

Application Note

用于 USB 接口的 ESD 和浪涌保护



Obi Oji

Multiplexers and Protection Devices

摘要

通用串行总线 (通常称为 USB) 是一种行业标准, 用于定义计算机和外设之间的通信、电源和连接器。USB 标准有多种版本, 范围从 1.5Mbps 到 40Gbps 不等, 而更常见的标准是 USB 2.0 和 USB 3.x。还有多种连接器类型, 例如 USB Type-A 和 USB Type-C®。随着欧盟最新法规的出台, USB Type-C® 即将成为欧盟电子设备的统一充电设计, 从而提高了连接器的普及度。USB Type-C® 能够支持 DisplayPort、HDMI 等交替模式, 还支持 USB 电力输送 (USB-PD), 可通过 USB 增加电力传输。

内容

1 概述.....	2
2 USB 1.1.....	3
2.1 概述.....	3
2.2 ESD 保护要求.....	3
2.3 系统级设计.....	4
3 USB 2.0 电路保护.....	5
3.1 概述.....	5
3.2 ESD 保护要求.....	5
3.3 系统级设计.....	6
4 USB 5Gbps.....	7
4.1 概述.....	7
4.2 ESD 保护要求.....	7
4.3 系统级设计.....	8
5 USB 10Gbps.....	9
5.1 概述.....	9
5.2 ESD 保护要求.....	9
5.3 系统级设计.....	10
6 USB 20Gbps.....	11
6.1 概述.....	11
6.2 ESD 保护要求.....	11
6.3 系统级设计.....	12
7 USB Type-C® 保护.....	13
7.1 概述.....	13
7.2 ESD 保护要求.....	14
7.3 系统级设计.....	15
8 USB 电力输送 (USB-PD) 浪涌保护.....	16
8.1 概述.....	16
8.2 VBUS 保护.....	16
8.3 短接至 VBUS.....	17
9 参考资料.....	17
10 修订历史记录.....	17

商标

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 概述

通用串行总线 (USB) 是一项行业标准，指定了主机系统和外设之间的连接、通信和供电。多年来，USB 通过一系列专注于提高数据速率的标准不断演变。下表细分了各种标准，包括命名约定、数据线、标称速率和连接器类型。

有两种类型的数据对：半双工 (HDx) 和全双工 (FDx)。USB 2.0 和早期标准使用单一半双工，它在两个方向上进行通信，但一次只能在一个方向上进行通信。半双工转换为 D+ 和 D- 数据线。USB 3.0 及更高版本实现单一半双工 (D+、D-) 以实现 USB 2.0 兼容性，并采用全双工技术实现两对或四对全双工，这允许同时进行双向通信。一对被视为发送线路 (TX+、TX-) 或接收线路 (RX+、RX-)。USB 3.0 及更高版本至少包含两对 (TX+、TX-、RX+、RX-)，也称为通道。

由于 USB 标准有很多，因此确定数据速率可能会令人困惑，尤其是对于 USB 3.2 和 USB 4 而言。普遍的共识是，如果格式为 Ax B ，则最后一位数字将决定通道数。例如，USB 3.2 Gen 2x2 的标称速率为 20Gbps，但由于最后一位数字为 2，这意味着有 2 个数据通道，每个通道的速率为 10Gbps，总计 20Gbps。

以下各节详细介绍了基于 USB 接口标称速率的 ESD 保护。

表 1-1. USB 标准

标准	数据对	标称速率	USB-IF 名称	连接器类型
USB 1.1	1 HDx	12Mbps	基本速度 USB	Type-A、Type-B
USB 2.0	1 HDx	480Mbps	高速 USB	Type-A、Type-B、Type-C、Micro、Mini
USB 3.0/USB 3.1 Gen 1/USB 3.2 Gen 1x1	2 FDx + 1 HDx	5 Gbps	USB 5Gbps	Type-A、Type-B、Type-C、Micro
USB 3.1 Gen 2/USB 3.2 Gen 2x1	2 FDx + 1 HDx	10Gbps	USB 10Gbps	Type-A、Type-C
USB 3.2 Gen 1x2	4 FDx + 1 HDx	10Gbps	USB 10Gbps	Type-C
USB 3.2 Gen 2x2	4 FDx + 1 HDx	20Gbps	USB 20Gbps	Type-C
USB 4 Gen 2x1	2 FDx + 1 HDx	10Gbps	USB 10Gbps	Type-C
USB 4 Gen 2x2	4 FDx + 1 HDx	20Gbps	USB 20Gbps	Type-C
USB 4 Gen 3x1	2 FDx + 1 HDx	20Gbps	USB 20Gbps	Type-C

2 USB 1.1

2.1 概述

USB 1.0 是发布的第一个 USB 标准，不久之后又发布了修订版 USB 1.1。USB 1.0/1.1 有一个 4 线接口：V_{BUS} 用于电源，D+ 和 D- 用于差分数据信号，还有一个接地引脚。USB 1.0/1.1 能够支持低速 (1.5Mbps) 和全速 (12Mbps)。图 2-1 详细说明了 Type-A 连接器中用于 USB 1.0/1.1 的引脚配置。

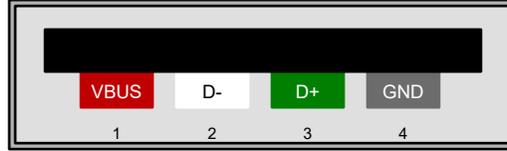


图 2-1. USB 1.0/1.1 引脚配置

USB 1.0/1.1 这一标准在当今的新系统中使用相当罕见，但仍存在因外部连接器而引发的高压冲击风险。ESD 冲击可能会通过连接器进入，并会导致系统中的下游元件损坏。以下各节讨论了 USB 1.0/1.1 的 ESD 保护要求和系统级设计。

