

摘要

通用串行总线 (USB) 行业标准指定了计算机和外设之间的连接、通信和供电。USB 硬件具有多种不同变体，目前最常用的是 USB 2.0 和 USB 3.2。USB Type-C® 具有 24 引脚连接器，可支持 USB 3.2、DisplayPort、HDMI 和其他备选模式。它还支持 USB 电力输送 (USB-PD) 标准，可通过 USB 增加电力传输。

内容

1 USB 2.0 电路保护	2
1.1 说明.....	2
1.2 数据线保护.....	2
1.3 电力线保护.....	2
2 USB 3.2 电路保护	4
2.1 说明.....	4
2.2 数据线保护.....	4
3 USB 电力输送 (USB-PD) 浪涌保护	6
3.1 引言.....	6
3.2 VBUS 保护.....	6
4 USB Type-C® 保护	7
4.1 引言.....	7
4.2 CC 和 SBU 线路 ESD 保护.....	8
5 参考文献	8
6 修订历史记录	9

插图清单

图 1-1. USB 2.0 数据和电力线保护.....	2
图 2-1. USB 3.2 第 1 代数据和电力线保护.....	4
图 2-2. USB 3.2 第 2 代数据和电力线保护.....	5
图 3-1. USB-PD VBUS 过压事件，无 TVS.....	6
图 3-2. USB-PD VBUS 过压，由 TVS2200 进行钳位.....	6
图 4-1. USB Type-C® 数据和电力线保护.....	7

表格清单

表 1-1. USB 2.0 数据线保护建议.....	3
表 1-2. USB 2.0 电力线保护建议.....	3
表 2-1. USB 3.2 数据线保护建议.....	5
表 2-2. USB 3.2 VBUS 电力线保护建议.....	5
表 3-1. USB-PD VBUS 浪涌保护建议.....	6
表 4-1. CC 和 SBU ESD 保护建议值.....	8

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 USB 2.0 电路保护

1.1 说明

USB 2.0 连接器有 4 个引脚：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。V_{BUS} 线路传送 5V 直流电源，数据线传输 480Mbps 差分信号。

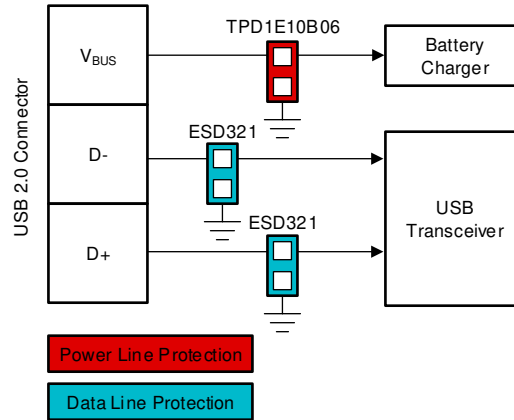


图 1-1. USB 2.0 数据和电力线保护

1.2 数据线保护

D+ 和 D- 线需要低电容 ESD 保护，用以支持 480Mbps 信号。数据线保护的工作电压至少应为 3.6V。如果电源线和数据线可能发生交叉，则应考虑采用工作电压为 5.5V 的器件。

1.3 电力线保护

V_{BUS} 线路需要至少 5V 的工作电压，以保证正常工作期间不会发生击穿。采用 2mm × 2mm SON 封装的 TVS0500 浪涌保护器件可在发生故障时提供精确的平缓钳位能力，使系统承受的电压低于 10V。TPD1E10B06 是另一款浪涌保护二极管，比 TVS0500 小得多，采用 0402 封装 (1mm × 0.6mm)，同时也具有成本效益。

