力的影响已成为一项日益复杂的任务。德州仪器 (TI) 提供广泛的 ESD 保护器件。了解 ESD 二极管数据表的参数对于选择正确的器件来实现成功的设计至关重要。本用户指南介绍了 ESD 保护器件数据表的关键术语、章节和图。

内容

1 引言	2
2 器件概要	2
3 引脚配置和功能	3
4 规格	3
4.1 绝对最大额定值.....	3
4.2 ESD 等级 - JEDEC.....	3
4.3 ESD 等级 - AEC.....	4
4.4 ESD 等级 - IEC.....	4
4.5 ESD 等级 - ISO.....	4
4.6 建议运行条件.....	5
4.7 热性能信息.....	5
4.8 电气特性.....	5
4.9 典型特性.....	7
5 总结	10
6 参考文献	10
7 修订历史记录	10

插图清单

图 2-1. ESD751/ESD761 首页.....	2
图 4-1. 单向 ESD 二极管 (左) 和双向 ESD 二极管 (右) 的 I-V 曲线.....	6
图 4-2. 正 TLP 曲线.....	7
图 4-3. 负 TLP 曲线.....	7
图 4-4. +8kV 钳位 IEC 波形.....	8
图 4-5. -8kV 钳位 IEC 波形.....	8
图 4-6. 电容与偏置电压之间的关系.....	8
图 4-7. 漏电流与温度间的关系.....	8
图 4-8. 电容与温度间的关系.....	9
图 4-9. 插入损耗.....	9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

本用户指南是典型 TI ESD 保护器件数据表的概要。目的是在选择 ESD 保护器件时提供帮助。该信息包括以下需要注意的关键特性：

- 参数定义
- 图说明
- 用于常见应用的测试程序

2 器件概要

数据表的首页提供了概述并突出显示了器件特有的主要特性。如果规格或封装选项显得尤为突出，则可以对数据表进行深入挖掘。此外，应用下并未列出该器件的所有终端设备和接口，仅列出了特定器件常见的终端设备和接口。

在下面的示例中，ESD751/ESD761 数据表突出显示了需要注意的关键方面。通过查看数据表，需要指出的几点是：24V 工作电压、ESD 等级 (IEC61000-4-2)、1.6pF 或 1.1pF 电容以及器件采用的封装。

ESD751 and ESD761 24-V 1-Channel ESD Protection Diodes

1 Features

- IEC 61000-4-2 level 4 ESD protection:
 - ±22-kV or ±15-kV contact discharge
 - ±22-kV or ±15-kV air-gap discharge
- Robust surge protection:
 - IEC 61000-4-5 (8/20 μs): 2.8 A or 1.8 A
- 24-V working voltage
- Bidirectional ESD protection
- Low clamping voltage protects downstream components
- Temperature range: -55°C to +150°C
- I/O capacitance = 1.6 pF or 1.1 pF (typical)
- Offered in a standard leaded package and 0402 footprint package: SOD-523 (DYA) and X1SON (DPY)
- Leaded packages used for automatic optical inspection (AOI)

3 Description

The ESD751 and ESD761 are single-channel low capacitance bidirectional ESD protection devices for USB power delivery (USB-PD). These devices are rated to dissipate contact ESD strikes beyond the maximum level specified in the IEC 61000-4-2 international standard (±22-kV Contact, ±22-kV Airgap) and (±15-kV Contact, ±15-kV Airgap), respectively. The low dynamic resistance and low clamping voltage help protect systems against transient events. This protection is key because industrial systems require a high level of robustness and reliability.

