

二极管

TVS 二极管的选择和使用方法

TVS (Transient Voltage Suppressor) 二极管是一种电压钳位型的浪涌保护元件，具有低工作电阻和高电流规格特性，被设计为可吸收短时间内的较大能量。ROHM 为了对应各种各样的应用，开发了多类产品阵列。本应用笔记将说明 TVS 二极管选定时的要点并介绍应用范例。

TVS 二极管选定要点

选定要点的列表如下所示。1 到 3 说明的是为了保护器件而在原有线路上附加 TVS 二极管，为了不使各项特性恶化而选择合适的 TVS 二极管的方法。4 到 6 是确认避免静电破坏和浪涌等过电压脉冲导致 TVS 二极管本身被破坏的方法。7 是选择保护性能更高的产品的方法。各方法的详细情况将在下一页进行说明。

- 确认 TVS 二极管不会影响所保护的配线

1. 根据配线的电压来选择
2. 根据配线的信号频率来选择
3. 根据信号的极性来选择

- 确认 TVS 二极管的破坏耐量

4. 选择可耐受所要求的 ESD 的 TVS 二极管
5. 选择可耐受所要求的过电流的 TVS 二极管
6. 选择可耐受所要求的过功率的 TVS 二极管

- 确认 TVS 二极管的保护性能

7. 选择钳位电压较低的产品

为了保护器件而在原有线路上附加 TVS 二极管，但线路上有电源供给用的「功率线」、传输模拟和数字信号的「信号线」、使用控制器来进行设备间联动的「通信线」、传输机器的 ON/OFF 命令和条件设定命令的「控制线」。为了不因附加 TVS 二极管而使既有配线的特性恶化，这里说明选择 TVS 二极管的方法。

1. 根据配线的电压来选择

Figure 1 所示的是 TVS 二极管动作的概略。左图是通常时的动作。在这个例子中，左端是连接器，右端是保护对象 IC。两者通过接线连接，其间配置有 TVS 二极管。配线上传播着根据应用而设计的 DC 电压、模拟信号、数字信号。通常情况下，由于 TVS 二极管没有击穿，所以 TVS 二极管不动作。

右边的图是施加浪涌时的动作。当浪涌电压超过 TVS 二极管的击穿电压时，浪涌电流经由 TVS 二极管多数流向 GND。然后通过 TVS 二极管将电压钳位，保护对象器件。

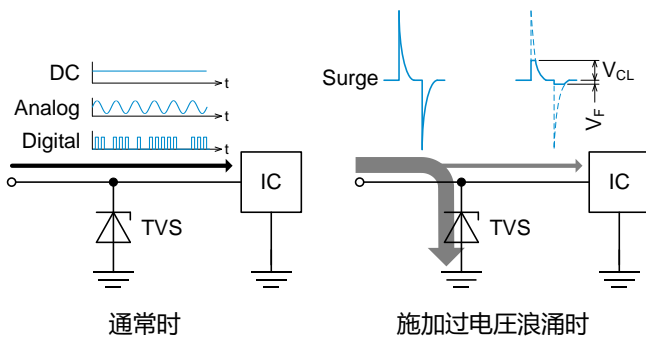


Figure 1. TVS 二极管动作的概略

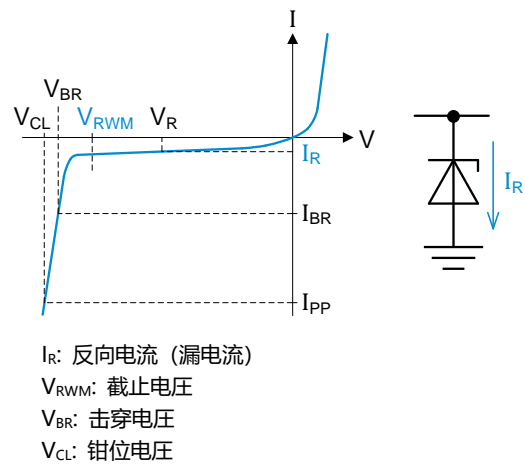
通常时和施加过电压浪涌时的 TVS 二极管的动作

通常为了防止 TVS 二极管击穿，需要选择符合配线电压和传送信号的产品。

Figure 2 表示的是 TVS 二极管的 I-V 特性。这里重要的特性是截止电压 V_{RWM} 。这是在 TVS 二极管转换为击穿状态之前的最大电压，在该电压以下，TVS 二极管不会工作。因此，请选择 V_{RWM} 高于配线所处理的电压的 TVS 二极管。

需注意的是，反向电压 V_R 使反向电流 I_R 始终流向 GND。这在应用电路看来是漏电流，根据电路的不同可能会引起误动作。选择电路可接受的 I_R 值的产品时，请务必用在实机上确认。

另外，由于信号波形电压值越接近 V_{RWM} ，反向电流 I_R 越会增加，所以模拟信号的情况下失真率可能会恶化，所以请务必用实机确认动作情况。



I_R : 反向电流 (漏电流)
 V_{RWM} : 截止电压
 V_{BR} : 击穿电压
 V_{CL} : 钳位电压

Figure 2. TVS 二极管的 I-V 特性
 蓝字表示重要特性

2. 根据配线的信号频率来选择

通常时 TVS 二极管是连接到线路中，除了前面所说的反向电流 I_R ，通常还附加有端子间电容 C_t (Figure 3)。

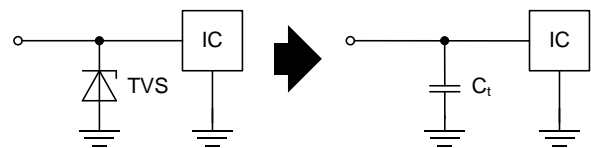


Figure 3. 通常时在线路上附加有 TVS 二极管的端子间电容 C_t

这条线路只有直流电压的功率线的情况下没有受到电容的影响，但是信号线、通信线、控制线的话会受其频率和通信速度的影响，所以需要选择适合应用的电容值。电容值大的话，信号线如果是模拟信号的话，会出现失真率的恶化和波形的延迟；数字信号的话会出现信号的延迟和波形的钝化；通信线的话会出现眼型图恶化（误码率恶化）；控制线的话由于波形的延迟和钝化会出现误动作。

