

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Смущения	Типични източници	Ползвани компоненти
Електростатични разряди	Хора и комуникационни линии	TVS диоди, многослойни варистори, полимерни ограничители
Бързи преходни процеси	Комутиране на индуктивни товари, електромеханични релета	TVS диоди, металокисни варистори, тиристоры
Включване и изключване на мощни индуктивни товари	Електродвижатели, помпи, компресори, релета, ел. мрежа	TVS диоди, металокисни варистори, газоразрядни лампи
Електрически искри	Допир на електронни апаратури към ел. мрежа и комуникационни мрежи	TVS диоди, варистори, тиристоры за защита, газоразрядни лампи
От превключване на токове	Електрически и електронни схеми	Тиристоры за защита

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

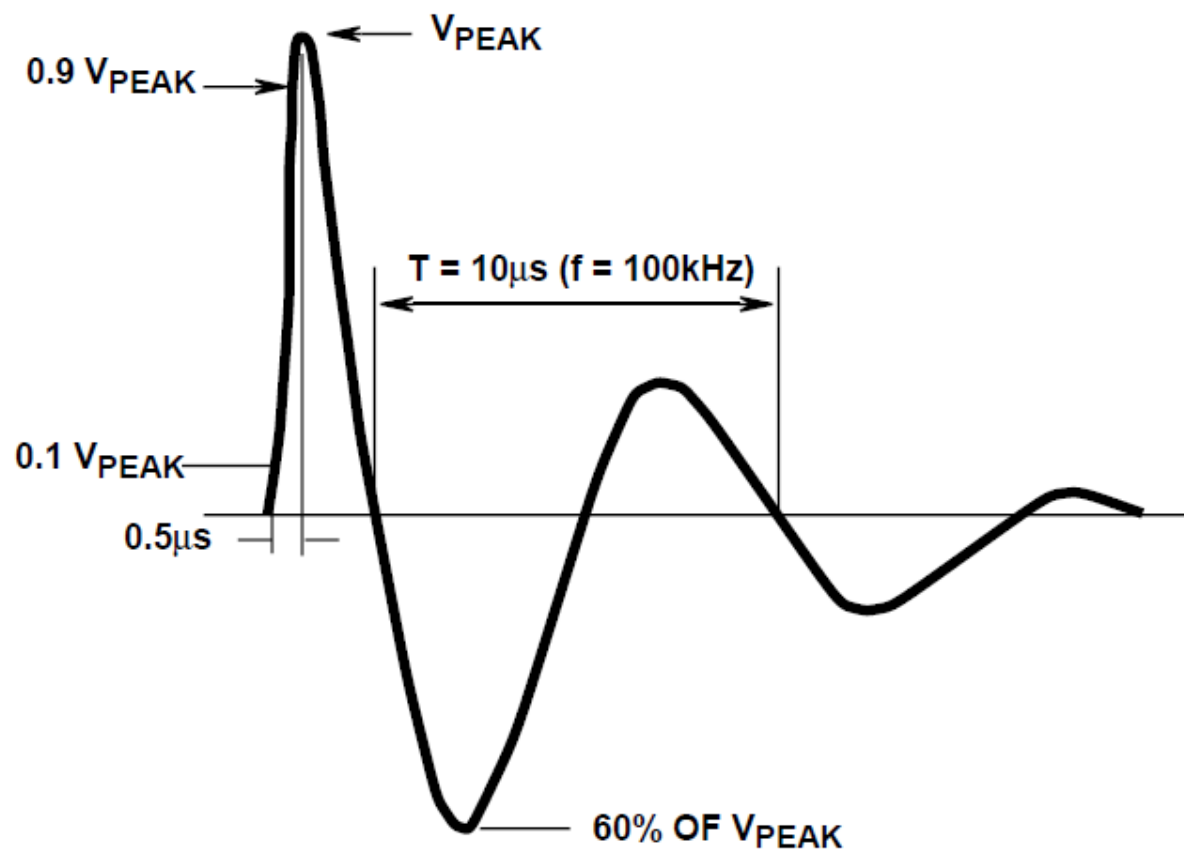
За да се защитят адекватно чувствителните електрически системи, като по този начин се осигури надеждна работа, предприемането на мерките за потискане на преходните отскоци трябва да бъде част от първоначалния процес на проектиране, а не просто включено като допълнителна дейност.

За ефективно потискане на преходните процеси, избраното защитно устройство трябва да може да разсее импулсната енергия на преходния процес при достатъчно ниско напрежение, така че работоспособността на защитаваната верига да се запази.

(AC Line Voltage Transients and Their Suppression, AN9308.2, Harris Semiconductor, January 1998)

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

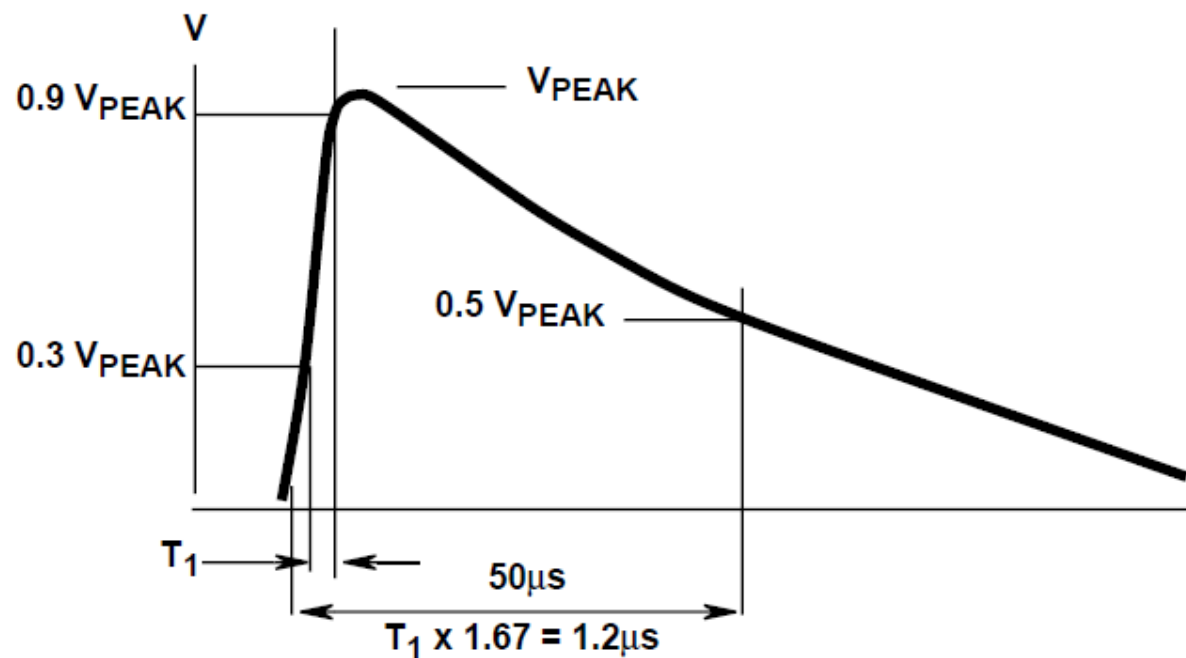


Повечето преходни процеси, които възникват в уреди за ниско напрежение при работа в затворени помещения, са резонансни. Трептенията са с честотата на естествения резонанс на електрическата система.

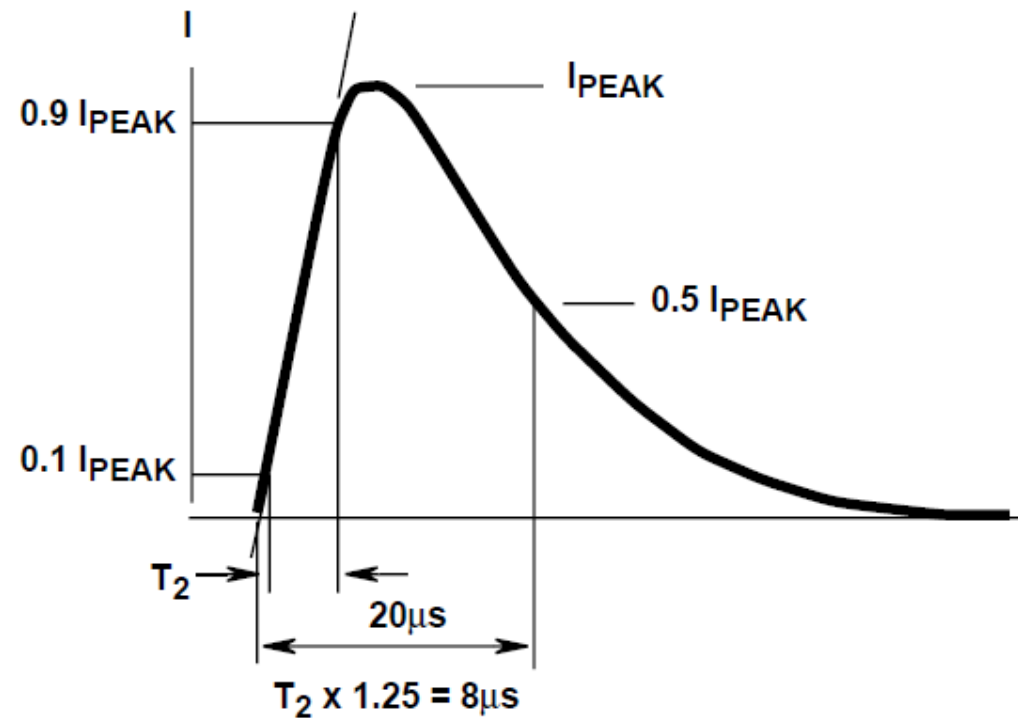
Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Преходните процеси, които протичат на открито имат много по-голяма енергия.