2 Applications

- USB power delivery (USB-PD)
 - VBUS protection
 - I/O protection
- Industrial control networks:
 - DeviceNet
 - Smart distribution systems
 - 4/20 mA circuits
 - PLC surge protection
 - ADC surge protection

Package Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
ESD751	DYA (SOD-523, 2)	1.60 mm × 0.80 mm
ESD761	DPY (X1SON, 2)	1.00 mm × 0.60 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Typical Application

图 2-1. ESD751/ESD761 首页

3 引脚配置和功能

引脚配置和功能部分因 ESD 保护器件而异。本节由一个或多个器件封装组成，并概述了特定封装或多个封装的引脚功能。表 3-1 并未显示器件的封装选项，而是列出和说明了可在 ESD 保护器件数据表中看到的引脚功能。有关封装和布局的更多信息，请参阅应用手册 [ESD 封装和布局指南](#)。

表 3-1. 引脚功能和说明

引脚名称	类型	说明
GND	接地	接地
外露散热焊盘 (EP)	接地/NC	散热焊盘可实现更好的接地连接和热性能。接地的表面积越大，阻抗越低，有助于耗散较大的 ESD 电流，从而降低对地电感，这意味着降低电压尖峰。由于施加的电压为负时会发生故障，因此一些器件（特别是 TVS 双向器件）要求散热焊盘悬空或未连接。
IO (D+/D-)	输入/输出	在指代受 ESD 保护的通道时，IO 和 D+/D- 很常见。对于这些引脚，始终尽可能靠近 ESD 源（通常是与外界接口连接器）放置，以降低 EMI 耦合的可能性。
IN	输入	IN 是用于浪涌保护通道（例如在 TVS 器件系列中）的术语。这些引脚的放置位置越靠近 ESD 源越好，这还可以更大程度地降低 EMI 耦合的可能性。
V _{CC}	保护引脚	V _{CC} 可用于保护 USB 总线电压 (V _{BUS})。V _{CC} 还可用于设置 IO 引脚的电压，从而提高钳位电压（例如 TPD4E001），以及用于其他用例。V _{CC} 引脚在 ESD 器件上并不常见，因为与具有内置保护功能的器件相比，单独的二极管通常可提供更好的保护。建议在二极管上的 V _{CC} 布线和 V _{CC} 引脚之间放置一个 0.1μF 陶瓷电容器，以滤除噪声。
无连接 (NC)	NC	NC 引脚未在内部连接，可保持悬空、接地或用于直通布线。

4 规格

以下各节包括评估 ESD 保护器件并认为该器件适用于特定应用的所有必要信息。

4.1 绝对最大额定值

绝对最大额定值指定了在超过该值时可能对器件造成永久损坏的应力等级。表 4-1 是绝对最大额定值表的一个示例。额定值通常包括贮存和环境工作温度以及 IEC 61000-4-5 的功率和电流额定值，某些器件的额定值包括 IEC 61000-4-4 EFT 抗扰度等级。

IEC 61000-4-5 是一项浪涌抗扰度测试，用于评估器件承受浪涌事件的能力，浪涌事件是指电流在 μs 范围内大幅增加的情况。室外操作、较长的布线、频繁的负载变化以及许多其他情况更容易受到浪涌事件的影响。选择器件时要考虑的一个重要参数是 I_{PP}，即系统在浪涌事件期间承受的峰值电流。这是因为浪涌脉冲包含大量能量，并且由于浪涌事件的持续时间较长，因此需要更多的保护。

IEC 61000-4-4 EFT 专门用于测试快速瞬变/突发抗扰度。通常，该测试是网络系统、现场电缆传输和其他工业应用所必需的。有关 IEC 61000-4-5 和 IEC 61000-4-4 测试细节的详细信息，请参阅应用手册 [适用于 TI 保护器件的 IEC 61000-4-x 测试](#)。

表 4-1. 绝对最大额定值示例

		最小值	最大值	单位
P _{PP}	IEC 61000-4-5 功率 (t _p - 8/20μs)		57	W
I _{PP}	IEC 61000-4-5 电流 (t _p - 8/20μs)		6	A
EFT	IEC 61000-4-4 瞬态放电 (EFT) 保护		±80	A
T _A	环境运行温度	-55	150	°C
T _{stg}	贮存温度	-65	155	°C

4.2 ESD 等级 - JEDEC

当验证元件在制造、组装和运输方面的承受能力时，JEDEC 标准非常有用，但并不代表最终用户场景中的元件体验。表 4-2 是 JEDEC 标准在典型 ESD 保护器件数据表中的具体示例。这两个等级分别是人体放电模型 (HBM) 和充电器件模型 (CDM)。HBM 会模拟在受控工厂环境中人体放电到接地器件上。CDM 会模拟充电器件通过接地材料进行的静电放电。