2.2 ESD 保护要求

为了保护 USB 1.0/1.1，请遵循与每个引脚相关的参数列表：

- **D+ 和 D-**
 - 工作电压：建议保护二极管的反向工作电压 (V_{RWM}) 大于或等于受保护系统的工作电压。对于 USB 1.0/1.1 数据线，工作电压典型值为 3.3V。建议工作电压大于或等于 3.3V。
 - 钳位电压：可能有许多系统使用 USB。这导致 ESD 二极管的钳位电压取决于 USB 连接器的下游电路。建议钳位电压低于下游元件的绝对最大额定值。
 - 电容：对于 USB 1.0/1.1，信号速度最高可达 12Mbps。建议使用小于 20pF 的电容来支持信号速度。
 - IEC 61000-4-2 等级：IEC 61000-4-2 测试标准定义了实际的 ESD 冲击。该标准包含两项测量：接触放电和空气间隙放电。接触和空气间隙等级越高，器件能够承受的电压就越高。对于 USB 1.0/1.1，建议触点的 IEC 61000-4-2 最低额定值为 8kV，空气间隙的最低额定值为 15kV。
- **V_{BUS}**
 - 工作电压：对于 V_{BUS}，工作电压为 5V。建议使用工作电压大于或等于 5V 的 ESD 二极管。

表 2-1 列出了支持这些规格的器件。

表 2-1. USB 1.0/1.1 器件建议

器件	V_{RWM} (V)	IEC 61000-4-2 (kV) (接触/空气间隙)	电容 (pF)	通道计数	封装尺寸 (mm)	推荐用于
ESD321	3.6	30/30	0.9	1	DFN1006 (1.00 x 0.60), SOD523 (1.60 x 0.80)	D+, D-
ESD441	5.5	30/30	1	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)	VBUS
TPD4E05U06	5.5	12/15	0.5	4	USON (2.50 x 1.00)	D+, D-, VBUS

2.3 系统级设计

TI 提供 ESD 保护二极管，并提供用于保护 USB 1.0/1.1 的选项。图 2-2 显示了实现三个 ESD 保护二极管的方框图。这些二极管连接到连接器与电池充电器或 USB 控制器之间的每条数据和电力线。为了正确保护系统，请在设计规则允许的情况下，将二极管放置在尽可能靠近 ESD 源 (在本例中为连接器) 的位置。

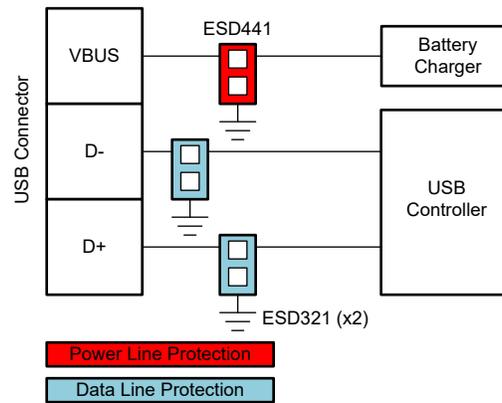


图 2-2. USB 1.0/1.1 ESD 保护

对于图 2-2，ESD321 用于保护 D+ 和 D- 线路，ESD441 用于保护 VBUS 线路。还可以选择使用一个 ESD 二极管来保护数据和电力线。为此，建议二极管的工作电压大于或等于 5V。TPD4E05U06 是一款可同时处理数据线和电力线的器件。

3 USB 2.0 电路保护

3.1 概述

USB 2.0 也称为高速 USB，是 USB 1.0/1.1 的更新版本，具有改进的功能和更高的数据速度。USB 2.0 有一个 4 线接口：V_{BUS} 用于电源，D+ 和 D- 用于差分数据信号，还有一个接地引脚。图 3-1 中显示了 Type-A 连接器的 USB 2.0 引脚配置。USB 2.0 能够支持低速 (1.5Mbps)、全速 (12Mbps) 和高速 (480Mbps)。

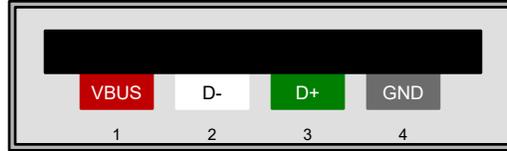


图 3-1. USB 2.0 引脚配置

USB 2.0 是一种通用接口，至今仍用于各种器件和应用。由于连接器与外界接触，系统存在高压冲击风险。这种瞬态事件可能会导致系统的下游元件损坏。以下各节讨论了 USB 2.0 的 ESD 保护要求和系统级设计。

3.2 ESD 保护要求

为了保护 USB 2.0，请遵循与每个引脚相关的参数列表：

- **D+ 和 D-**
 - 工作电压：建议保护二极管的反向工作电压 (V_{RWM}) 大于或等于受保护系统的工作电压。对于 USB 2.0 数据线，工作电压典型值为 3.3V。这意味着工作电压大于或等于 3.3V。
 - 钳位电压：可能有许多系统使用 USB。这导致 ESD 二极管的钳位电压取决于 USB 连接器的下游电路。建议钳位电压低于下游元件的绝对最大额定值。
 - 电容：由于 USB 2.0 的信号速度最高可达 480Mbps，因此建议使用小于 4pF 的低电容 ESD 二极管来支持该信号速度。
 - IEC 61000-4-2 等级：IEC 61000-4-2 测试标准定义了实际的 ESD 冲击。该标准包含两项测量：接触放电和空气间隙放电。接触和空气间隙等级越高，器件能够承受的电压就越高。对于 USB 2.0，建议触点的 IEC 61000-4-2 最低额定值为 8kV，空气间隙的最低额定值为 15kV。
- **V_{BUS}**
 - 工作电压：对于 V_{BUS}，工作电压为 5V。建议使用工作电压大于或等于 5V 的 ESD 二极管。

