

# Електромагнитна съвместимост

## Защита от смущения

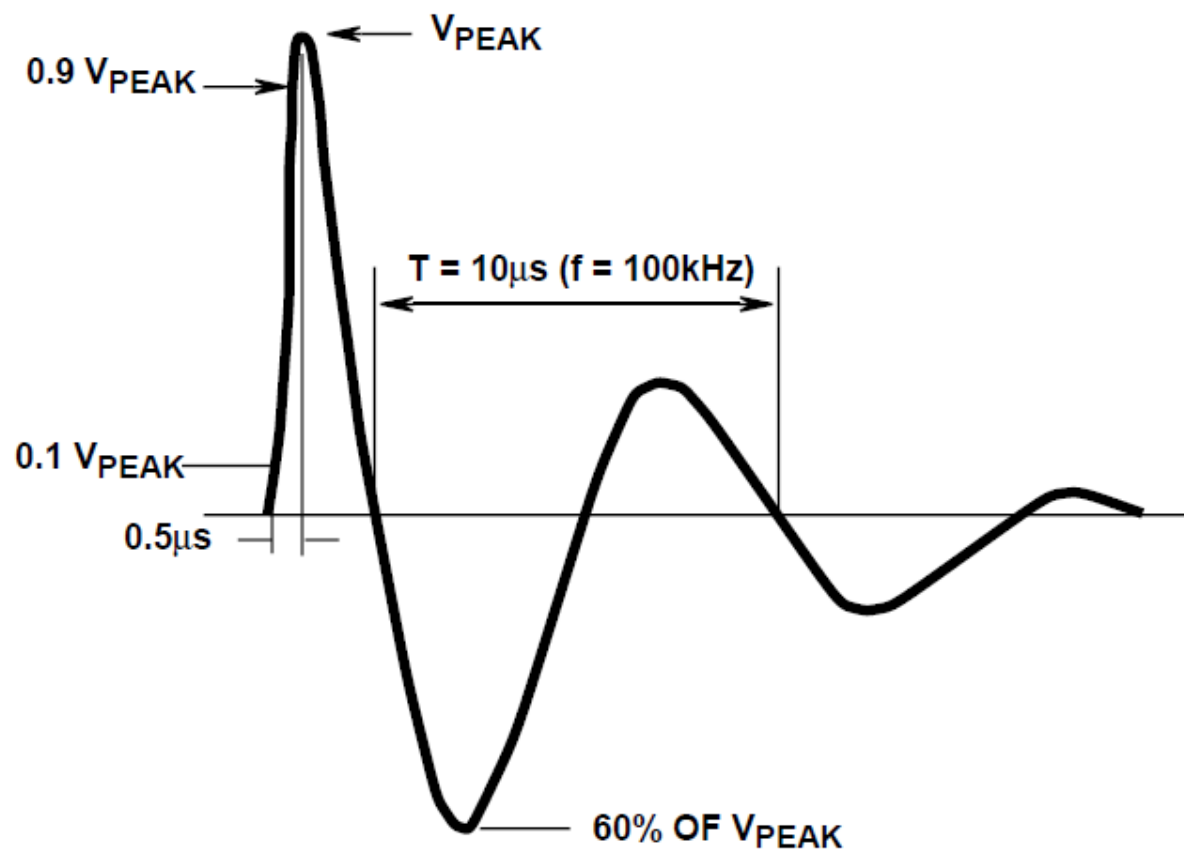
За да се защитят адекватно чувствителните електрически системи, като по този начин се осигури надеждна работа, предприемането на мерките за потискане на преходните отскоци трябва да бъде част от първоначалния процес на проектиране, а не просто включено като допълнителна дейност.

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

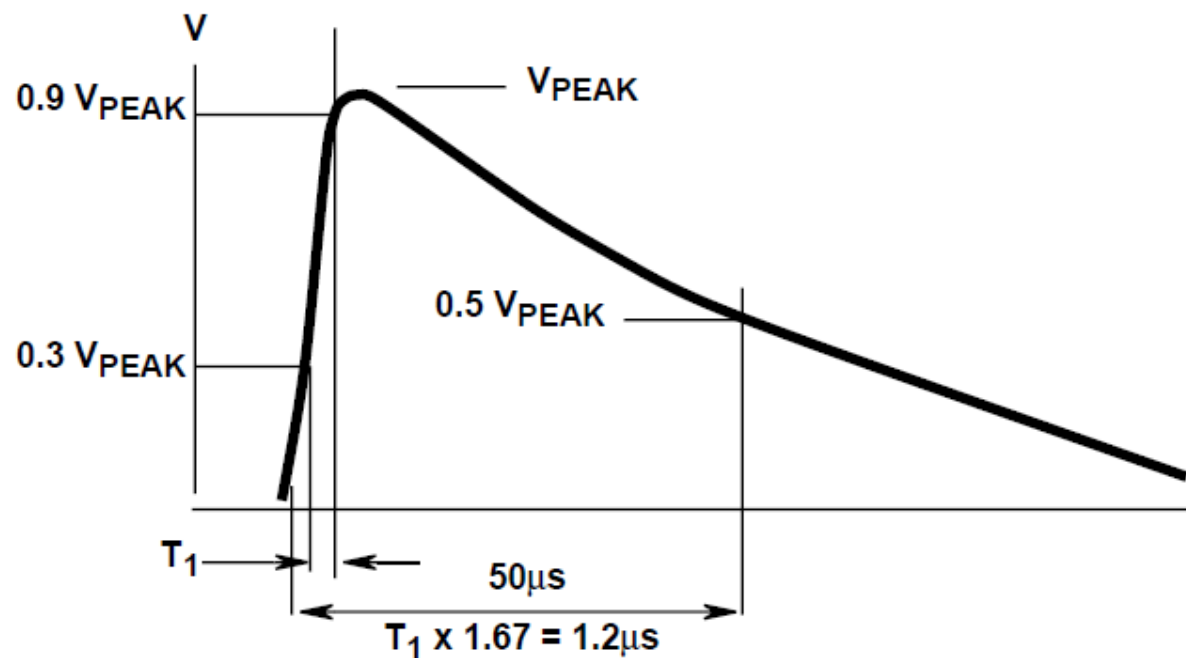


Повечето преходни процеси, които възникват в уреди за ниско напрежение при работа в затворени помещения, са резонансни. Трептенията са с честотата на естествения резонанс на електрическата система.

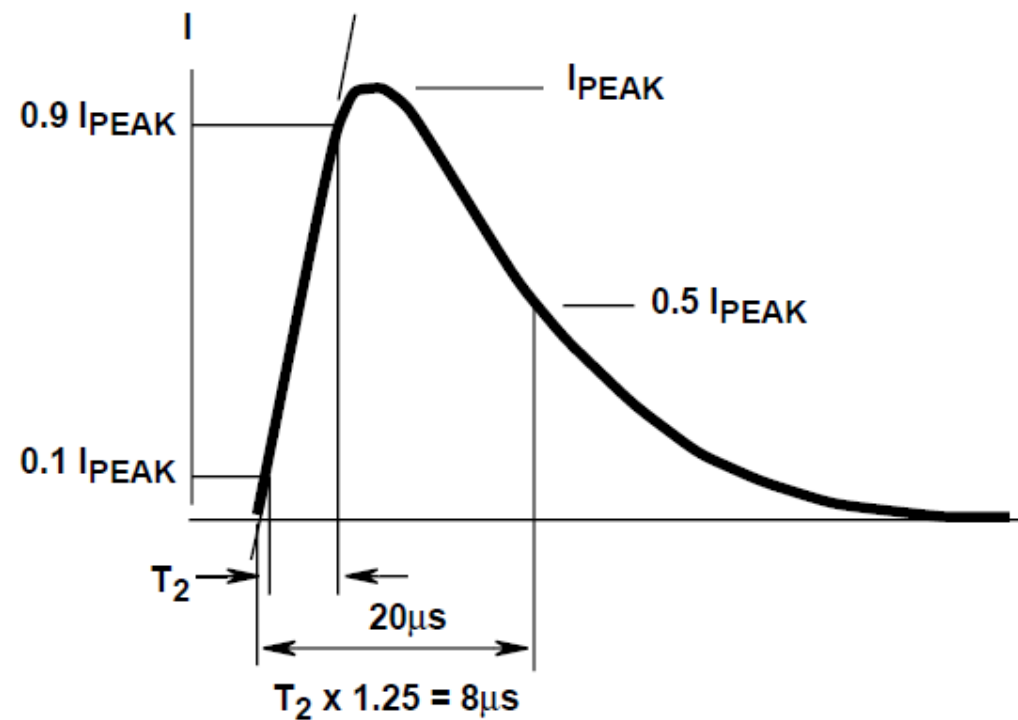
# Електромагнитна съвместимост

## 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<sub>c</sub> = 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 (целерови 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.

