

TVS 在汽车电子中的应用

目录

- 1 TVS 的特征参数
- 2 TVS 的极性
- 3 TVS 管和稳压管的比较
- 4 TVS 功率等级
- 5 TVS 产品在汽车电子系统中的应用
- 6 瞬态传导抗干扰测试脉冲
- 7 电源线上的 TVS
- 8 CAN 总线和 FlexRay 总线上的 TVS
- 9 LIN 总线上的 TVS
- 10 USB/数据总线上的 TVS

众所周知，汽车的电子化程度越来越高，车上需要供电的部分也越来越多，这就使得汽车系统在设计过程中需要面对许多技术挑战。当然，由于汽车工作的电磁环境比较恶劣，各种电气危害的保护也是设计者需要重点考虑的问题。电力电子电路中的负载切换瞬间就是其中一个需要高度重视的电气危害，抛负载就是其中的一个典型代表，也就是相关从业人员所说的“Load Dump”。在汽车电子系统中，瞬态尖峰、噪声和放电是常见的现象，有必要通过使用瞬态电压抑制器 (TVS) 器件保护敏感半导体器件免受损坏。本应用笔记将给出 TVS 器件技术特征的解释说明，然后说明 TVS 在汽车电子中哪个部分使用以及如何正确地使用 TVS 器件对电子系统进行有效的保护。

1 TVS 的特征参数

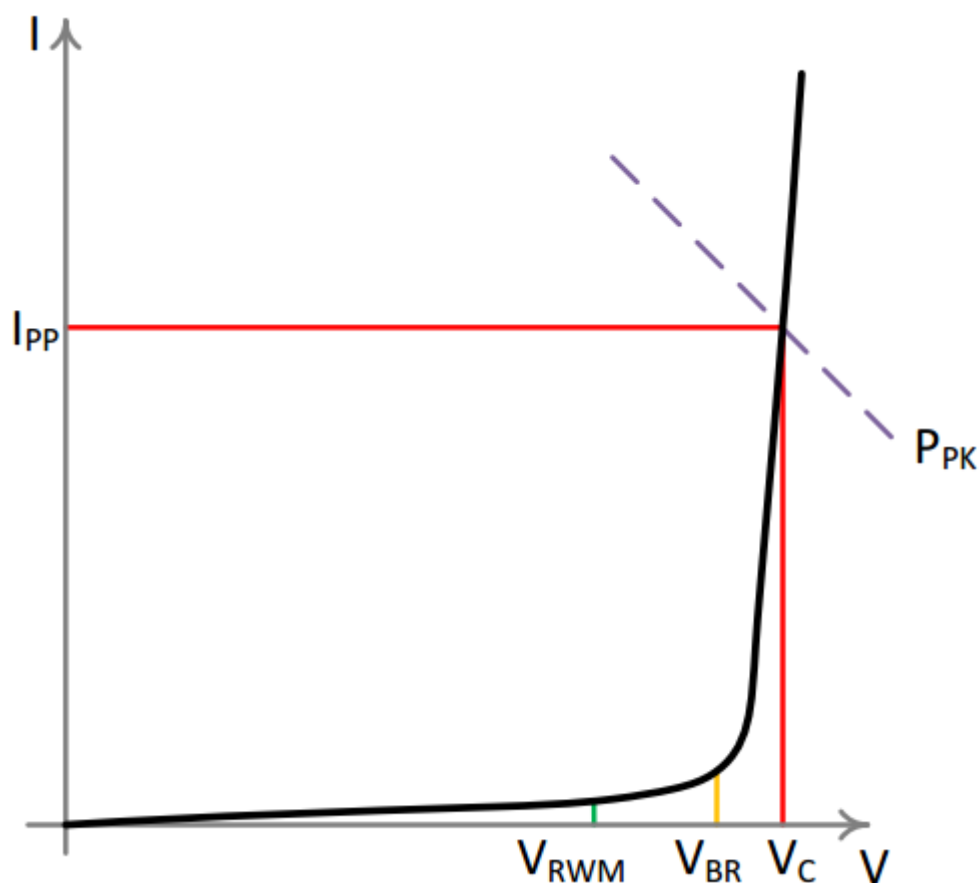


图 1 TVS 的电流—电压特性曲线

从图 1 可以看出，TVS 的主要技术参数有： V_{RWM} ， V_{BR} ， V_C ， I_{PP} ， P_{pk} ，下

面做详细的解释：

VRWM: TVS 管的反向关断电压即工作电压，它是 TVS 最大连续工作的直流或脉冲电压，当这个反向电压加入 TVS 的两极间时，它处于反向关断状态，流过它的电流应小于或等于其最大反向漏电流 I_D 。选择 TVS 的 VRWM 应等于或大于所规定的工作电压，这就保证了在正常工作条件下 TVS 吸收的电流可忽略不计。如果所规定的工作电压高于 TVS 的 VRWM，TVS 将吸收大量的漏电流而处于雪崩击穿状态，从而影响电路的工作。例如，如果 MCU 的输入电压或者供电电压为 3.3V，那么你可以选择一个 VRWM 大于等于 3.3V 的 TVS 器件。VRWM 不是一个测量数值，它是一个在测量最大电流时的额定数值。