表 3-1 列出了支持这些规格的器件。

表 3-1. USB 2.0 器件建议

器件	V_{RWM} (V)	IEC 61000-4-2 (kV) (接触/空气间隙)	电容 (pF)	通道计数	封装尺寸 (mm)	推荐用于
ESD321	3.6	30/30	0.9	1	DFN1006 (1.00 x 0.60)、SOD523(1.60 x 0.80)	D+、D-
ESD122	3.6	17/17	0.2	2	DFN1006、3 引脚 (1.00 x 0.60)	D+、D-
ESD441	5.5	30/30	1	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)	VBUS
TPD4E05U06	5.5	12/15	0.5	4	USON (2.50 x 1.00)	D+、D-、VBUS

3.3 系统级设计

TI 提供大量 ESD 二极管，并提供了保护 USB 2.0 的选项。图 3-2 显示了实现三个 ESD 保护二极管的方框图。这些二极管连接到连接器与电池充电器或 USB 控制器之间的每条数据和电力线。为了正确保护系统，请在设计规则允许的情况下，将二极管放置在尽可能靠近 ESD 源 (在本例中为连接器) 的位置。

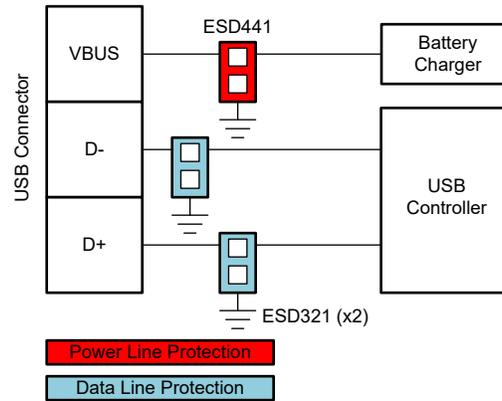


图 3-2. USB 2.0 ESD 保护

上图中，ESD321 用于保护 D+ 和 D- 线路，ESD441 用于保护 VBUS 线路。还可以选择使用一个 ESD 二极管来保护数据和电力线。为此，建议二极管的工作电压大于或等于 5V。TPD4E05U06 是一款可同时处理数据线和电力线的器件。

4 USB 5Gbps

4.1 概述

标称速率达到 5Gbps 的 USB 标准包括：USB 3.0、USB 3.1 Gen 1 和 USB 3.2 Gen 1x1。这些标准使用以下引脚： V_{BUS} 用于电源，D+ 和 D- 用于差分数据信号，TX+、TX-、RX+ 和 RX- 用于发送和接收信号，以及接地。

USB 5Gbps 用于各种器件和应用。有一个外部连接器，使系统面临高压雷击的风险。如果系统未得到适当保护，这种瞬态事件可能会导致系统的下游元件损坏。以下各节将讨论 ESD 保护要求和用于保护高达 5Gbps 的速度的系统级设计。

4.2 ESD 保护要求

为了保护 USB 5Gbps，请遵循与每个引脚相关的参数列表：

- **D+、D-、TX+、TX-、RX+、RX-**

- 工作电压：建议保护二极管的反向工作电压 (V_{RWM}) 大于或等于受保护系统的工作电压。对于 USB 5Gbps 数据线，工作电压典型值为 3.3V。建议使用工作电压大于或等于 3.3V 的保护二极管。
- 钳位电压：可能有许多系统使用 USB。这导致 ESD 二极管的钳位电压取决于 USB 连接器的下游电路。建议钳位电压低于下游元件的绝对最大额定值。
- 电容 (D+、D-)：由于 D+ 和 D- 专用于 USB 2.0 数据传输，因此信号速度可高达 480Mbps。建议使用电容小于 4pF 的 ESD 二极管。
- 电容 (TX+、TX-、RX+、RX-)：信号速度最高可达 5Gbps，建议使用小于 0.5pF 的低电容 ESD 二极管来支持信号速度。
- IEC 61000-4-2 等级：IEC 61000-4-2 测试标准定义了实际的 ESD 冲击。该标准包含两项测量：接触放电和空气间隙放电。接触和空气间隙等级越高，器件能够承受的电压就越高。对于 USB 5Gbps，建议触点的 IEC 61000-4-2 最低额定值为 8kV，空气间隙的最低额定值为 15kV。

- **V_{BUS}**

- 工作电压：对于 V_{BUS} ，工作电压为 5V。建议使用工作电压大于或等于 5V 的 ESD 二极管。

表 4-1 列出了支持这些规格的器件。

表 4-1. USB 5Gbps 器件建议

器件	V_{RWM} (V)	IEC 61000-4-2 (kV) (接触/空气间隙)	电容 (pF)	通道计数	封装尺寸 (mm)	推荐用于
ESD321	3.6	30/30	0.9	1	DFN1006 (1.00 x 0.60)、SOD523(1.60 x 0.80)	D+、D-
ESD122	3.6	17/17	0.2	2	DFN1006、3 引脚 (1.00 x 0.60)	D+、D-、TX+、TX-、 RX+、RX-
TPD4E02B04	3.6	12/15	0.25	4	USON (2.50 x 1.00)	D+、D-、TX+、TX-、 RX+、RX-
TPD6E05U06	5.5	12/15	0.47	6	USON (3.50 x 1.35)	D+、D-、TX+、TX-、 RX+、RX-
ESD441	5.5	30/30	1	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)	VBUS

4.3 系统级设计

TI 提供了一系列 ESD 二极管，并提供了保护 USB 5Gbps 的选项。图 4-1 显示了实现四个 ESD 保护二极管的方框图。这些二极管连接到连接器与电池充电器或 USB 控制器之间的每条数据和电力线。为了正确保护系统，请在设计规则允许的情况下，将二极管放置在尽可能靠近 ESD 源（在本例中为连接器）的位置。