代表应用和端子间电容 C_t 的标准如 Figure 4 所示。这张图的电容值是标准参考值，请务必在实机上确认动作。

应用	端子间电容 C_t 标准
USB3.2 Gen 2x2 (20Gbps) Thunderbolt 2 (20Gbps) Thunderbolt 3 (40Gbps) HDMI 2.0 (14Gbps) HDMI 2.0a/b (18GHz) HDMI 2.1 (48Gbps) Wi-Fi天线 (2.4GHz) Wi-Fi天线 (5GHz) Bluetooth天线 (2.4GHz)	$\leq 0.15\text{pF}$
USB3.2 Gen 2NOTE2 (10Gbps) HDMI 1.3 (10.2Gbps) HDMI 1.4 (10.2Gbps) NFC天线 (13.56MHz)	$\leq 0.35\text{pF}$
USB 3.2 Gen 1NOTE1 (5Gbps) HDMI 1.2 (4.95Gbps) DisplayPort 1.0 (2.7Gbps) LVDS (1Gbps) MIPI D-PHY v1.1 (1.5Gbps) MIPI D-PHY v1.2 (2.5Gbps) MIPI D-PHY v2.0 (4.5Gbps) MIPI D-PHY v2.1 (4.5Gbps) MIPI D-PHY v2.5 (4.5Gbps) GPS天线 (1.5GHz)	$\leq 0.5\text{pF}$
USB 2.0 (480Mbps) Ethernet 1000BASE (1Gbps)	$\leq 1.5\text{pF}$
MOST150 (150Mbps) Ethernet 100BASE (100Mbps)	$\leq 5\text{pF}$
I ² C (3.4Mbps)	$\leq 8\text{pF}$
USB 1.1 (12Mbps) CAN FD (5Mbps) FlexRay (10Mbps) MOST50 (50Mbps) LIN (20kbps) CXPI (20kbps)	$\leq 12\text{pF}$
CAN (1Mbps) RS-232C (20kbps) RS-423 (100kbps) RS-422 (10Mbps) RS-485 (10Mbps) 音频麦克风 (100kHz) 按钮开关	$\leq 30\text{pF}$
音频头戴耳机 (100kHz) 音频扬声器 (100kHz)	$\leq 50\text{pF}$
电源线 拨动开关	全部

NOTE1: 旧USB3.0 及 USB3.1 Gen1

NOTE2: 旧USB3.1 Gen2

Figure 4. 应用和端子间电容 C_t 标准

本图的电容值只是参考标准, 请务必在实机上确认

3. 根据信号的极性来选择

TVS 二极管如 Figure 5 所示分为单方向和双方向产品。

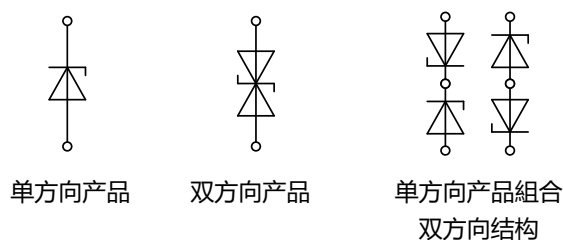


Figure 5. TVS 二极管分为单方向和双方向

Figure 6 所示的是各自的 I-V 特性。对于单向产品, 逆向偏压直到击穿电压 V_{BR} 附近电流都不流动, 正向偏压直到大约 0.5V 电流才开始流动。对于双向产品, 逆向偏压和正向偏压都是到 V_{BR} 附近电流不流动。通常情况下, 由于必须使电流不流过 TVS 二极管, 所以需要基于这两个特性选择适合应用的产品。

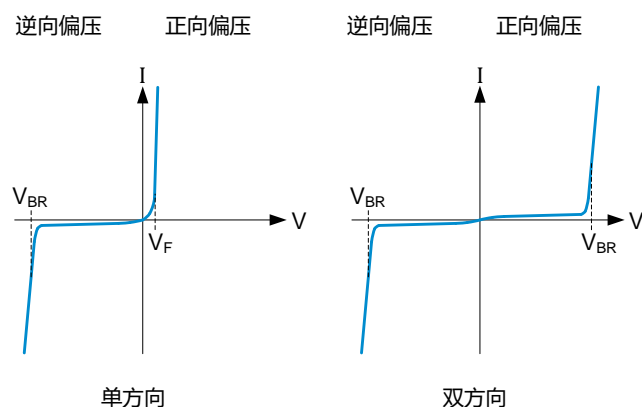


Figure 6. TVS 二极管的 I-V 特性

Figure 7 所示的是将单向 TVS 产品接到以 GND 为基准设计的数字信号传输线路和以偏压电压为中心的模拟信号传输线路的波形。由于各信号的波形相对于 GND 为正极性 (以二极管的阳极为基准则为反向偏压), 因此 TVS 二极管没有电流, 因此可使用单向产品。正极性的信号线也以同样的理由可使用双向产品 (Figure 8)。