VBR: 通过规定的反向测试电流 (1-10mA) 时，TVS 管导通的电压。VBR 可以在较宽的容差范围内变化——它甚至可能与其他 TVS 器件相邻范围内的值重叠。这个特性对理解电流—电压特征曲线的关键部分具有一定的指导意义。在所保护的电路电压容限范围内，最重要的是要考虑最小的 VBR 值，这样 TVS 器件就不会在电源电压最大允许的波动范围下导通。VBR 是 TVS 最小的雪崩电压，25°C 时，在这个电压之前，TVS 是不导通的。当 TVS 流过规定的 1mA 电流 (I_R) 时，加入 TVS 两极间的电压为其最小击穿电压 VBR。按 TVS 的 VBR 与标准值的离散程度，可把 TVS 分为 $\pm 5\%VBR$ 和 $\pm 10\%VBR$ 两种。对于 $\pm 5\%VBR$ 来说， $V_{WM}=0.85VBR$ ；对于 $\pm 10\%VBR$ 来说， $V_{WM}=0.81 VBR$ 。

VC: 当脉冲峰值电流 I_{pp} 流过 TVS 管时，其两端出现的最大电压值称为箝位电压 V_c 。实际使用时，应使 V_c 不大于被保护电路的最大允许安全电压，否则被保护器件将面临被损坏的可能。

IPP: 最大峰值脉冲电流 IPP 是 TVS 管在反向状态工作时，在规定的脉冲条件下，器件允许通过的最大脉冲峰值电流。

Pppk: 最大峰值脉冲功耗，通常是最大峰值脉冲电流 I_{pp} 与箝位电压 V_c 的乘积，也就是最大峰值脉冲功耗，它是 TVS 管能承受的最大峰值脉冲功耗值。在给定的最大箝位电压下，功耗 P_M 越大，其浪涌电流的承受能力越大。另外，峰值脉冲功耗还与脉冲波形、脉冲持续时间和环境温度有关。而且，TVS 管所能承受的瞬态脉冲是不可重复施加的。

VC、IPP 反映了 TVS 器件的浪涌抑制能力。VC 与 VBR 之比称为箝位因子，一般在 1.2~1.4 之间。电容量 C 是由 TVS 雪崩结截面决定的，这是在特定的 1 MHz 频率下测得的。C 的大小与 TVS 的电流承受能力成正比，C 太大将使信号衰减。因此，C 是数据接口电路选用 TVS 的重要参数。对于数据/信号频率越高的回路，二极管的电容对电路的干扰越大，形成噪声或衰减信号强度也大，因此，需要根据回路的特性来决定所选器件的电容范围。高频回路一般选择电容应尽量小(如 LCTVS、低电容 TVS，电容不大于 3 pF)，而对电容要求不高的回路，电容的容量选择可高于 40 pF。

2 TVS 的极性

TVS 的一个重要特性就是它的极性。TVS 管器件按极性可分为单极性和双极性两种，即单向 TVS 管和双向 TVS 管，最基本的类型就是单向 TVS，如下图 2 所示：

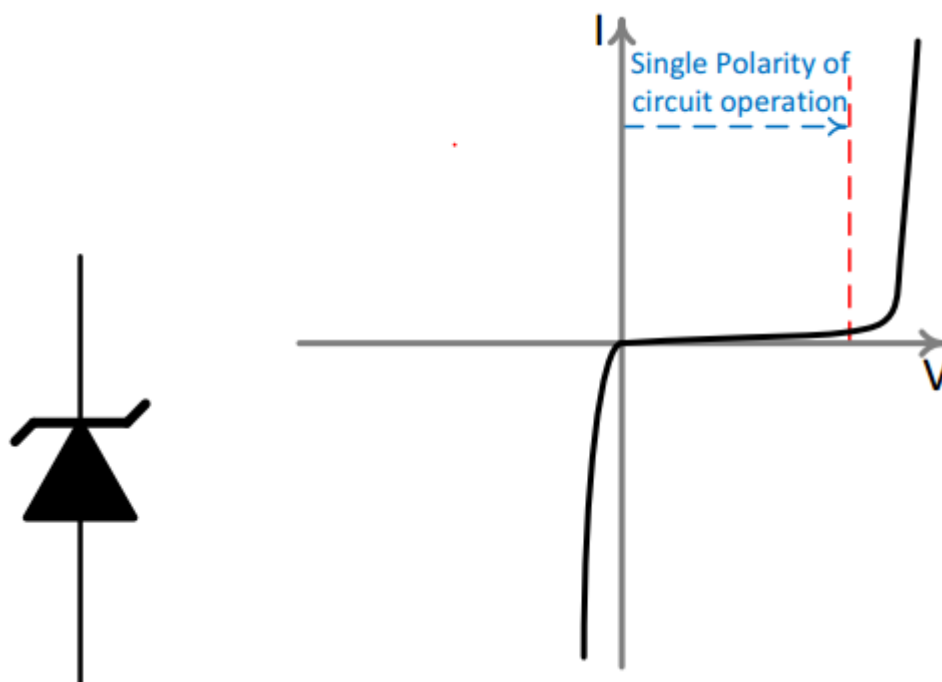


图 2 单向 TVS 的电路符号和 I-V 曲线

单向 TVS 管保护器件仅能对正脉冲或者负脉冲进行防护，比如 0V~5V。当 TVS 管的两极受到反向瞬态高能量冲击时，它能有效地保护电子线路中的精密元器件，免受各种浪涌脉冲的损坏。它具有响应时间快、瞬态功率大、漏电流低、击穿电