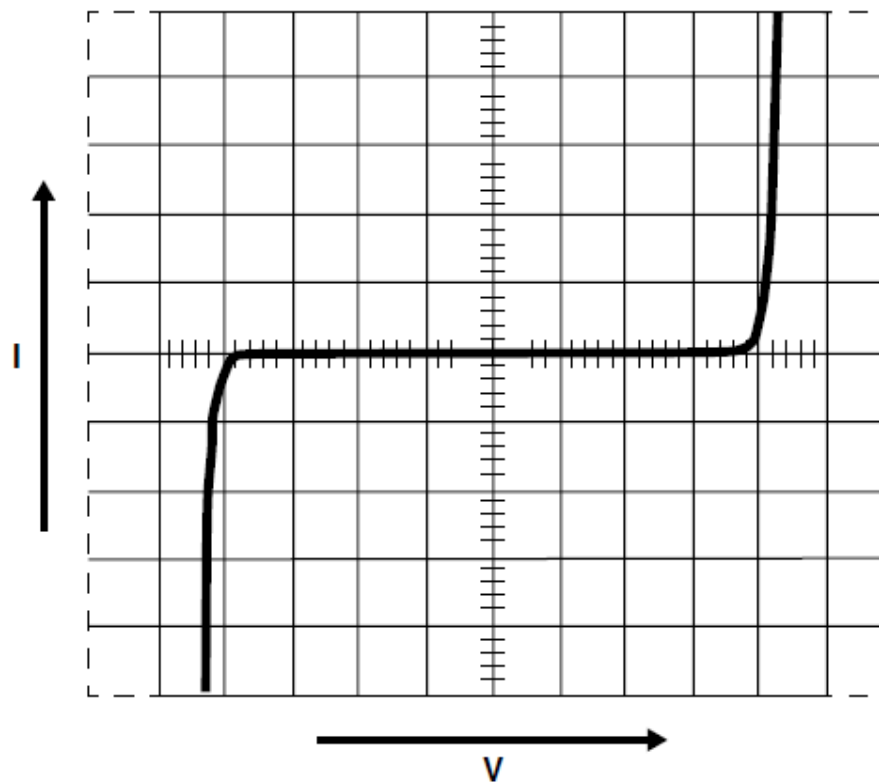
Варисторите от **силициев карбид** са се използвали масово преди производството на варистори от метални оксиди. Те са имали много успешно приложение като защитни елементи, предназначени за работа с високо напрежение и голяма мощност.