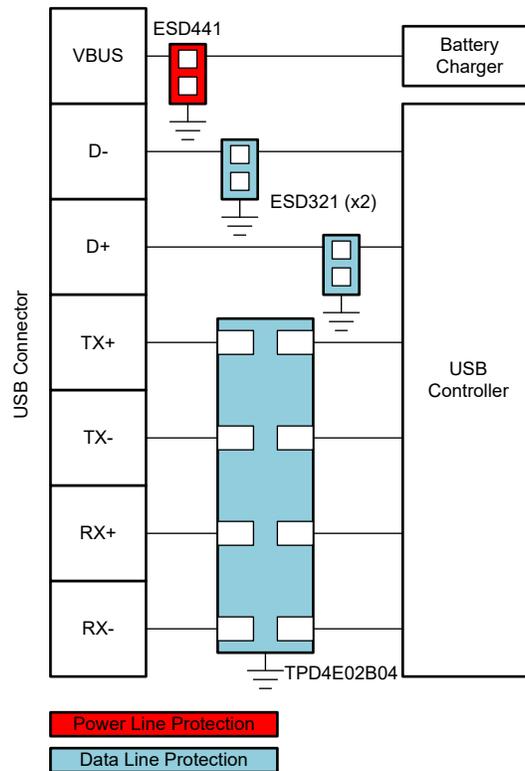


图 4-1. USB 5Gbps ESD 保护

对于图 4-1，ESD321 用于保护 D+ 和 D-。TPD4E02B04 用于 TX/RX 线路。还有一些其他选项可以保护 D/TX/RX 线路，例如使用 6 通道器件，使用多个 2 通道器件，甚至使用单通道器件。ESD441 用于保护 VBUS 线路。

5 USB 10Gbps

5.1 概述

标称速率高达 10Gbps 的 USB 标准包括：USB 3.1 Gen 2、USB 3.2 Gen 2x1、USB 3.2 Gen 1x2 和 USB 4 Gen 2x1。这些标准使用以下引脚： V_{BUS} 用于电源，D+ 和 D- 用于差分数据信号，一条通道 (USB 3.1 Gen 2、USB 3.2 Gen 2x1 和 USB 4 Gen 2x1) 或两条通道 (USB 3.2 Gen 1x2) 用于发送和接收信号 (TX1/RX1、TX2/RX2)，以及接地。

当前普遍使用的是 USB 10Gbps，而且由于具有外部连接，系统存在高压冲击的风险。如果系统未得到适当保护，ESD 冲击可能会通过连接器进入，并导致下游元件损坏。以下各节将讨论 ESD 保护要求以及用于保护 USB 10Gbps 信号的系统级设计。

5.2 ESD 保护要求

为了保护 USB 10Gbps，请遵循与每个引脚相关的参数列表：

- **D+、D-、TX1+、TX1-、RX1+、RX1-、TX2+、TX2-、RX2+、RX2-**
 - 工作电压：建议保护二极管的反向工作电压 (V_{RWM}) 大于或等于受保护系统的工作电压。对于 USB 10Gbps 数据线，典型工作电压范围为 3.3V。这意味着工作电压大于或等于 3.3V。
 - 钳位电压：可能有许多系统使用 USB。这导致 ESD 二极管的钳位电压取决于 USB 连接器的下游电路。建议钳位电压低于下游元件的绝对最大额定值。
 - 电容 (D+、D-)：由于 D+ 和 D- 专用于 USB 2.0 数据传输，因此信号速度可高达 480Mbps。建议使用电容小于 4pF 的 ESD 二极管。
 - 电容 (TX+、TX-、RX+、RX-)：由于信号速度最高可达 10Gbps，建议使用小于 0.3pF 的低电容 ESD 二极管来支持信号速度。对于 USB 3.2 Gen 1x2，有两个通道，每个通道的速率为 5Gbps，建议使用小于 0.5pF 的电容来支持每个通道。
 - IEC 61000-4-2 等级：IEC 61000-4-2 测试标准定义了实际的 ESD 冲击。该标准包含两项测量：接触放电和空气间隙放电。接触和空气间隙等级越高，器件能够承受的电压就越高。对于 USB 10Gbps，建议触点的 IEC 61000-4-2 最低额定值为 8kV，空气间隙的最低额定值为 15kV。
- **V_{BUS}**
 - 工作电压：对于 V_{BUS} ，工作电压为 5V。建议使用工作电压大于或等于 5V 的 ESD 二极管。

表 5-1 列出了支持这些规格的器件。

表 5-1. USB 10Gbps 器件建议

器件	V_{RWM} (V)	IEC 61000-4-2 (kV) (接触/空气间隙)	电容 (pF)	通道计数	封装尺寸 (mm)	推荐用于
ESD321	3.6	30/30	0.9	1	DFN1006 (1.00 x 0.60)、SOD523(1.60 x 0.80)	D+、D-
TPD1E01B04	3.6	15/17	0.18	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)、DFN1006 (1.00 x 0.60)	D+、D-、TX+、TX-、RX+、RX-
ESD122	3.6	17/17	0.2	2	DFN1006、3 引脚 (1.00 x 0.60)	D+、D-、TX+、TX-、RX+、RX-
TPD4E02B04	3.6	12/15	0.25	4	USON (2.5 x 1.0)	D+、D-、TX+、TX-、RX+、RX-
ESD441	5.5	30/30	1	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)	VBUS

5.3 系统级设计

TI 提供各种能够保护 USB 10Gbps 的 ESD 二极管。图 5-1 显示了实现四个 ESD 保护二极管的方框图。这些二极管连接到连接器与电池充电器或 USB 控制器之间的每条数据和电力线。为了正确保护系统，请在设计规则允许的情况下，将二极管放置在尽可能靠近 ESD 源 (在本例中为连接器) 的位置。