表 4-2. JEDEC 标准示例

		值	单位
V _(ESD)	静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001	±2500
		充电器件模型 (CDM), 符合 JEDEC 规范 JS-002	±1000
			V

4.3 ESD 等级 - AEC

汽车电子协会 (AEC) 标准基于 JEDEC 等级, 但特定于汽车器件。两者之间的区别是对器件进行的测试。AEC 和 JEDEC 这两个等级的 HBM 和 CDM 通常具有相同的值。表 4-3 展示了通过汽车认证的 TI ESD 保护器件数据表中的 AEC 等级表示例。

表 4-3. AEC 等级示例

		值	单位
V _(ESD)	静电放电	人体放电模型 (HBM), 符合 AEC Q101-001 标准	±2500
		充电器件模型 (CDM), 符合 AEC Q101-005	±1000
			V

4.4 ESD 等级 - IEC

IEC 61000-4-2 等级包括两种测量: 接触测量和空气测量。接触等级是将 ESD 脉冲直接放电到器件上时该器件可以承受的最大电压。空气间隙等级与之类似, 此测试不是直接放电到器件上, 而是涉及通过器件上的空气间隙使 ESD 脉冲放电。等级越高, 器件能够承受的电压就越高。

表 4-4 细分了 IEC 61000-4-2 等级的不同级别。大多数 TI ESD 保护器件都符合 4 级或更高等级的接触放电, 而大多数 TI ESD 保护器件也符合 4 级或更高等级的空气间隙放电。

表 4-4. IEC 示例

Level	接触放电	空气放电
	测试电压 (± kV)	测试电压 (± kV)
1	2	2
2	4	4
3	6	8
4	8	15
X	自定义	自定义

表 4-5 展示了 ESD 保护器件数据表中的 IEC 等级, 接触放电和空气间隙放电均为 4 级。该器件能够在最高为表 4-5 中提供的值下运行。例如, 某些 ESD 器件能够在高达 30kV 接触放电/30kV 空气间隙放电下正常工作, 这高于 4 级 IEC 等级。

表 4-5. 数据表中的 IEC 等级

		值	单位
V _(ESD)	静电放电	IEC 61000-4-2 接触放电	±8000
		IEC 61000-4-2 空气间隙放电	±15000
			V

4.5 ESD 等级 - ISO

ISO 标准部分基于上述 IEC 61000-4-2 等级, 但具有特定于汽车应用的主要差异。ISO 和 IEC 标准之间的主要区别在于用于仿真不同 ESD 冲击的耦合网络。根据 ISO 标准执行的 330pF、330 Ω 测试具有需要分流至接地端的最高电流。有关 ISO 10605 和 IEC 61000-4-2 之间差异的更多信息, 请参考应用手册 [ISO 10605 道路车辆静电放电所产生的电气干扰的测试方法](#)。表 4-6 是通过汽车认证的 TI ESD 保护器件数据表中的 ISO 等级表的一个示例。

表 4-6. ISO 等级示例

			值	单位	
V _(ESD)	ISO 10605 静电放电	C = 150pF ; R = 330 Ω	接触放电, 所有引脚	±30000	V
			空气间隙放电, 所有引脚	±30000	
		C = 330pF ; R = 330 Ω	接触放电, 所有引脚	±30000	
			空气间隙放电, 所有引脚	±30000	

4.6 建议运行条件

建议运行条件设定了器件在运行时应满足的特定要求。对于大多数 ESD 保护器件数据表, 建议的运行条件包括输入引脚电压和自然通风条件下的工作温度, 如表 4-7 所示。如果器件在这些建议条件之外但在绝对最大额定值范围内运行, 则该器件可能无法完全正常工作。这可能会影响器件的可靠性、功能和性能, 并缩短器件寿命。