压偏差、箝位电压较易控制、无损坏极限、体积小等优点。单向 TVS 管的特性与稳压二极管相似。

双向 TVS 如下图 3 所示：

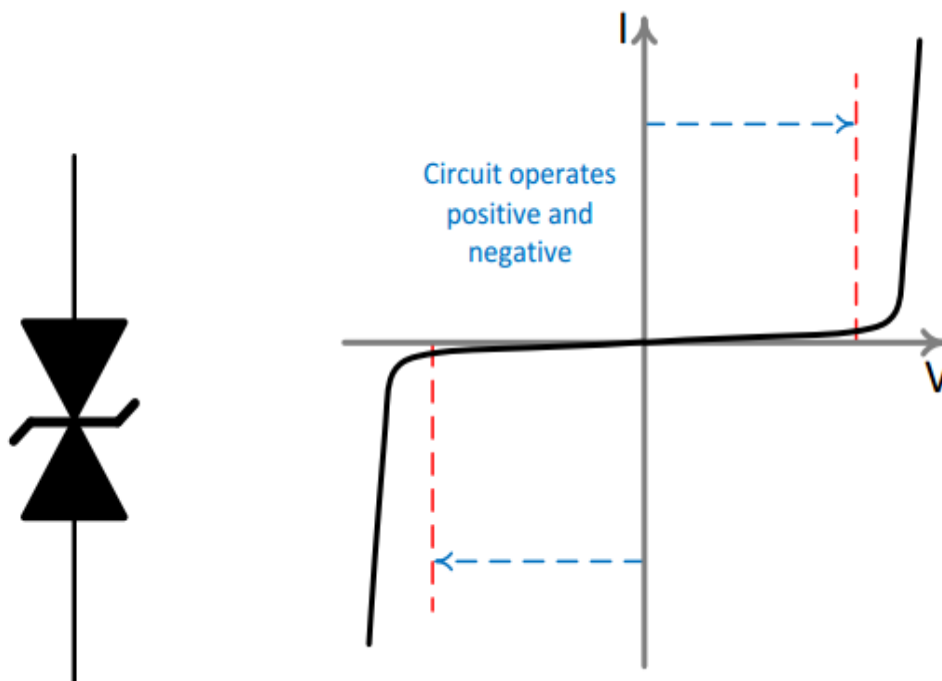


图 3 双向 TVS 电路符号和 I-V 曲线

双向 TVS 管保护器件一端接要保护的线路，一端接地，无论来自反向还是来自正向的 ESD 脉冲均可被瞬间释放，能够有效地保护电路，例如分裂轨道音频系统或差分信号的传输。

双向 TVS 可以是对称的 (VBR 在两个方向上的值是相同的)，也可以是非对称的 (VBR 的值在一个方向上大于另一个方向)。

为什么反向关断电压 VRWM 和反向击穿电压都是正值呢？

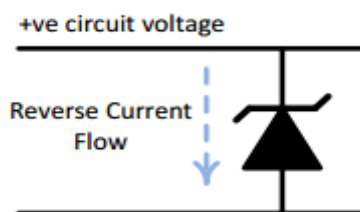


图 4 TVS 反向电流

就像被保护的电路的工作电压一样，VRWM，VBR 和 VC 都是正值，瞬态电压

将被钳制在电压 V_c 值。这是整个行业使用的惯例，即使该 TVS 保护器件沿着相反电压方向使用。

3 TVS 管和稳压管的比较

通常，TVS 管和稳压二极管使用的电路符号是相同的，因此，你可能会思考这两种器件的不同点。这两种器件都依赖于齐纳击穿效应，而且它们的 I-V 特性曲线看上去非常相似。那么二者的区别是什么呢？

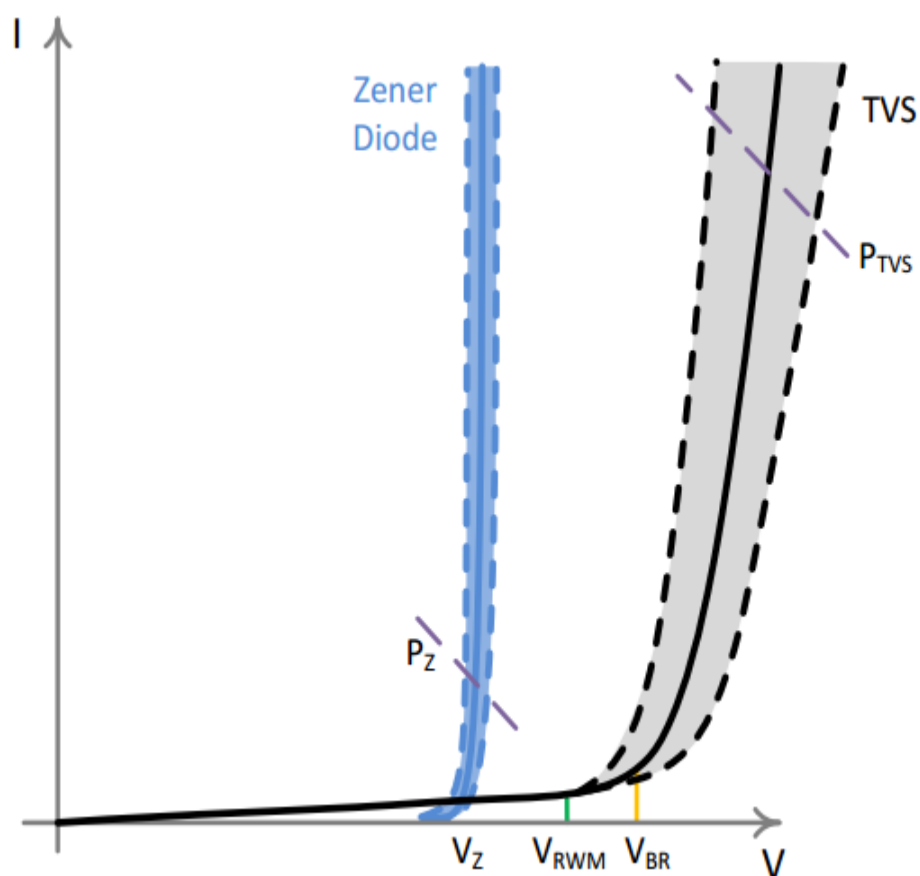


图 5 稳压管和 TVS 管 I-V 曲线的比较

如图 5 所示，虽然它们的 I-V 曲线看起来很像，但是仔细一看，很快就能发现它们的不同之处。与 TVS 管相比，稳压二极管（蓝色痕迹， V_Z ）有一个更尖锐的波形，更陡峭的斜率和更紧凑的电压容差（虚线和阴影区域）。