Напрежение на празен ход



Разряден ток

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Разрушителната енергия на преходните процеси се определя от максималната стойност на тяхното напрежение, стойността и времето за протичане на тока:

$$E = \int_0^{\tau} V_c(t) \cdot I(t) dt$$

E = енергия на преходния импулс

I = максимална стойност на импулсния ток

V_c = стойност на ограничаване на напрежението

t = време

τ = продължителност на преходния импулс

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Елементът, който ограничава напрежението е с променлива стойност на импеданса в зависимост от тока, преминаващ през него или от напрежението върху него. При номинални стойности на параметрите той не оказва влияние върху защитаваната схема. Неговото действие се проявява в следствие на увеличението на тока през него като резултат от скока на напрежението.

Ако нарастването на тока е по-голямо от повишаването на напрежението, импедансът на защитния елемент е нелинеен.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Видове защитни елементи и схеми:

- Елементи, ограничаващи напрежението – селенови клетки, лавинни (ценерови диоди), варистори, произведени от различни материали (силициев карбид, цинков оксид и др.);
- „Токоотнемащи“ елементи и схеми – притежават ключово действие, с което отклоняват тока през себе си и предпазват паралелно свързаните товари.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Елементи, ограничаващи напрежението

Основното предимство на **ценеровите диоди** е много ефективното ограничение на напрежението, което ги доближава до идеалния ограничител. Недостатък е малката възможност за разсейване на топлината поради нейното генериране в много малък обем.

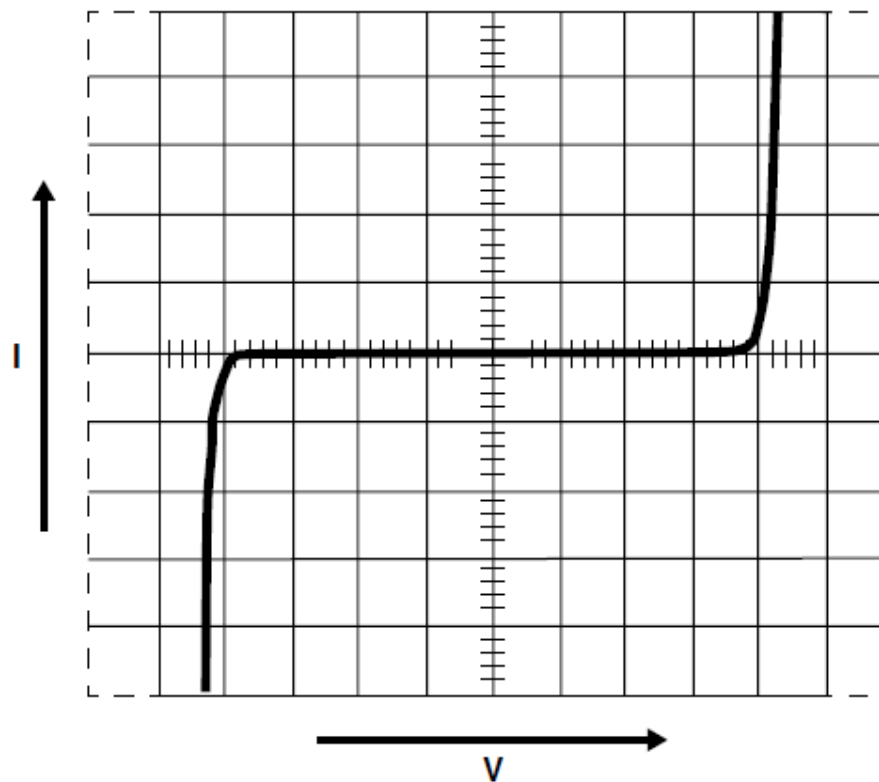
Варисторите от **силициев карбид** са се използвали масово преди производството на варистори от метални оксиди. Те са имали много успешно приложение като защитни елементи, предназначени за работа с високо напрежение и голяма мощност.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Елементи, ограничаващи напрежението

Варисторите, произведени от **метални оксиди** (MOV - **Metal Oxide Varistor**), най-често цинков оксид (ZnO) са нелинейни елементи, които имат характеристика, която е подобна на тази на два противоположно свързани ценерови диода.



Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

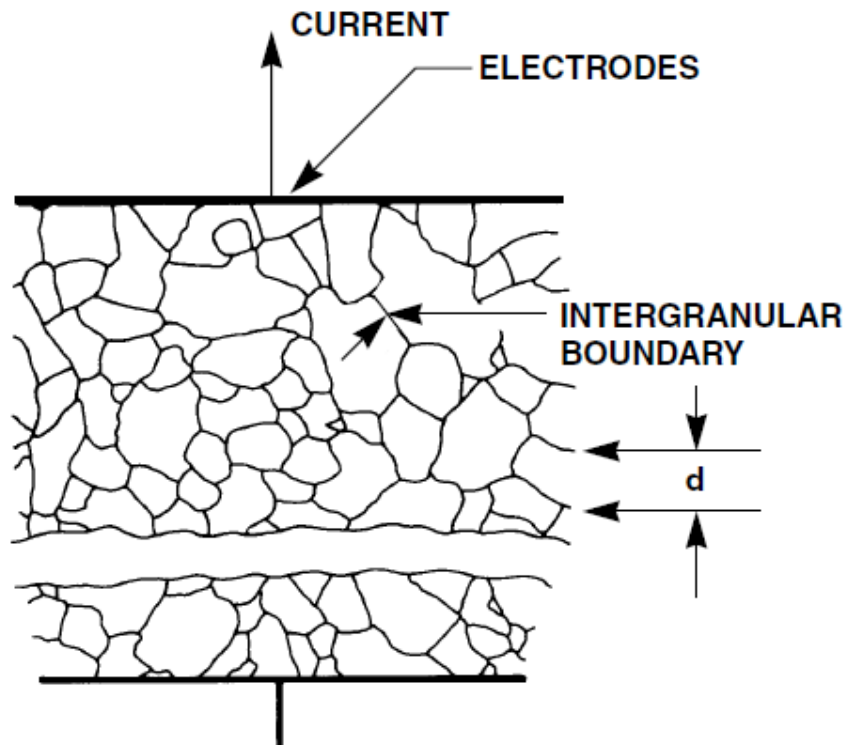
Елементи, ограничаващи напрежението

Варисторите са произведени главно от цинков оксид с малки добавки на оксиди на други метали като бисмут, кобалт, манган и др. Представяват матрица от проводящи зърна от цинков оксид, разделени от границите на зърната, което формира PN преход. Тези граници позволяват блокирането на проводимостта при ниски напрежения и осигуряват нелинейна електрическа проводимост при повишено напрежение. Всяко зърно от структурата действа като отделен единичен PN преход.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Елементи, ограничаващи напрежението



Напрежението върху варистора V_N се дефинира за точка от волт-амперната характеристика където преходът към нелинейната област е завършен.

$$V_N(\text{DC}) = (3V)n$$

където, n = осреднен брой граници на зърната между електродите.

Дебелина на варистора, $D = (n + 1)d \approx V_N * d / 3$
където, d = осреднен размер на зърната.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Елементи, ограничаващи напрежението

Тъй като нелинейното електрическо поведение се проявява на границите на всяко зърно цинков оксид, варисторът може да се разглежда като множество ценерови диоди, които са свързани помежду си последователно и успоредно. Конструкцията прави варисторите по-устойчиви от аналозите им с единичен PN преход като ценеровите диоди.

Енергията се разпределя равномерно в цялото тяло на елемента, което води до равномерно разпределение на топлината в неговия обем.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