表 4-7. 建议运行条件

		最小值	标称值	最大值	单位
V _{IN}	输入电压	-5.5		5.5	V
T _A	自然通风工作温度	-55		150	°C

4.7 热性能信息

热性能信息是大多数 TI 器件数据表中的标准信息。表 4-8 展示了大多数 ESD 保护器件数据表中的表示例。最常报告的指标是结至环境热阻 R_{θJA}。此指标用于衡量安装在特定测试板上的 IC 封装的热性能, 旨在用于与其他公司比较 TI 器件封装的热性能。有关每项热指标细节的详细信息, 请参阅应用手册 [半导体和 IC 封装热指标](#)。

表 4-8. 热性能信息示例

热指标		ESD451	单位
		DPL (X2SON)	
		2 个引脚	
R _{θJA}	结至环境热阻	356.9	°C/W
R _{θJC(top)}	结至外壳 (顶部) 热阻	201.2	°C/W
R _{θJB}	结至电路板热阻	136.4	°C/W
ψ _{JT}	结至顶部特征参数	2.6	°C/W
ψ _{JB}	结至电路板特征参数	135.9	°C/W
R _{θJC(bot)}	结至外壳 (底部) 热阻	不适用	°C/W

4.8 电气特性

数据表的电气特性部分可谓是重中之重。本节详细讨论了特定的 ESD 保护器件参数, 选择适用的保护器件时必须透彻了解这些参数。表 4-9 是 ESD 保护器件数据表中的一个电气特性表, 其中的参数通常会在所有 ESD 器件数据表中出现。

表 4-9. 电气特性示例

参数		测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{RWM}	反向关断电压	I _{IO} < 100nA, 在工作温度范围内	-5.5		5.5	V
I _{LEAK}	反向漏电流	V _{IO} = 5.5V, IO 至 GND 或 GND 至 IO		5	50	nA
V _{BRR}	击穿电压	I _{IO} = 1mA, IO 至 GND	7	8	9	V
V _{BRF}	击穿电压	I _{IO} = 1mA, GND 至 IO	7	8	9	V
V _{HOLD}	保持电压	TLP, IO 至 GND 或 GND 至 IO		7.2		V

表 4-9. 电气特性示例 (continued)

参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{CLAMP}	使用 TLP 时的钳位电压	$I_{PP} = 1A$, TLP, IO 至 GND		7.6	V
		$I_{PP} = 5A$, TLP, IO 至 GND		8.2	V
		$I_{PP} = 16A$, TLP, IO 至 GND		10.4	V
		$I_{PP} = 1A$, TLP, GND 至 IO		7.6	V
		$I_{PP} = 5A$, TLP, GND 至 IO		8.2	V
		$I_{PP} = 16A$, TLP, GND 至 IO		10.4	V
	具有浪涌冲击的钳位电压	$I_{PP} = 6A$, $t_p = 8/20\mu s$, IO 到 GND		9.5	V
		$I_{PP} = 6A$, $t_p = 8/20\mu s$, GND 至 IO		9.5	V
R_{DYN}	动态电阻	IO 至 GND	0.19		Ω
		GND 至 IO			
C_L	线路电容	$V_{IO} = 0V$; $f = 1MHz$, $V_{pp} = 30mV$, IO 至 GND 或 IO 至 GND	0.5		pF

4.8.1 反向关断电压 (V_{RWM})

反向关断电压是受保护线路的建议工作电压，通常也称为反向工作电压。工作电压定义为接口信号为防止意外泄漏而不能超过的最大正电压或负电压。

4.8.2 击穿电压 (V_{BR})

击穿电压是 ESD 器件在超过该电压时开始传导大量电流的限值。图 4-1 展示了单向 ESD 二极管和双向 ESD 二极管的电压范围和击穿电压

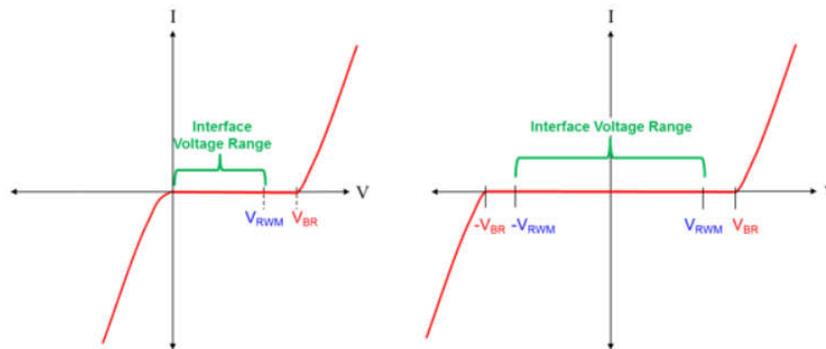


图 4-1. 单向 ESD 二极管 (左) 和双向 ESD 二极管 (右) 的 I-V 曲线

4.8.3 漏电流 (I_{LEAK})