这些差异来自于设计本身和有关优化—稳压二极管的目的是在电路中，为基准源或者调节器提供一个精确的电压钳位。通常，稳压二极管会有一个持续的电

流通过它，或更长时间(几秒钟的稳压时间)的电流。而 TVS 通常用来吸收瞬间的高压大电流冲击，它能以 10^{-12} 次方秒量级 (nS-mS 之间) 的速度，将其两极间的高阻抗变为低阻抗，吸收高达数千瓦的浪涌功率，使两极间的电压箝位于一个预定值，有效地保护电子线路中的精密元器件，免受各种浪涌脉冲的损坏。TVS 的峰值电流可能很大，但不是长时间的运行，而是一个瞬态值。电路正常工作时，TVS 管仅仅会有少量的漏电流流过，它是不会导通的。

作为二者的共同点，它们都可以用来稳压，并且都工作在反向截止状态下，其正向特性与普通二极管相同，反向特性为典型的 PN 结雪崩器件。但是 TVS 管齐纳击穿电流更小，大于 10V 的稳压只有 1mA，专用于测试和抑制瞬态电压；而齐纳二极管击穿电流要大些，专用于电压调节。TVS 管强调的是瞬态响应——即时间参数，所以其时间参数就很重要了，也就是说稳压二极管的响应时间通常要比 TVS 管的慢；而齐纳二极管强调稳压精度，稳压精度可以做的比较高。另外，TVS 管的功率较大， I_{pp} 的数值可达数百安培，而稳压管的功率较小。

4 TVS 功率等级

乍一看，TVS 管的额定功率值似乎非常高，但是 TVS 的额定功率值是一个脉冲额定值，TVS 保护器件不适合连续操作。

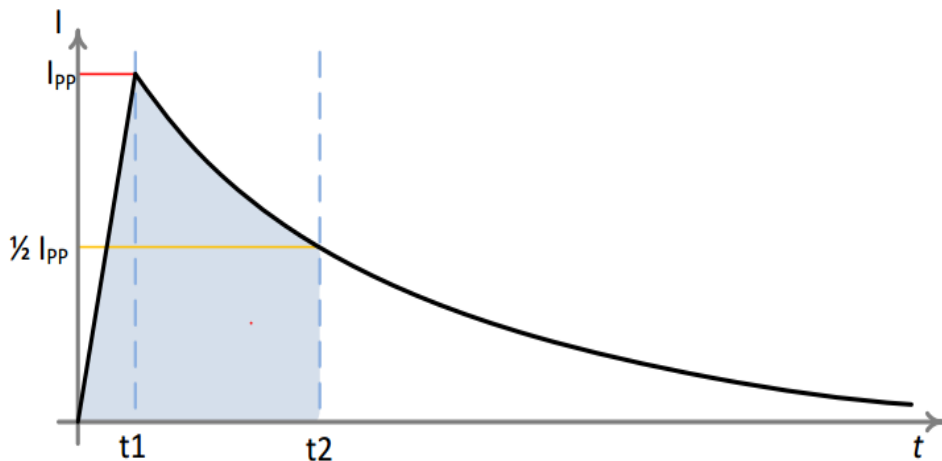


图 6 TVS 测试脉冲

图 6 所示为一个典型的脉冲测试波形。TVS 的测试波形通常有两种，对应不同的 t_1 和 t_2 值。其中一种波形称为 8/20us ($t_1=8\mu\text{s}$, $t_2=20\mu\text{s}$, 根据 IEC 61000-4-5 的定义) 和 10/1000us ($t_1=10\mu\text{s}$, $t_2=1000\mu\text{s}$, 根据 IEC 61643-321 的定义)。注

意， t_2 是从 0 处开始运行的时间，而不是从 t_1 处。

8/20 μ s 脉冲表明了 TVS 器件如何处理诸如 ESD 放电和雷击这样的事件。10/1000 μ s 脉冲表明了 TVS 器件如何处理放电速度较慢、能量更高的瞬间冲击事件，如电源电压激增。在汽车应用中，这些事件很可能来自交流发电机和感应负载。

一个 TVS 器件可能有两种不同的功率等级，其中一种与这些脉冲中的每一种都有关，而且它们是完全不同的。如图 7 所示，我们可以更清楚的看到，这两个脉冲波形是相互重叠的，为什么会这样呢？