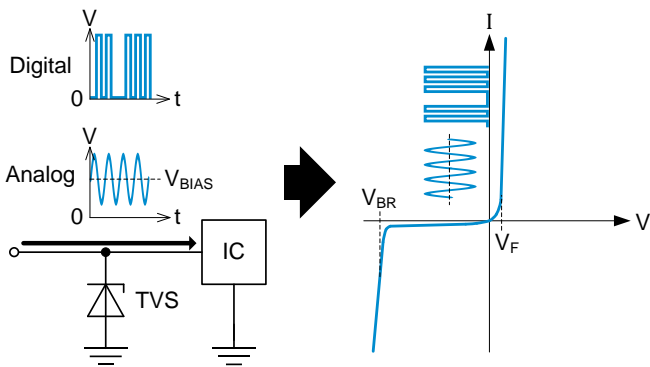


Figure 7. 正极性的信号配线使用单方向产品

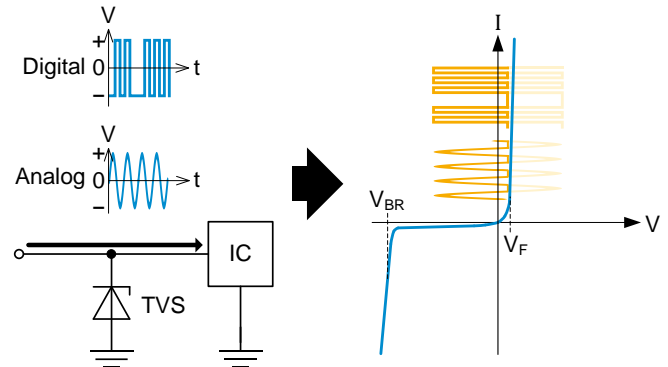


Figure 10. +/-双极性的信号配线不能使用单方向产品

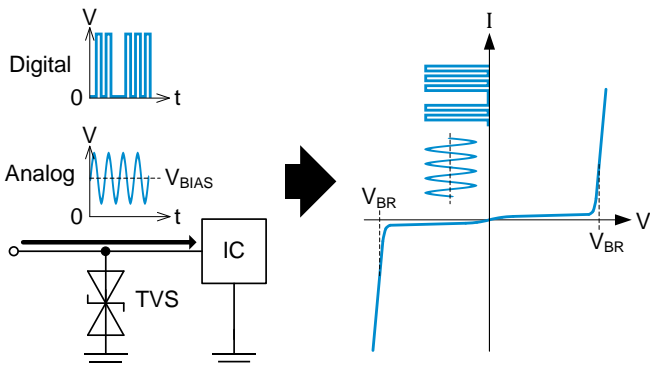


Figure 8. 正极性的信号配线也可使用双向产品

接下来对差动数字信号、模拟信号配线、DC cut 的模拟信号配线的情况进行说明。因为这些信号是以 GND 为中心振幅的，所以像 Figure 9 一样使用双向产品。使用双向产品的话，无论正/负哪边的极性信号振幅，到 V_{BR} 附近电流都不会流动。

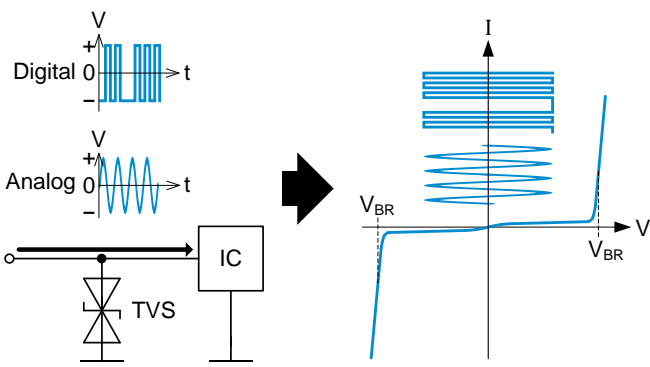


Figure 9. +/-双极性的信号配线使用双向产品

如果在双极性信号配线上使用单向产品的话会怎么样呢。Figure 10 所示的就是结果，由于振幅为负极性的波形被二极管的正向电压 V_F 钳位，传输信号的信息丢失了。因此，在双极性的信号配线上不能使用单向产品。

这里浅谈一下 ESD (Electrostatic discharge) 保护动作。ESD 侵入时，单向产品如 Figure 11 所示，对正极性的浪涌是逆向偏压，会击穿并让电流流动以此钳位住电压。对负极性浪涌是正向偏压，超过 V_F 后电流流动，电压被钳位，后段被保护。

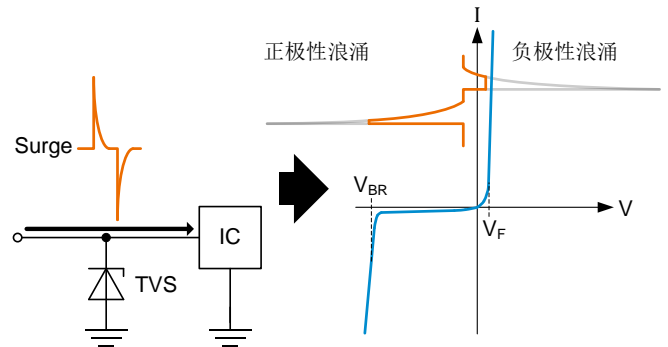


Figure 11. 单方向产品的 ESD 保护动作

双向产品如 Figure 12 所示，对正极性及负极性都是逆向偏压，会击穿并让电流流动以此钳位住电压。

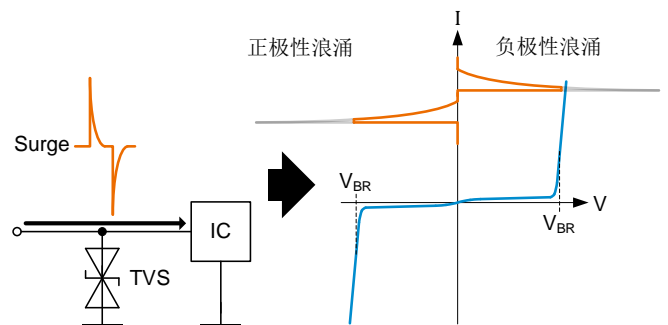


Figure 12. 双向产品的 ESD 保护动作

如以上所述，单向产品和双向产品都可以对正极性及负极性起到 ESD 保护功能。

从这里开始说明如何选择匹配应用所要求浪涌脉冲的 TVS 二极管的要点。当超出 TVS 二极管的保护性能上限的浪涌脉冲能量侵入时，TVS 二极管不能完全吸收能量，导致 TVS 二极管本身可能被破坏或保护对象器件被破坏。

4. 选择 ESD 耐量匹配的 TVS 二极管

为了保护对象器件，必须防止 TVS 二极管本身被破坏。请选择规格值大于应用所要求 ESD 耐量的产品。

产品 datasheet 中记录了以 IEC61000-4-2 为准的试验、接触放电和空气放电的 2 个 ESD 耐量 V_{ESD} 的规格值。另外， $\pm 30kV$ 这个数值是试验设备（静电发生装置）的最大值（2023 年 8 月现在）。

在 TVS 二极管的开发当初，端子间电容减小的话 ESD 耐量有下降的倾向，两者处于权衡的关系，不过近年有端子间电容小但 ESD 耐量高的产品被开发出来，这个关系在某种程度上被打破。ROHM 产品这两者的关系如 Figure 13 所示，选择比 IEC61000-4-2 所要求的试验水平更高水平的产品时，端子间电容大概在 40pF 以上的产品可以称为高耐量。

