

車載電子機器保護用過渡電圧サプレッサ (TVS)

著者 : Soo Man (Sweetman) Kim,
Senior Application Manager

弊社のダイオード部門は、主要な車載電子機器 TVS 保護素子を Vishay General Semiconductor ブランドとして供給しています。

I) 重要な TVS パラメータ

重要な TVS パラメータには、電力定格、スタンドオフ電圧、降伏電圧、および最大降伏電圧があります。

電力定格

TVS の電力定格は、特定のテストまたはアプリケーション条件下のサージ吸収能力を意味します。弊社の TVS 製品は、図 1 に示す 10 μ s/1000 μ s パルスフォーム (Bellcore 1089

仕様) の業界標準テスト条件を使用しています。この条件は、図 2 に示す 8 μ s/20 μ s パルスフォームの TVS ESD テスト条件とは異なります。

降伏電圧、最大降伏電圧、およびスタンドオフ電圧は、表 1 のデータシートを参照してください。

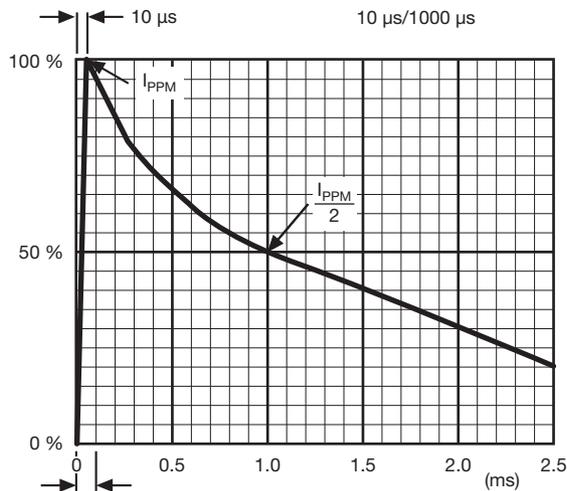


図 1. TVS のテスト波形

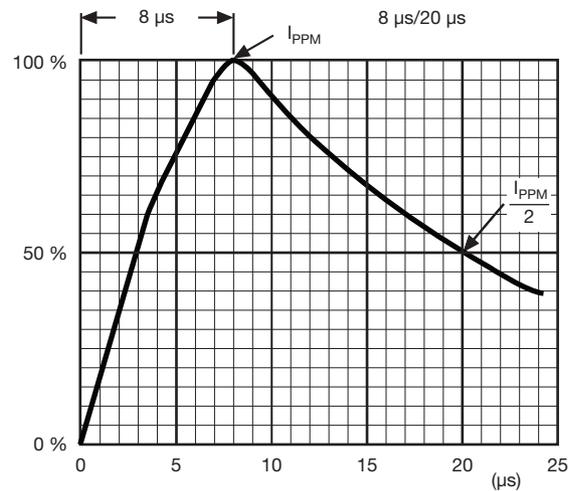


図 2. TVS ESD のテスト波形

車載電子機器保護用過渡電圧サプレッサ (TVS)

表 1 - SM6T シリーズの電気的特性 (他に特に指定がなければ、周辺温度 25 °C の定格を示す)												
タイプ	デバイスマーケティングコード		降伏電圧 I_T の V_{BR}		テスト電流 (mA)	スタンドオフ電圧 V_{RM} (V)	V_{RM} でのリーク電流 I_{RM} (μA)	クランプ電圧 I_{PP} での V_C 10 μs /1000 μs		クランプ電圧 I_{PP} での V_C 8 μs /20 μs		$T_{MAX.}$ 0-4/° C
	Uni	Bi	最小	最大				(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

降伏電圧 (V_{BR})

降伏電圧は、デバイスでアバランシェ降伏が発生する電圧で、データシート上の特定の電流で測定されます。表 1 では、SM6T6V8A は 10 mA の逆電流条件で 6.8 V (許容差 5%) の降伏特性を持ち、SM6T10A は 1 mA の逆電流条件で 10 V の降伏特性を持ちます。

最大降伏電圧 (V_C : クランプ電圧)

クランプ電圧は、特定のピークパルス電流定格で TVS 上に現れます。TVS の降伏電圧は 1 mA や 10 mA といた非常に低い電流で測定されます。したがって、実際のアプリケーション条件下のアバランシェ電圧とは異なります。そのため、大電流での標準または最大降伏電圧は半導体メーカーが指定します。10 μs /1000 μs 波形と 8 μs /20 μs 波形の最大クランプ電圧を表 1 に示します。