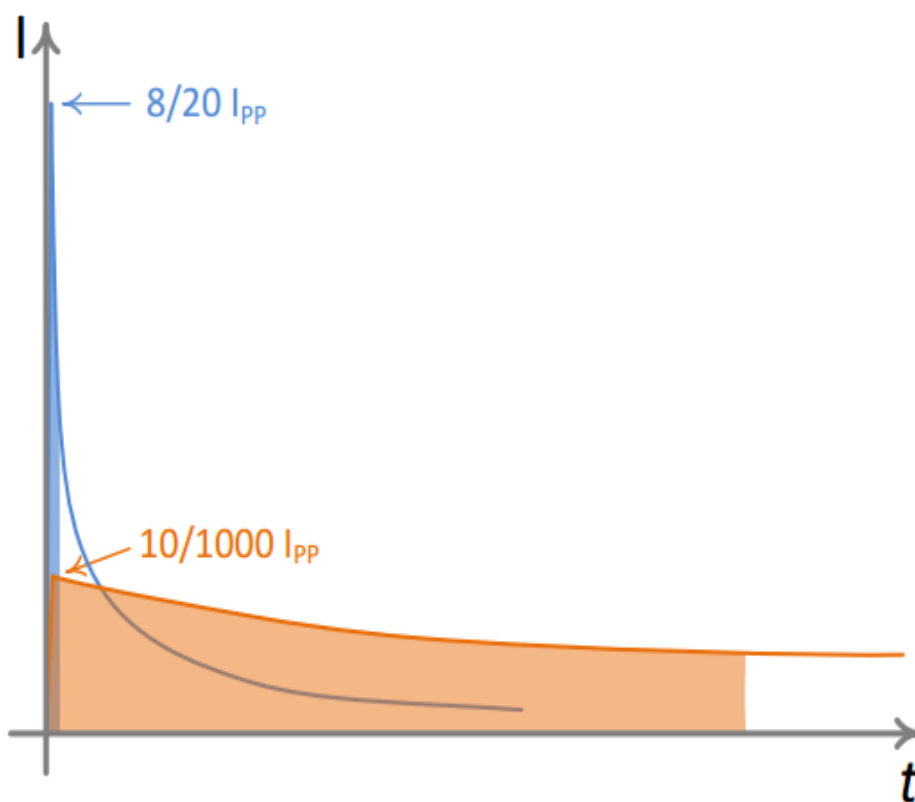


图 7 TVS 8/20 μ s 和 10/1000 μ s 波形的比较

图 7 的最大功率数值为 $VC \times IPP$ 。VC 的值随 IPP 变化，因此 10/1000 μ s 脉冲的低 IPP 值对应了较低的 VC 值，因而再次降低了峰值功率数值。

由于 8/20 μ s 脉冲(蓝色)的持续时间较短，因此该类 TVS 可以处理更大的电流。当然，最重要的是脉冲的能量，由曲线下的面积(蓝色阴影区域，0–20 μ s)表示。与 10/1000 μ s 脉冲(橙色区域)相比，橙色曲线下的面积(橙色阴影区，0–1000 μ s)要大得多，因此限制了它的电流峰值。

考虑到这一点，最简单的理解方法是，该 TVS 器件内部有一个固定的容量，可以吸收一定量的热量。吸收同样的能量，既可以在很短的时间内吸收峰值非常大的电流，也可以在较长的时间内吸收峰值较低的电流，二者吸收的能量是等效的。

5 TVS 产品在汽车电子系统中的应用

在每一辆汽车中，有几个特定的区域都需要使用 TVS，以防护浪涌对器件的损害。

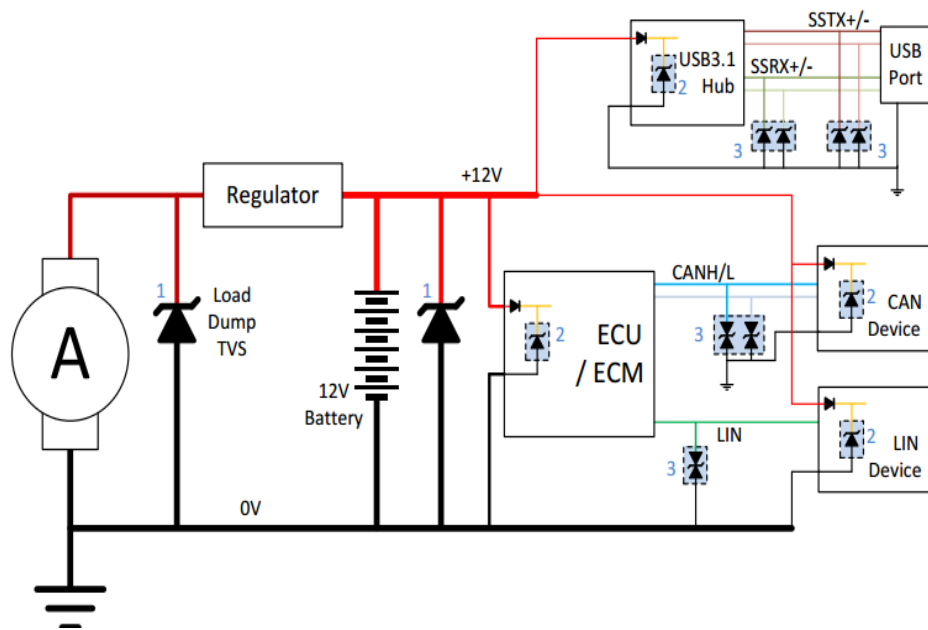


图 8 TVS 器件在汽车电子系统中的应用

传统汽车的 12V 系统一般都采用交流发电机供电，其输出经过整流和电压调节器为电池充电，同时为不同的 ECU 负载提供额定的 12V 供电电源。

由于发电机和一些负载(比如车窗电机、雨刷电机、座椅电机等)都是感性负载，因此，当在负载连接、断开、堵转等情况下，12V 电源系统可能会出现较大的电压尖峰和上下波动。当然，内燃机的曲柄和点火系统也会带来了一个非常重要和困难的脉动负荷。这条电源线上也会出现许多类型的静电放电和噪音现象，比如点火线圈、喷油嘴和高压气体放电灯（如氙气灯）。

为了保护车辆的整个电子系统，SiNESEMI 公司可以提供多种类型的 TVS 器件。有峰值功率非常大的 TVS 器件，它们可以并联在发电机和电压调节器旁(图

10 中标记为“1”)以吸收瞬态高能量的浪涌事件,如汽车抛负载,线圈磁场衰减等。

每个连接到 12V 电源系统的电子模块都需要并联一颗 TVS(图 10 中标记为“2”)和防反接二极管。连接这些模块的数据总线并不直接受到电源线上的浪涌威胁,但它们很容易受到噪音和 ESD 的干扰,而这些信号线会连接到对干扰相对敏感的低压微处理器上。因此,这些总线也需要 TVS 以保护微处理器免受伤害(图 10 中标记为“3”)。

