

用于汽车电子保护的瞬态电压抑制器(TVS)

作者: Soo Man (Sweetman) Kim,
高级应用经理

Vishay的二极管业务部以声誉卓著的Vishay General Semiconductor品牌, 提供领先的汽车电子瞬态电压抑制器产品。

I) TVS的重要参数

重要的TVS参数包括功率等级、关态电压、击穿电压和最大击穿电压等级。

功率等级

TVS的功率等级是在特定的测试或应用条件下的浪涌吸收能力。Vishay的TVS产品使用业内标准的10 μ s/1000 μ s脉冲波形(Bellcore 1089标准)做为测试条件, 如图1所示。

这个测试条件不同于TVS ESD测试的8 μ s/20 μ s脉冲波形, 如图2所示。

击穿电压、最大击穿电压和关态电压详见数据表, 如表1所示。

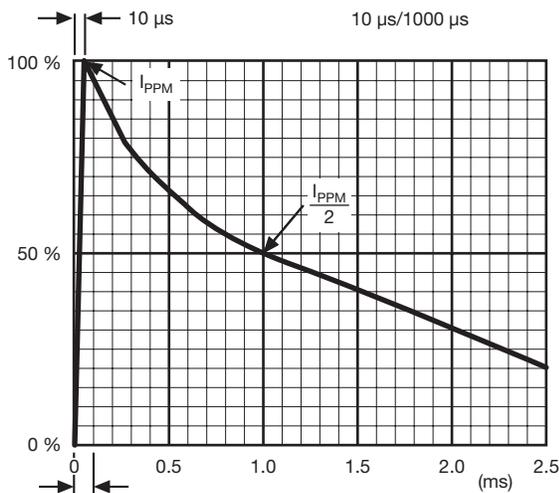


图1. TVS的测试波形

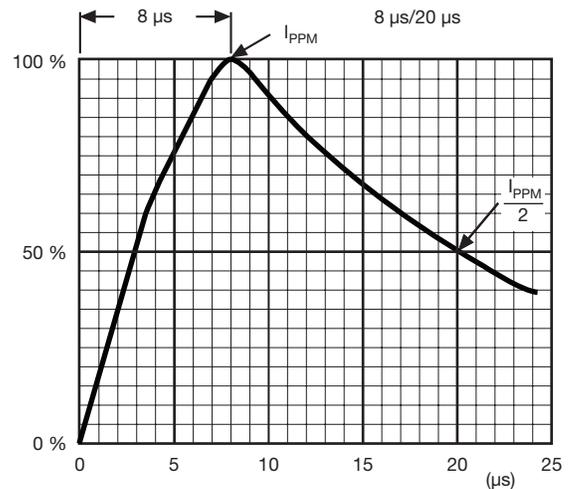


图2. TVS ESD的测试波形

Transient Voltage Suppressors (TVS) for Automotive Electronic Protection

表 1 - VISHAY的SM6T系列的电特性
(除非另外特别声明, 均指在25 °C的环境温度等级)

型号	器件标识码		击穿电压 V_{BR} AT I_T I_T (V)		测试电流 (mA)	关态电压 V_{RM} (V)	漏电流 I_{RM} AT V_{RM} (μ A)	钳位电压 V_C AT I_{PP} 10 μ s/1000 μ s		CLAMPING 钳位电压 V_C AT I_{PP} 8 μ s/20 μ s		T_{MAX} 0-4/°C
	Uni	Bi	Min.	Max.				(V)	(A)	(V)	(A)	
SM6T6V8A	KE7	KE7	6.45	7.14	10	5.80	1000	10.5	57.0	13.4	298	5.7
SM6T7V5A	KK7	AK7	7.13	7.88	10	6.40	500	11.3	53.0	14.5	276	6.1
SM6T10A	KT7	AT7	9.50	10.5	1.0	8.55	10.0	14.5	41.0	18.6	215	7.3
SM6T12A	KX7	AX7	11.4	12.6	1.0	10.2	5.0	16.7	36.0	21.7	184	7.8
SM6T15A	LG7	LG7	14.3	15.8	1.0	12.8	1.0	21.2	28.0	27.2	147	8.4

击穿电压 (V_{BR})

击穿电压是器件进入雪崩击穿的电压, 根据数据表中指定的电流进行测试。表1中, SM6T6V8A在10mA的反向电流下的击穿特性为6.8V, 容差为5%, SM6T10A在1mA反向电流下的击穿特性为10V。

最大击穿电压 (V_C :钳位电压)