スタンドオフ電圧 (V_{WM}): 作動スタンドオフ逆電圧

スタンドオフ電圧は、TVS が降伏状態でないときの最大電圧で、通常の状態では作動しない回路内の保護デバイスの重要なパラメータです。

車載アプリケーションでは、「ジャンプスタート保護」によって車載電子機器の電圧変動範囲が決定されます。この条件では、12 V タイプの電子機器に 24 V_{DC} を 10 分間供給し、24 V タイプの電子機器に 36 V_{DC} を 10 分間供給しても回路が破損または故障しません。つまり、スタンドオフ電圧は、車載電子機器用 TVS の主要パラメータの 1 つです。

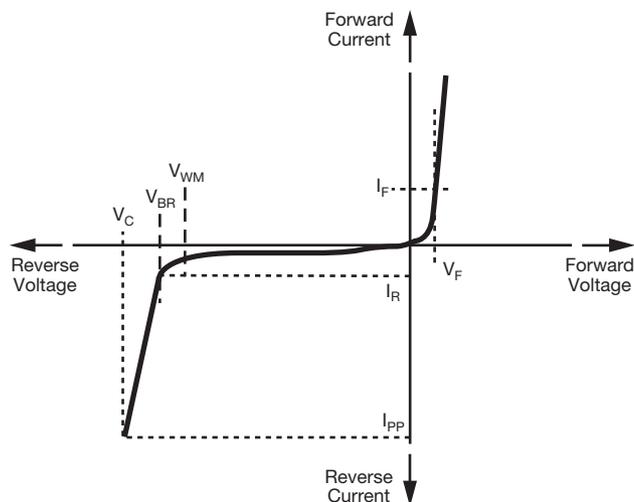


図 3. 電圧と電流のパラメータ

車載電子機器保護用過渡電圧サプレッサ (TVS)

II) 車載電源供給ラインの一次保護 (ロードダンプ)

電子制御ユニット、センサー、オーディオシステムなどの車載電子機器は1つの電源供給ラインに接続されます。これらの電子機器の電源はバッテリーとオルタネータですが、いずれも出力電圧は不安定で、温度、動作状態、およびその他の条件に左右されます。

加えて、ESD、スパイクノイズ、および数種類の過渡電圧とサージ電圧が、燃料噴射、バルブ、モーター、電気制御装置、加水分解制御装置などのソレノイド負荷を利用する車載システムから伸びる電源ラインと信号ラインに入り込みます。

ロードダンプとは何か

サージ電圧の最悪のケースは、エンジンが作動中で、オルタネータが車の電源ラインに電流を供給中に、バッテリーラインが断線した場合に発生します。この状態は「ロードダンプ」として知られ、ほとんどの自動車メーカーと業界団体が、図5に示すように、この状態の最大電圧、ラインインピーダンス、および持続期間を指定しています。米国のISO-7637-2 Pulse 5と、日本のJASO A-1 (14Vパワートレイン用) および JASO D-1 (27Vパワートレイン用) が、この状態をシミュレートするテストとしてよく知られています。ここでは、TVSのアプリケーションで、14Vパワートレイン内のロードダンプを検証します。

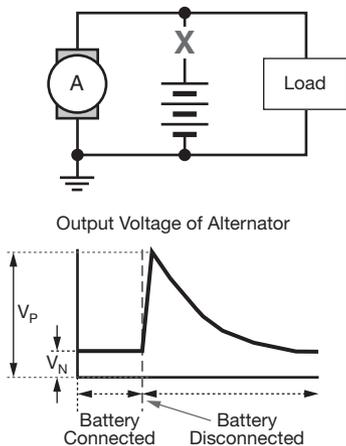


図5. ロードダンプ状態でのオルタネータの出力電圧

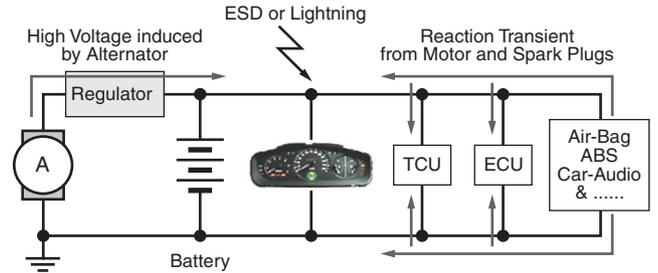


図4. 標準的な車両電力バス

図6に示すように、弊社の高出力シリコン TRANSZORB[®] TVSは、電気的な過度のストレスから脆弱な電子回路を保護し、高い信頼性を保証するために使用されます。一次保護の場合は、TVSがロードダンプ状態の高いエネルギーを吸収する必要があります。