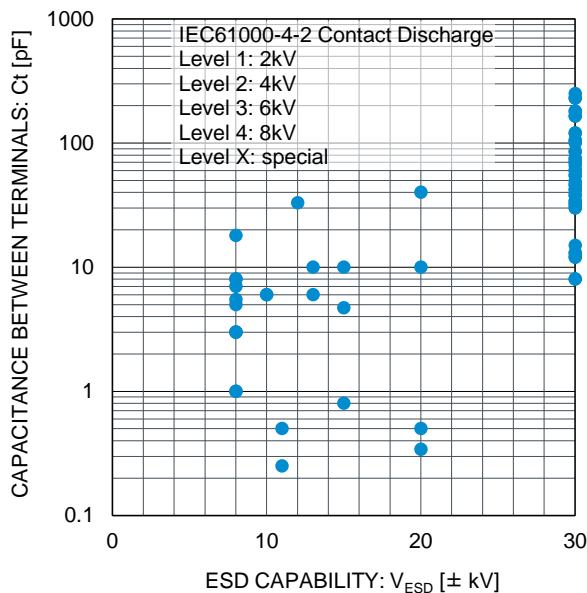


Figure 13. ROHM 产品的端子间电容与 ESD 耐量的关系
IEC61000-4-2 接触放电试验
 $\pm 30kV$ 是试验设备（静电发生装置）的最大值

5. 选择过电流性能匹配的 TVS 二极管

请选择规格值大于应用所需峰值脉冲电流的产品。

产品 datasheet 上记录了脉冲电流峰值 I_{PP} 的规格值。测试波形为行业标准 Telcordia GR-1089-CORE 规定的 10/1000 μs 脉冲波形，或 IEC61000-4-5 规定的 8/20 μs 脉冲波形。

6. 选择过功率性能匹配的 TVS 二极管

请选择规格值大于应用所需峰值脉冲功率的产品。

产品 datasheet 上记载了峰值脉冲功率 P_{PP} 的规格值。测试波形与上述峰值脉冲电流 I_{PP} 相同。

7. 选择钳位电压 V_{CL} 较低的产品

对于第 1 项中选择的 V_{RWM} ，请尽量选择 V_{CL} 低的产品。

与其他的保护元件相比，TVS 二极管实现了高速响应，但 ESD 施加后有不能充分响应的区域。因此如果有比 V_{CL} 更高的电压施加到后段，有时会对保护对象造成损伤。

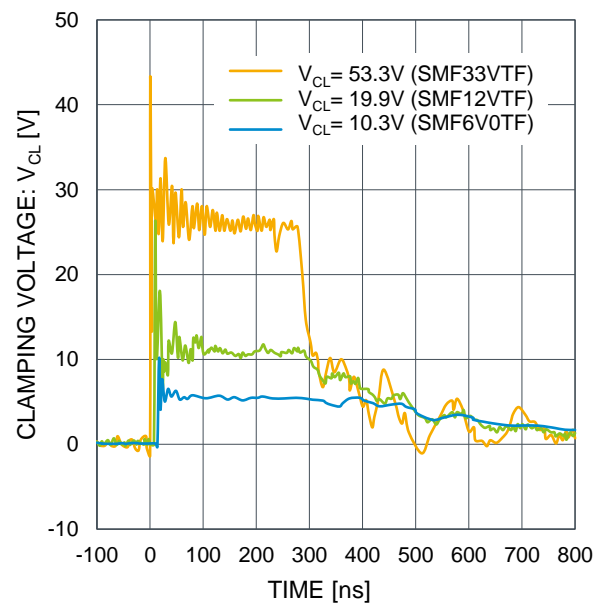


Figure 14. 不同钳位电压的产品
ESD 施加后的峰值电压的对比
IEC61000-4-2 +8kV 接触放电试验

Figure 14 所示的是不同 V_{CL} 的产品在 ESD 施加之后的峰值电压波形，可得知 V_{CL} 越低峰值电压就越低。

另外，钳位波形的总面积越小，越能抑制后段的损伤，因此 V_{CL} 低的产品保护性能更高。

总结

选择 TVS 二极管的要点如下做出总结：

项目	注重的特性	选型要点
1. 根据配线的电压来选择	截止电压 V_{RWM}	选择电压 V_{RWM} 高于线路电压的产品
	反向电流 (漏电流) I_R	选择与电路匹配的 I_R 值的产品，必须用实机确认动作
2. 根据配线的信号频率来选择	端子间电容 C_t	选择与应用匹配的 C_t 值的产品，必须用实机确认动作
3. 根据信号的极性来选择	TVS 二极管结构	<ul style="list-style-type: none"> - 在以 GND 为基准，仅以正极性振幅的信号配线上，可使用单向产品和双向产品 - 在以 GND 为中心，振幅为正/负极性的信号配线中，使用双向产品
4. 选择 ESD 耐量匹配的 TVS 二极管	ESD 耐量 V_{ESD}	选择规格值大于应用要求 ESD 承受量的产品
5. 选择过电流性能匹配的 TVS 二极管	峰值脉冲电流 I_{PP}	选择规格值大于应用要求 I_{PP} 的产品
6. 选择过功率性能匹配的 TVS 二极管	峰值脉冲功率 P_{PP}	选择规格值大于应用要求 P_{PP} 的产品
7. 选择钳位电压 V_{CL} 较低的产品	钳位电压 V_{CL}	针对第 1 项选择的 V_{RWM} ，尽量选择 V_{CL} 低的产品