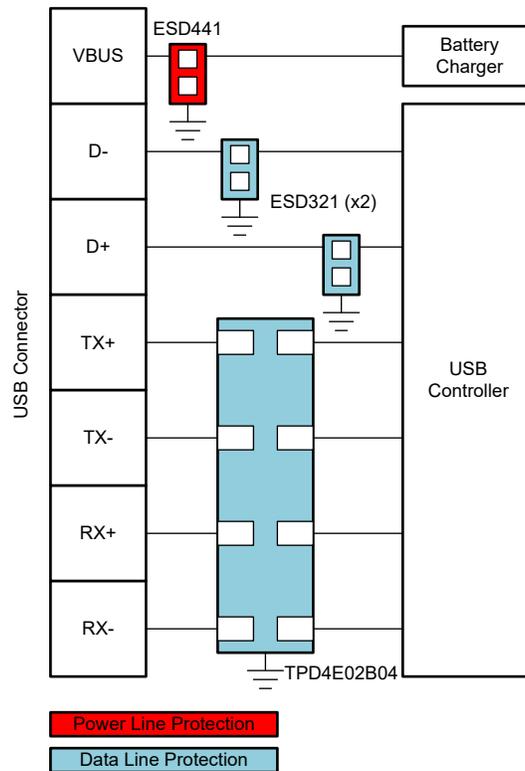


图 5-1. USB 10Gbps ESD 保护

对于图 5-1，ESD321 用于保护 D+ 和 D-。TPD4E02B04 用于 TX/RX 线路。还有一些其他选项可以保护 D/TX/RX 线路，例如使用 6 通道器件，使用多个 2 通道器件，甚至使用单通道器件。ESD441 用于保护 VBUS 线路。

6 USB 20Gbps

6.1 概述

标称速率达到 20Gbps 的 USB 标准有：USB 3.2 Gen 2x2、USB 4 Gen 2x2 和 USB 4 Gen 3x1。这些标准使用以下引脚：V_{BUS} 用于电源，D+ 和 D- 用于差分数据信号，一条通道 (USB 4 Gen 3x1) 或两条通道 (USB 3.2 Gen 2x2 和 USB 4 Gen 2x2) 用于发送和接收信号 (TX1/RX1、TX2/RX2)，以及接地。

USB 20Gbps 用于各种器件和应用。由于有一个连接暴露在外环境中，因此存在发生高压冲击的风险。瞬态事件可能会导致系统的下游元件损坏。以下各节将讨论 ESD 保护要求和用于保护高达 20Gbps 的速度的系统级设计。

6.2 ESD 保护要求

为了保护 USB 20Gbps，请遵循与每个引脚相关的参数列表：

- **D+、D-、TX1+、TX1-、RX1+、RX1-、TX2+、TX2-、RX2+、RX2-**
 - 工作电压：建议保护二极管的反向工作电压 (V_{RWM}) 大于或等于受保护系统的工作电压。对于 USB 20Gbps 数据线，工作电压典型值为 3.3V。这意味着工作电压大于或等于 3.3V。
 - 钳位电压：可能有许多系统使用 USB。这导致 ESD 二极管的钳位电压取决于 USB 连接器的下游电路。建议钳位电压低于下游元件的绝对最大额定值。
 - 电容 (D+、D-)：由于 D+ 和 D- 专用于 USB 2.0 数据传输，因此信号速度可高达 480Mbps。建议使用电容小于 4pF 的 ESD 二极管。
 - 电容 (TX+、TX-、RX+、RX-)：对于 USB 4 Gen 3x1，信号速度可达 20Gbps，这意味着建议使用小于 0.25pF 的超低电容 ESD 二极管。对于每通道高达 10Gbps 的双通道标准，建议使用电容小于 0.3pF 的超低电容 ESD 二极管。
 - IEC 61000-4-2 等级：IEC 61000-4-2 测试标准定义了实际的 ESD 冲击。该标准包含两项测量：接触放电和空气间隙放电。接触和空气间隙等级越高，器件能够承受的电压就越高。对于 USB 20Gbps，建议触点的 IEC 61000-4-2 最低额定值为 8kV，空气间隙的最低额定值为 15kV。
- **V_{BUS}**
 - 工作电压：对于 V_{BUS}，工作电压为 5V。建议使用工作电压大于或等于 5V 的 ESD 二极管。

表 6-1 列出了支持这些规格的器件。

表 6-1. USB 20Gbps 器件建议

器件	V _{RWM} (V)	IEC 61000-4-2 (kV) (接触/空气间隙)	电容 (pF)	通道计数	封装尺寸 (mm)	推荐用于
ESD321	3.6	30/30	0.9	1	DFN1006 (1.00 x 0.60)、SOD523 (1.60 x 0.80)	D+、D-
TPD1E01B04	3.6	15/17	0.18	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)、DFN1006 (1.00 x 0.60)	D+、D-、TX+、TX-、RX+、RX-
ESD122	3.6	17/17	0.2	2	DFN1006、3 引脚 (1.00 x 0.60)	D+、D-、TX+、TX-、RX+、RX-
TPD4E02B04	3.6	12/15	0.25	4	USON (2.5 x 1.0)	D+、D-、TX/RX，每通道 10Gbps
ESD441	5.5	30/30	1	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)	VBUS

6.3 系统级设计

TI 有一系列能够保护 USB 20Gbps 的 ESD 二极管。图 6-1 显示了实现多个 ESD 保护二极管的方框图。这些二极管连接到连接器与电池充电器或 USB 控制器之间的每条数据和电力线。为了正确保护系统，请在设计规则允许的情况下，将二极管放置在尽可能靠近 ESD 源 (在本例中为连接器) 的位置。