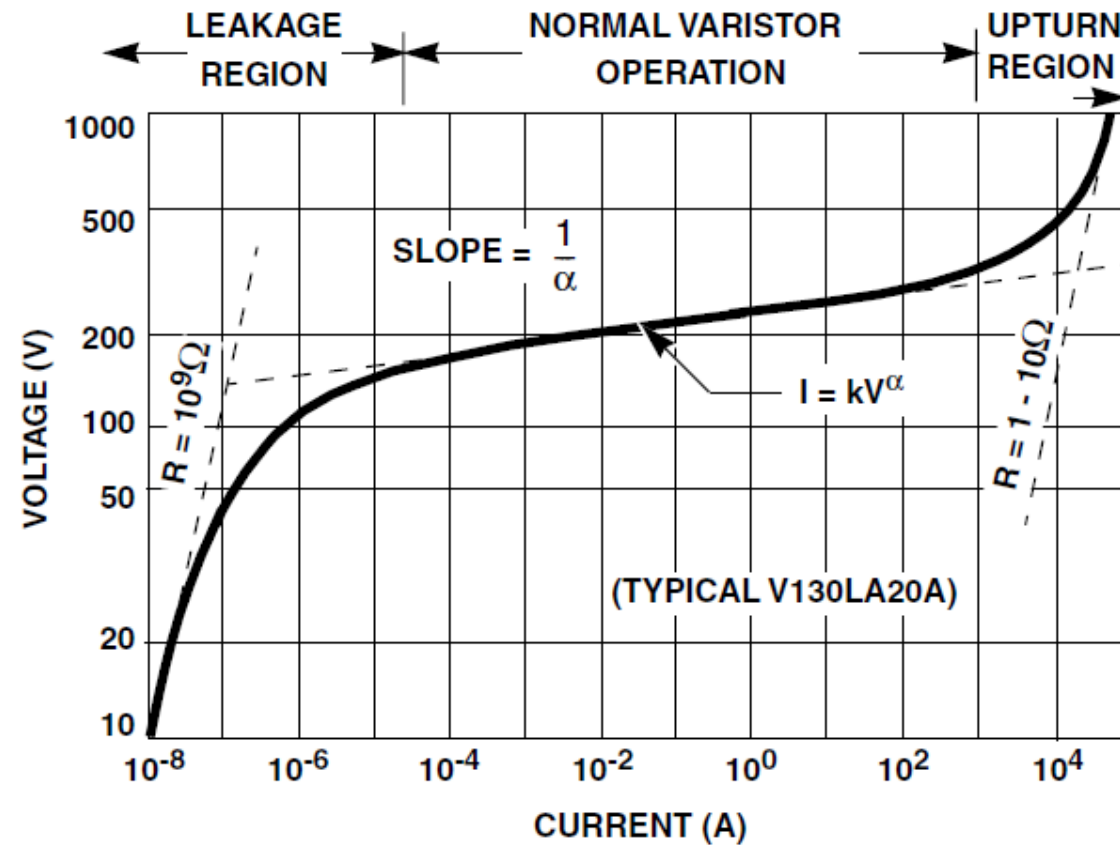
Елементи, ограничаващи напрежението

Варисторът функционира като нелинеен променлив импеданс. Връзката между тока I и напрежението V е: $I = kV^\alpha$. Показателят α в уравнението представлява степента на нелинейността на проводимостта. Линеиният резистор има $\alpha = 1$. Колкото по-висока е стойността на α , толкова по-добро е ограничението. Съвсем естествено производителите на варистори непрекъснато се стремят да постигнат висок α . Варисторите от ZnO имат значително по-голям α (15÷30) спрямо тези от силициев карбид.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

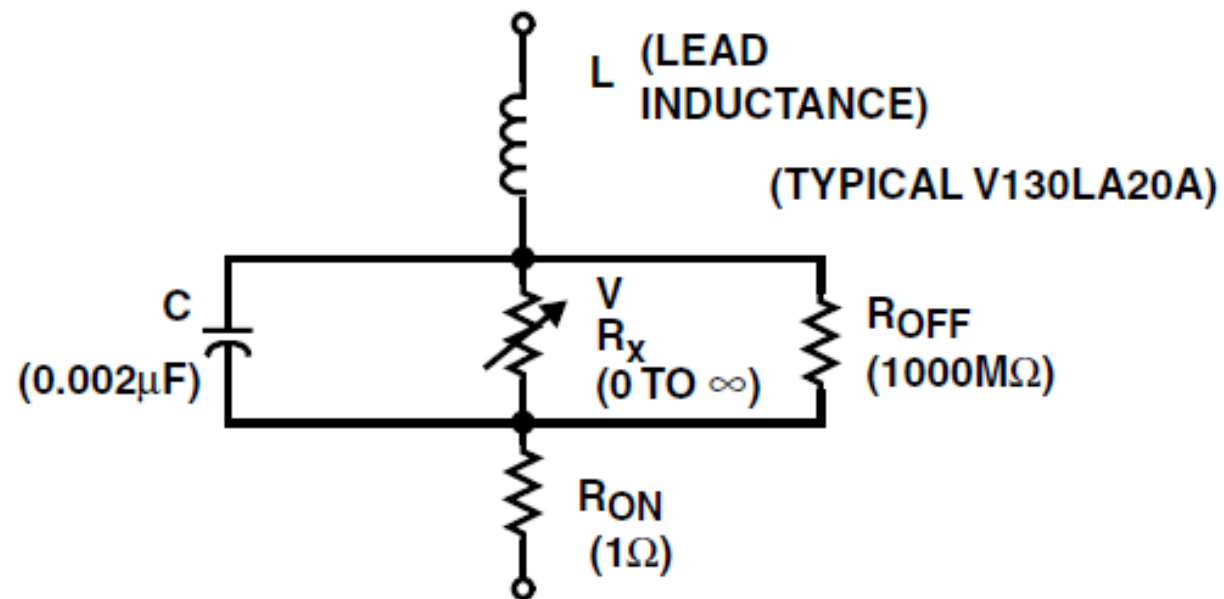
Елементи, ограничаващи напрежението



Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Елементи, ограничаващи напрежението

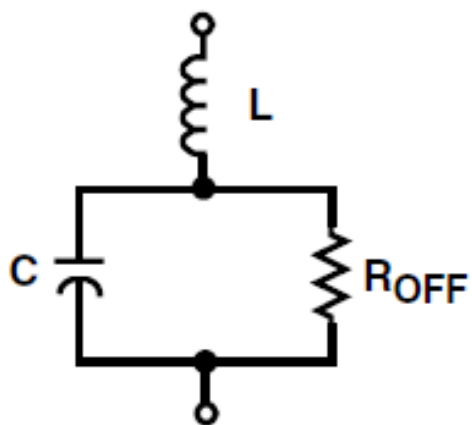


Еквивалентна схема на варистор

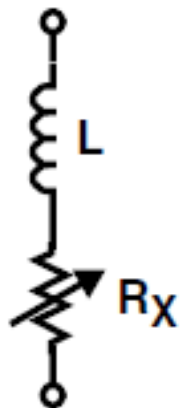
Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

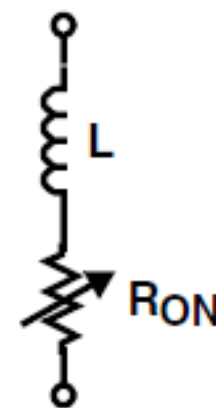
Елементи, ограничаващи напрежението



Режими на утечка



Режими на ограничение



Режими на голям ток

Еквивалентни схеми на варистор в различните режими на работа

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

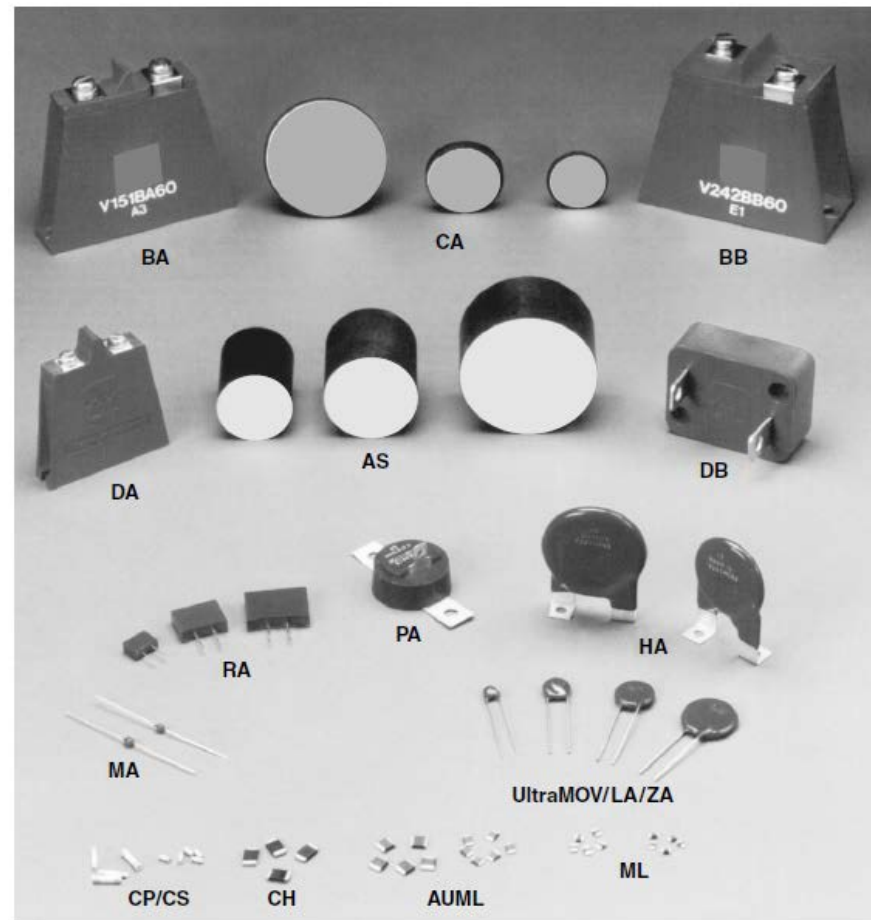
Елементи, ограничаващи напрежението

Високите стойности на α на метало-оксидните варистори са открили напълно нови области на приложение, като предоставят достатъчно ниско ниво на защита и малък ток. Възможностите за приложение се простират от маломощна електроника до най-големите предпазители за пренапрежение в електроенергийната система, работещи при токове от 50А до 50000 А, в зависимост от размерите на варистора.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Елементи, ограничаващи напрежението

