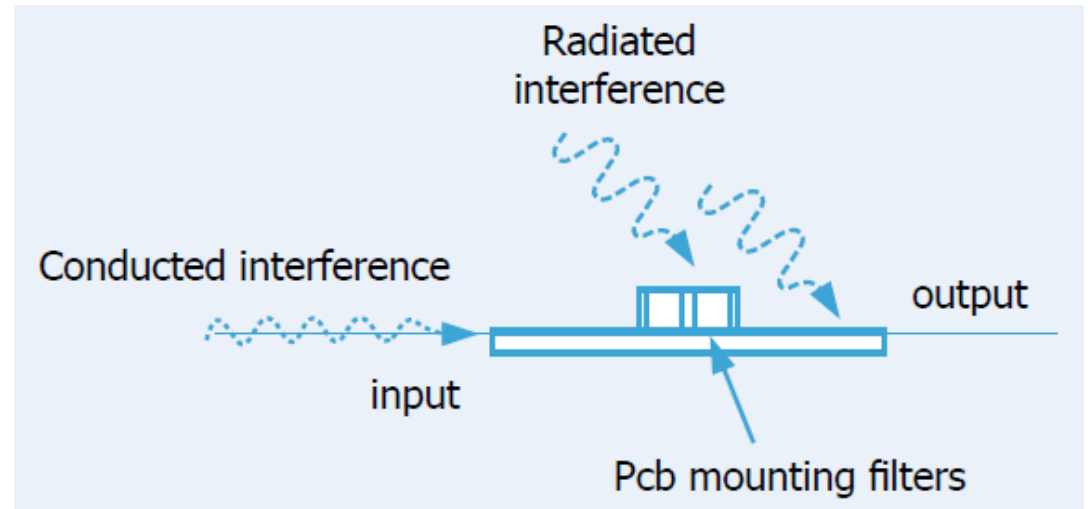
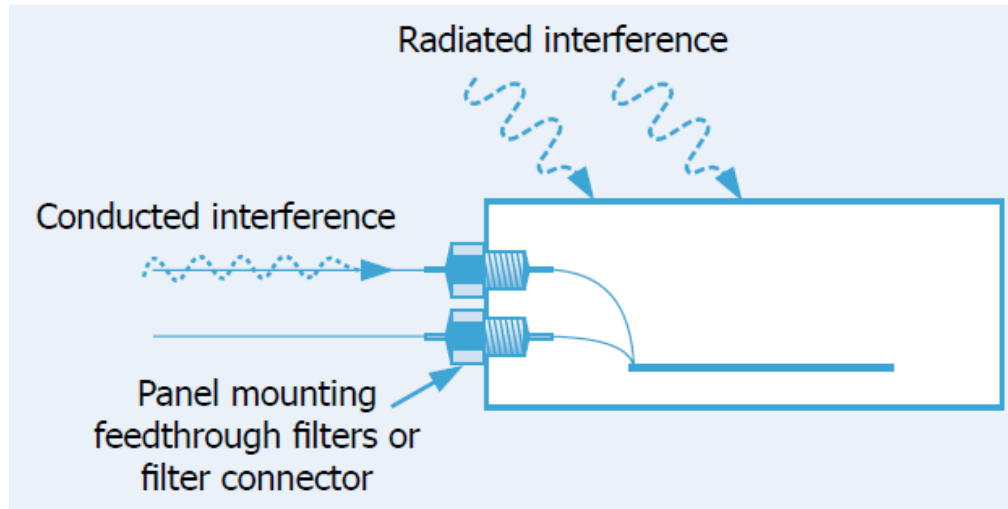


# Електромагнитна съвместимост

## Филтри



# 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.

Много производители определят честотния спектър на електромагнитните смущения (EMI) до десетина GHz.

Предизвикващите смущения сигнали, които се разпространяват по проводници са два вида – синфазни и диференциални.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Синфазните смущения (Common Mode Noise) се разпространяват едновременно и в една посока по два проводника, докато диференциалните (Differential Mode Noise) са в една посока по активен проводник и в обратна по масата.