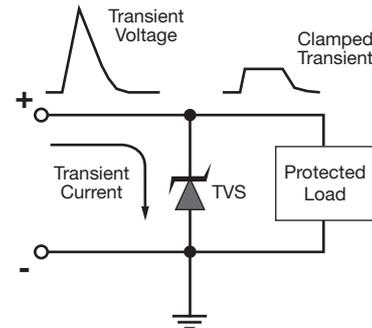


図6. 標準的な保護回路



DO-218AB

車載電子機器保護用過渡電圧サプレッサ (TVS)

ロードダンプテストの仕様と結果

米国の ISO-7637-2 Pulse 5 テストと日本の JASO A-1 テスト (14V パワートレイン用) の結果を表 2 に示します。

表 2 - 14V パワートレイン用の主要なロードダンプテスト条件						
	総電圧 (V _P) (V)	V _S (V)	V _A (V)	R _I (Ω)	時間 (ms)	サイクルタイム
JASO A-1	70		12.0	0.8	200	1
	88		12.0	1.0	200	1
ISO 7637-2 Pulse 5	78.5 から 100.5	65 から 87	13.5	0.5 から 4.0	400	1

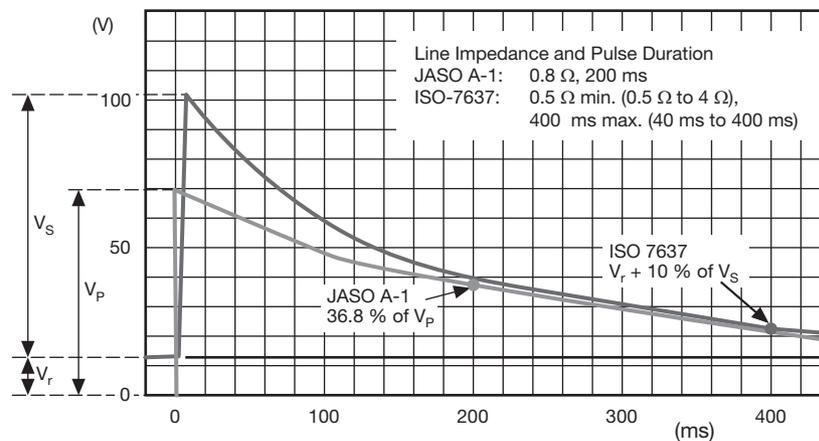


図 7. ISO-7637-2 テストの標準条件は、65 ~ 87 V の V_S 範囲と 0.5 から 4 Ω の R_I (ラインインピーダンス) 範囲である

ISO-7637-2 Pulse 5 に基づくロードダンプテストに別の条件を適用している自動車メーカーもあります。ロードダンプ TVS のピーククランプ電流は次の式で求められます。

ピーククランプ電流の計算

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

I_{PP}: Peak clamping current

V_{in}: Input voltage

V_c: Clamping voltage

R_i: Line impedance

弊社の高出力シリコン TVS を別の仕様でテストした結果を表 3 に示します。

表 3 - ロードダンプ TVS のクランプ電圧			
テスト条件	V _C の仕様	JASO A-1	ISO -7637-2 PULSE 5
	10 μs/1000 μs の波形	V _P = 70 V, T = 200 ms, R _I = 1.5 Ω	V _S = 87 V, T = 300 ms, R _I = 0.75 Ω
SM5A27	I _{PP} = 55 A で 40.0 V	I _{PP} = 47.4 A で 34.1 V	I _{PP} = 59.4 A で 36.5 V
SM5S24A	I _{PP} = 93 A で 38.9 V	I _{PP} = 47.6 A で 33.8 V	I _{PP} = 60.1 A で 36.1 V
SM6A27	I _{PP} = 65 A で 40.0 V	I _{PP} = 48.1 A で 33.7 V	I _{PP} = 60.4 A で 35.8 V
SM6S24A	I _{PP} = 118 A で 38.9 V	I _{PP} = 48.3 A で 33.5 V	I _{PP} = 60.4 A で 35.8 V
SM8A27	I _{PP} = 75 A で 40.0 V	I _{PP} = 48.4 A で 33.2 V	I _{PP} = 61.1 A で 34.9 V
SM8S24A	I _{PP} = 170 A で 38.9 V	I _{PP} = 48.8 A で 32.1 V	I _{PP} = 62.0 A で 34.4 V