漏电流和反向工作电压密切相关。ESD 保护二极管的漏电流是施加反向工作电压时泄漏的电流量。在 TI ESD 保护器件数据表中，漏电流是在典型值和最大值处指定的。要确定二极管是否旨在保护器件，请检查最大漏电流，尤其是对于医疗设备等需要超低漏电流的应用。

4.8.4 动态电阻 (R_{DYN})

在评估 ESD 钳位电压的有效性时，动态电阻是一个重要因素。发生 ESD 事件时， R_{DYN} 表征了器件 I-V 曲线的陡度。更大限度地降低动态电阻通常可提供更好的钳位电压和保护。

4.8.5 线路电容 (C_L)

线路电容是二极管存储电荷的耗尽区域的结果。如果未正确考虑线路电容，则二极管可能会降低信号完整性。对于高速数据应用，需要低电容来保持信号完整性，否则信号会失真而无法被识别。

4.8.6 钳位电压 (V_{CLAMP})

钳位电压是系统在瞬态事件期间所承受的电压，用于测量 ESD 二极管对下游系统电路的保护程度。钳位电压是 ESD 保护器件的重要规格之一，如果数据表中没有钳位电压，则可以从下一节提到的传输线路脉冲 (TLP) 图中确定。表 4-10 展示了 IEC 冲击和 TLP 电流之间的比较。对于大多数 ESD 器件，额定的钳位电压为 16A/8kV IEC。

表 4-10. IEC 冲击与 TLP 电流间的关系示例

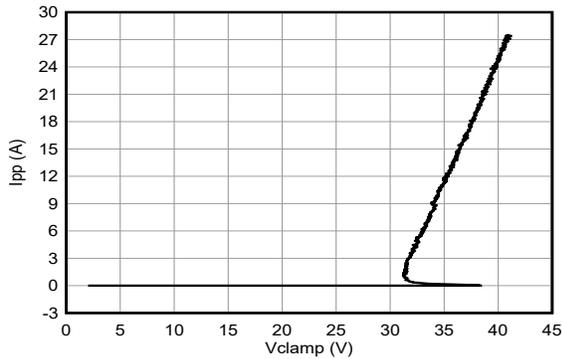
IEC ESD	TLP 电流
2kV	4A
4kV	8A
6kV	12A
8kV	16A

4.9 典型特性

ESD 保护器件通常包含专用图，有助于为给定的系统级设计选择合适的保护器件。本节详细讨论了 ESD 数据表中常见的特定图。

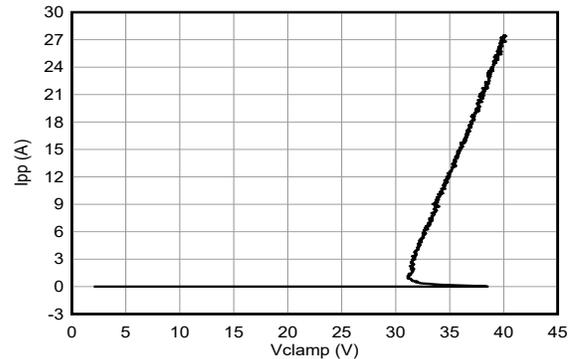
4.9.1 TLP 图

传输线路脉冲 (TLP) 图用于测试在 ESD 事件期间器件在电流域和时间域中的行为。可以轻松更改脉冲宽度和上升时间，但通常情况下，测试涉及上升时间为 1ns 至 5ns、脉冲宽度为 100ns 的矩形电流脉冲。TLP 图提供了重要的参数：钳位的击穿电压和动态电阻。如节 4.8.6 所述，如果数据表中未明确提供钳位电压，则可以从 TLP 图得出钳位电压。ESD2CANFD24 数据表展示了一个示例。对于该器件，如果电流为 16A，钳位电压估计为 36V。该器件会出现迅速反向，这是一种用于在 ESD 事件期间降低总压降的技术。由于 ESD2CANFD24 是一种双向二极管，因此正和负 TLP 图几乎相同，但单向二极管则不然。



tp = 100 ns, Transmission Line Pulse (TLP)