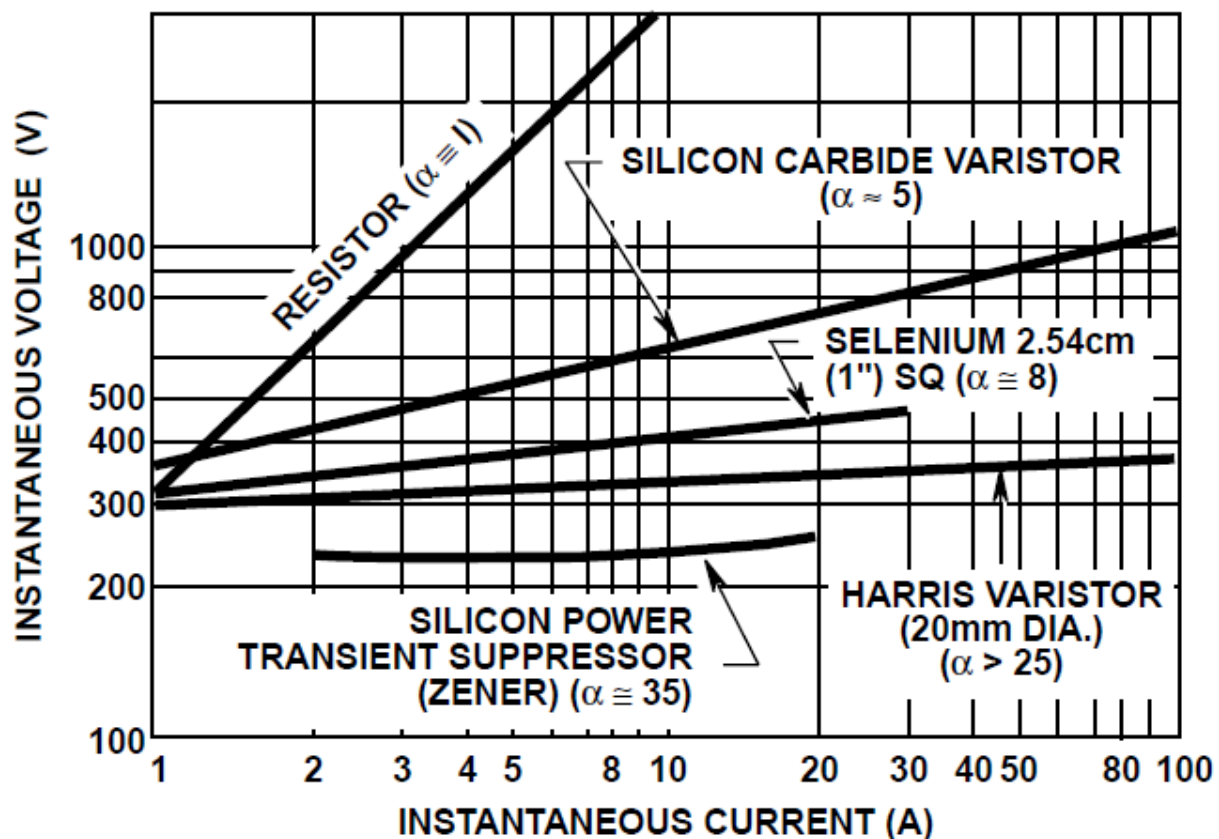


Различни корпуси на варистори

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Елементи, ограничаващи напрежението



Волт-амперни характеристики на различни защитни елементи

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

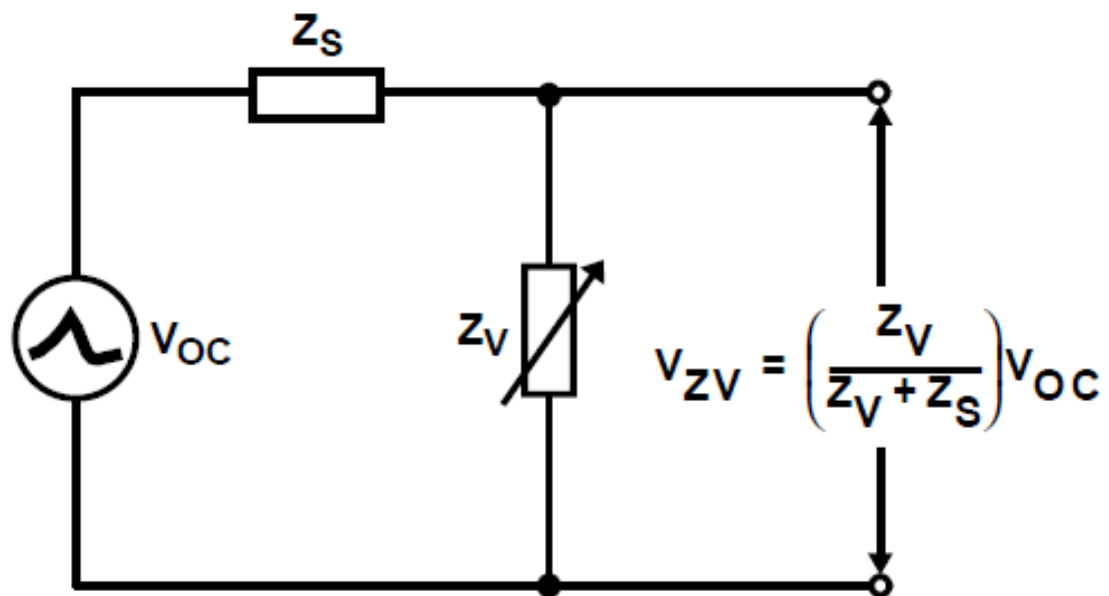
Енергията, която се генерира по време на преходния процес, ще се разпредели между защитния (потискащия) елемент и линията, по която постъпва в зависимост от техните импеданси.

От съществено значение е да се определи реалната стойност на изходния импеданс на източника на смущението, за да се гарантира, че устройството, избрано за защита, ще има адекватна способност да понесе пренатоварването.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Еквивалентна схема на електрическа верига със защитен елемент, върху която е приложено напрежение с по-висока от стандартната стойност.



Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Изчисляване на напрежението върху защитен елемент с линейна характеристика при различни стойности на изходния импеданс на източника на смущението с напрежение на празен ход 3kV.

1. При стойност на изходния импеданс на източника на смущението $Z_S = 50\Omega$ и импеданс на защитния елемент $Z_V = 8\Omega$, стойността на тока е $I = 3000/(50+8) = 51.7\text{A}$, а напрежението върху защитния елемент е: $V_{ZV} = 8 * 51.7 = 414\text{V}$.
2. При стойност на изходния импеданс на източника на смущението $Z_S = 5\Omega$ и импеданс на защитния елемент $Z_V = 8\Omega$, напрежението върху защитния елемент е: $V_{ZV} = 3000*8/(5+8) = 1850\text{V}$.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Изчисляване на напрежението върху защитен елемент с нелинейна характеристика при различни стойности на изходния импеданс на източника на смущението с напрежение на празен ход 3kV.

1. При стойност на изходния импеданс на източника на смущението $Z_s = 50\Omega$ и импеданс на защитния елемент $Z_v = 8\Omega$, стойността на тока е $I = 3000/(50+8) = 51.7\text{A}$. Максималното напрежение върху типичния нелинеен варистор V130LA20A при ток 51.7A е 330V.
2. При стойност на изходния импеданс на източника на смущението $Z_s = 5\Omega$, от характеристиката на V130LA20A при ток 500A се намира стойността на напрежението 400V.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

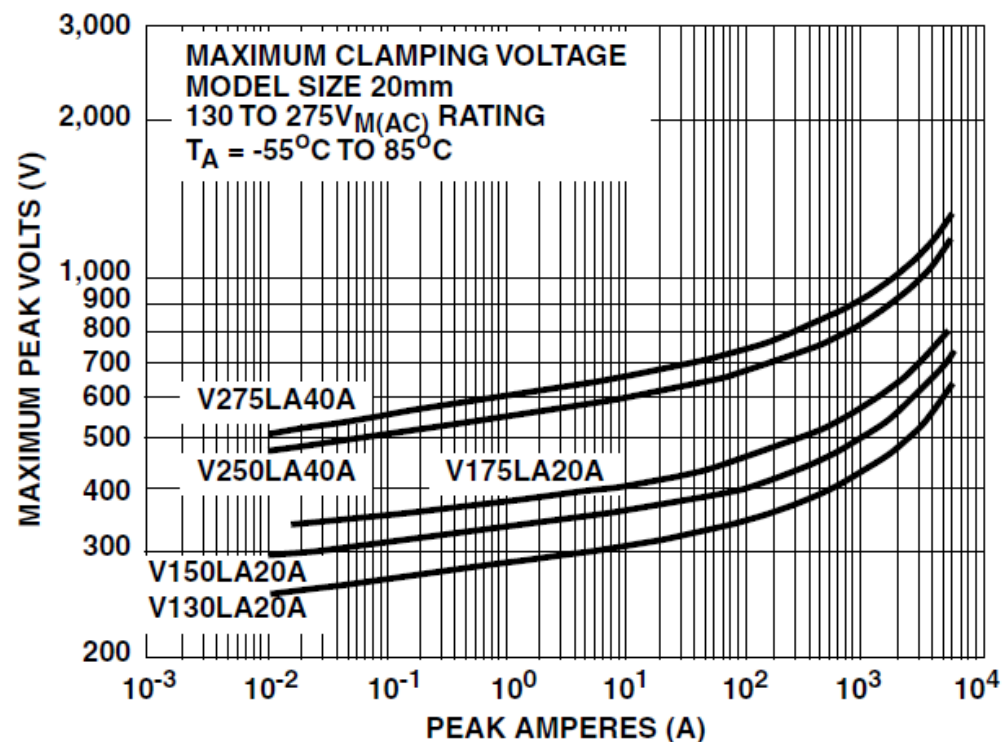
Изчисляване на напрежението върху защитен елемент с нелинейна характеристика при различни стойности на изходния импеданс на източника на смущението с напрежение на празен ход 3kV.

За проверка на коректността се изчислява тока във веригата:

$$I = (3000 - 400) / 5 = 520 \text{ A}$$

$$Z_s * I = 5 \times 520 = 2600 \text{ V}$$

$$V_{OC} = 2600 \text{ V} + 400 \text{ V} = 3000 \text{ V}$$



Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Тези примери доказват, че за да се създаде схема за защита срещу случайни преходни процеси, често е необходимо да се направи предположение за параметрите на преходните процеси.

Ако има грешка в изчисляването на изходния импеданс на източника или в напрежението на празен ход, последствията при използване на линейни или нелинейни елементи за потискане на смущенията са драматично различни.

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Метало-оксидните варистори (MOV) имат много предимства пред ценовите диоди. Най-голямото е способността им да ограничават пренапреженията на преходните процеси при много по-високи нива на енергия.

Тъй като те се състоят от множество PN преходи, мощността се разсейва по цялата им маса и за разлика от ценовия диод няма да се получат горещи места.