6 瞬态传导抗干扰测试脉冲

汽车电子保护测试根据标准 ISO 7637—2 和 ISO 16750,在 12V 电源线上定义了一系列必须由系统来处理的测试脉冲。如图 9 给出了这些脉冲的示意图—时间宽度和脉冲幅度。(注:不按比例画出)

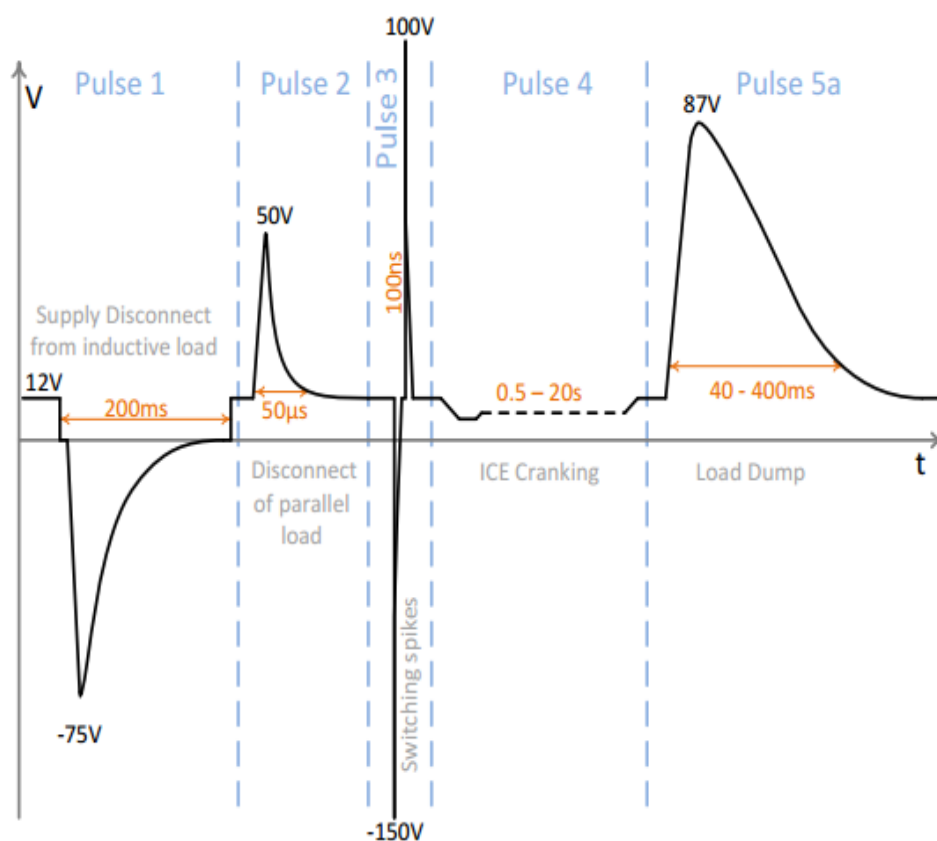


图 9 汽车瞬态传导抗干扰测试脉冲

考虑整个系统的浪涌防护是非常重要的—例如,可能有一个对主要的抛负载进行保护的 TVS 并联在发动机旁边,那么这就会吸收抛负载事件中的大部分能量。

因此,如果使用了集中抛负载保护,则脉冲 5a 可以不作不要求,仅施加脉冲 5b,如下图 10 所示:

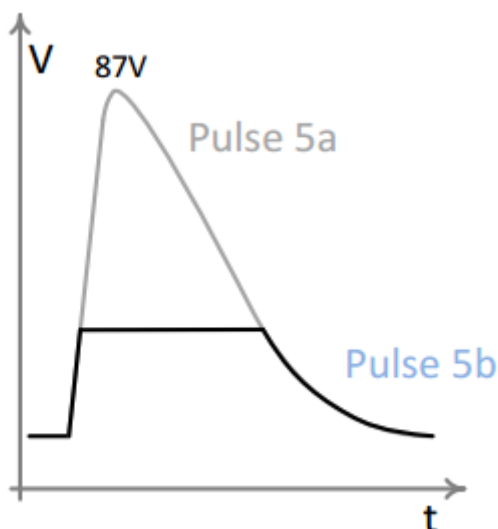


图 10 脉冲 5a 和 5b 的比较

脉冲 5b 的大小由用户自己通过主抛负载防护 TVS 的电压来确定。

图 9 中的脉冲 1 和 5 的持续时间比前面描述的 10/1000us 测试脉冲要长得多。因此,与非汽车环境中应用的 TVS 产品相比,汽车应用中的 TVS 产品需要处理更大的功率。

7 电源线上的 TVS

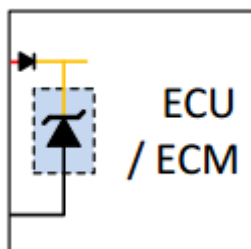


图 11 TVS 在汽车电子模块输入电源线上的应用

车辆内的每个电子模块都会有防反接保护二极管(图中所示为二极管,但通常为 MOSFET),同时,TVS 并联在电路中以保护该模块不受瞬态电压冲击的影响。并联在 ECU 的电源输入线上的 TVS 必须坚固耐用,能够耗散大量的能量,尽管它不会试图处理抛负载事件中的全部能量。符合工业标准的 TVS 器件,如 SMCJ28C/CAQ,封装为 SMC,额定功率为 1500W(10/1000us),通常用于防护输入