图 4-2. 正 TLP 曲线



tp = 100 ns, Transmission Line Pulse (TLP)

图 4-3. 负 TLP 曲线

4.9.2 ±8kV 钳位 IEC 波形

±8kV 钳位 IEC 波形是前面提到的测量 8kV 接触放电时获取的 IEC 61000-4-2 等级结果。此测试要考虑的重要参数是上升时间和脉冲宽度。图 4-4 展示了 ESD441 数据表的一个示例。峰值越低，峰值衰减越快，器件成功保护系统元件的几率就越高。

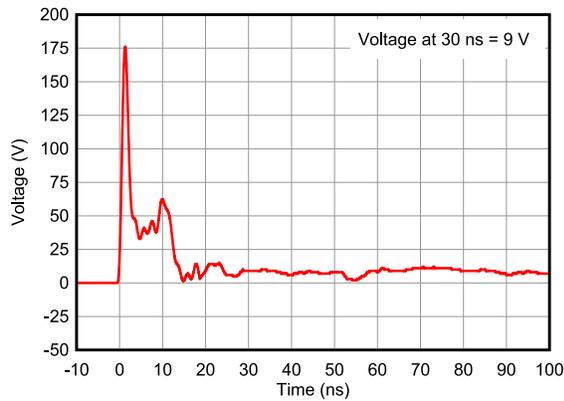


图 4-4. +8kV 钳位 IEC 波形

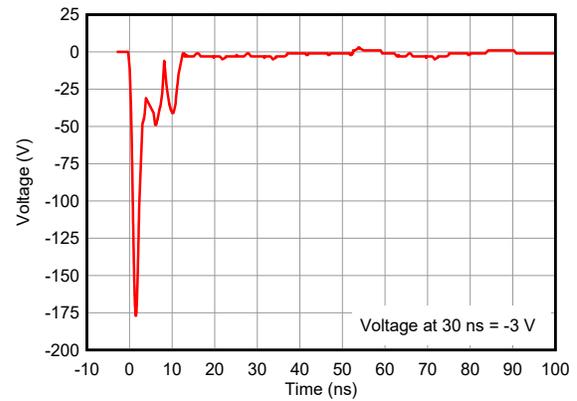


图 4-5. -8kV 钳位 IEC 波形

4.9.3 电容与偏置电压之间的关系

电容与偏置电压的关系图显示了电容在工作电压范围内的变化。ESD751 数据表的下图描绘了一个双向器件，它仅展示了 0V 至 24V 的正工作范围。从图中可以看出，电容在正工作电压范围内略有变化。

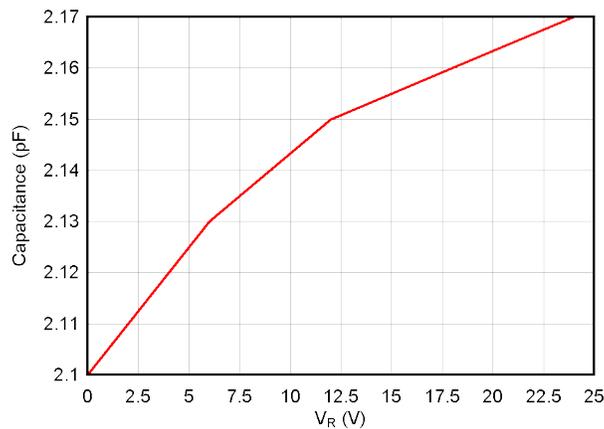


图 4-6. 电容与偏置电压之间的关系

4.9.4 漏电流与温度间的关系

这张图采用了数据表中的建议工作温度，并在 -40°C 至 125°C 的温度范围内测量了漏电流。下面显示了 TPD1E05U06 数据表中的漏电流与温度关系图的示例。