Следователно, очевидно решение за потискането на високочестотни смущения 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

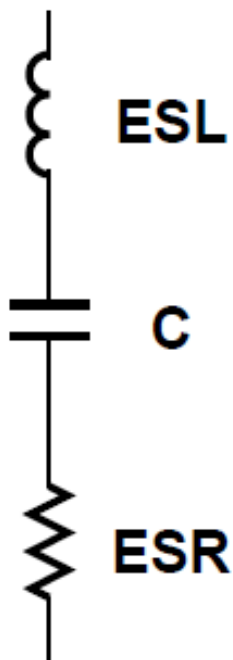
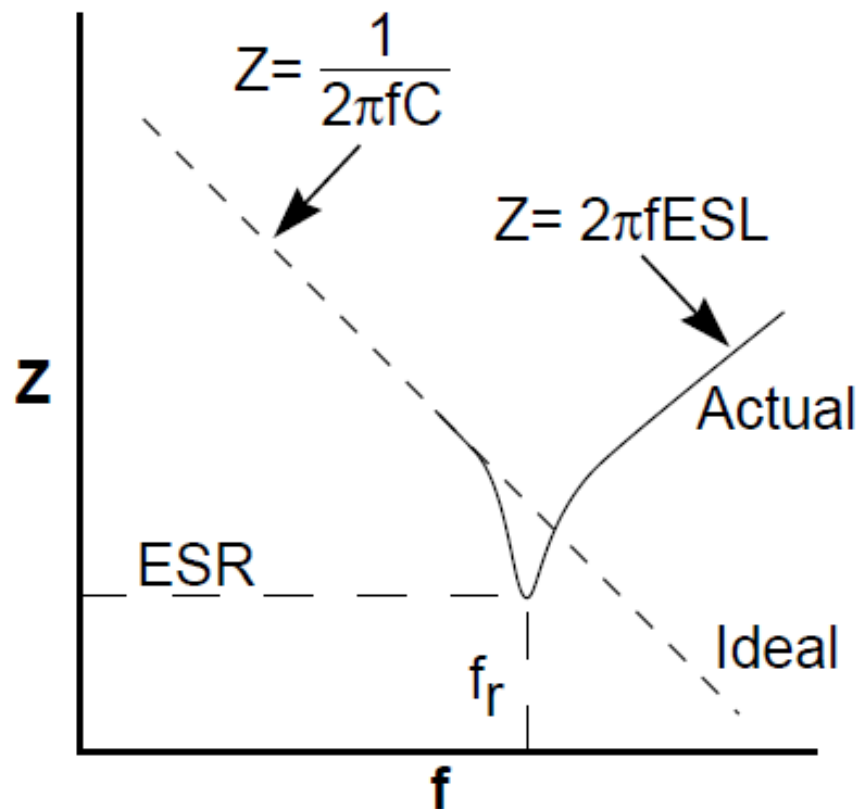
При избора на филтъра трябва да се вземат предвид някои зависимости:

- полюсна честота (-3dB);
- *внесени загуби* (Insertion Loss) =  $20 \log \frac{E_1}{E_2}$ .

$E_1$  е напрежението към защитения вход след включване на филтъра, а  $E_2$  е напрежението преди него, които са зависими от честотата на сигнала.

# 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.

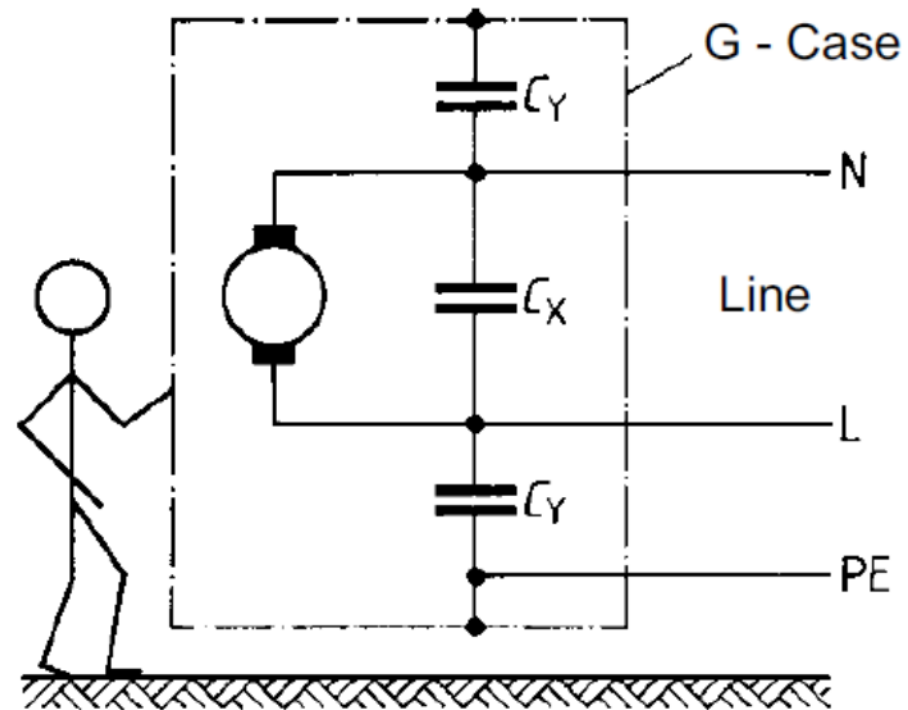
**X** кондензаторите се включват между фазите на захранващата мрежа и са ефективни при потискане на симетрични смущения (диференциални сигнали).