Друго предимството на MOV е тяхната способност да издържат на много по-висока моментна мощност.

Електромагнитна съвместимост

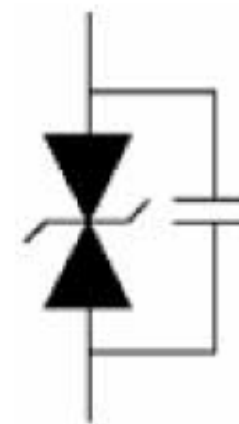
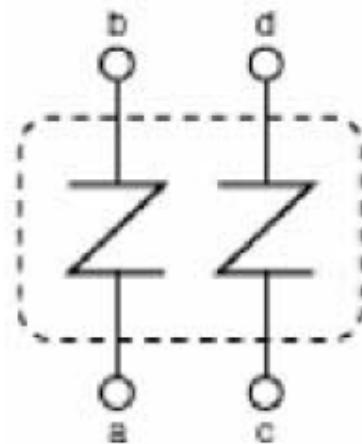
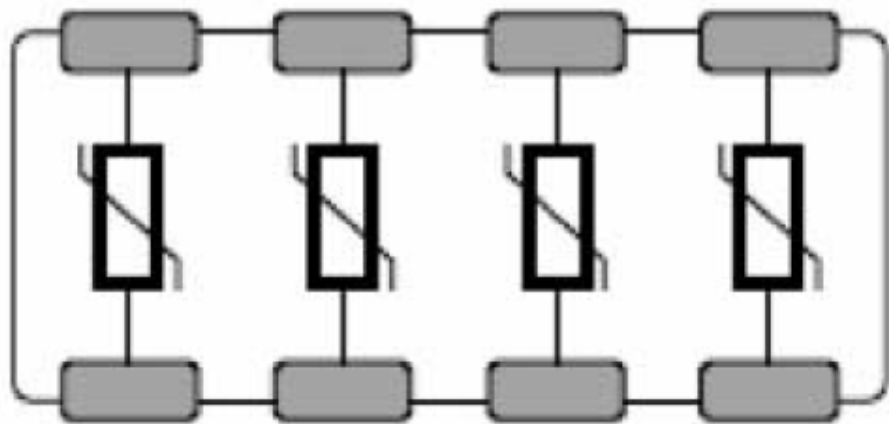
Защита от смущения

№	Модел (година)	Производител	Особености	$V_{DC}, V (V_{1mA}, V) [V_C, V \text{ при } I_p, A]$	$I_{pp}, A (P_W, W) [C_v, pF] \{T_r, ns\}$	Раб. темп. обхват, °C (размери, mm)
1	MOV-20xxxK (2018)	Bourns	Серия 25 модела	14-1465 (18-1800) [36-2970 при 20-100]	2000-6500 (1) [34200-312] {10}	$T_A = -40 + 105$ (26x4.6)
2	VE Series (2019)	KEMET	Серия 65 мод. АЕС-Q200	11-170 (15-205) [27-342 при 1]	30-1200 (0.003-0.02) [240-15000] {<2}	$T_A = -55 + 150$ (1.6x0.8x0.95)
3	NV73DS (2019)	KOA Speer	Серия 3 мод. АЕС-Q200	16-34 (20-45) [40-60 при 20]	200	$T_A = -40 + 125$ (6.1x3.7x5.5)
4	TMOV 34S (2019)	Littelfuse	Серия 23 модела	150-970 (198-1320) [305-20000 при 200]	40000 [1800-11500]	$T_A = -55 + 85$ (47.5x37x11.9)
5	ERZV Series (2019)	Panasonic	Серия 90 модела	14-1465 (18-1800) [36-2970 при 1-20]	250-10000	$T_A = -40 + 85$ (7x6.5)
6	SIOV-S14Kxxx E2K55	TDK Electronics	Серия 14 модела	170-1465 (205-750) [340-1240 при 50]	6000 (0.6) [230-790]	$T_A = -40 + 105$ (13x5)
7	VDRH Series (2019)	Vishay BCcomponents	Серия 170 модела	14-895 (18-1100) [36-1815 при 1-10]	250-10000 [30-20000]	$T_A = -40 + 125$ (7x6.5)
8	220KH05 (2019)	Yageo	50 мод. част от серия	14-615 (18-750) [40-1240 при 1-5]	100-400 (0.01-0.1) [36-1400]	$T_A = -40 + 125$ (5.5x2.03)

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

За ESD се използва разновидността многослойни варистори (Multilayer Varistor) MLV, чието наименование отразява структурата им – множество електроди, между които е разположена керамика с полупроводникови свойства. Те са с по-малък паразитен капацитет в сравнение с MOV.



Електромагнитна съвместимост

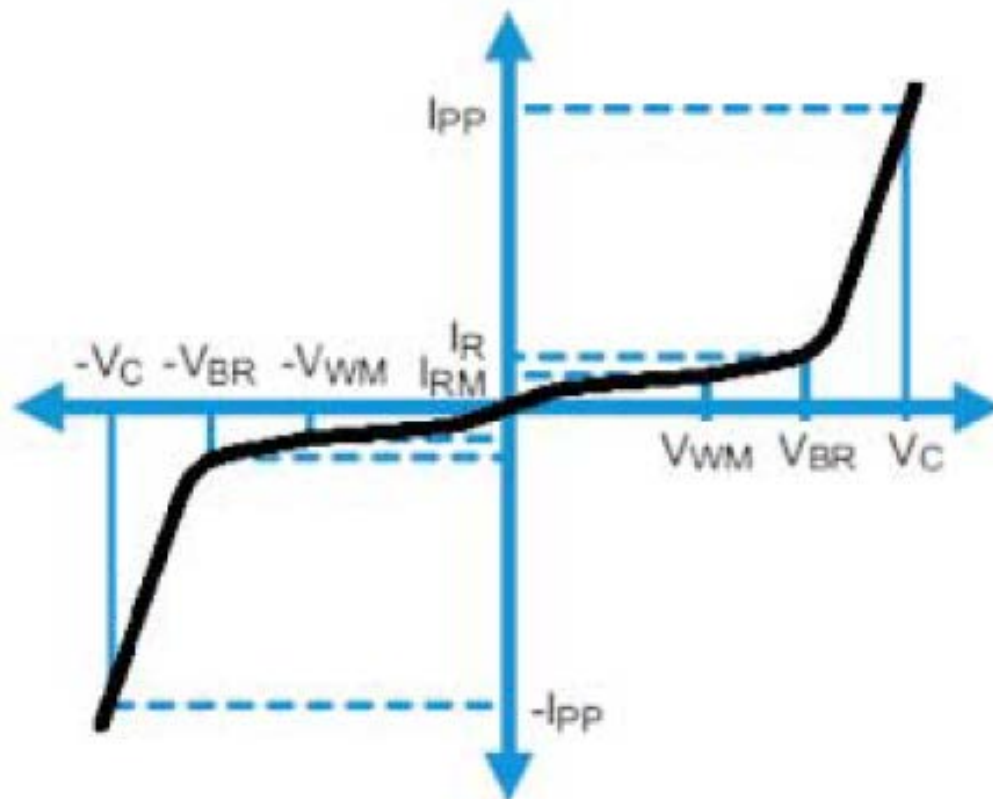
Защита от смущения

№	Серия (бр. прибори)	Производител	$V_{WWM(DC),V}; (V_{WWM(AC)}) [V_{BR},V]; \{V_C, V/I_{PP},A\}$	$V_{ESD Air},kV; (V_{ESD Contact},kV) [C,pF]; \{E_T,J\}$	Раб. темп. обхват, °C (размери,mm)
1	USB Series Varistor (5)	AVX	18; (14) [65-300]; {/4}	15; (8) [3-30]; {0.015}	T _A = -55 +125 (1.6x0.9x0.8)
2	MLA Series (6)	Bourns	4-20; (5.5-26) [8-42]; {24-70/20,30}	15; (8) [85-270]; {0.05, 0.1}	T _A = -55 +125 (1x0.5x0.5)
3	CTVS-CT Type (13)	Epcos	[28-250]; {66-290/1}	15; (8) [0.6-15]; {0.03 ,0.05}	T _A = -55 +85 (0.6x0.33x0.53)
4	NV73A Series (61)	KOA	5.5-127 [66-290]; {18-248}	[3-480]; {0.01-5.8}	T _A = -40 +85 (0.6x0.6x0.3)
5	MHS Series (6)	Littelfuse	9-42 {30-135}	15; (8) [1-29]	T _A = -55 +125 (1x0.6x0.5)
6	MLN Series (5)	Littelfuse	5.5-18 {15.5-50/1, 2}	15; (8) [45-430]; {0.05 ,0.1}	T _A = -55 +125 (3.2x1.6x1.35)
7	EZJZS Series (10)	Panasonic	6.7-18; (12-170) {/3.5}	15; (8) [3-220]	T _A = -40 +85 (1.37x1x0.6)

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

TVS диоди (Transient Voltage Suppressor Diode, TVS Diode). В зависимост от полярността на ограничаваните напрежения съществуват еднопосочни (Unidirectional) и двупосочни (Bidirectional) TVS диоди.



Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Диодът е запушен до максималното работно напрежение (Maximum Working Voltage, Stand-off voltage) V_{WM} или V_{DC} , при което протичащият ток е до около 1 nA. Отпушването настъпва при V_{BR} (Breakdown Voltage) с протичане на ток от порядъка на 1 mA. Напрежението на ограничаване (Clamping Voltage) V_C е от единичен импулс, при него протича максималният импулсен ток (Maximum Pulse Current) I_{pp} с преден и заден фронт съответно 8 и 20 микросекунди и се отделя максималната импулсна мощност (Peak Power Dissipation) P_{pp} или P_{pk} .