# 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

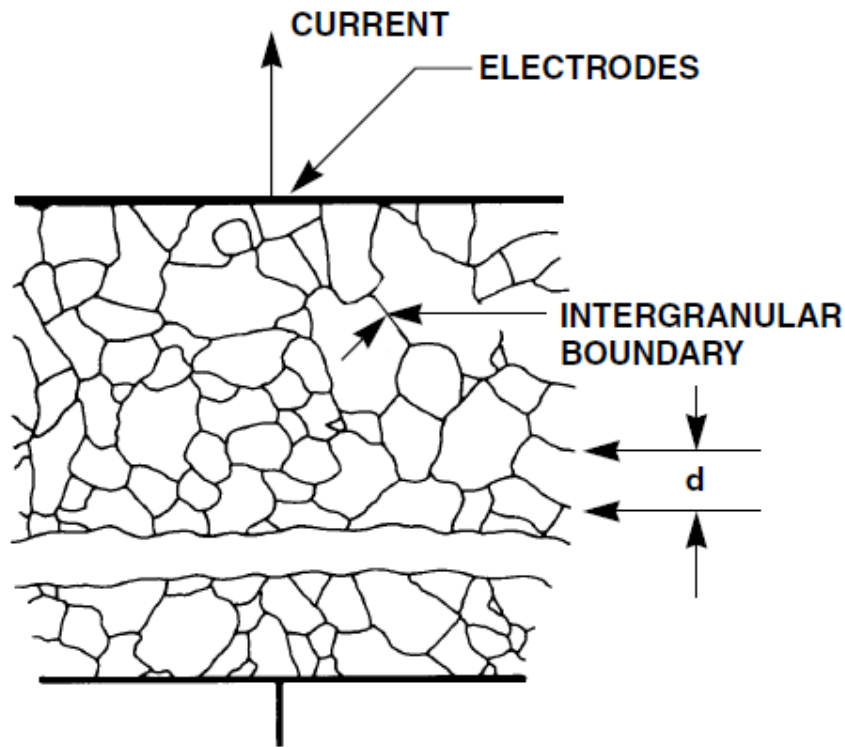
### Елементи, ограничаващи напрежението

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

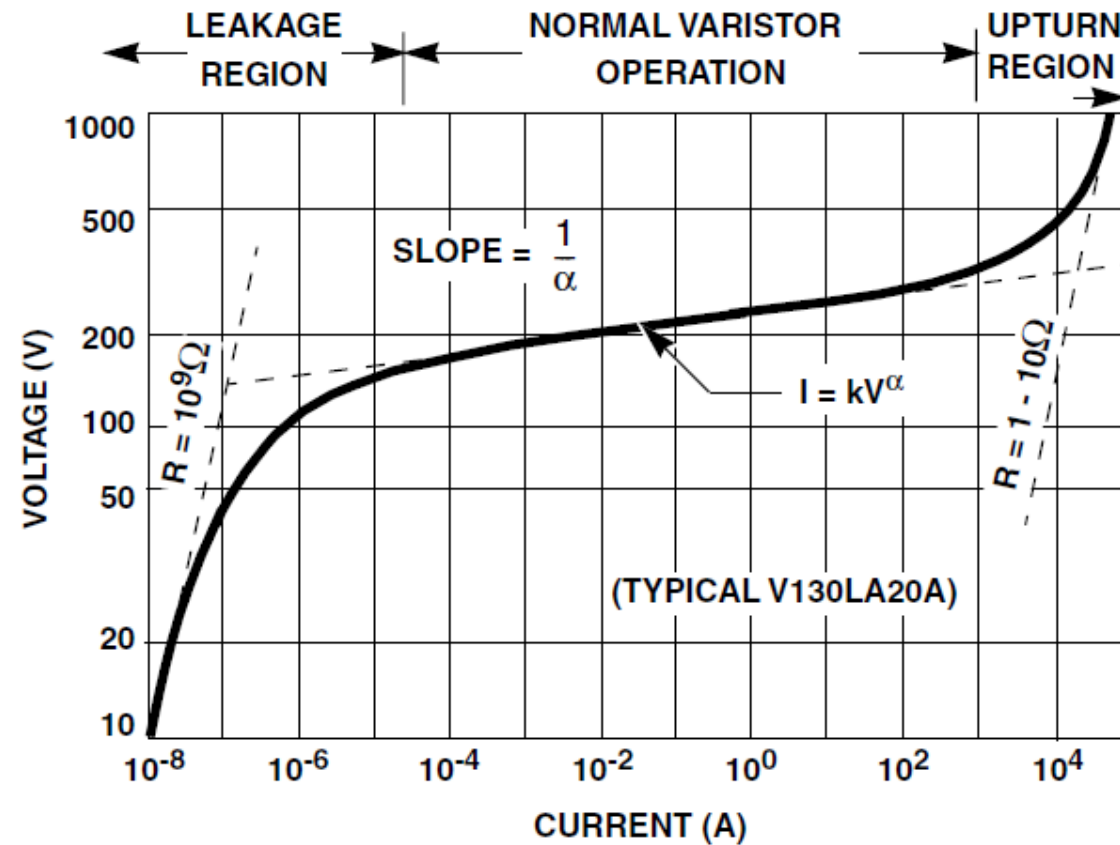
### Елементи, ограничаващи напрежението

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

# Електромагнитна съвместимост

## Защита от смущения

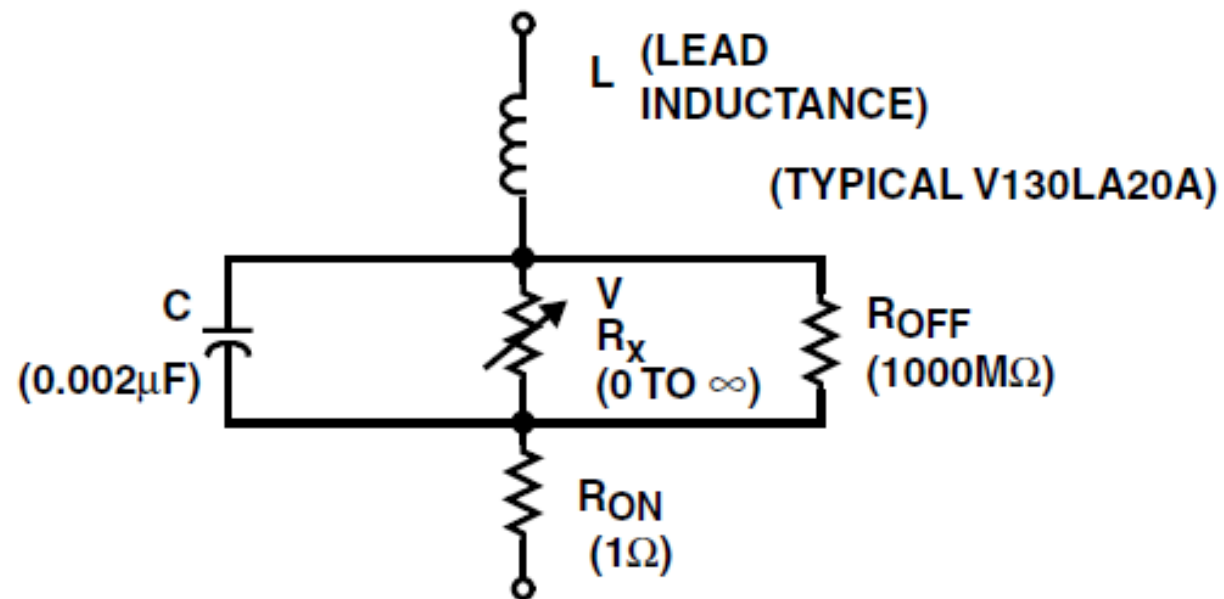
### Елементи, ограничаващи напрежението



# Електромагнитна съвместимост

Защита от смущения

Елементи, ограничаващи напрежението

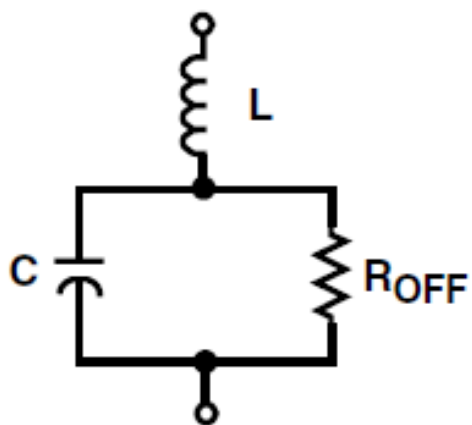


Еквивалентна схема на варистор

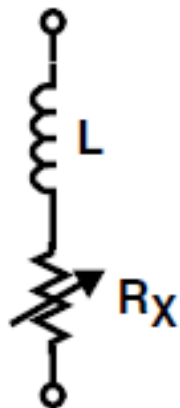
# Електромагнитна съвместимост

## Защита от смущения

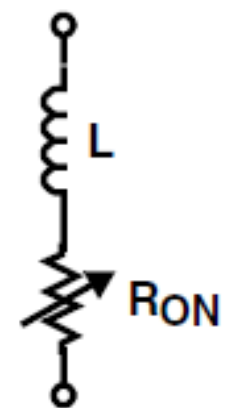
### Елементи, ограничаващи напрежението



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

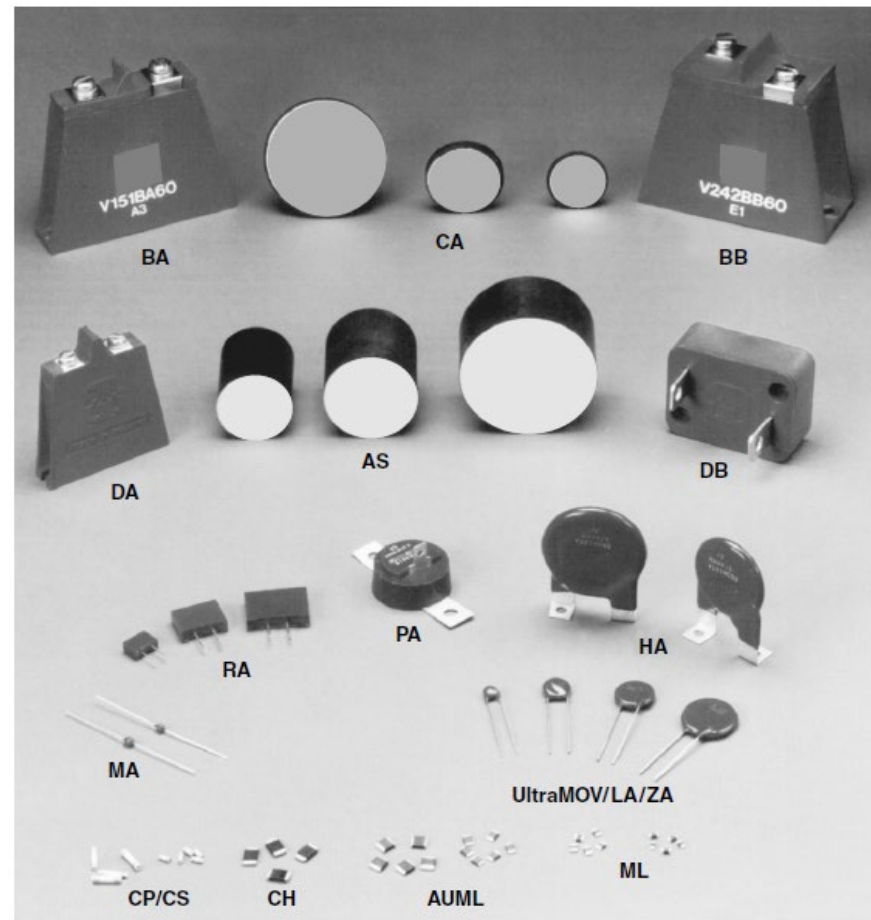
Високите стойности на  $\alpha$  на метало-оксидните варистори са открили напълно нови области на приложение, като предоставят достатъчно ниско ниво на защита и малък ток. Възможностите за приложение се простират от маломощна електроника до най-големите предпазители за пренапрежение в електроенергийната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