应用例

1. 开关系统的保护

由于人体可以通过操作触摸开关和按钮，ESD 可能会损伤 IC 或造成误动作。需要通过 TVS 二极管进行保护。

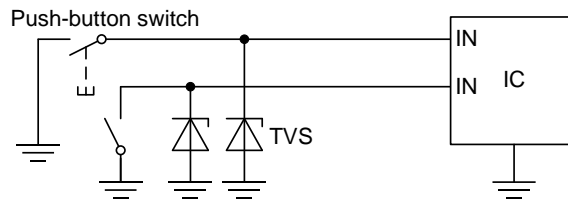


Figure 15. 从人体接触的开关和按钮侵入的 ESD 的保护

2. DC 插头/插孔系统的保护

将 AC 适配器的 DC 输出插头连接到电子设备时，有时会有热插拔，此时较长接线的电感值成分会产生高电压浪涌。为了不让浪涌电压损坏机器内部的器件，需用 TVS 二极管进行保护。另外由于人体接触插头/插孔，TVS 二极管也可以保护 ESD 的侵入。

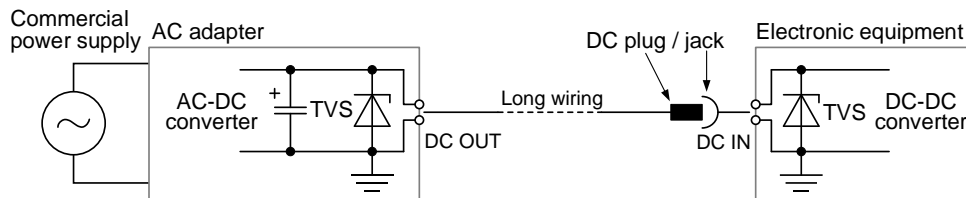


Figure 16. 将 AC 适配器直流插头通过热插拔连接到电子设备时的保护

3. 音频系统的保护

将手机器件的有线头戴式耳机或耳麦插入插孔时，人体带电可能会引起 ESD，造成设备内部损伤。同时，由于机器内的扬声器和麦克风通常配置在机器的外围部位，容易受到 ESD 的影响，这些配线需要保护。

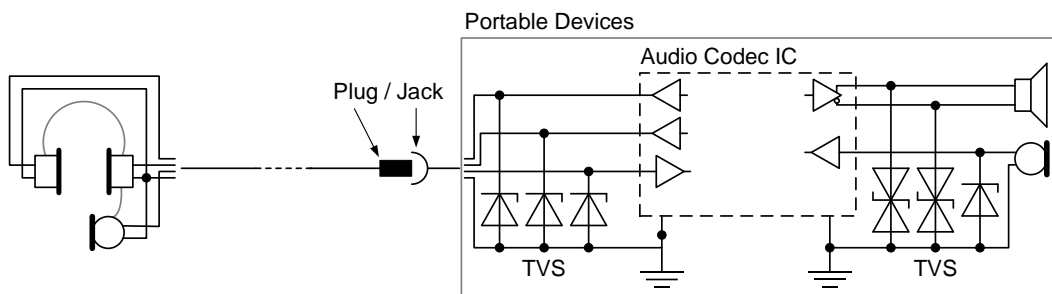


Figure 17. 扬声器和麦克风等音频系统的保护

4. USB 2.0 接口的保护

对于 USB 连接器，USB 线缆和 USB 器件在插拔时人体接触机会较多，ESD 的保护很有必要。

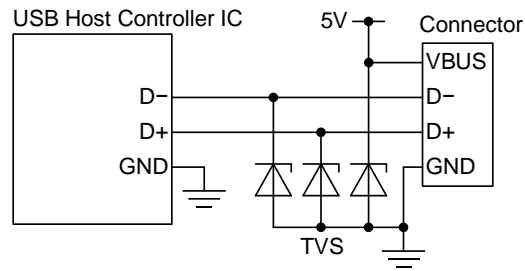


Figure 18. USB 2.0 接口的保护

5. USB 3.2 接口的保护

USB3.2 Gen 1 (旧 USB3.0 以及 USB3.1 Gen1) 的数据传输速度是 5Gbps, USB3.2 Gen2 (旧 USB3.1 Gen2) 是 10Gbps 的高速, 通信线路中请使用端子间电容较小的 TVS 二极管。