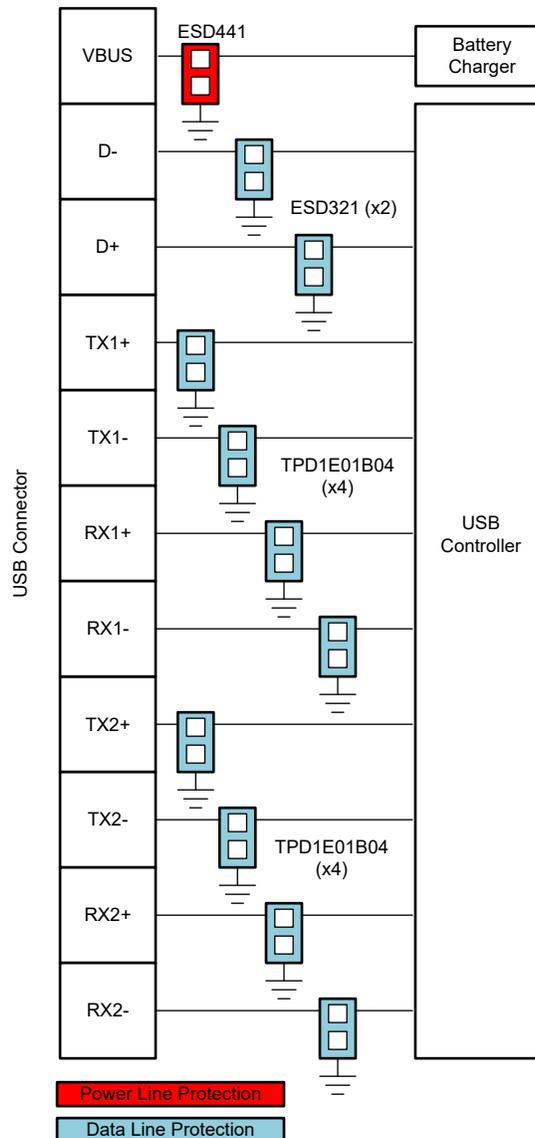


图 6-1. USB 20Gbps ESD 保护

对于图 6-1，ESD321 用于保护 D+ 和 D- 线路，8 个 TPD1E01B04 用于保护 TX/RX 线路，ESD441 用于保护 VBUS 线路。保护 USB 线路的可能性是无限的，可以使用多通道或单通道保护二极管。

7 USB Type-C® 保护

7.1 概述

USB Type-C® 是一个 24 引脚连接器，可通过一根电缆传输大量功率和数据。USB Type-C® 能够支持 USB 2.0 和之后的所有标准以及 HDMI 和 DisplayPort 等替代模式。该标准还支持 USB-PD 标准（主要在 USB Type-C 连接器上实现）。图 7-1 详细说明了 USB Type-C® 连接器的引脚配置。

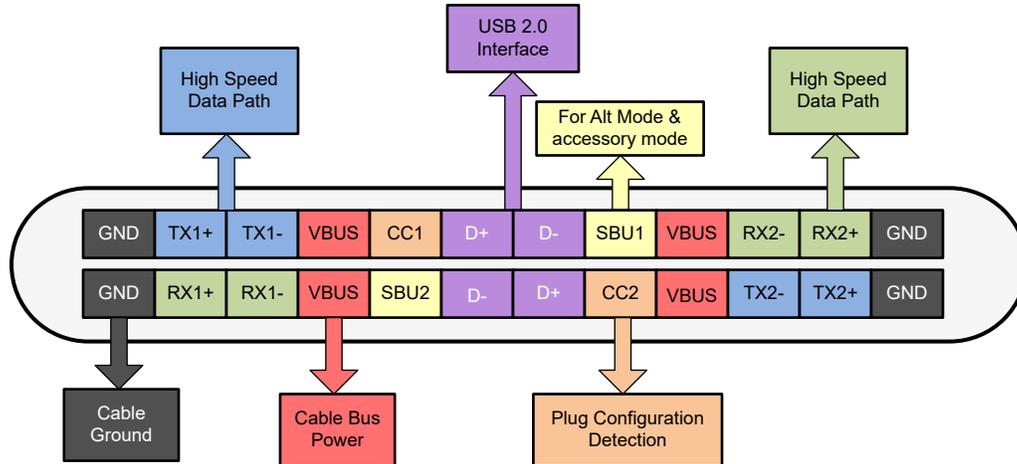


图 7-1. USB Type-C® 引脚配置

虽然 USB Type-C® 包含应用手册中提到的相同引脚（例如 D+ 和 D- 以及 TX/RX 线），但还有特定于 USB Type-C® 的其他引脚：CC1/CC2 和 SBU1/SBU2。CC 引脚是通道配置引脚。这些引脚能够检测电缆的连接、电缆方向和电流广播。SBU 引脚为边带使用。这些引脚用于音频适配器附件模式和交替模式。交替模式包括 DisplayPort、HDMI 和 Thunderbolt。以下部分介绍了正确保护 USB Type-C® 连接器的 ESD 保护要求。

7.2 ESD 保护要求

为了保护 USB Type-C®, 请遵循与每个引脚相关的参数列表：

- **D+, D-, TX1+, TX1-, RX1+, RX1-, TX2+, TX2-, RX2+, RX2-**
 - 工作电压：建议保护二极管的反向工作电压 (V_{RWM}) 大于或等于受保护系统的工作电压。对于数据线，典型的工作电压范围是 3.3V。这意味着工作电压大于或等于 3.3V。
 - 钳位电压：可以有許多系统使用 USB。这导致 ESD 二极管的钳位电压取决于 USB 连接器的下游电路。建议钳位电压低于下游元件的绝对最大额定值。
 - 电容 (D+, D-)：由于 D+ 和 D- 专用于 USB 2.0 数据传输，因此信号速度可高达 480Mbps。建议使用电容小于 4pF 的 ESD 二极管。
 - 电容 (TX+, TX-, RX+, RX-)：对于每通道高达 5Gbps 的速度，建议电容小于 0.5pF。对于每通道 10Gbps，建议电容小于 0.3pF，对于每通道 20Gbps，建议电容小于 0.25pF。
 - IEC 61000-4-2 等级：IEC 61000-4-2 测试标准定义了实际的 ESD 冲击。该标准包含两项测量：接触放电和空气间隙放电。接触和空气间隙等级越高，器件能够承受的电压就越高。建议触点的 IEC 61000-4-2 最低额定值为 8kV，空气间隙的最低额定值为 15kV。
- **CC**
 - 工作电压：建议保护二极管的反向工作电压 (V_{RWM}) 大于或等于受保护系统的工作电压。CC 引脚的典型工作电压可达 5V。这意味着工作电压大于或等于 5V。
- **SBU**
 - 工作电压：建议保护二极管的反向工作电压 (V_{RWM}) 大于或等于受保护系统的工作电压。SBU 引脚的典型工作电压高达 3.6V。这意味着工作电压大于或等于 3.6V。
 - 电容：由于 SBU 线上的数据速度较高，因此需要低电容二极管。根据信号速度，电容可能会有所不同。对于高达 5Gbps 的速度，建议使用小于 0.5pF 的电容。
- **VBUS**
 - 工作电压：对于 V_{BUS} ，工作电压为 5V。建议使用工作电压大于或等于 5V 的 ESD 二极管。