# Електромагнитна съвместимост

## Защита от смущения

### Елементи, ограничаващи напрежението

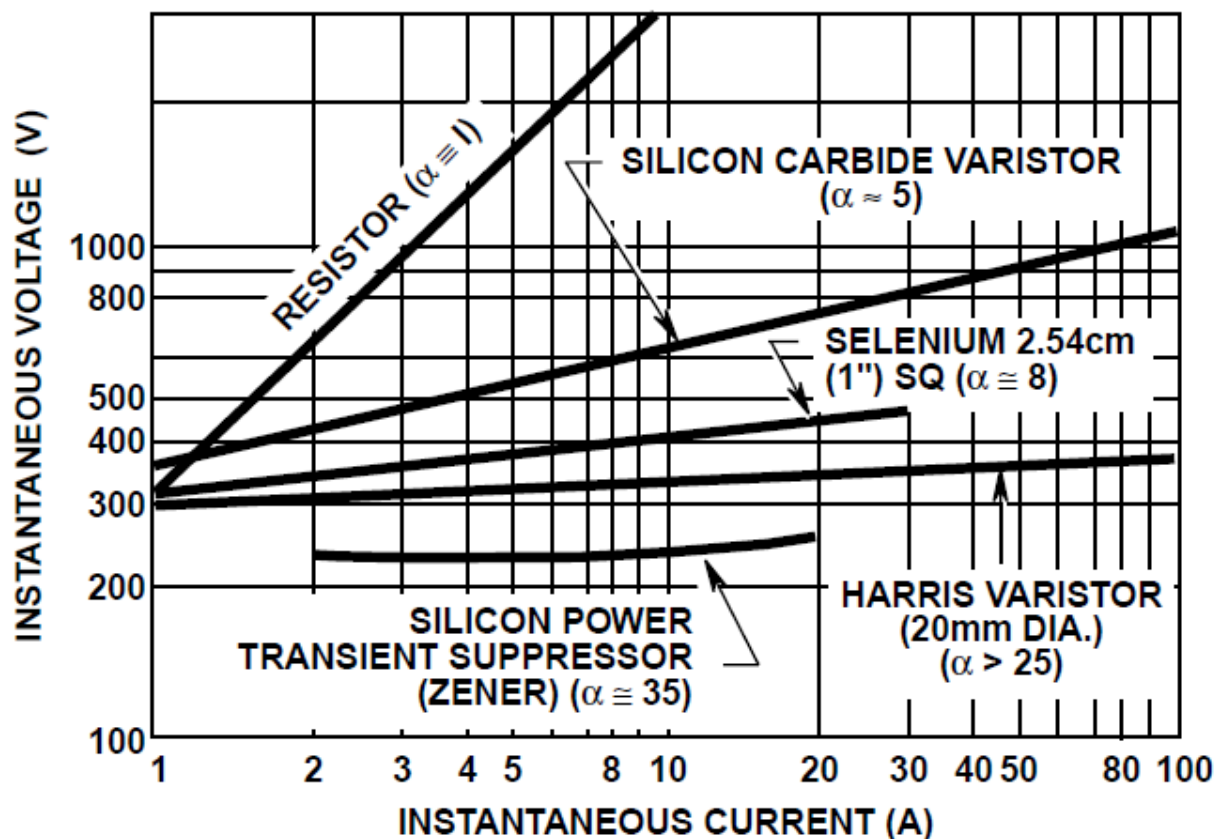


Различни корпуси  
на варистори

# Електромагнитна съвместимост

## Защита от смущения

### Елементи, ограничаващи напрежението



Волт-амперни характеристики на различни защитни елементи

# Електромагнитна съвместимост

## Защита от смущения

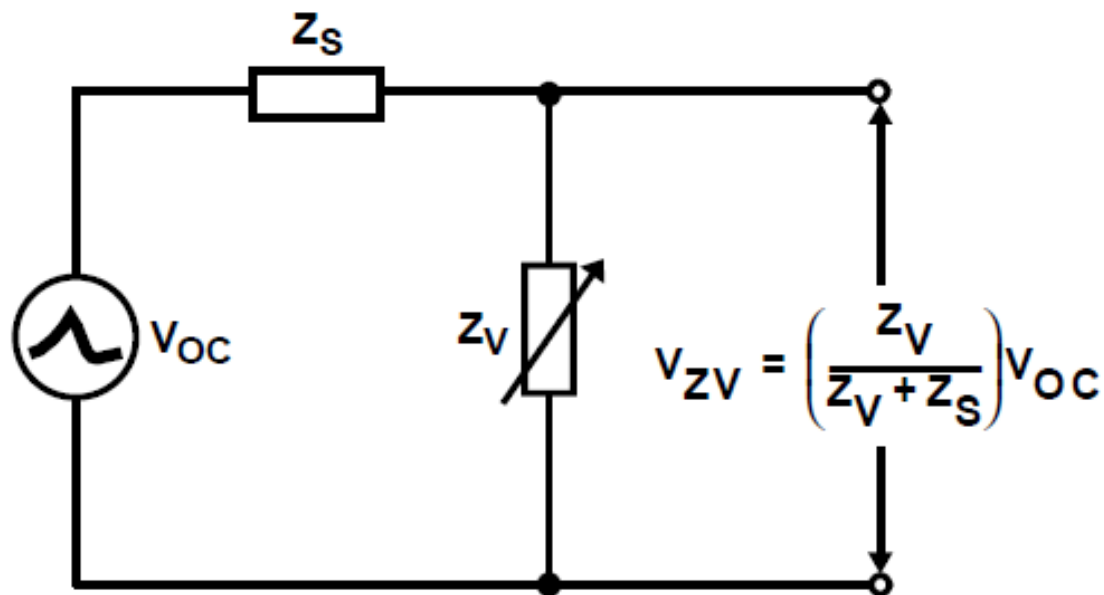
Енергията, която се генерира по време на преходния процес, ще се разпредели между защитния (потискащия) елемент и линията, по която постъпва в зависимост от техните импеданси.

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

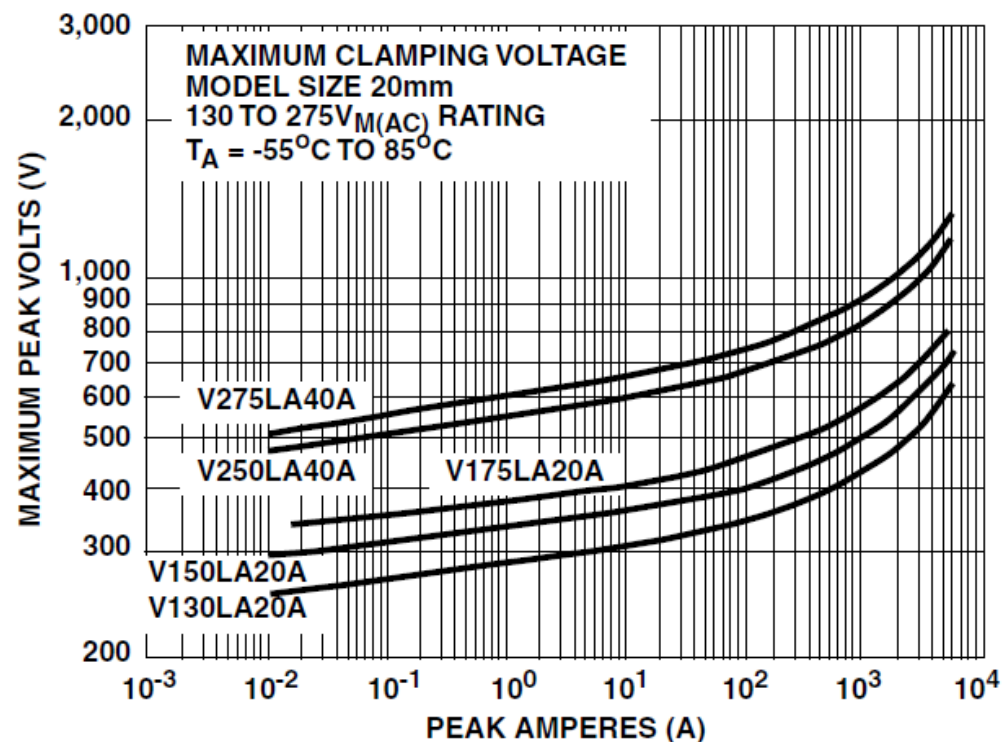
Изчисляване на напрежението върху защитен елемент с нелинейна характеристика при различни стойности на изходния импеданс на източника на смущението с напрежение на празен ход 3kV.

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.

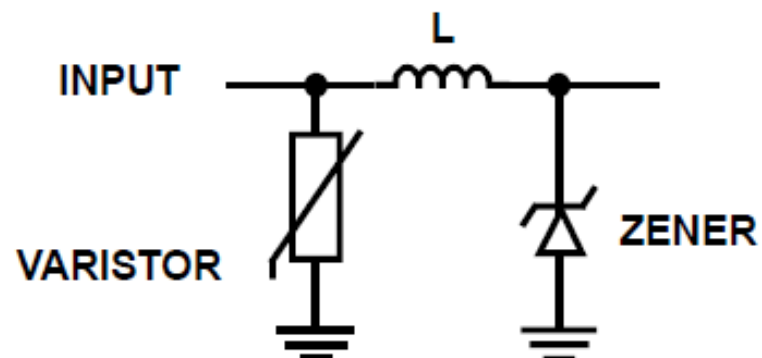
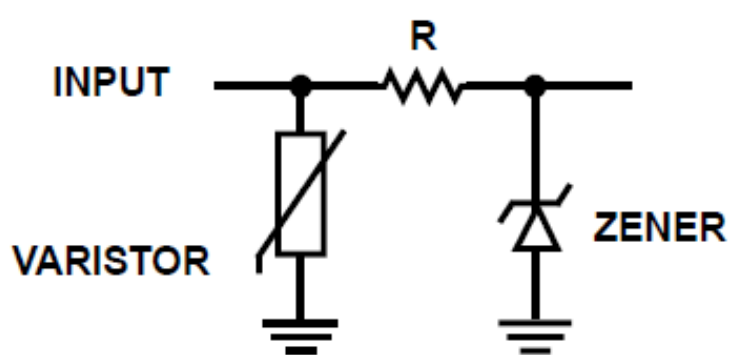
Тъй като те се състоят от множество PN преходи, мощността се разсейва по цялата им маса и за разлика от ценовия диод няма да се получат горещи места.