在指定的峰值脉冲电流等级下, 出现在TVS上的钳位电压等级。TVS的击穿电压是在非常低的电流下测得的, 如1 mA或10 mA, 与应用条件中实际的雪崩电压是不同的。因此, 半导体制造商会指明在大电流条件下的典型或最大击穿电压。表1显示了在10 μ s/1000 μ s和8 μ s/20 μ s波形下的最大钳位电压。

关态电压 (V_{WM}): 工作关态反向电压

关态电压是指TVS未被击穿时的最大电压, 是电路中不在通常条件下工作的保护器件的重要参数。

在汽车应用中, 一些汽车电子产品的调节是由“阶跃保护”实现的。这种测试条件是在10分钟内, 向12V的电子设备提供24 V_{DC} 的电压, 向24V电压的电子设备提供36 V_{DC} 的电压, 而不造成损坏或电路的故障。因此, 对汽车电子产品来说, 关态电压是TVS器件的一个关键参数。

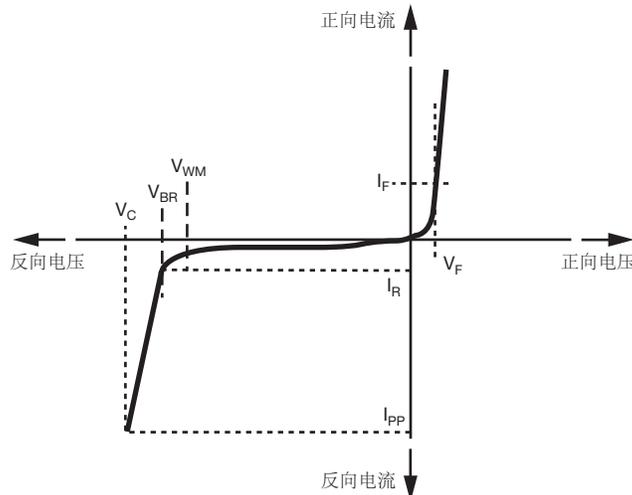


图3. 电压和电流参数

Transient Voltage Suppressors (TVS) for Automotive Electronic Protection

III) 车载电源的初级侧保护（抛负载）

汽车电子产品，如电子控制单元，传感器和娱乐系统是接到一个电源上的。这些电子产品的电源是电池或发电机，由于受到温度、工况和其他条件的影响，电池或发电机的输出电压不稳定。

此外，使用燃油喷射、阀、电机、电和水解控制器等电磁负载的汽车系统会把ESD、尖峰噪声和几种瞬态和浪涌电压引入到电源和信号线中。

什么是抛负载？

当引擎正在运转，发电机正向汽车的电源线输送电流时，如果电池突然断开，就会产生最严重的浪涌电流。这种情况也被称为“抛负载”，大多数汽车制造商和行业组织都规定了在这种抛负载情况下的最大电压、线路阻抗和持续时间，如图5所示。两个知名的试验模拟了这种条件：美国的ISO-7637-2 Pulse 5，和日本针对14V传动系的JASO A-1及针对27V传动系的JASO D-1。在本小节，我们假定TVS用在14V动力系中的抛负载情况下。

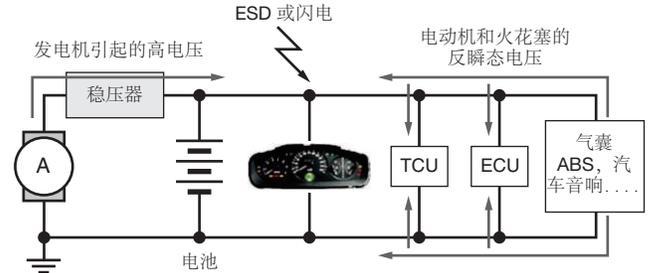
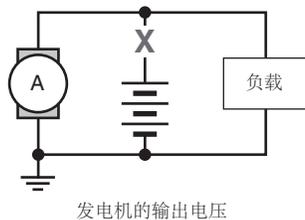


图4. 典型汽车电源总线

如图6所示，Vishay的高功率、硅TRANSZORB® TVS被用来保护容易受损的电路，免受电过应力，确保高可靠性。对于初级保护，TVS应当吸收抛负载情况下的高能量。