これらのテストにおける弊社の高出力シリコン TVS のクランプ電圧は 37V 未満であり、車載アプリケーション内の電圧レギュレータに必要な 37 ~ 40 V の最大入力電圧範囲を満たしています。

車載電子機器保護用過渡電圧サプレッサ (TVS)

図 8a は、JASO A/1 テストにおける SM5A27 の電流波形と電圧波形を示しています。

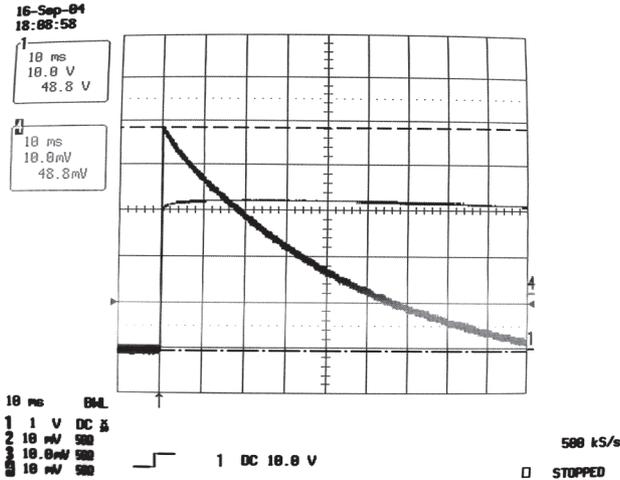


図 8a. SM5A27 のクランプ電圧と電流
JASO A-1 テストにおける

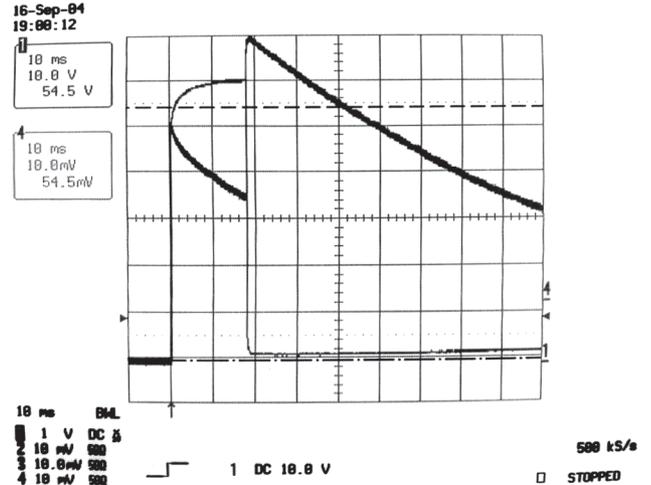


図 8b. ロードダンブ TVS のクランプ電圧と電流
ISO7637-2 テストに失敗した

図 8b は、ISO-7637-2 テストに失敗したロードダンブ TVS のクランプされた電圧と電流を示しています。制限電圧は 0 近くまで下降し、デバイスを流れる電流は線路インピーダンスで許容される最大値まで上昇します。

表 4 は、弊社のロードダンブ TVS のさまざまなロードダンブテスト条件での不良率を示しています。SM8S24A が、ISO-7637-2 Pulse 5 の最大定格未満で最も強力なデバイスです。

表 4 - さまざまなロードダンブテスト条件での不良率							
	JASO テスト			ISO -7637-2 PULSE 5			
	T = 200 ms, R _i = 0.8 Ω			T = 300 ms, R _i = 0.5 Ω			
供給電圧	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

ISO-76372 の最大テスト条件でのピーク電流は次の式で計算することができます。

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

車載電子機器保護用過渡電圧サプレッサ (TVS)