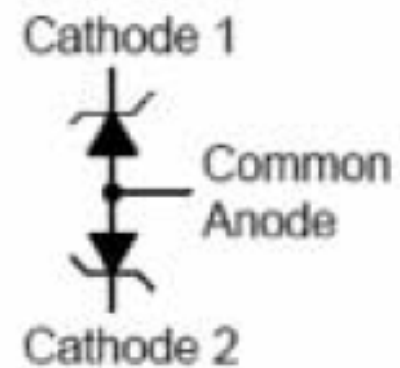
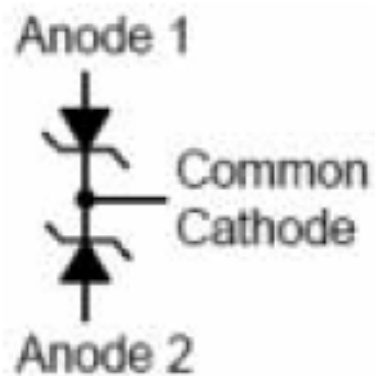
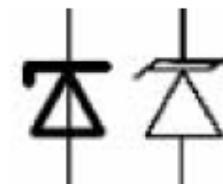
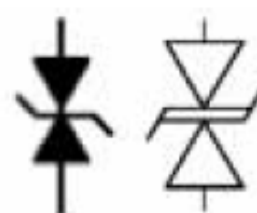
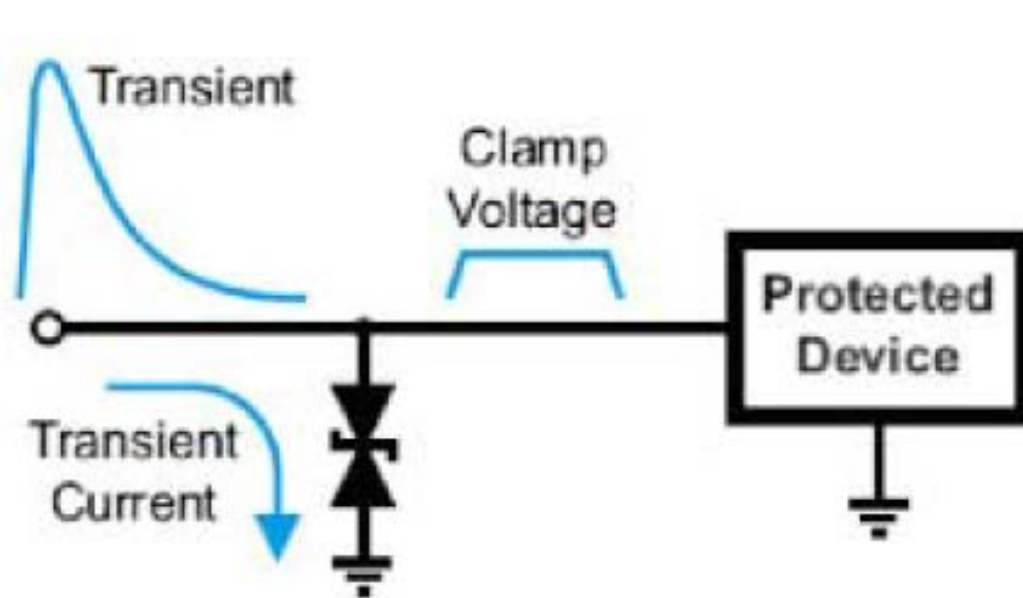
Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

№	Модел	Производител	$V_{WM}, V; (V_{BR}, V) [V_C, V]; \{I_{PP}, A\}$	$V_{ESD Air}, kV (V_{ESD Contact}, kV); [P_{PP}, W]$	Раб. темп. обхват, °C (p-пу, mm)
1	PTVS3-015C-TH	Bourns	15; (17=5) [28]; {3000}	(±4)	T _J = -40 +125 (10.8x9.3x4)
2	ESD202-B1-CPS01005	Infineon	5.5; (min 6) [12]; {±3}	±17 (±15); [36]	T _A = -55 +125 (0.43x0.23x0.15)
3	SP3011 Series	Littelfuse	6 [12.5]; {3}	±15 (±8)	T _A = -40 +125 (3.6x1.45x0.55)
4	DS9503	Maxim Integrated	min 5.5 [10]; {2}	±27	T _A = -40 +855 (4x3.89x1.5)
5	PUSB3FR4	NXP	(9) [3]; {5}	±15 (±15)	T _A = -40 +85 (2.5x1x0.5)
6	NUP2201MR6	ON Semiconductor	max 5; (min 6) [max 20]; {25}	±20 (±20); [500]	T _J = -40 +125 (3.1x1.7x1.1)
7	uClamp0506T	Semtech	5; (min 6) [25]	±15 (±8); [25]	T _J = -55 +125 (1.3x1.3x0.4)
8	TPD1E05U06	Texas Instruments	5.5; (8.5) [14]; {2.5}	±15 (±12); [40]	T _A = -40 +125 (1.1x0.7x0.55)
9	VBUS05M2-HT1	Vishay	5.5; (7.5) [15]; {3.6}	±20 (±20); [65]	T _J = -55 +125 (1.03x0.65x0.4)
10	WE-TVS 824014	Wuerth Elektronik	6; (6) [8.2]; {4}	±30 (±20)	T _A = -55 +85 (2.9x1.6x1.16)

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения



Електромагнитна съвместимост

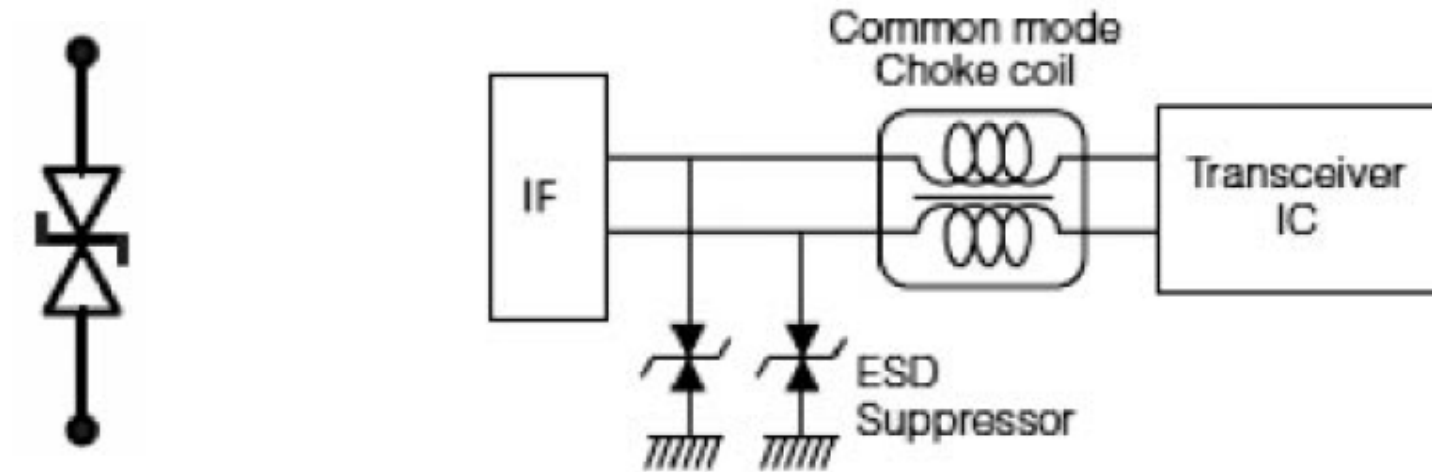
Защита от смущения

№	Модел (година)	Производител	Особености	$V_{ESD,cont}/V_{ESD,air}, kV (V_W, V) [V_C, V]$ { I_{pp}, A при t_r/t_f }	$C_t, pF (I_R, A)$ [R_D, Ω]	Раб. темп. обхват, °C (размери, mm)
1	TVS3V3L4U (2018)	Infineon	2 или 4 линии	$\pm 30/\pm 30$ (3.3) [4.2-7.7] { ± 20 при 8/20}	2 (0.05) [0.09-0.15]	$T_A = -55 + 125$ (2.9x2.25x1.1)
2	SP1002-02JTG (2019)	Littelfuse	2 линии, гвупосочни; и за EFT АЕС-Q101	$\pm 8/\pm 15$ (6) [9.2-11.2] { ± 2 при 8/20}	5 (0.5) [2]	$T_A = -40 + 125$ (2.25x1.35x1)
3	SP3384NUTG (2019)	Littelfuse	4 линии, гвупосоч. и за CDE, EFT; АЕС-Q101	$\pm 30/\pm 30$ (3.3) [4-12] { ± 15 при 8/20}	0.5 (0.04) [0.34]	$T_A = -40 + 125$ (3x2x0.55)
4	NUP2128 (2020)	ON Semiconductor	2 линии CAN и LIN; гвупосочни; за автомобили	$\pm 30/\pm 30$ (8.5) [17] { ± 3 при 8/20}	11 (0.1)	$T_J = -55 + 175$ (2.1x1.24x0.85)
5	MMBZ12VAL (2018)	ROHM	2 линии; еднопосочни; серия от 14 модела	$\pm 30/\pm 30$ (26.5) [39] { ± 2.35 при 10/1000}	85 (0.005)	$T_J = +150$ (2.1x1.3x0.95)
6	RClamp0564P (2017)	Semtech	4 линии до 6 Gbps; еднопосочни	$\pm 10/\pm 15$ (max5) [4] { ± 3 при 8/20}	0.17 (0.05) [0.65]	$T_J = -40 + 85$ (2x1x0.5)
7	HSP051-4M5 (2019)	STMicroelectronics	4 линии до 11.5 GHz; еднопосочни	$\pm 20/\pm 30$ (max5) [13.5] { ± 3 }	0.35 [0.35]	$T_J = -40 + 150$ (1.3x0.8x0.36)
8	CA05P4S14THSG	TDK Electronics	Варистори; гвупосочни; серия: 13 единични, 1 за 2 линии, 2 за 4 линии	$\pm 8/\pm 15$ (16) [59] { ± 2 при 8/20}	10	$T_A = -40 + 125$ (1.3x0.8x0.36)
9	VBUS054B-HFS	Vishay	4 линии за USB; еднопосочни	$\pm 15/\pm 15$ (5) [15] { ± 3 при 8/20}	0.5 (<0.01)	$T_J = -40 + 125$ (2x1.25x0.9)