发电机的输出电压

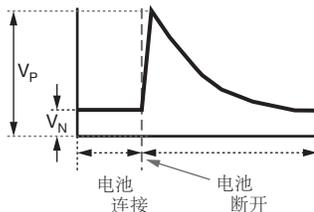


图5. 在抛负载情况下，发电机的输出电压

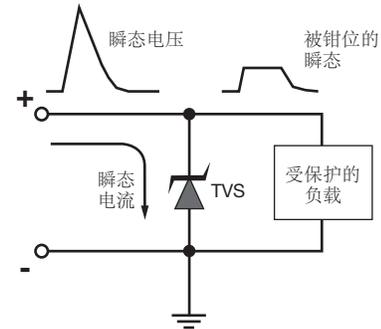


图6. 典型保护电路



DO-218AB

Transient Voltage Suppressors (TVS) for Automotive Electronic Protection

抛负载测试的标准和结果

美国的ISO-7637-2 Pulse 5,和Japan针对14V动力系的JASO A-1测试模拟结果见表2。两个测试条件的电压波形如图7所示。

表 2 - 14V 动力系的主抛负载测试条件						
	V TOTAL (V _P) (V)	V _S (V)	V _A (V)	R _i (Ω)	时间 (ms)	循环时间
JASO A-1	70		12.0	0.8	200	1
	88		12.0	1.0	200	1
ISO 7637-2 Pulse 5	78.5 to 100.5	65 to 87	13.5	0.5 to 4.0	400	1

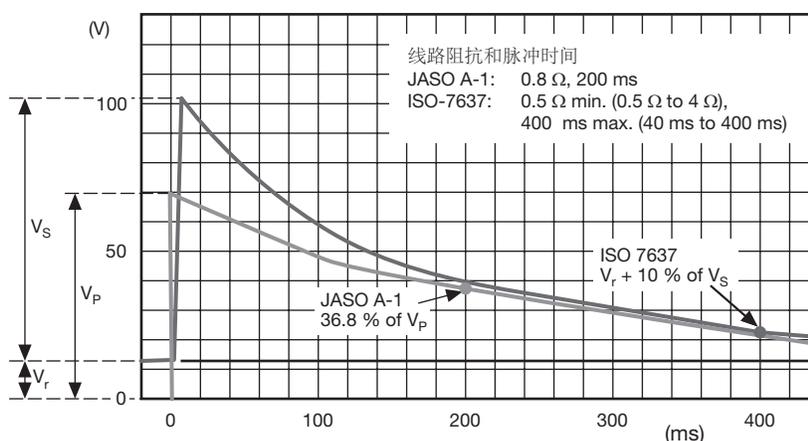


图7. For ISO-7637-2 Test Conditions, 标准条件是 V_S 为 65 V~87 V, R_i (线路阻抗)范围是 0.5 Ω ~ 4 Ω

一些汽车制造商根据ISO-7637-2 Pulse 5, 采用了不同的条件进行抛负载测试。抛负载TVS的峰值钳位电流可以用下面的公式来估算:

计算峰值钳位电流

$$I_{PP} = (V_{in} - V_c) / R_i$$

I_{PP} : 峰值钳位电流

V_{in} : 输入电压

V_c : 钳位电压

R_i : 线路阻抗

表3显示了Vishay的高功率硅TVS在不同测试标准下的测试结果。

表 3 - VISHAY抛负载TVS的钳位电压			
测试条件	VC的标准	JASO A-1	ISO-7637-2 PULSE 5
	10 μs/1000 μs 波形	$V = 70 \text{ V}, T = 200 \text{ ms}, R_i = 1.5 \Omega$	$V_S = 87 \text{ V}, T = 300 \text{ ms}, R_i = 0.75 \Omega$
SM5A27	40.0 V at $I_{PP} = 55 \text{ A}$	34.1 V at $I_{PP} = 47.4 \text{ A}$	36.5 V at $I_{PP} = 59.4 \text{ A}$
SM5S24A	38.9 V at $I_{PP} = 93 \text{ A}$	33.8 V at $I_{PP} = 47.6 \text{ A}$	36.1 V at $I_{PP} = 60.1 \text{ A}$
SM6A27	40.0 V at $I_{PP} = 65 \text{ A}$	33.7 V at $I_{PP} = 48.1 \text{ A}$	35.8 V at $I_{PP} = 60.4 \text{ A}$
SM6S24A	38.9 V at $I_{PP} = 118 \text{ A}$	33.5 V at $I_{PP} = 48.3 \text{ A}$	35.8 V at $I_{PP} = 60.4 \text{ A}$
SM8A27	40.0 V at $I_{PP} = 75 \text{ A}$	33.2 V at $I_{PP} = 48.4 \text{ A}$	34.9 V at $I_{PP} = 61.1 \text{ A}$
SM8S24A	38.9 V at $I_{PP} = 170 \text{ A}$	32.1 V at $I_{PP} = 48.8 \text{ A}$	34.4 V at $I_{PP} = 62.0 \text{ A}$