表 7-1. USB Type-C® 器件建议

器件	V_{RWM} (V)	IEC 61000-4-2 (kV) (接触/空气间隙)	电容 (pF)	通道计数	封装尺寸 (mm)	推荐用于
ESD321	3.6	30/30	0.9	1	DFN1006 (1.00 x 0.60)、SOD523 (1.60 x 0.80)	D+, D-
TPD1E01B04	3.6	15/17	0.18	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)、DFN1006 (1.00 x 0.60)	D+, D-, TX+, TX-, RX+, RX-
TPD4E02B04	3.6	12/15	0.25	4	USON (2.5 x 1.0)	D+, D-, TX+, TX-, RX+, RX-
ESD341	3.6	30/30	0.66	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)	SBU
ESD441	5.5	30/30	1	1	DFN0603 (0.60 x 0.30)	CC、VBUS

7.3 系统级设计

TI 拥有各种 ESD 保护二极管，能够保护 USB Type-C® 连接器的每个引脚。图 7-2 显示了实现单通道 ESD 保护二极管的方框图。这些二极管连接到连接器和 USB 控制器之间的每条数据线和电力线。为了正确保护系统，请在设计规则允许的情况下，将二极管放置在尽可能靠近 ESD 源（在本例中为连接器）的位置。

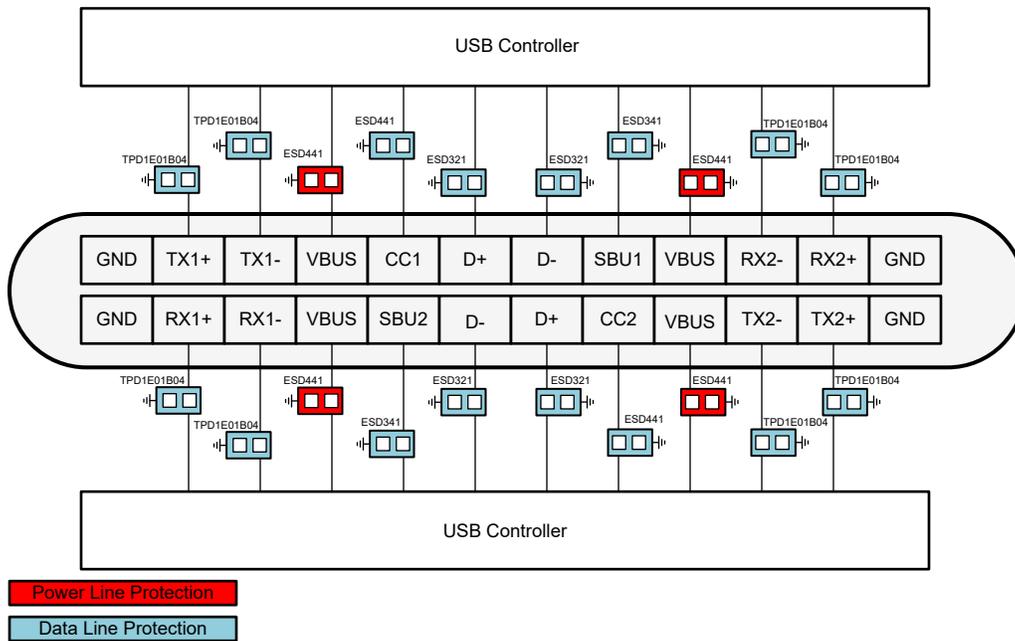


图 7-2. USB Type-C® ESD 保护

对于图 7-2，TPD1E04B04 用于保护 TX/RX 线路，ESD321 用于 D+ 和 D- 线路，ESD441 用于保护 CC 引脚和 VBUS，ESD341 用于保护 SBU 引脚。有许多选项可以保护 USB Type-C®，包括使用多通道器件。

8 USB 电力输送 (USB-PD) 浪涌保护

8.1 概述

经过几年的发展，USB 标准接口不仅支持传输数据，还支持传输电力。在 USB 2.0 和 USB 3.x 标准中，可提供的最大功率为 15W， V_{BUS} 上的最大电压为 5V。USB 电力输送 (USB-PD) 标准支持通过兼容的 USB 电缆向系统提供更高功率（高达 240W）。 V_{BUS} 引脚的电压可根据需要提供的功率而变。常用电压为 5V、9V、15V 和 20V，最近还增加了 28V、36V 和 48V。

8.2 VBUS 保护

就像所有电力线一样，必须考虑如何针对瞬态过压事件提供保护。例如，在有电流流经电缆时发生插拔事件，电感振铃会使 20V 线路临时增加到 50V，从而损坏下游电路。一种保护系统的建议是使用保护二极管，其中钳位电压是要考虑的一项关键规格，以确保系统中的电压低于系统的最大电压。TVS2200 是使用非常低的钳位电压保护 20V 线路的器件。这会导致系统在瞬态事件期间出现 28V 的最大电压。图 8-1 和图 8-2 展示了使用 TVS 器件的结果和好处。另外，表 8-1 展示了建议用于 USB-PD 电压电平的 TVS 二极管。

表 8-1. USB-PD VBUS 浪涌保护建议

USB-PD 电压	建议的 TVS	浪涌钳位电压	封装 尺寸
5V	TVS0500	9V	DRV 2mm × 2mm
9V	TVS1400	18V	DRV 2mm × 2mm
15V	TVS1800	23V	DRV 2mm × 2mm
20V	TVS2200	28V	DRV 2mm × 2mm
28V	TVS3300	38V	DRV 2mm × 2mm YZF 1.1mm × 1.1mm