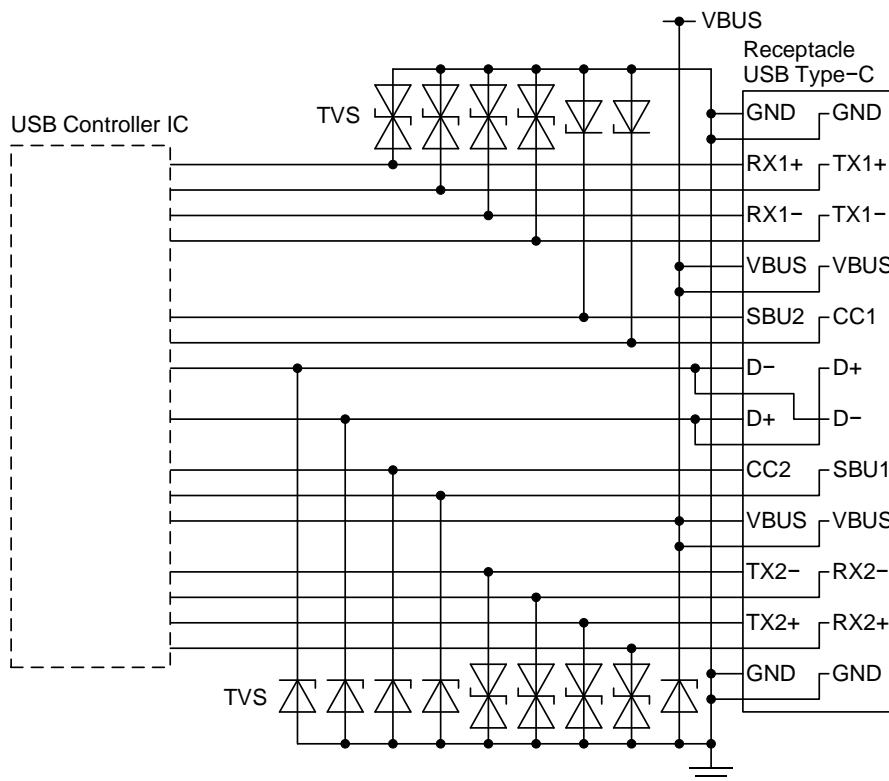


Figure 19. USB 3.2 接口的保护

6. HDMI 接口的保护

HDMI 1.4 的传输速度是 10.2Gbps 的高速，TMDS 信号线请使用端子间电容较小的 TVS 二极管。

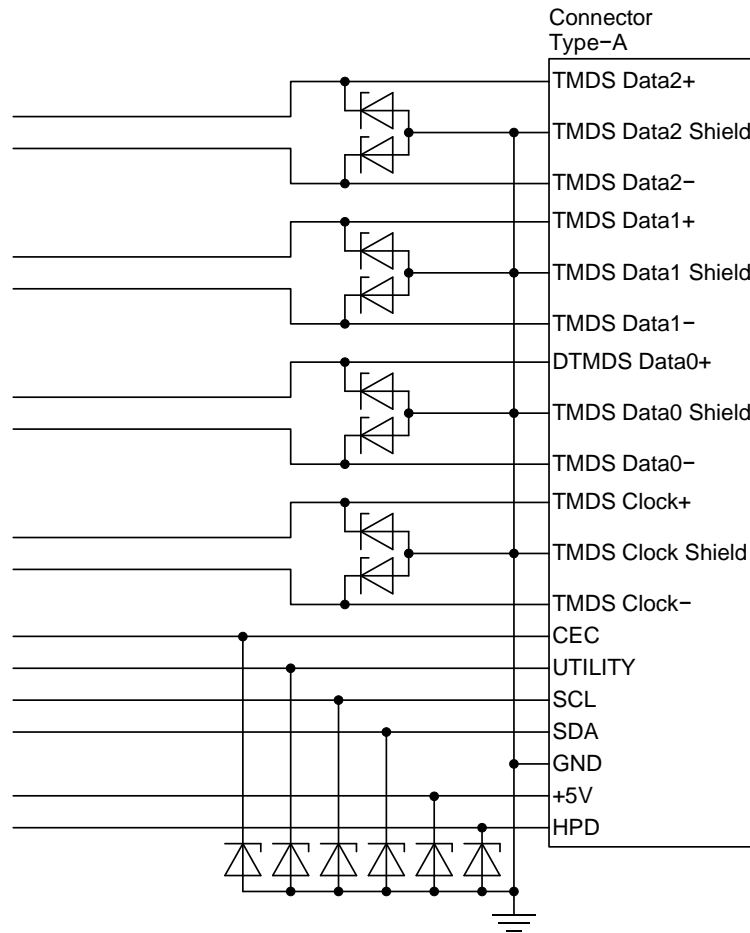


Figure 20. HDMI 接口的保护

7. LIN/CXPI 接口的保护

LIN/CXPI 的最大通信速度是 20kbps 的慢速，虽然可以用端子间电容较大的 TVS 二极管，但 Responder Node 时最大电容限制不超过 250pF，请注意与 C1 合计容量不要超过该限制。

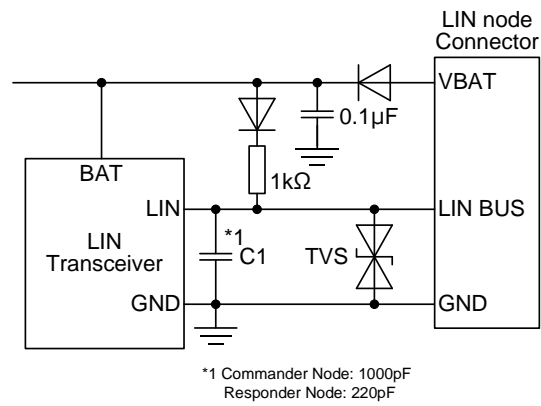


Figure 21. LIN/CXPI 接口的保护

图示是 LIN 的示例，CXPI 相同

8. CAN/CAN FD 接口的保护

CAN 的最大通信速度是 1Mbps、CAN-FD 是 5Mbps，请选择端子间电容值不会影响信号品质的 TVS 二极管来保护。

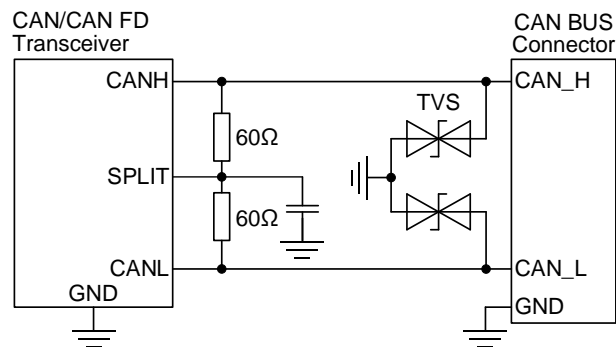


Figure 22. CAN/CAN FD 接口的保护

9. 车载 Ethernet (LAN) 接口的保护

车载 Ethernet 是 100Mbps、1Gbps 的高速通信，请使用端子间电容较小的 TVS 二极管。TVS 二极管无法充分进行 ESD 保护的情况，请在车载连接器正下方配置基于 OPEN Alliance 基准的 ESD 抑制器或变阻器。