电源线上的浪涌。

然而，高功耗和小封装的要求驱动了 TVS 的发展，SiNESEMI 公司将推出小封装、散热能力好的底部电极封装（DFN1006-3）的 TVS。SDESD39VASAQ 是第一个封装在热效率高的 DFN1006 中的 TVS。该 TVS 的反向关断电压为 33V，具有较低的反向泄电流，同时能够耗散高达 120 W 的功率（根据 10/1000us 的暂态波形计算），这比类似的解决方案高出 20% 的额定耗散功率，同时 PCB 原来的面积大大减小。

8 CAN 总线和 FlexRay 总线上的 TVS

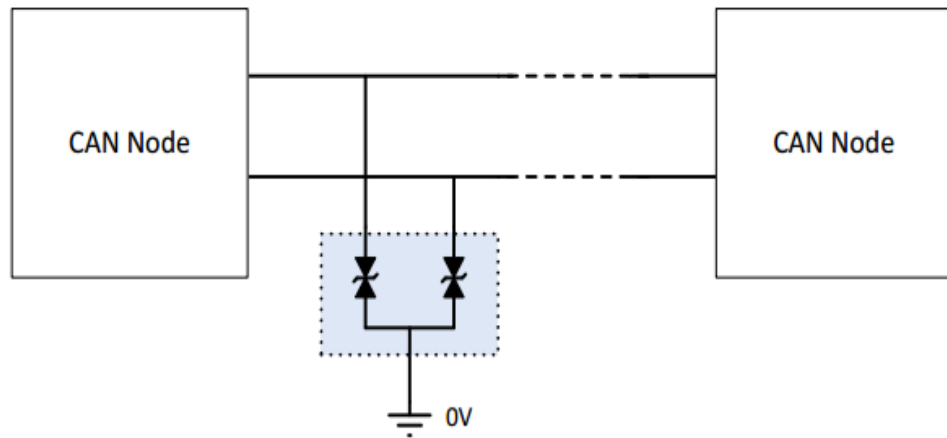


图 12 CAN 总线的 TVS 保护

现代车辆需要在 CAN 和 FlexRay 等数据总线上传输大量数据，这些总线可能传输有关安全方面的关键信息。因此，它们不仅需要坚固耐用，而且必须可靠。所以保护这些数据总线不受浪涌和噪音的干扰是非常重要的，保护的同时不能减少信号的带宽。一般来说，这些数据总线更容易遇到低能量的噪音和静电放电，而不是像抛负载那样的高能量瞬变。因此，更小、更低功率的 TVS 更适合数据总线的保护。

CAN 总线和 FlexRay 总线的数据均采用差分传输的方式，因此它们需要双向 TVS 来保护这两条数据线，并且要求 TVS 有较低的极间电容（一般为 10-15pF），以保持信号的完整性。

CAN 总线不一定是以地面为参考的—车辆中不同的节点可能选取不同的接地电压为参考点。TVS 可以限制共模和差模信号的尖峰，以保护 CAN 设备。

9 LIN 总线上的 TVS

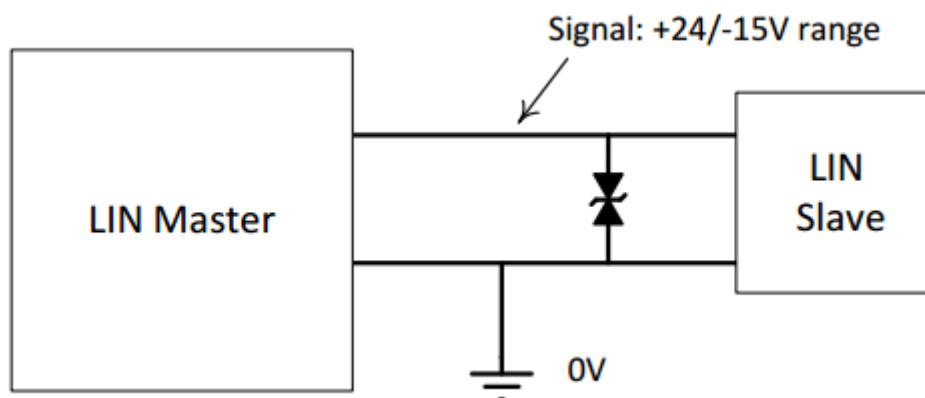


图 13 LIN 总线的 TVS 保护

从 LIN 的物理结构来看，LIN 总线是由信号和地线组成的双线总线。信号线的电压可能在 24V 到-15V 之间(由于车辆周围的地面电平变化)变化，因此需要一个不对称的双向 TVS。

SiNESEMI 公司的 SDT24V0NUBWFQ 和 SDT24V0HUBWFQ 是适用于 CAN 总线和 FlexRay 总线的双向两通道 TVS 器件。SDESD16VASA 是一款适用于 LIN 总线的紧凑型两端非对称 TVS。

Product Name	Package	Direction	V_{RWM} (V)	VR (V)		I_R (μ A)	V_C (V)	I_{PP} (A)
				Min.	Max.			
SDT24V0NUBWFQ	SOD123F	Bi.	24.0	25.4	30.3	1.0	70.0	3.0
SDT24V0HUBWFQ	SOD123F	Bi.	24.0	25.4	30.3	1.0	70.0	3.0