弊社ロードダンプ TVS の 2 つのグループ

弊社には、車載電子機器の一次保護用として 2 種類のロードダンプ TVS (EPI PAR TVS と非 EPI PAR TVS) があります。

PAR TVS の製品グループを表 5 に示します。

表 5 - PAR ロードダンプ TVS 製品グループ		
パッケージタイプ	EPI PAR TVS	非 EPI PAR TVS
アキシシャル	6KA24	
表面実装パッケージ	SM5A27	SM5S シリーズ
	SM6A27	SM6S シリーズ
	SM8A27	SM8S シリーズ

両方の製品グループは、逆バイアスモードでの作動降伏特性が似ています。表 6 に示すように、EPI-PAR TVS は順方向モードの V_F 特性が低いのに対して、

非 EPI PAR TVS は同じ条件の V_F が比較的高いという違いがあります。この違いは、電源ラインに逆電圧をかける場合に重要になります。

	V_F (標準) (0.3 ms のパルス幅) V			逆リーク電流とスタン ドオフ電圧	逆電流と降伏電圧
	0.1 A	6 A	100 A		
SM5A27	0.70	0.93	0.95	0.2 μ A で 22 V	10 mA で 27 V
SM6A27	0.70	0.91	0.94	0.5 μ A で 22 V	10 mA で 27 V
SM8A27	0.70	0.89	0.93	1.0 μ A で 22 V	10 mA で 27 V
SM5S24A	0.70	0.92	1.65	10 μ A で 24 V	5 mA で 28 V
SM6S24A	0.70	0.88	1.50	10 μ A で 24 V	5 mA で 28 V
SM8S24A	0.70	0.86	1.45	10 μ A で 24 V	5 mA で 28 V

CMOS IC と LSI のほとんどは、逆電圧機能が非常に貧弱です。MOSFET ゲートは、-1 V 以下の逆電圧に耐えられません。逆電源入力モードでは、電源ラインの電圧が TVS 順電圧降下の電圧 (V_F) と同じになります。この逆バイアスモードでは、電子回路が故障する可能性があります。EPI PAR TVS の低順電圧降下がこの問題のよい解決策になります。

図 9 に示すように、電源ラインに極性保護整流器を取り付けることによって、逆電源入力から回路を保護する方法もあります。

逆接保護整流器は、十分な順方向電流定格、順方向サージ機能、および逆電圧機能を持っている必要があります。

弊社には、幅広い動作温度範囲と優れた電気的特性を持つ、逆接保護用のさまざまな標準整流器とショットキー整流器があります。

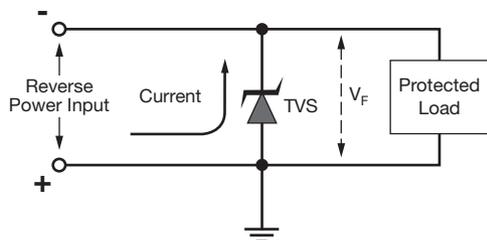


図 9. 逆バイアス状態

車載電子機器保護用過渡電圧サプレッサ (TVS)

III) 車載電源ラインの二次保護

表 2 と表 7 に示すように、車載システム内の保護回路の主要ターゲットは高いサージ電圧ですが、クランプ電圧も高い場合があります。二次保護は、トラックやバンで見られるような 24 V パワートレインで特に重要です。その理由は、主に、車載アプリケーション用のレギュレータ IC と DC/DC コンバータ IC のほとんどの最大入力電圧が 45 ~ 60 V だからです。