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

# Електромагнитна съвместимост

## Защита от смущения

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

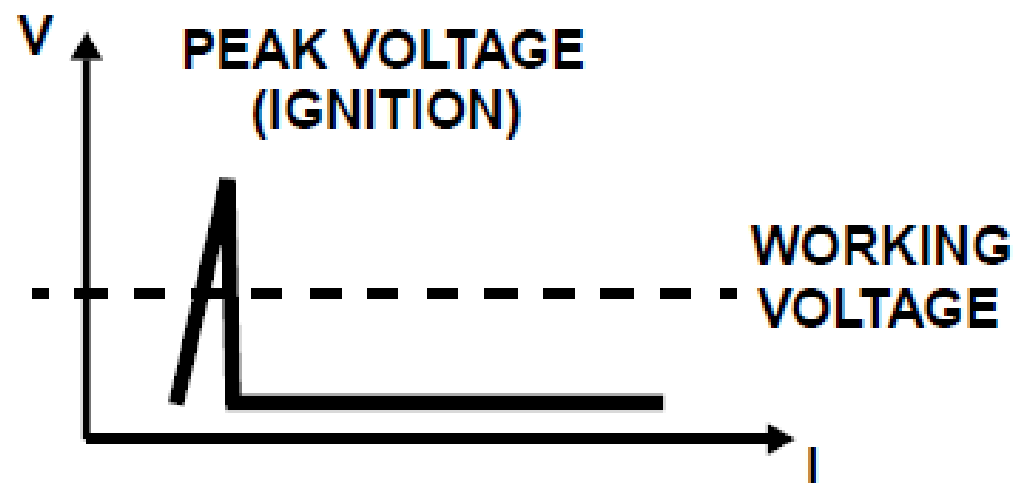
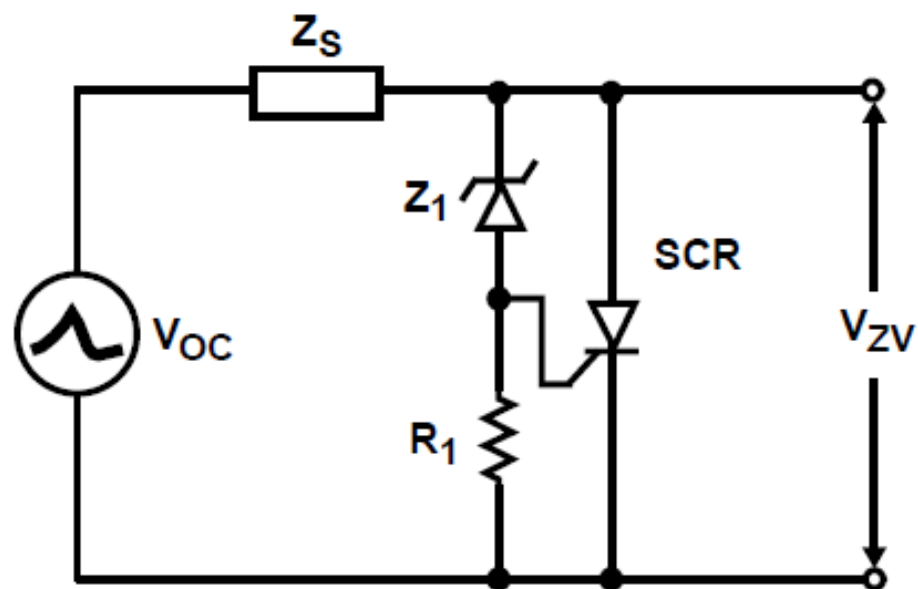
Тези схеми се наричат още „късосъединители“. Тази категория супресори (потискащи отскоците елементи), предимно газови или въглеродни предпазители, се използва широко в областта на телекомуникациите, където силата на тока е по-малък проблем, отколкото в силовите вериги.

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.



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

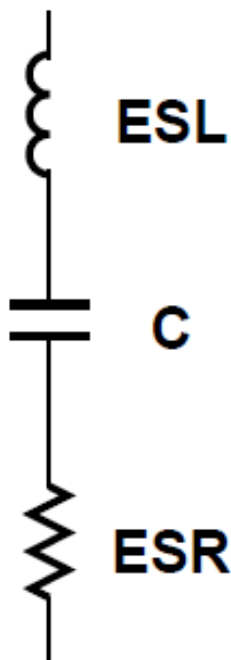
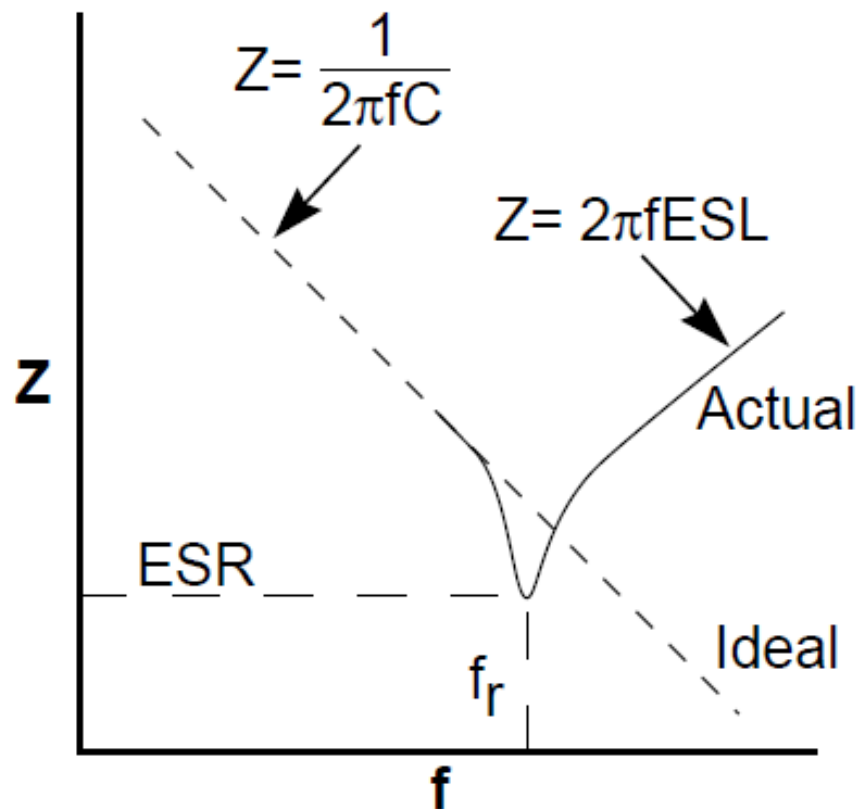
Хармоничните съставлящи на преходните импулси имат няколко пъти по-голяма амплитуда от тази на основната честота на захранващата мрежа и, разбира се, на постояннотокова верига.

Следователно, очевидно решение е поставянето на нискочестотен филтър между източника на преходни процеси и чувствителния товар.

Най-достъпната форма на филтъра е кондензатор, свързан успоредно на захранващия източник.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри



Импедансни  
характеристики на  
идеален и реален  
кондензатор

Изборът на подходящ  
кондензатор за филтър срещу  
електромагнитни смущения  
се прави според следните  
критерии: импедансни  
характеристики, номинално  
напрежение и безопасност.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Импедансът на кондензатора формира делител на напрежение с изходния импеданс на източника и това води до потискане на високочестотните съставлящи на смущенията.

Този лесно достъпен подход може да има и нежелани странични ефекти като:

- нежелателни резонанси с индуктивните компоненти, водещи до генериране на отскоци с високо напрежение;
- големи токове на превключване;
- голям реактивен товар на захранващия източник.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Тези нежелани ефекти могат да бъдат намалени чрез добавяне на последователен резистор, което е много популярна практика. Това са т.н. RC snubbers или потискащи вериги. Въпреки това, потискането не е много ефективно.

Освен популярната RC верига, конвенционални филтри, включващи индуктивности и кондензатори са широко използвани за защита от смущения.

Като допълнително предимство, те също така предлагат ефективна защита срещу преходни процеси, при условие, че компонентите на филтъра могат да издържат на високото напрежение, породено от преходните процеси.



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Фундаментално ограничение при използването на кондензатори и филтри за защита от преходни напрежения се проявява, когато източникът на преходни процеси е неизвестен. Реакцията на кондензатора е наистина нелинейна спрямо честотата, но тя все още е линейна функция на тока.

Кондензатор с по-голям капацитет ще осигури по-добро потискане на висшите хармонични, но в същото време зарядният ток ще има висока стойност. Този ток ще зареди индуктивностите във веригата с по-голяма енергия, която при прекъсване на тока ще генерира напрежителни отскоци с голяма амплитуда.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Специални типове високоволтови кондензатори се използват за защита от електромагнитни смущения. Те се свързват директно към захранващата мрежа и затова са изложени на пренапрежения и преходни отскоци с голяма амплитуда.