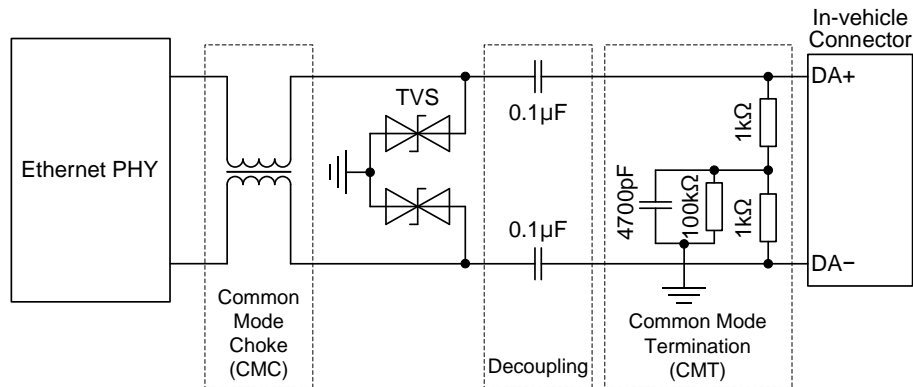


Figure 23. 车载 Ethernet 接口的保护

10. RS-232C/RS-423 接口的保护

收发器 IC 的 I/O 没有 ESD 保护功能的情况，需要在连接器正下方配置 TVS 二极管来进行 ESD 保护。

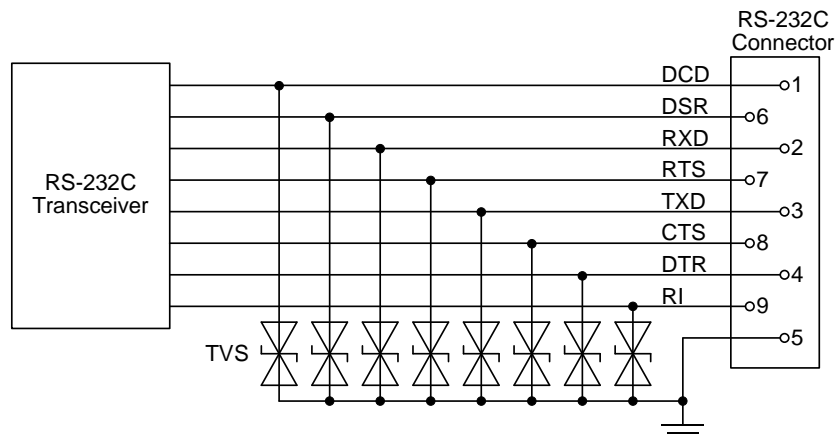


Figure 24. RS-232C/RS-423 接口的保护

11. NFC 天线的保护

NFC 的天线内置于机器的外壳下面，容易成为 ESD 侵入口，因此需要 ESD 保护。

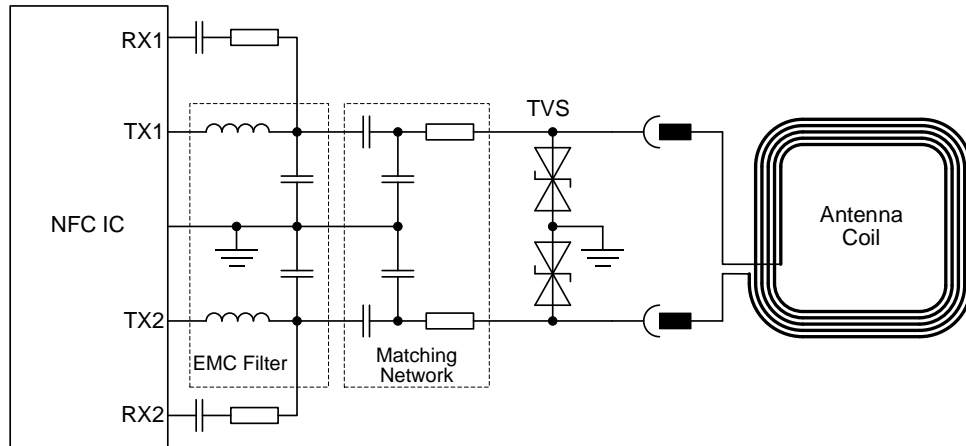


Figure 25. NFC 天线的保护

12. 无线充电天线的保护

无线充电天线内置于机器的外壳下面，容易成为 ESD 侵入口，因此需要 ESD 保护。

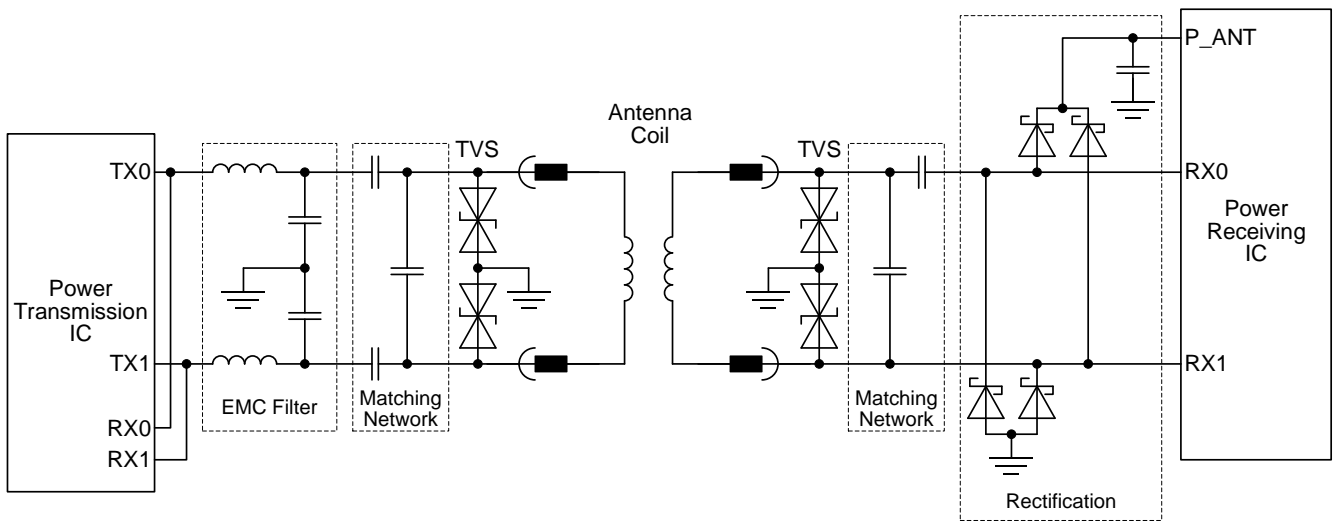


Figure 26. 无线充电天线的保护

13. AC-DC 转换器的缓冲电路

这个电路是模拟谐振转换器，在 MOSFET 从 ON 到 OFF 的瞬间，为了抑制在变压器的一次侧发生的浪涌，附加了 RCD 缓冲电路。缓冲电路通常由电阻、电容、快恢复二极管（FRD）构成，而在要求更高的保护性能时会将 TVS 二极管与 R 和 C 并联。附加 TVS 二极管可将瞬态噪声尖峰钳位住，需确认 MOSFET 的开关波形后决定是否使用。在该部分施加的电压比 1 个 TVS 二极管的钳位电压 V_{CL} 高的情况下，可以将同型号的 TVS 二极管串联多个，使 V_{CL} 之和比该部分施加的电压高，从而将瞬态电压钳位住。