TVS за защита на линии

Електромагнитна съвместимост

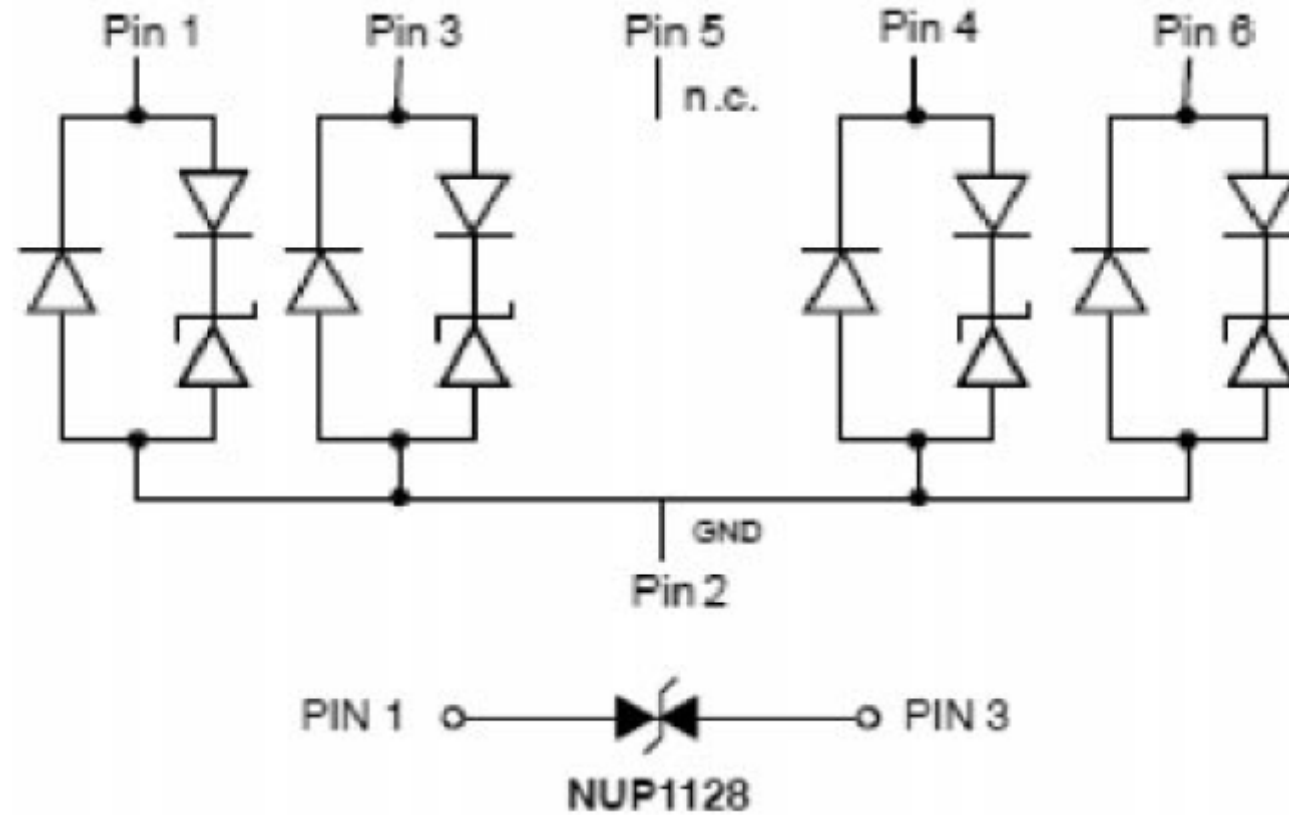
Защита от смущения



Използване на TVS в автомобилни интерфейси

Електромагнитна съвместимост

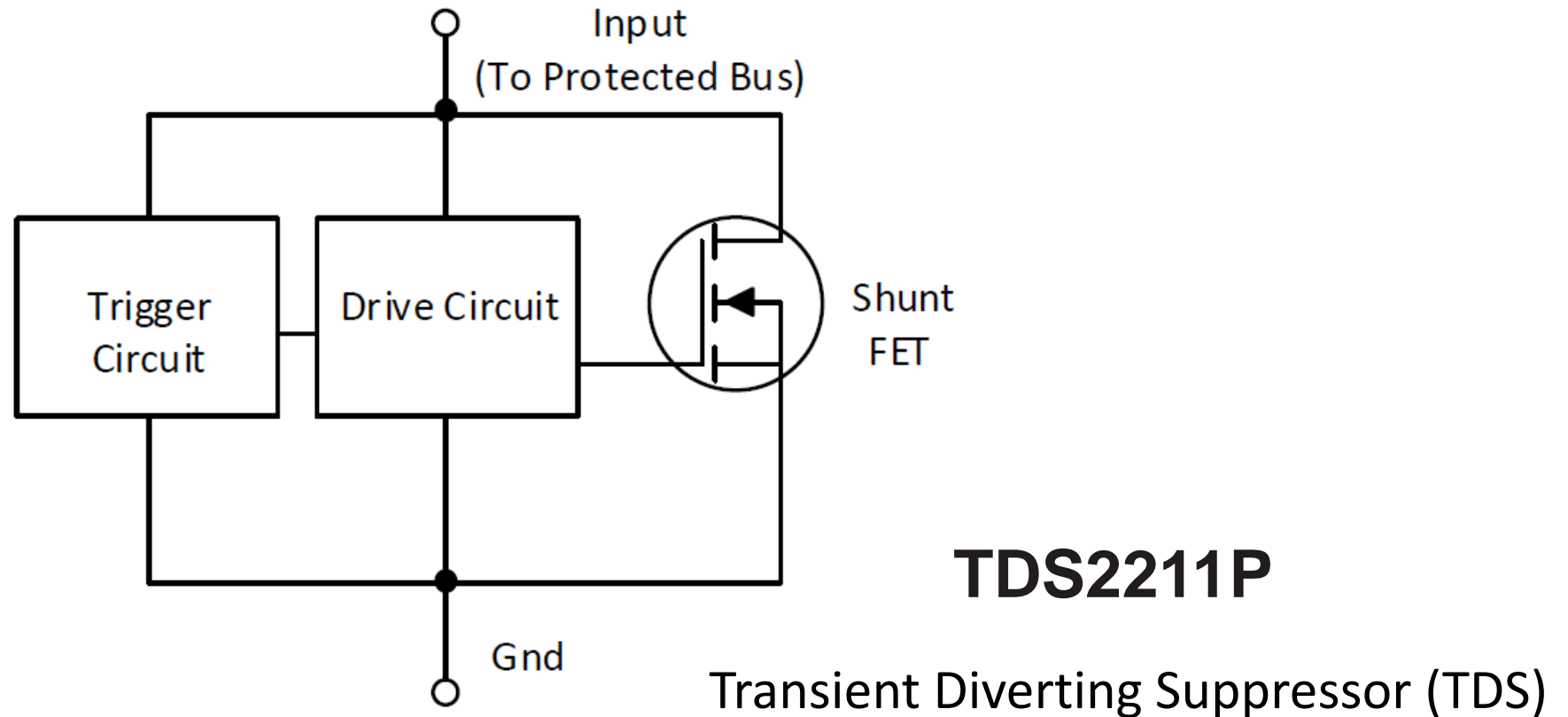
Защита от смущения



Използване на TVS защита на линии

Електромагнитна съвместимост

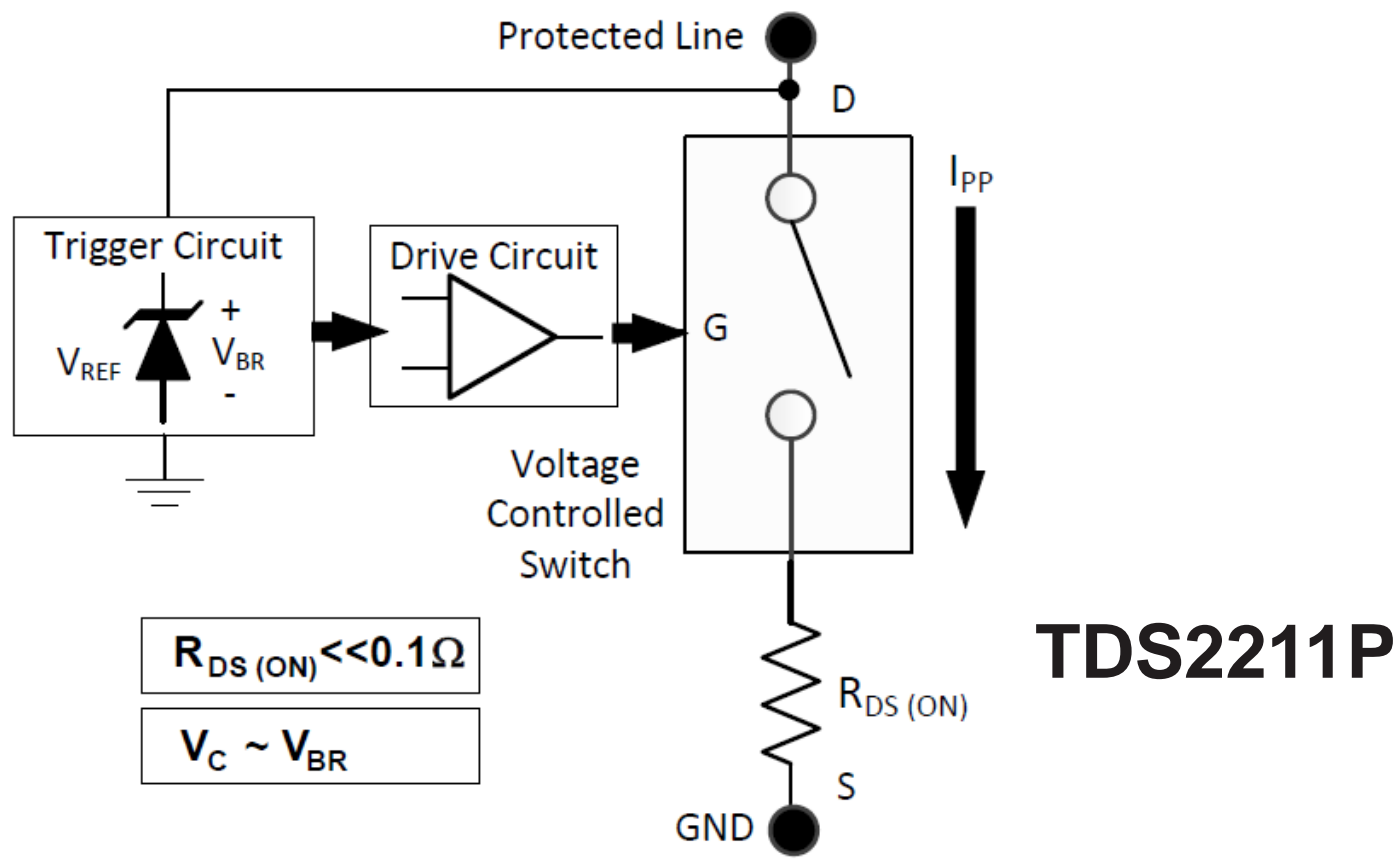
Защита от смущения



Използване на TDS защита на линии

Електромагнитна съвместимост

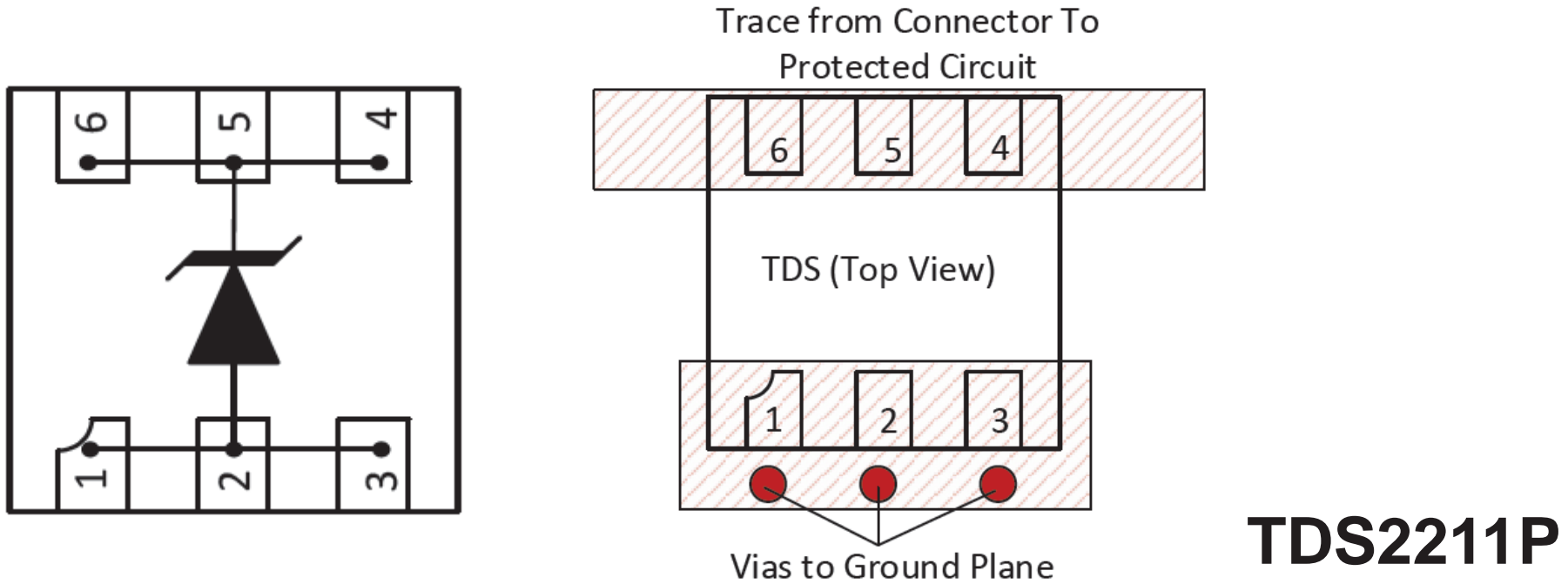
Защита от смущения



Използване на TDS защита на линии

Електромагнитна съвместимост

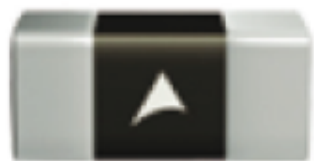
Защита от смущения



Използване на TDS защита на линии

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения



Thermistors

AVX Bourns
EPCOS KOA
Murata Panasonic
TDK Vishay



Resettable Fuse

Bourns
KOA
Littelfuse
Tyco/Raychem



Surface Mount Fuses

AVX Bourns
Bussmann KOA
Littelfuse Panasonic
Tyco/Raychem Vishay



Leaded One-Time Fuses

Bussmann
Littelfuse

Защитни елементи

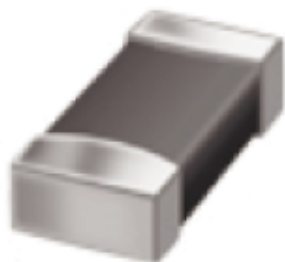
Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения



**Power Fuse/
Electrical Fuse**

Bussmann
Littelfuse



**Multi-Layer
Varistor (MLV)**

AVX Bourns
Bussmann EPCOS
KOA Littelfuse
Panasonic TDK
Vishay



**Thru-Hole
Varistor (MOV)**

Bourns EPCOS
KOA Panasonic
Littelfuse Vishay
TDK



**Gas Discharge
Tubes (GDT)**

Bourns