表 1-1 和表 1-2 分别详细介绍了 USB 2.0 数据线与电力线的保护建议。

表 1-1. USB 2.0 数据线保护建议

	器件	通道数	IEC 61000-4-2 等级 接触放电 气隙放电	说明
数据线 保护二极管	TPD1E05U06 TPD1E05U06-Q1	1	12kV 15kV	适用于高速接口且采用 0402 封装的 0.4pF、5.5V、±12kV ESD 保护二极管
	ESD321	1	30kV 30kV	适用于 USB 2.0、采用 0402 封装且具有 6.8V、16A TLP 钳位的 0.8pF、3.3V、±30kV ESD 保护二极管
	TPD1E1B04	1	30kV 30kV	采用 0402 封装、具有 6A 8μs 至 20μs 浪涌和低钳位的 1pF、±3.6V、±30kV ESD 保护二极管
	ESD341	1	30kV 30kV	采用 0201 封装且具有 5.4A 浪涌额定值的 0.66pF、±3.6V、±30kV ESD 保护二极管
	ESDS312	2	30kV 30kV	适用于 USB 和以太网且具有 25A、8μs 到 20μs 浪涌额定值的双路 4.5pF、3.6V、±30kV ESD 保护二极管
	ESD122	2	18kV 18kV	双路 0.2pF、±3.6V、±18kV ESD 保护二极管

表 1-2. USB 2.0 电力线保护建议

	器件	通道数	IEC 61000-4-5 浪涌额定值	说明
电力线 保护二极管	TVS0500	1	43A	具有 43A、8μs 到 20μs 浪涌额定值的 5V 浪涌保护二极管
	TPD1E10B06 TPD1E10B06-Q1	1	6A	采用 0402 和 SOD-523 封装的 ±5.5V、±30kV ESD 保护二极管

2 USB 3.2 电路保护

2.1 说明

USB 3.2 使用 TX 和 RX 线路处理高达 5Gbps 至 20Gbps 的速率，具体取决于产品代数。若要在这些速率下保持信号完整性，必须尽量减小 TX 和 RX 超高速数据线上保护器件的电容。与 USB 2.0 类似， V_{BUS} 线路传送 5V 直流电源

2.2 数据线保护

USB 3.2 第 1 代 接口能够处理高达 5Gbps 的速度，**2 个 USB 3.2 第 1 代** 可达 10Gbps。ESD 解决方案的电容必须为 0.5pF 或更低。图 2-1 展示了适用于数据线的低电容 (0.5pF) 6 通道 ESD 解决方案，搭配用于 V_{BUS} 线路的 5V 保护器件。

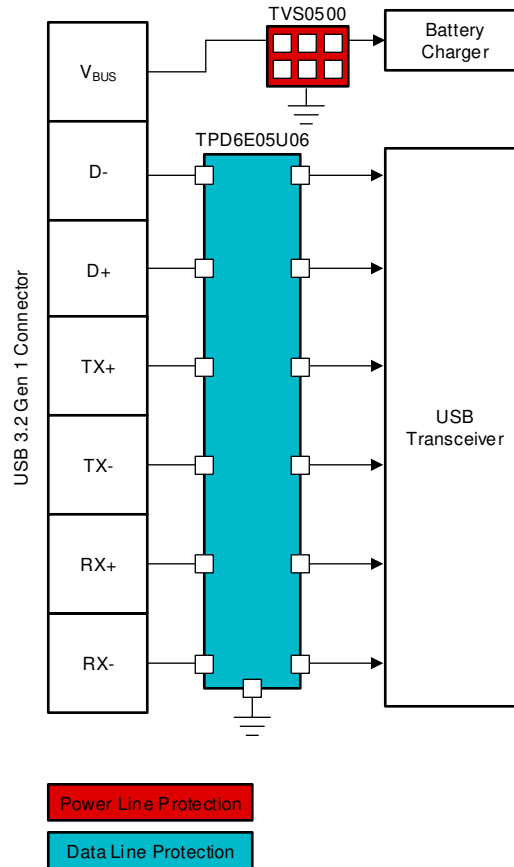


图 2-1. USB 3.2 第 1 代数据和电力线保护

USB 3.2 第 2 代接口能够处理高达 10Gbps 的速度，2 个 USB 3.2 第 2 代接口可处理高达 20Gbps 的速度。ESD 解决方案的电容必须为 0.3pF 或更低。图 2-2 展示了用于 TX 和 RX 数据线的 4 通道 ESD 器件、用于 D+、D- 的双通道 ESD 器件和一个用于 V_{BUS} 线路的单通道 ESD 器件。