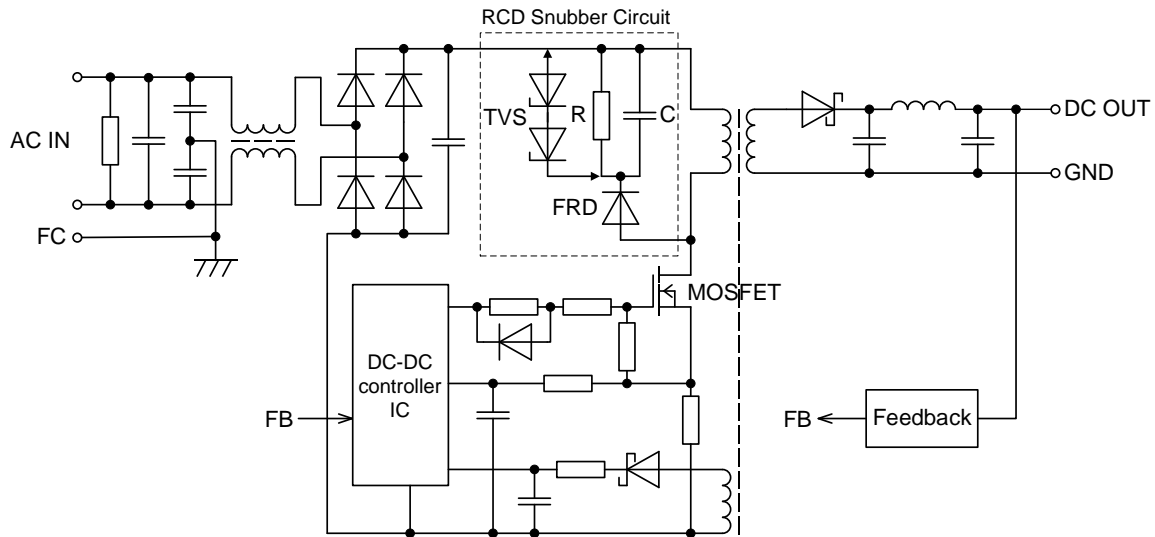


Figure 27. 在 AC-DC 转换器的缓冲电路追加 TVS 二极管来将瞬态噪声尖峰钳位住

14. 电源电路 2 次侧的过电压保护

电源电路的输出电压由于某种原因有过冲的情况。IC 无过电压保护（OVP:Over Voltage Protection）功能时，有时必须根据需要采取对策。在 DC-DC 或 AC-DC 转换器的出口插入 TVS 二极管来将过电压钳位住。由于 TVS 二极管是以 ESD 和浪涌波形等短时间（纳秒单位）的瞬态电压钳位为目的而设计的，所以对于波形比几十毫秒更长的电压，需要选择封装的许容损耗比过电压部分的功率更大的产品。另外，对于输入输出短路等连续施加的过电压，如果过电压部分的功率超过封装许容损耗，则 TVS 二极管有可能损坏。

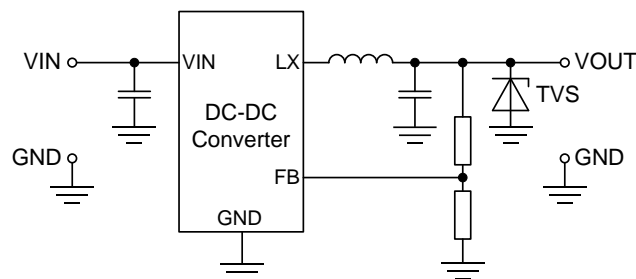


Figure 28. DC-DC 转换器输出的过电压保护

注 意 事 项

- 1) 本资料中的内容旨在介绍ROHM集团(以下简称“ROHM”)的产品。在使用ROHM产品之前,请务必另行确认最新版的技术规格书或产品规格书。
- 2) ROHM的产品是面向普通电子设备(AV设备、OA设备、通信设备、家电产品、娱乐设备等)或技术规格书中指定的应用领域而设计和制造的。因此,如果要在要求极高可靠性、产品故障或误动作可能会危及人的生命、造成人身危害或损害,或可能造成其他严重损害的设备或装置(包括医疗设备、运输设备、交通设备、航空航天设备、核电控制装置、燃料控制、含汽车配件在内的车载设备、各种安全装置等)(以下简称“特殊用途”)中使用ROHM产品,请事先咨询ROHM销售部门。如果未经ROHM事先书面同意而将ROHM产品用于特殊用途,因此造成的客户或第三方的任何损害,ROHM不承担任何责任。
- 3) 含有半导体的电子产品存在一定的误动作或故障概率。客户有责任采取Fail Safe设计等安全对策,来避免万一发生误动作或故障时对人的生命、身体或财产造成危害或损害。
- 4) 本资料中出现的应用电路示例和常数等信息仅用于说明ROHM产品的标准工作和使用方法,并非明示保证或默示保证在实际应用设备中的工作。因此,在客户设备的设计过程中使用这些电路、常数以及相关信息时,请结合各种外部条件自行判断并对自己的判断负责。对于因使用这些数据和信息造成的客户或第三方的任何损害,ROHM不承担任何责任。
- 5) 向海外出口或提供ROHM产品和本资料中的技术时,请遵守《外汇及外国贸易法》、《美国出口管制条例》等适用的出口相关法律法规,并根据这些法律法规中的规定办理必要的手续。
- 6) 本资料中的应用电路示例等技术信息和各种数据仅为示例,并非保证不侵犯与这些内容相关的第三方的知识产权及其他权利。另外,对于本材料中的信息,ROHM并未明示或默示同意客户可以实施、使用或利用ROHM或第三方拥有或管理的知识产权以及其他权利。
- 7) 未经ROHM事先书面同意,严禁转载或复制本资料的全部或部分内容。
- 8) 本资料中的内容为截至本资料发行之时的信息,如有更改,恕不另行通知。在购买和使用ROHM产品之前,请通过ROHM销售部门确认最新信息。
- 9) ROHM不保证本资料中的信息无误。万一客户或第三方因本资料中的信息错误而受损,ROHM不承担任何责任。



Thank you for your accessing to ROHM product informations.
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.com.cn/contactus>