EPCOS
Littelfuse
Tyco/Raychem

Защитни елементи

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения



Protection Thyristors

Bourns
Littelfuse/Teccor



TVS Diodes

Bourns
Bussmann
Littelfuse
Vishay



Axial Leaded TVS

Littelfuse
Vishay



Diode Arrays

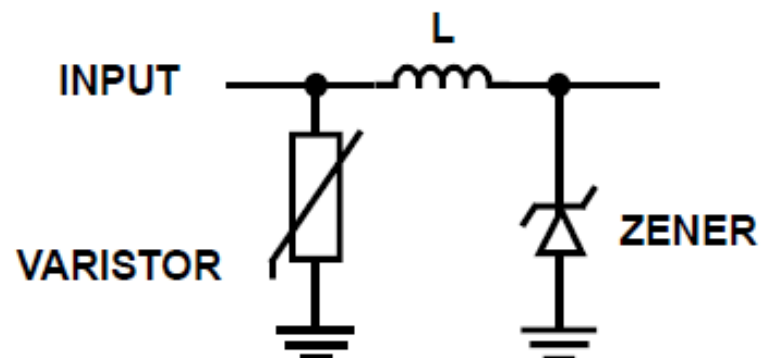
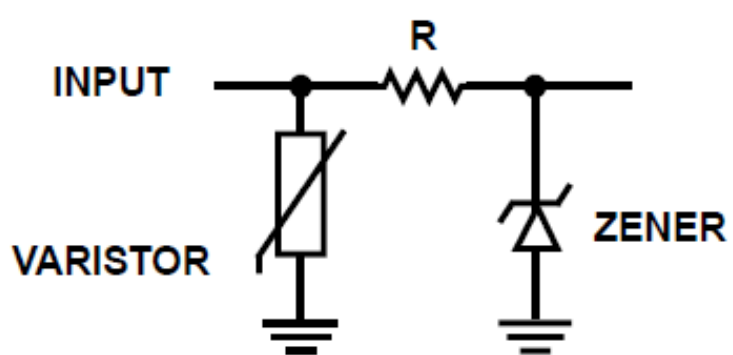
Bourns
KOA
Littelfuse
Vishay

Защитни елементи

Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

За използване предимствата и на двата вида елементи се разработват хибридни защитни схеми с варистори, ценови диоди и пасивни R и L компоненти.



Електромагнитна съвместимост

„Токоотнемащи“ елементи и схеми

Тези схеми се наричат още „късосъединители“. Тази категория супресори (потискащи отскоците елементи), предимно газови или въглеродни предпазители, се използва широко в областта на телекомуникациите, където силата на тока е по-малък проблем, отколкото в силовите вериги.

Защитното действие представлява късо съединение или отвеждане на високото напрежение към земята. Късото съединение продължава докато токът достигне ниска стойност.

Електромагнитна съвместимост

„Токоотнемащи“ елементи и схеми

Тъй като напрежението по време на разряда е много ниско, значителен ток може да протече през супресора без разсейване на голямо количество енергия в него. Тази възможност на „токоотнемащите“ схеми е голямото им предимство.