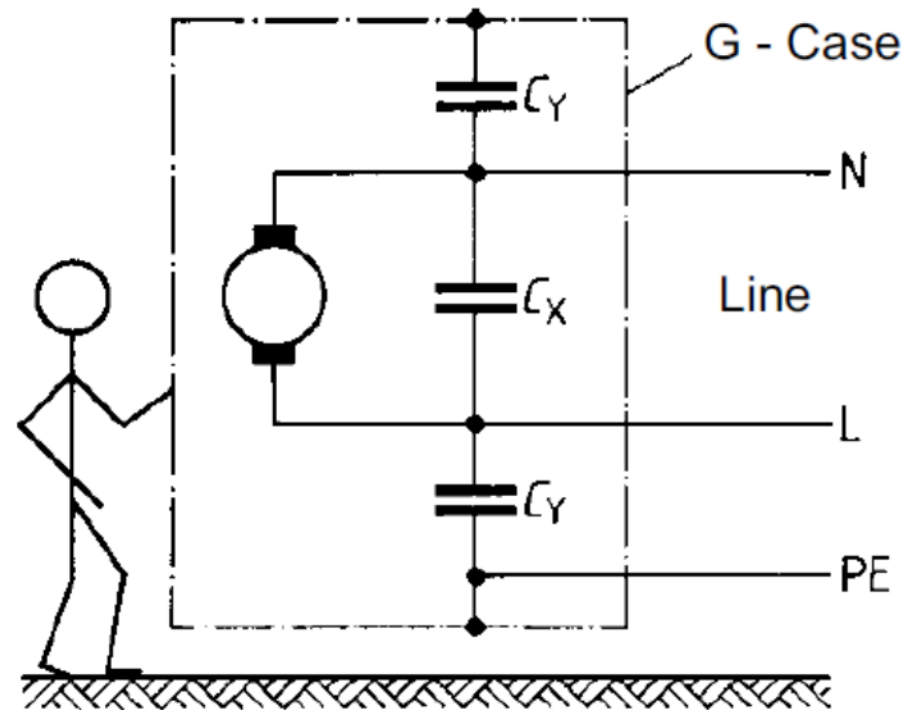
**X** кондензаторите се включват между фазите на захранващата мрежа и са ефективни при потискане на симетрични смущения (диференциални сигнали).

**Y** кондензаторите се включват между фазите на захранващата мрежа и нулевия проводник и са ефективни при потискане на несиметрични смущения (синфазни сигнали). Те имат повишена електрическа и механична надеждност и по-малък капацитет.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Свързване на  $X$  и  $Y$  кондензатори



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

### X кондензатори

Sub-class	Peak pulse voltage $V_p$ in operation	Application	Peak values of surge voltage $V_p$ (before endurance test)
X1	$2,5 \text{ kV} < V_p \leq 4,0 \text{ kV}$	High pulse application	for $C_R \leq 1,0 \mu\text{F}$ : $V_p = 4,0 \text{ kV}$ for $C_R > 1,0 \mu\text{F}$ : $V_p = \frac{4}{\sqrt{C_R}} \text{ kV}$ 1)
X2	$V_p \leq 2,5 \text{ kV}$	General purpose	for $C_R \leq 1,0 \mu\text{F}$ : $V_p = 2,5 \text{ kV}$ for $C_R > 1,0 \mu\text{F}$ : $V_p = \frac{2,5}{\sqrt{C_R}} \text{ kV}$ 1)
X3	$V_p \leq 1,2 \text{ kV}$	General purpose	no test

# Електромагнитна съвместимост

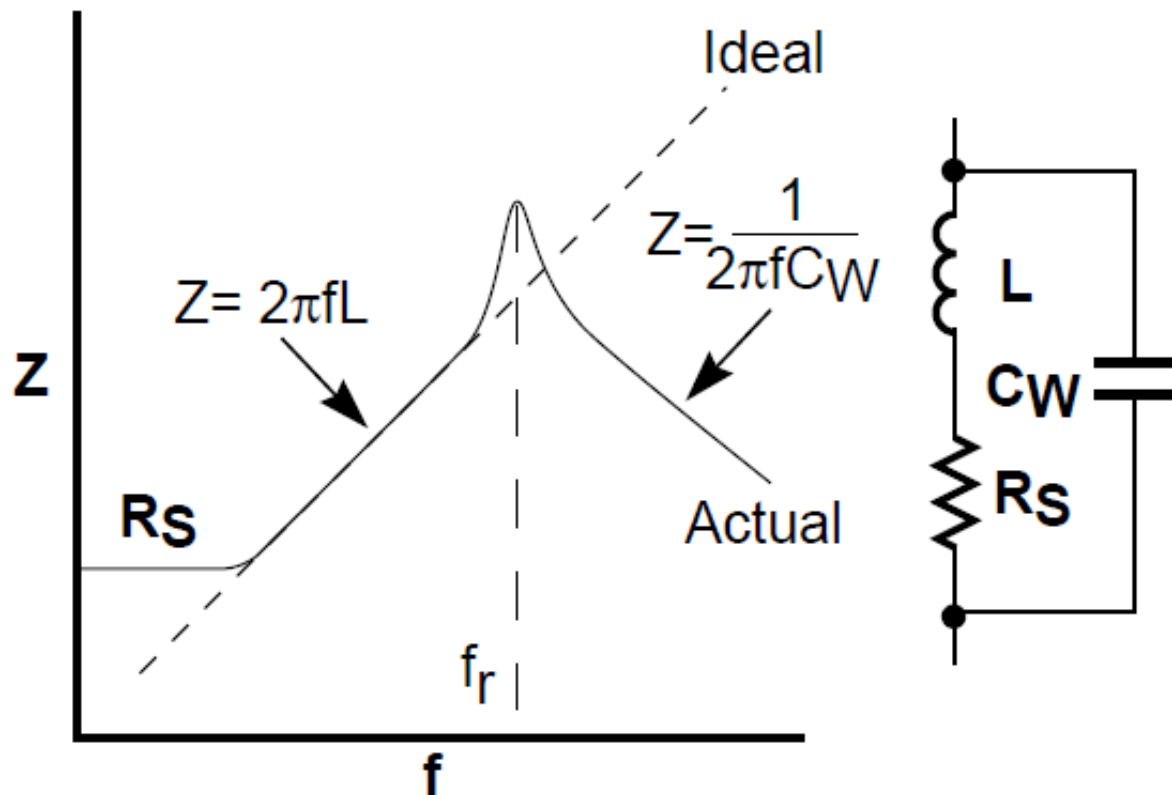
## Филтри

### Y кондензатори

Sub-class	Type of bridged insulation	Rated ac voltage	Peak values of surge voltage $V_p$ (before endurance test)
Y1	Double or reinforced insulation	$V_R \leq 250 \text{ V}$	8,0 kV
Y2	Basic or supplementary insulation	$150 \text{ V} \leq V_R \leq 250 \text{ V}$	5,0 kV
Y3	Basic or supplementary insulation	$150 \text{ V} \leq V_R \leq 250 \text{ V}$	no test
Y4	Basic or supplementary insulation	$V_R < 150 \text{ V}$	2,5 kV

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

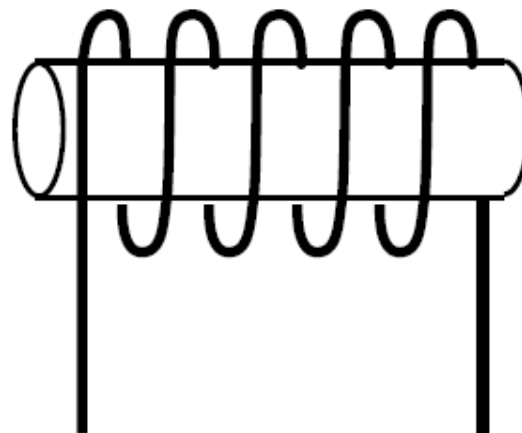
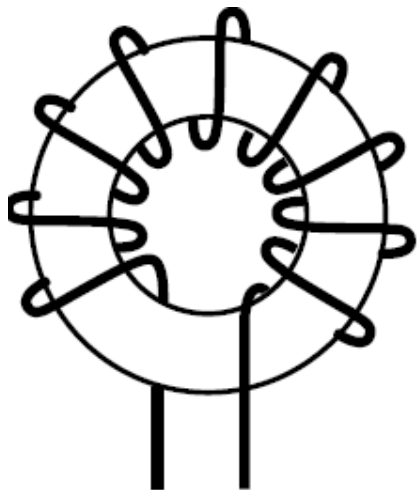


Импедансни  
характеристики на  
идеална и реална  
индуктивност

Изборът на подходяща индуктивност за филтър срещу електромагнитни смущения се прави според следните критерии: импедансни характеристики, номинален ток и максимален ударен ток.