24 V テスト条件での一次保護 TVS の降伏電圧を表 7 に示します。これらの値は、レギュレータ、集積回路、およびその他の電子機器にとって高い電圧です。

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

この種のアプリケーションでは、図 10 に示すような二次保護の使用をお勧めします。

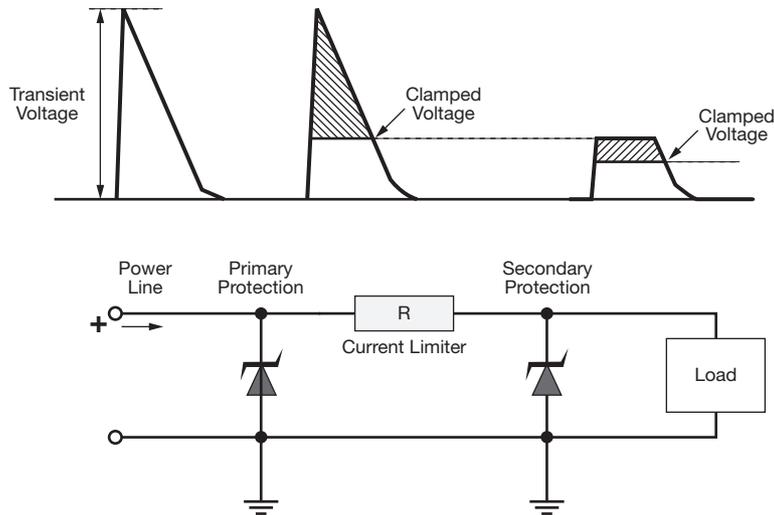


図 10. 二次保護回路

電源ラインに抵抗器 R を追加することによって、過渡電流が下がるために、より低い電力定格の TVS を二次保護として使用することができます。電子ユニット内のマイクロプロセッサや論理回路の電流は 150 ~ 300 mA であり、12 V バッテリーの最小出力電圧は -18 °C で 7.2 V、24 V バッテリーの場合は同じ条件で 14.4 V です。

上記条件下の 24 V バッテリーの場合は、14.4 V のバッテリーの最小電圧 (-18 °C での 24 V バッテリー電圧) で、300 mA 負荷時の供給電圧が R = 20 Ω で 8.4 V、R = 10 Ω で 11.4 V です。

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

V_L : Voltage to load
 V_{min} : Minimum input voltage
 I_L : Load current
 R : Resistor value

R の電力定格 = I²R

この供給電圧は、ほとんどの電圧レギュレータ IC や DC/DC コンバータ IC の最小入力電圧よりも高めです。

車載電子機器保護用過渡電圧サプレッサ (TVS)

24 V パワートレインに対する JASO D-1 テスト (110 V, t = 400 ms, R_i = 1.5 Ω) における二次保護用の低出力 TVS と中出力 TVS のクランプ電圧を電流制限抵抗器を使用した表 8 に示します。

表 8 - JASO D-1 テスト条件下の二次保護 TVS のクランプ電圧						
一次保護		二次保護				
P/N	クランプ電圧	P/N	クランプ電圧			
			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

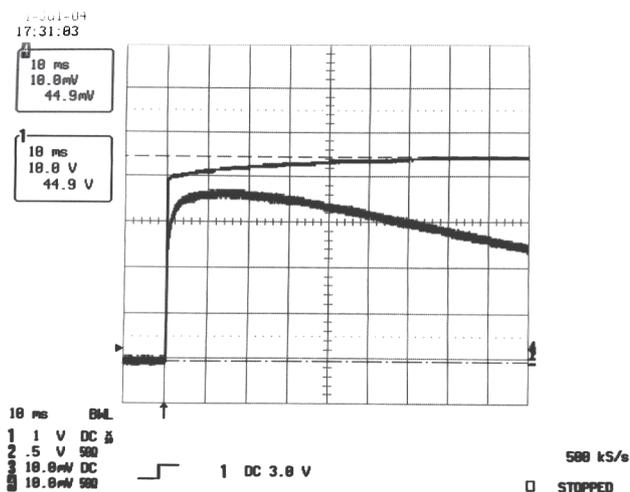


図 11. クランプ電圧と電流の波形
JASO D-1 テスト下の

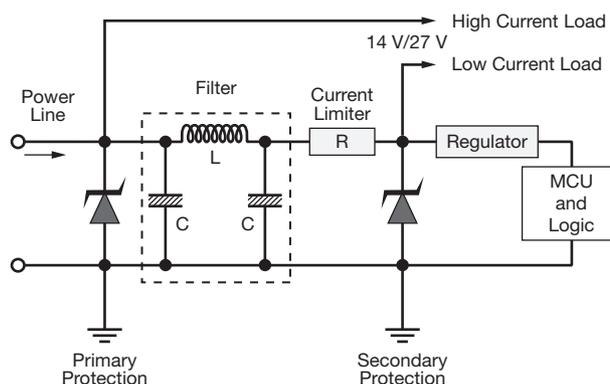


図 12. ノイズフィルター付き二次保護回路

20 Ω 抵抗器付き TPSMC36A
 - V_C = 37.8 V
 - I_{PP} = 0.7 A

備考: すべてのテストデータは、標準値で、許容差は ± 5 % です。