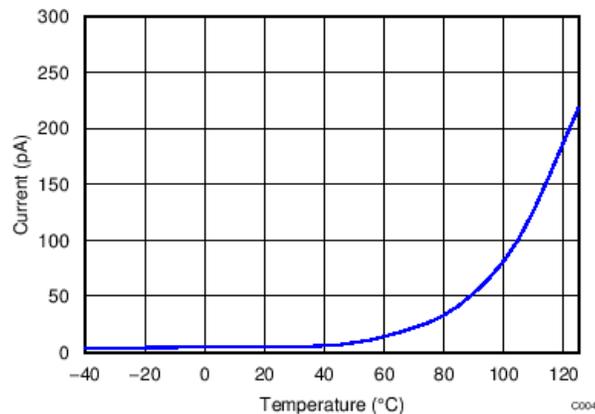


图 4-7. 漏电流与温度间的关系

4.9.5 电容与温度间的关系

和漏电流与温度间的关系图类似，该图在建议的工作温度范围（ -55°C 至 150°C ）内测量器件的电容。根据 ESD451 器件数据表，电容与温度间的关系示例如图 4-8 所示。对于该特定器件，电容为 0.5pF （典型值）。如图中所示，电容在较低温度下会降低。

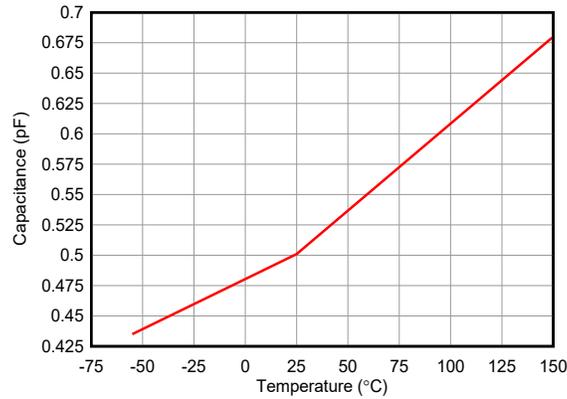


图 4-8. 电容与温度间的关系

4.9.6 插入损耗

插入损耗是在将器件插入电路时发生的功率损耗量或信号强度。这对于 ESD 保护器件非常重要，因为大电容会导致信号质量下降。下面显示了 ESD341 数据表中的插入损耗图示例。通常，该器件能够支持介于 0dB 和 -3dB 范围之间的信号速度。如图 4-9 中所示，该器件支持高达 5GHz 的频率。

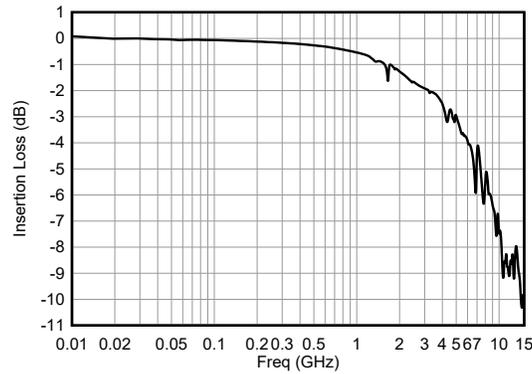


图 4-9. 插入损耗

5 总结

本用户指南旨在帮助他人阅读和了解 ESD 保护器件数据表。本指南中提供的信息有助于您选择合适的器件以实现成功的设计。如果在选择保护器件时需要任何其他帮助，请联系 TI 的保护器件产品线。

6 参考文献

- 德州仪器 (TI), [ESD 封装和布局指南](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [适用于 TI 保护器件的 IEC 61000-4-x 测试](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [ISO 10605 道路车辆静电放电所产生的电气干扰的测试方法](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [半导体和 IC 封装热指标](#) 应用手册。

7 修订历史记录

Changes from Revision * (May 2010) to Revision A (September 2023)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司