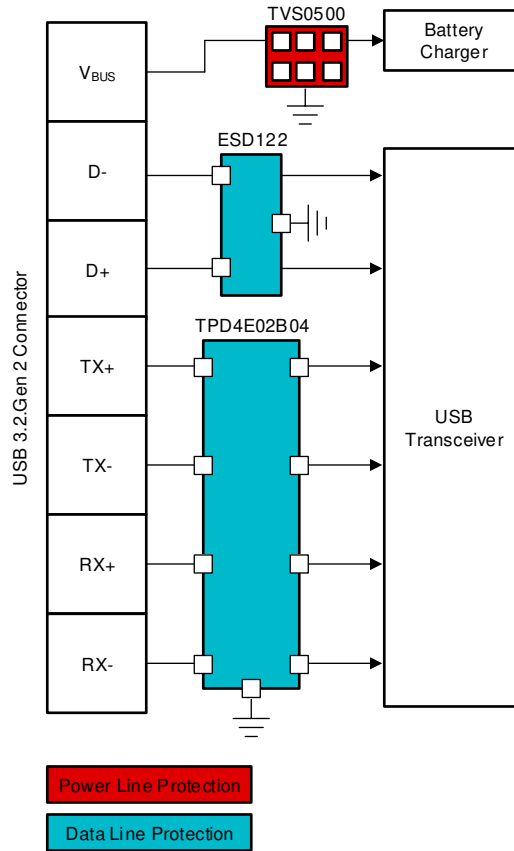


图 2-2. USB 3.2 第 2 代数据和电力线保护

表 2-1. USB 3.2 数据线保护建议

	器件	通道数	电容	说明
数据线保护二极管	TPD4E02B04 TPD4E02B04-Q1	4	0.25pF	适用于 USB 3.2、HDMI 2.0 和高速信号的四路 0.25pF、±3.6V、±12kV ESD 保护二极管
	ESD122	2	0.2pF	适用于 USB 3.2 和 HDMI 2.0 的双路 0.2pF、±3.6V、±18kV ESD 保护二极管
	TPD1E01B04 TPD1E01B04-Q1	1	0.18pF	适用于 USB 3.2、采用 0402 和 0201 封装的 0.18pF、±3.6V、±15kV ESD 保护二极管
	TPD1E0B04	1	0.13pF	适用于 USB-C 和天线且采用 0402 和 0201 封装的 0.13pF、±3.6V、±8kV ESD 保护二极管

表 2-2. USB 3.2 VBUS 电力线保护建议

	器件	通道数	IEC 61000-4-5 浪涌等级	说明
电力线保护二极管	TVS0500	1	43A	具有 43A、8μs 到 20μs 浪涌等级的 5V 浪涌保护二极管
	TPD1E10B06 TPD1E10B06-Q1	1	6A	采用 0402 和 SOD-523 封装的 ±5.5V、±30kV ESD 保护二极管

3 USB 电力输送 (USB-PD) 浪涌保护

3.1 引言

经过几年的发展，USB 标准接口不仅支持传输数据，还支持传输功率。在 USB 2.0 和 USB 3.2 中，最高可传输 15W 功率，VBUS 最高为 5V。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）。VBUS 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。

3.2 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。一种保护系统的解决方案是使用保护二极管，其中钳位电压是要考虑的一项关键规格，用以确保系统中的电压低于系统的最大电压。TVS2200 是利用极低的钳位电压保护 20V 线路的器件，可确保瞬态事件期间系统的最大电压为 28V。图 3-1 和图 3-2 展示了使用 TVS 器件的结果和好处。另外，表 3-1 展示了建议用于 USB-PD 电压电平的 TVS 二极管。

表 3-1. 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	23 V	DRV 2mm × 2mm
20V	TVS2200	28 V	DRV 2mm × 2mm
28 V	TVS3300	38V	DRV 2mm × 2mm YZF 1.1mm × 1.1mm