## Електромагнитна съвместимост

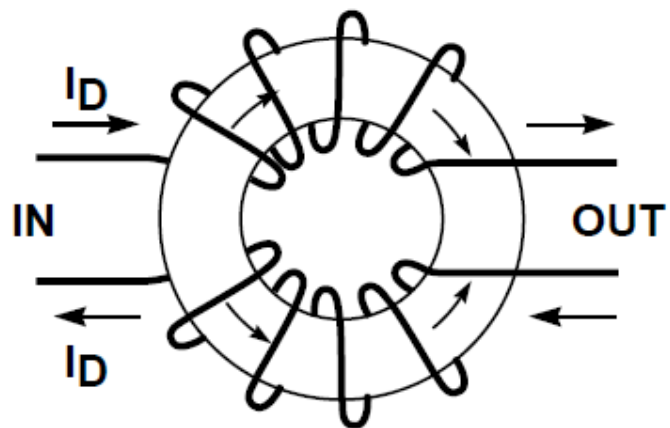
### Филтри



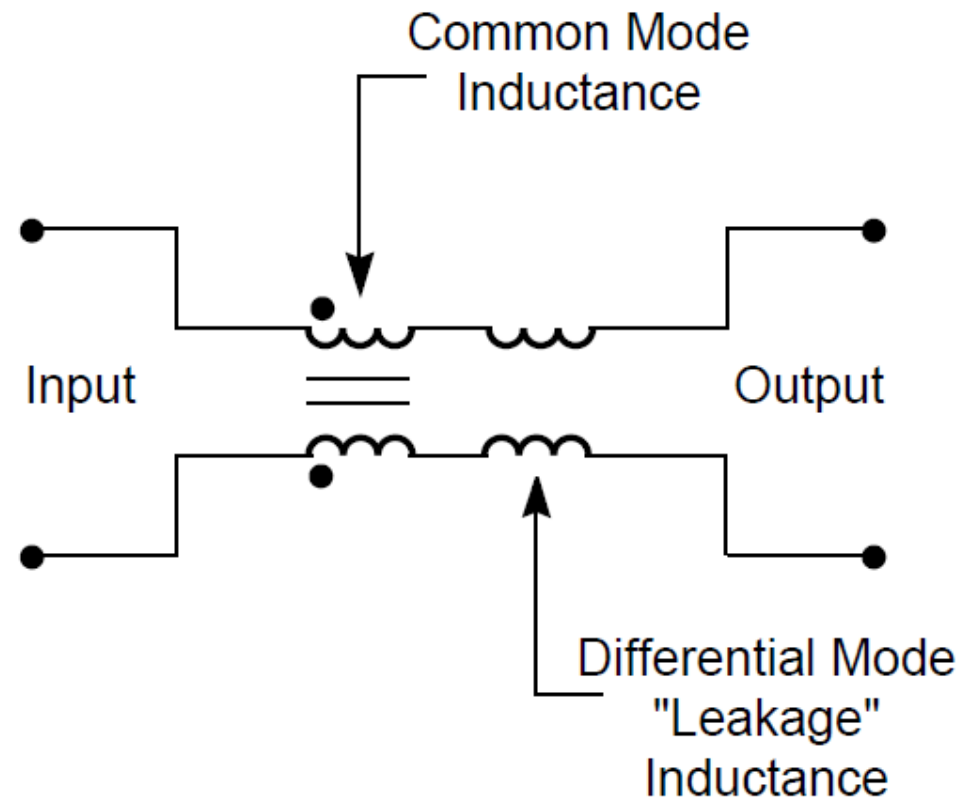
Дроселите участват във филтри, които пропускат до мрежовата честота и потискат високочестотните хармоници. Насищането на магнитопровода не трябва да се достига при максимална стойност на тока за нормален режим. Обикновените единични дросели потискат диференциалните сигнали.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри



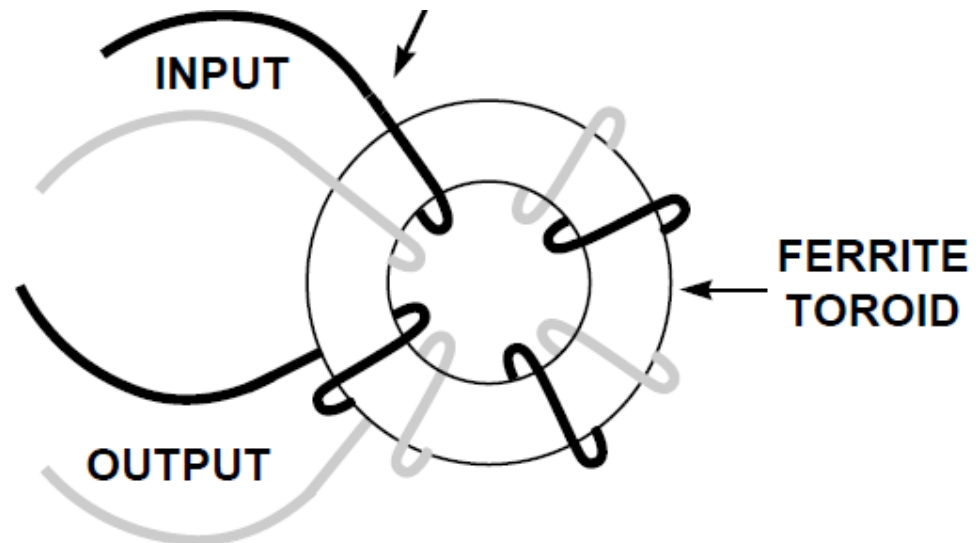
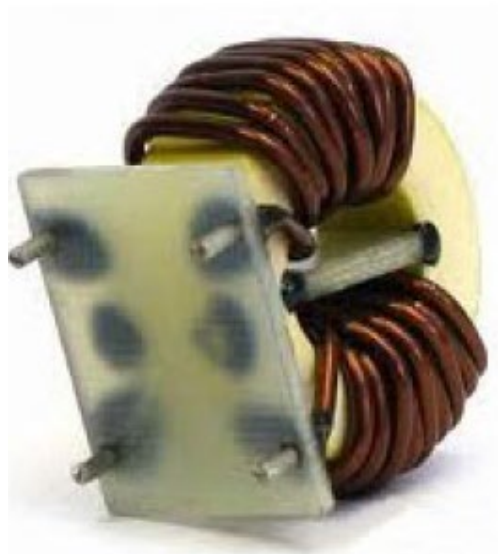
Дроселите, които потискат синфазните сигнали представляват късо съединение за диференциалните сигнали.





# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

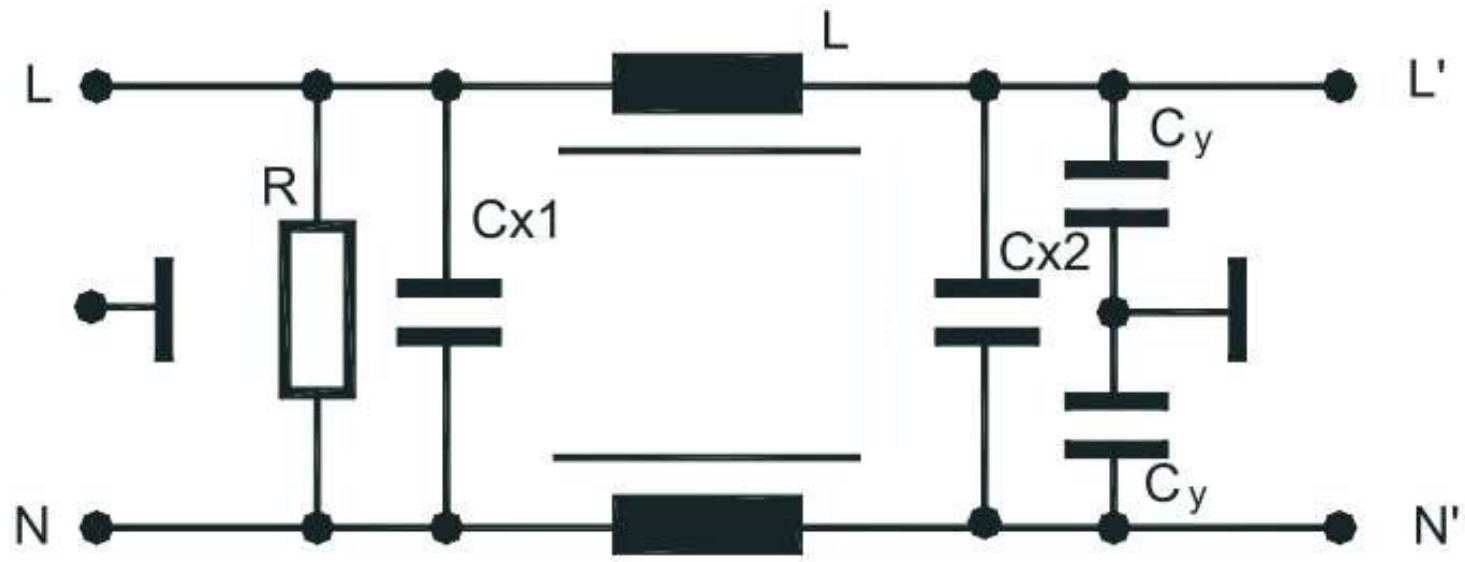


За потискане на синфазни сигнали с високи честоти (10 MHz до 200 MHz) се използват дросели с 3 до 5 навивки.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Мрежов филтър, съдържащ  $X$  и  $Y$  кондензатори и индуктивности