在这些测试中, Vishay高功率硅TVS的钳位电压低于37V, 满足在汽车应用中电压电压稳压器对37V~40V最大输入电压的要求。

Transient Voltage Suppressors (TVS) for Automotive Electronic Protection

图 8a 显示SM5A27在JASO A/1测试中的电流和电压波形。

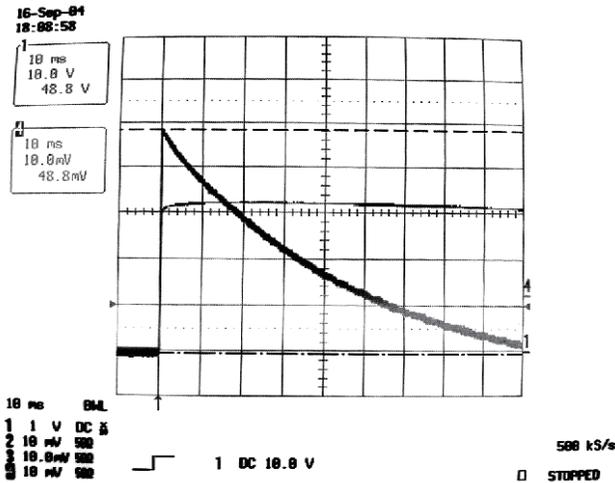


Figure 8a. SM5A27在JASO A-1测试中的钳位电压和电流

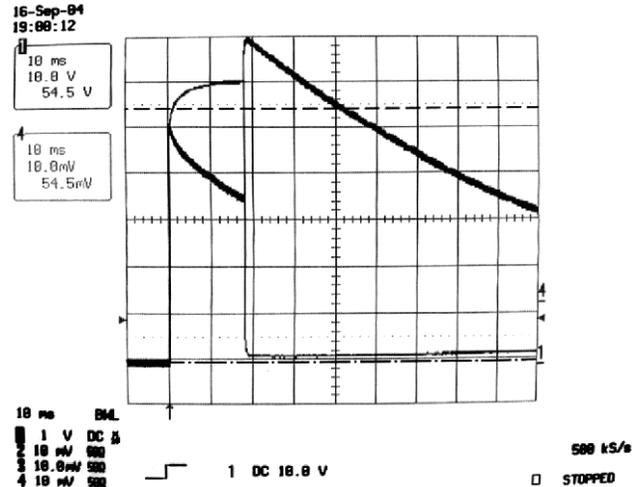


Figure 8b. 在ISO7637-2 测试中，抛负载TVS故障的钳位电压和电流

图8b显示了在ISO-7637-2测试中，抛负载TVS故障的钳位电压和电流。钳位电压几乎降到了零，流过器件的电流增加到了线路阻抗所能允许的最大值。

表4显示了在各种抛负载测试条件下，Vishay的抛负载TVS的失效率。按照ISO-7637-2 Pulse 5的最高等级衡量，SM8S24A是最坚固的器件。

表 4 - 各种抛负载测试条件下的失效率							
	JASO TEST			ISO-7637-2 PULSE 5			
	T = 200 ms, R _i = 0.8 Ω			T = 300 ms, R _i = 0.5 Ω			
电源电压	70 V	77 V	84 V	87 V	100 V	110 V/25 °C	110 V/85 °C
SM5A27	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/20	-
SM5S22A	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/20	-
SM5A24A	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/20	-
SM6A27	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/20	-
SM6S24A	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/20	-
SM8A27	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/3	20/9
SM8S24A	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0

在ISO-76372最高级别测试条件下，可以用下式计算峰值电流：

$$I_{PP} = (V_{in} - V_C) / R_i = (110 - 35) / 0.5 = 150 A$$

Transient Voltage Suppressors (TVS) for Automotive Electronic Protection

两组VISHAY抛负载TVS

Vishay有两种用于汽车电子初级保护的抛负载：EPI PAR TVS和Non-EPI PAR TVS。PAR TVS的产品组列在表5中。

表 5 - PAR 抛负载产品组		
封装类型	EPI PAR TVS	NON-EPI PAR TVS
轴向	6KA24	
表面贴装封装	SM5A27	SM5S 系列
	SM6A27	SM6S 系列
	SM8A27	SM8S 系列