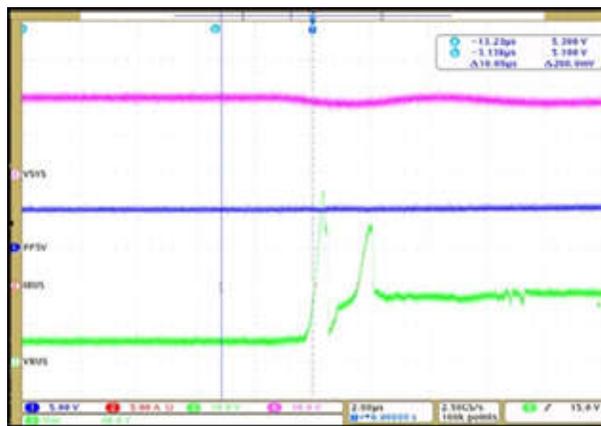


图 8-1. USB-PD VBUS 过压事件，无 TVS

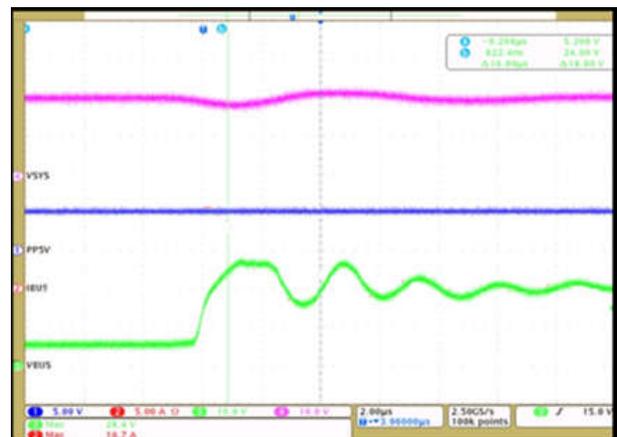


图 8-2. USB-PD VBUS 过压，由 TVS2200 钳位

8.3 短接至 VBUS

防止短接至 V_{BUS} 是另一个要考虑的问题。在短接至 V_{BUS} 的情况下，由于接近 V_{BUS} ，CC 和 SBU 引脚可能会暴露在 V_{BUS} 上的电压下。图 8-3 表示发生短接至 VBUS 事件的原因，例如以不当方式移除了连接器。

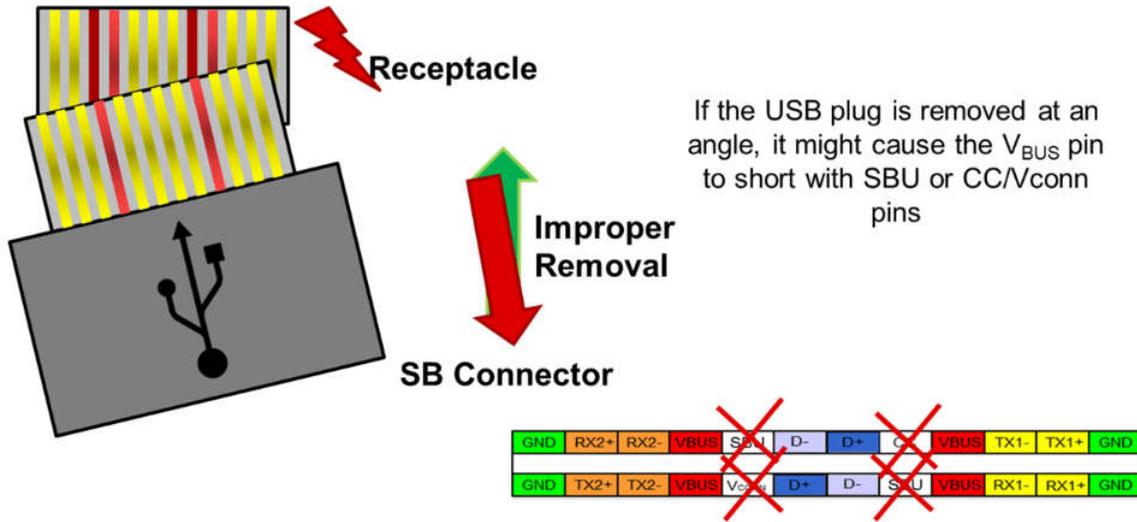


图 8-3. 短接至 VBUS

如前所述，USB-PD 的电压范围可以是 5V 到 48V。这需要在 CC、SBU 和 VBUS 引脚上为保护二极管提供相同的工作电压，以验证系统是否具备 ESD 保护功能。表 8-2 中显示了针对这些条件的器件建议。有关 V_{BUS} 短接保护的更多器件，请咨询 TI 的 USB-PD 团队。

表 8-2. VBUS 短接器件建议

器件	V_{RWM} (V)	IEC 61000-4-2 (kV) (接触/空气间隙)	电容 (pF)	通道计数	封装尺寸 (mm)	推荐用于
ESD2CAN24-Q1/ ESD752	24	30/30	3	2	SOT023 (2.92 x 2.37), SOT-SC70 (2.0 x 2.1)	VBUS、CC、SBU

9 参考资料

- 德州仪器 (TI), [USB Type-C® 和 USB 电力输送应用和要求初探](#) 营销白皮书。
- 德州仪器 (TI), [系统级 ESD 保护指南](#)。
- 德州仪器 (TI), [阅读并了解 ESD 保护数据表](#) 用户指南。
- 德州仪器 (TI), [ESD 封装和布局指南](#) 应用手册。

10 修订历史记录

Changes from Revision A (August 2022) to Revision B (January 2024) **Page**

- 添加并更新了有关 USB 的信息以包含大多数协议，并为每个协议添加了器件建议..... 1
-

Changes from Revision * (November 2021) to Revision A (August 2022) **Page**

- 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式..... 1
 - 在 *USB 2.0 数据线保护建议表* 中添加了 *ESD341* 6
-

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司