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

### Мрежов филтър, съдържащ $X$ и $Y$ кондензатори

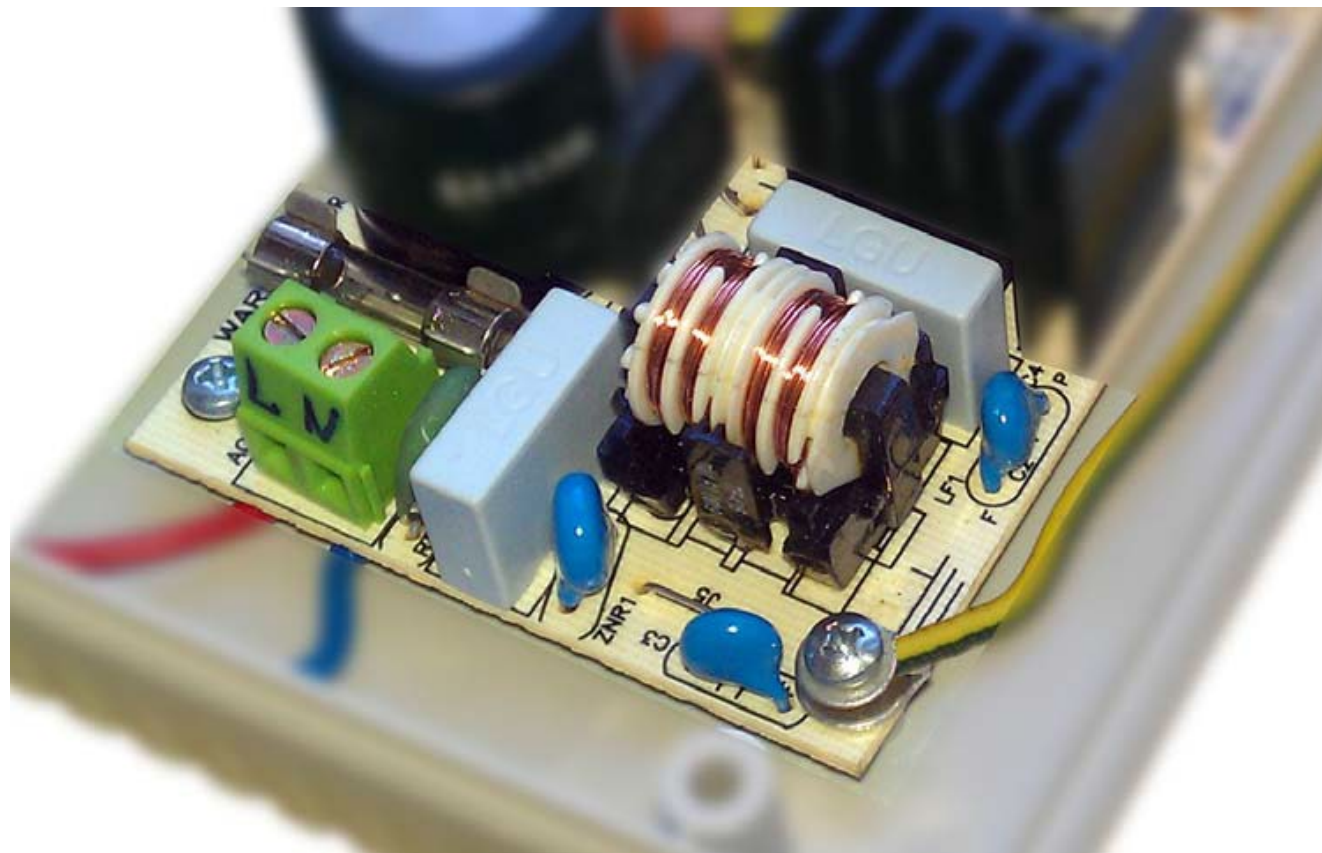
Мрежовият филтър действа двупосочно - не допуска смущенията да навлизат в апаратурата и обратно. Този тип филтър е задължителен за устройства с ключово захранване, за да не “зашумяват” мрежата.

За маломощни уреди, със захранващ ток до 1А, обикновено кондензаторите са тип  $X1$  и  $Y2$ , с капацитет  $0,1-0,22\mu\text{F}$  и  $1-4,7\text{nF}$  съответно. Индуктивностите са в по-широк обхват  $1-20\text{mH}$ .

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Мрежов филтър, съдържащ  $X$  и  $Y$  кондензатори



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

### Особености при използване на керамични кондензатори

Понастоящем се налага тенденцията при проектиране на преносими устройства да се използват керамични кондензатори за входни филтри на DC / DC преобразуватели.

Керамичните кондензатори най-често се избират заради малкия размер, ниско еквивалентно серийно съпротивление (ESR) и голям ток.

Друга предпоставка за използването на керамични кондензатори е недостига на танталови кондензатори.

(Ceramic Input Capacitors Can Cause Overvoltage Transients, AN88, Linear Technology, March 2001)

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

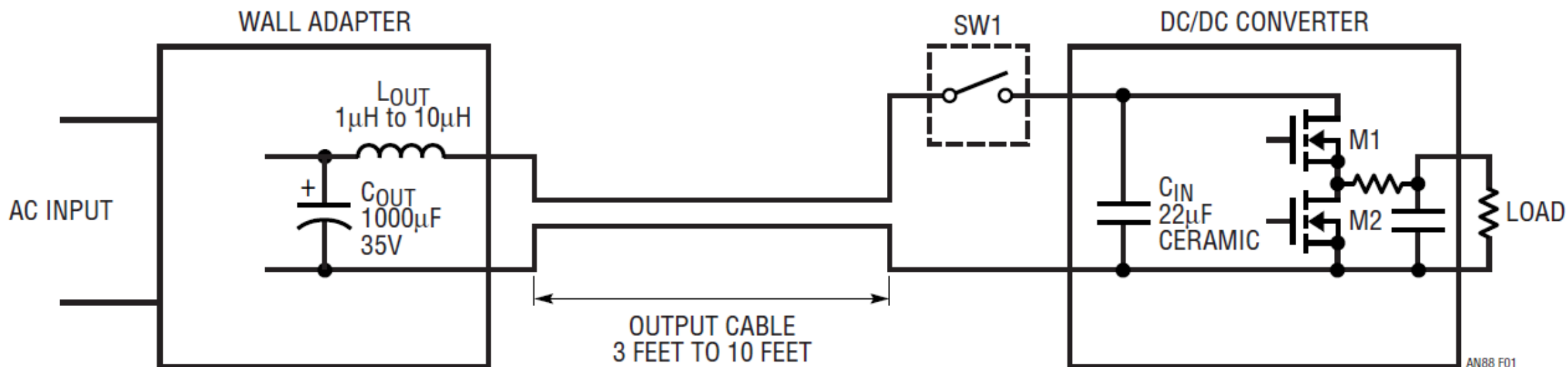
### Особености при използване на керамични кондензатори

В същото време използването на керамични кондензатори във входните филтри може да причини проблеми. Прилагането на скок на напрежението към керамичния кондензатор предизвиква голям токов удар, който зарежда с енергия индуктивностите на захранващите проводници. Голям напрежителен скок се получава когато съхраняваната енергия се прехвърля от тези индуктивности в керамичния кондензатор. Тези напрежителни отскоци могат да имат два пъти по-големи амплитуди от входното напрежение.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Особености при използване на керамични кондензатори



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Особености при използване на керамични кондензатори

TRACE	$L_{OUT}$ ( $\mu$ H)	$C_{IN}$ ( $\mu$ F)	$V_{IN}$ PEAK (V)
CH1	1	10	57.2
R2	10	10	50
R3	1	22	41
R4	10	22	41