在反偏模式中，两个产品组具有近似的工作击穿特性。区别在于，EPI-PAR TVS正向模式下具有低 V_F 特性，而non-EPI PAR TVS在同样条件下的 V_F 相对高一些，见表 6。这个特性对加上电源线上的反向电压是很重要的。

	V_F (典型值) (加0.3 ms 脉冲) V			在反向漏电流下的 关态电压	在反向漏电流下的 击穿电压
	0.1 A	6 A	100 A		
SM5A27	0.70	0.93	0.95	22 V at 0.2 μ A	27 V at 10 mA
SM6A27	0.70	0.91	0.94	22 V at 0.5 μ A	27 V at 10 mA
SM8A27	0.70	0.89	0.93	22 V at 1.0 μ A	27 V at 10 mA
SM5S24A	0.70	0.92	1.65	24 V at 10 μ A	28 V at 5 mA
SM6S24A	0.70	0.88	1.50	24 V at 10 μ A	28 V at 5 mA
SM8S24A	0.70	0.86	1.45	24 V at 10 μ A	28 V at 5 mA

大多时候CMOS IC和LSI只能承受非常低的反向电压。MOSFET的删节也只能承受-1V或更小的反向电压。在反向的电源输入模式中，电源线的电压与TVS正向电压降(V_F)的电压相同。这种方向偏置模式会导致电路故障。低正向电压降的EPI PAR TVS能很好地解决这个问题。

另一种电源输入反接的保护方法是使用在电源线中使用极性保护整流器，如图9所示。

极性保护整流器应当具有足够的正向电流等级、正向浪涌和反向电压。

Vishay有一大批用于极性保护的标准整流器和肖特基整流器，这些器件具有宽工作温度范围和优异的电特性。

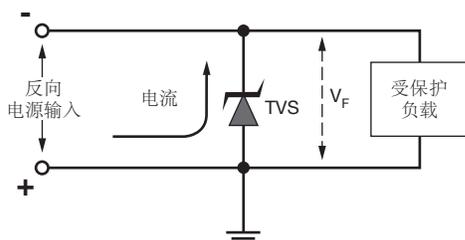


图9. 反偏状态

Transient Voltage Suppressors (TVS) for Automotive Electronic Protection

III) 车载电源线的次级保护

汽车系统中保护电路的首要目标是高浪涌电压,但钳位电压也很高,如表2和表7所示。在卡车和小货车的24V动力系中,次级保护尤其重要。其主要原因是,用于汽车应用的多数稳压器和DC-DC转换器IC的最大输入电压是45 V~60 V。

在24V测试条件下,初级保护的击穿电压列在表7中。这些情况会产生加到稳压器、仪表盘的集成电路和其他电子设备的高电压。

表 7 - JASO D-1 抛负载测试				
P/N	JASO D-1			
	t = 400 ms, R _i = 1.5 W			
	V _P = 110 V		V _P = 130 V	
	V _C	I _{PP}	V _C	I _{PP}
SM5S36A	56 V	39.2 A	N/A	
SM6S36A	53 V	41.1 A	57 V	52 A
SM8S36A	52 V	42.0 A	55 V	53 A

对于此类应用, Vishay建议使用次级保护,如图10所示。

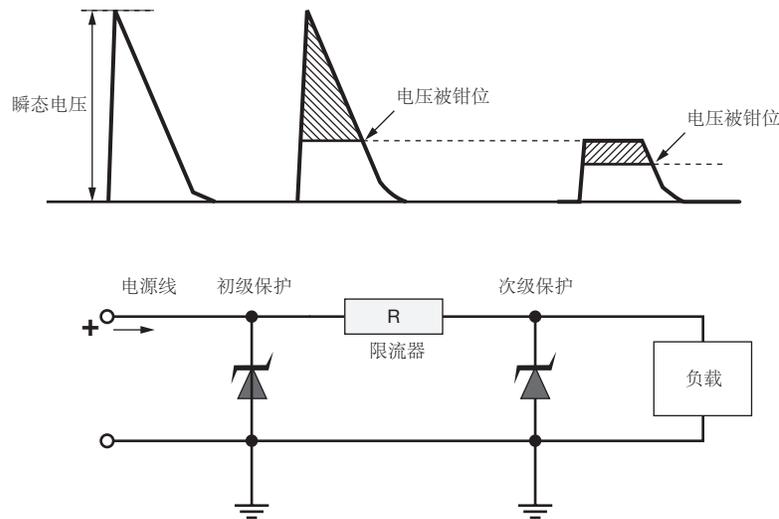


图10. 次级保护电路

在电源线上加入电阻R,可以减小瞬态电流,这样可以在次级保护中使用功率等级更小的TVS。电子单元中的微处理器和逻辑电路需要150 mA~300mA的电流,在-18 °C 温度下,12V电池的最小输出电压是7.2 V, 24V电池在同样条件下的最小输出电压是14.4V。