种类	型号名称	符合 AECQ101	VRWM[V]	P_{pp} [W] $T_p=8/20\mu s$	VCL, TP=8/20 μs		VBR[V]		IT [mA]	封装
					MAX[V]	IPP Condition [A]	Min.	Max.		
TVS	ESD16VASAQ	YES	12	105	30	3.5	16.0	17.6	1	DFN1006-2W
	ESD18VASAQ	YES	16	105	35	3.0	17.9	19.7	1	DFN1006-2W
	ESD27VASAQ	YES	24	120	45	2.6	26.4	29.1	1	DFN1006-2W
	ESD39VASAQ	YES	33	120	60	2.0	37.8	41.8	1	DFN1006-2W

10 USB/数据总线上的 TVS

USB 和高速数据总线(如 HDMI)也可能需要 TVS 进行保护。这些数据总线连接有多条线路,数据传输速率很高。因此,TVS 的低极间电容是保持数据完整性的关键。对于多条数据线,需要将多个设备安装到有限的 PCB 板区域,因此小封装的 TVS 是至关重要的。

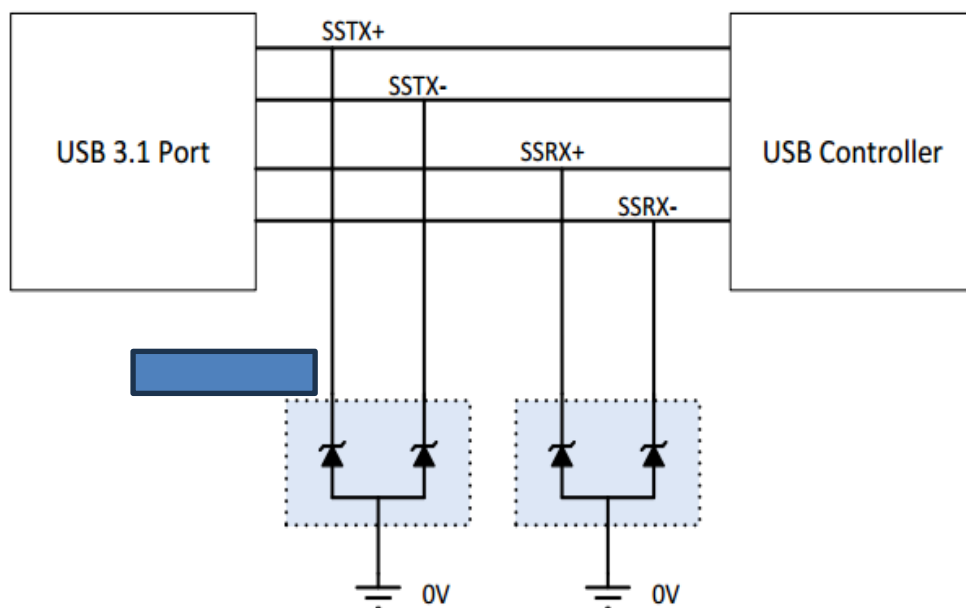


图 14 USB3.1 数据线的 TVS 保护

对于高速数据传输的应用场合, SiNESEMI 公司的 TVS 器件, 比如 SDT5V0NBWFQ, 提供了较低的极间电容以保持信号的完整性。小型封装 X-DFN1006-3 的 TVS 器件允许多设备安装在较少的 PCB 板空间, 这种封装是 USB 3.1 中对高速数据进行 TVS 保护的理想选择。

重要通知

对本文档的内容，SiNESEMI 公司不作任何形式的明示或暗示的保证，包括但不限于对特殊目的的适销性和适合某一特定用途的暗示保证（以及等同性质的任何司法管辖区的法律）。

SiNESEMI 公司及其子公司有权利对文档进行修改、增强、改进、更正或其他更改，而无需进一步告知本文档以及本文档所述任何产品的变化。SiNESEMI 公司不承担本文件或本文件所述任何产品的应用或使用本文件所产生的任何责任；SiNESEMI 公司也不根据其专利或商标权向用户授权任何许可，也不授以其他人的权利。任何使用本文件或本文件中所述产品的用户应承担此类使用的所有风险，并同意维护 SiNESEMI 公司和任何使用 SiNESEMI 公司网站上产品的所有公司的权利，使其免受损失。

SiNESEMI 公司不保证或接受任何有关透过未经授权的销售渠道购买的产品造成的法律责任。

如果客户购买或使用 SiNESEMI 公司的产品用于任何意外或未经授权的应用中，客户应保障并赔偿 SiNESEMI 公司及其成员受到的债务、破坏、成本和费用，包括但不限于索赔、诉讼或任何原因造成的法律程序中产生的法律费用，使其免受直接或间接因这种意外或未经授权的应用造成有关的任何人身伤害或死亡索赔。

生命支持

SiNESEMI 公司的产品在未经 SiNESEMI 公司首席执行官的明确书面批准下，不得作为生命维持装置或系统的关键部件而使用。仅使用如下：

A. 生命维持装置或系统是指以下设备或系统：

1. 为了植入体内，或
2. 支持或维持生命，如果按照标签中所提供的使用说明正确使用，也有可能对使用者造成重大伤害。

B. 关键部件是指生命维持装置或系统中的部件，其操作失效可以被合理地预期到，它会导致生命维持装置的失效或影响其安全性或有效性。

客户陈述在生命支持设备或系统的安全和监管影响方面拥有所有必要的专业知识，承认并同意他们完全对与其产品有关的所有法律、监管和安全方面的要求，以及在这种对安全性要求苛刻的生命维持设备或系统中 SiNESEMI 公司产品的任何使用进行负责，尽管 SiNESEMI 公司可能提供任何与设备或系统有关的信息或支持。此外，客户必须保障并赔偿 SiNESEMI 公司及其成员因使用 SiNESEMI 公司产品而造成的任何损害，包括在对安全性要求苛刻的生命维持设备或系统中使用所造成的任何损害。

版本号@2024, SiNESEMI 公司

研发中心—应用技术部