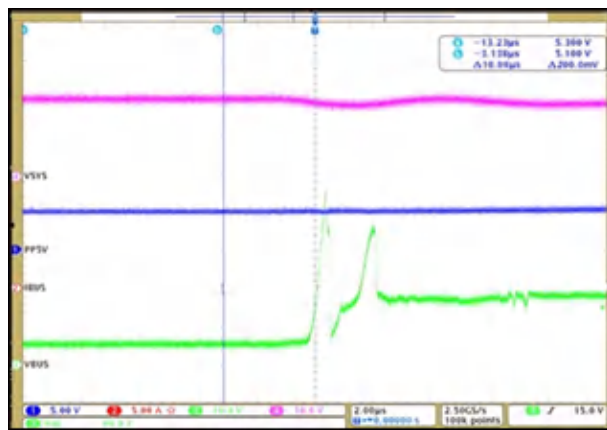


图 3-1. USB-PD VBUS 过压事件，无 TVS

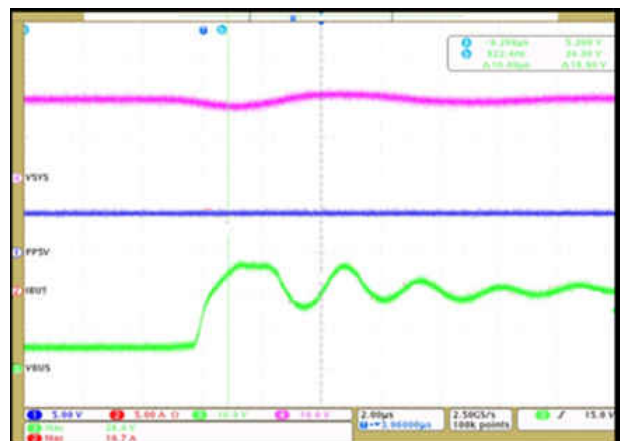


图 3-2. USB-PD VBUS 过压，由 TVS2200 进行钳位

4 USB Type-C® 保护

4.1 引言

USB Type-C 标准 24 引脚连接器可通过一根电缆实现大功率传输并发送大量数据，支持 USB 3.2、HDMI、DisplayPort 和备选模式中的其他标准。该标准还支持 USB-PD 标准（主要在 USB Type-C 连接器上实现）。USB Type-C 连接器的优势还在于它显著小于之前的各代连接器，还可翻转。由于该连接器很小，在选择 ESD 器件时主要考虑最大限度地缩小封装尺寸。