在上述条件下的24V电池中,在R = 20 Ω和300mA负载时的供电电压是8.4V,在R = 10 Ω和电池最小电压为14.4 V (在-18 °C 温度下24V电池的电压)时的供电电压是11.4V。

$$V_L = (V_{min} / (V_{min} / I_L)) \times ((V_{min} / I_L) - R)$$

V_L: 加到负载上的电压

V_{min}: 最小输入电压

I_L: 负载电流

R: 电阻值

$$R \text{ 的功率等级} = I^2 R$$

这个供电电压要高于大多数稳压器和DC-DC转换器IC的最小输入电压。

Transient Voltage Suppressors (TVS) for Automotive Electronic Protection

在对24V动力系的JASO D-1测试(110 V, $t = 400 \text{ ms}$, $R_i = 1.5 \Omega$)中, 带有一个限流电阻、用于次级保护的小功率和中功率TVS的钳位电压见表8。

表 8 - 在JASO D-1测试条件下次级保护TVS的钳位电压						
初级保护		次级保护				
P/N	钳位电压	P/N	钳位电压			
			R = 10 Ω , 2 W		R = 20 Ω , 2 W	
			V_C	I_{PP}	V_C	I_{PP}
SM8S36A	51.3 V	TPSMC39A	42.8 V	0.93 A	41.3 V	0.56 A
		TPSMB39A	44.9 V	0.85 A	42.2 V	0.50 A
		TPSMA39A	45.6 V	0.75 A	43.3 V	0.45 A
		TPSMC36A	40.3 V	1.25 A	37.8 V	0.70 A
		TPSMB36A	43.5 V	1.00 A	39.1 V	0.65 A
		TPSMA36A	44.0 V	0.90 A	40.6 V	0.60 A

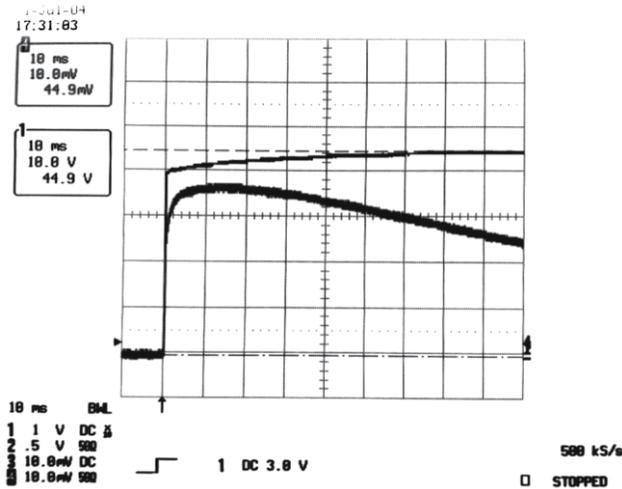


图11. 在JASO D-1测试下的钳位电压和电流波形

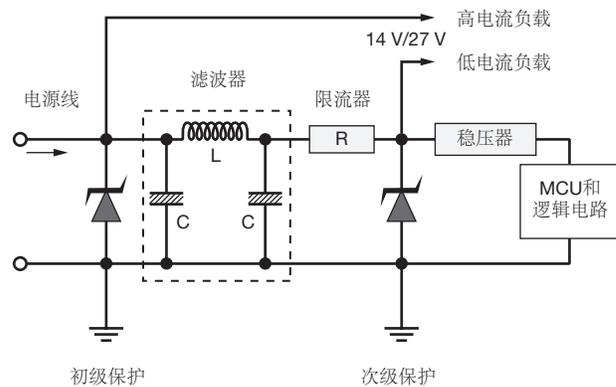


图12. 带有噪声滤波器的次级保护电路

TPSMC36A 带有20 Ω 电阻
 - $V_C = 37.8 \text{ V}$
 - $I_{PP} = 0.7 \text{ A}$

备注: 所有测试数据都是典型值, 容差为 $\pm 5\%$ 。