图 4-1 展示了 USB Type-C® 数据和电力线保护功能。

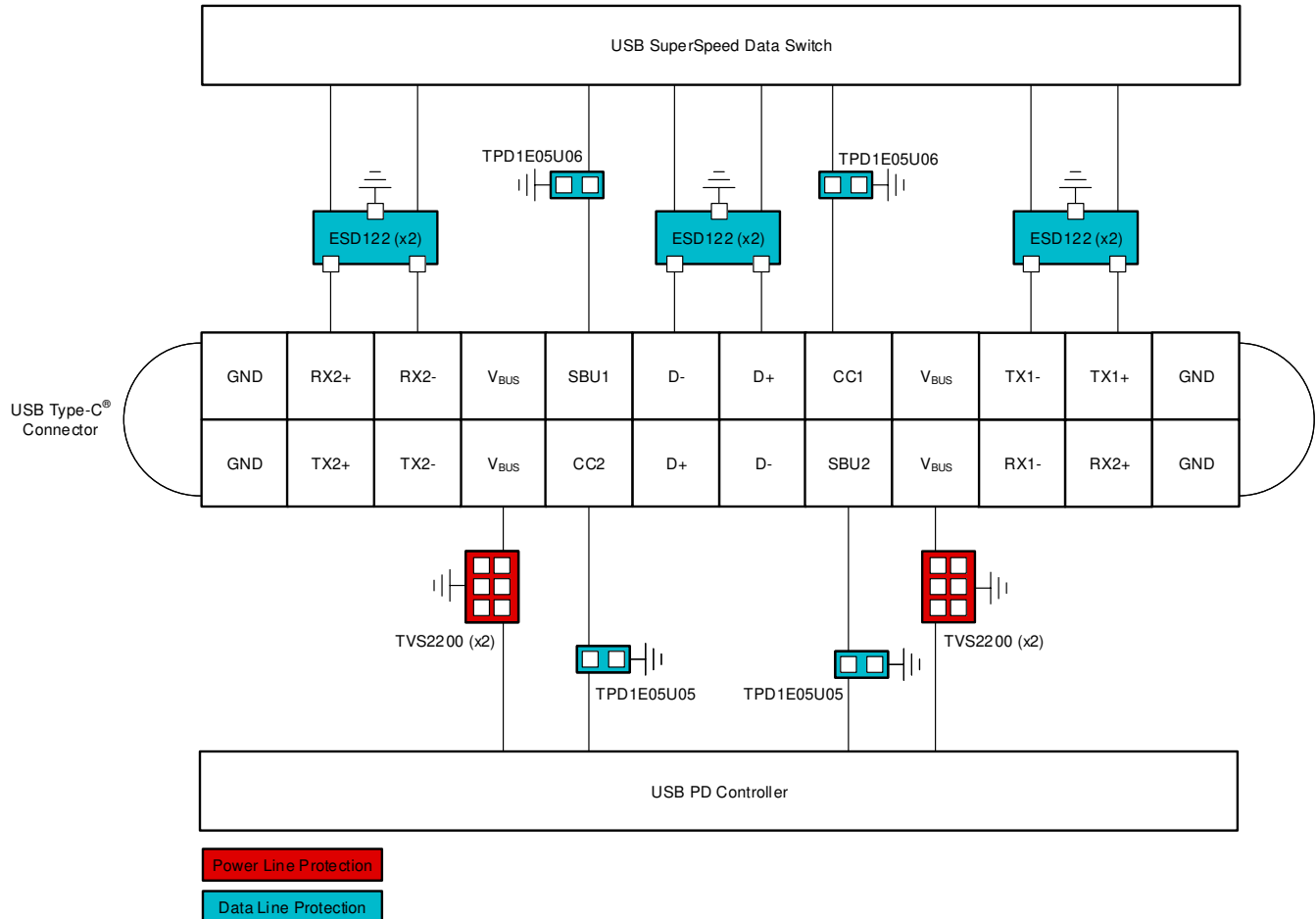


图 4-1. USB Type-C® 数据和电力线保护

4.2 CC 和 SBU 线路 ESD 保护

它包含了与 USB 3.2 相同的引脚，例如 D+ 和 D-，以及 4 条 RX 和 TX 线路，为了实现数据传输的灵活性，还有 CC 和 SBU 等其他配置引脚。此连接器需要的保护与 USB 3.2 的数据线类似；但额外的数据线 CC 和 SBU 也需要 ESD 保护。这些线路在正常运行期间的电压会上升到 5V，因此需要工作电压至少为 5V 的 ESD 二极管。采用节省空间的 0201 和 0402 封装的 TPD1E6B06 和 TPD1E05U06 器件是推荐用于这些线路的器件。

表 4-1 详细列出了 CC 和 SBU ESD 保护建议值。

表 4-1. CC 和 SBU ESD 保护建议值

器件	通道数	IEC 61000-4-2 ESD 等级	说明
TPD1E05U06 TPD1E05U06-Q1	1	12kV 15kV	采用 0402 封装的 0.4pF、5.5V、±12kV ESD 保护二极管
TPD1E6B06	1	15kV 15kV	采用 0201 封装的 6pF、±5.5V、±15kV ESD 保护二极管
ESD401	1	24kV 30kV	采用 0402 封装的 0.77pF、±5.5V、±24kV ESD 保护二极管
ESD341	1	30kV 30kV	采用 0201 封装且具有 5.4A 浪涌额定值的 0.66pF、±3.6V、±30kV ESD 保护二极管

5 参考文献

- 德州仪器 (TI)，[“USB Type-C® 和 USB Power Delivery 应用和要求入门” 营销白皮书](#)

6 修订历史记录

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 <i>USB 2.0 数据线保护建议表</i> 中添加了 <i>ESD341</i>	2

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司