**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

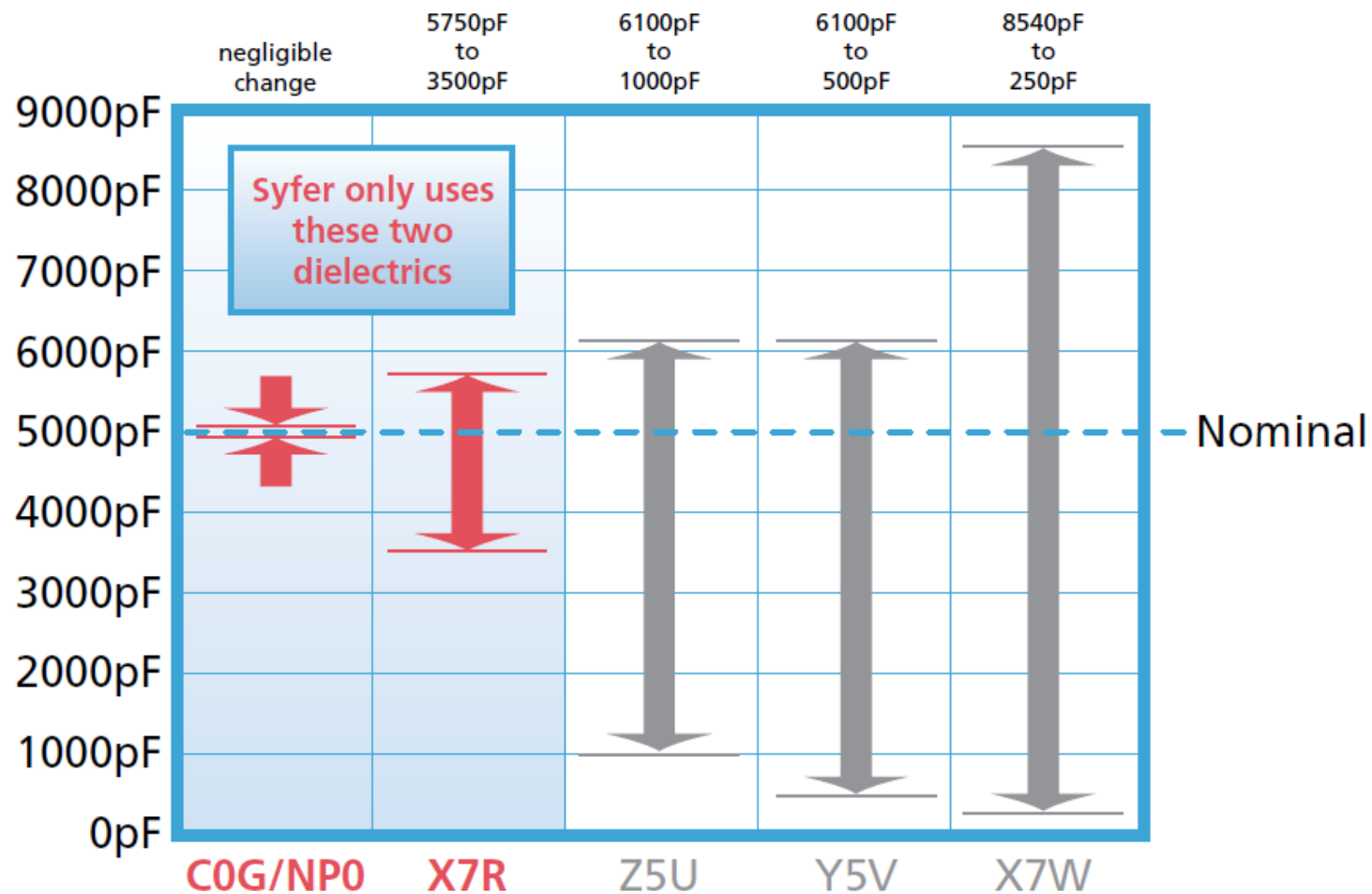
# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

	<b>COG/NPO</b>	<b>X7R</b>	<b>Z5U</b>	<b>Y5V</b>	<b>X7W</b>
EIA dielectric classification	Ultra stable	Stable	General purpose		
Rated temperature range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	-10°C to +85°C	-30°C to +85°C	-55°C to +125°C
Maximum capacitance change over temperature range (no voltage applied)	0 ±30 ppm/°C	±15%	+22-56%	+22-56%	+40-90%
Ageing characteristics	Zero	<2% per time decade	6% per time decade	6% per time decade	6% per time decade

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри



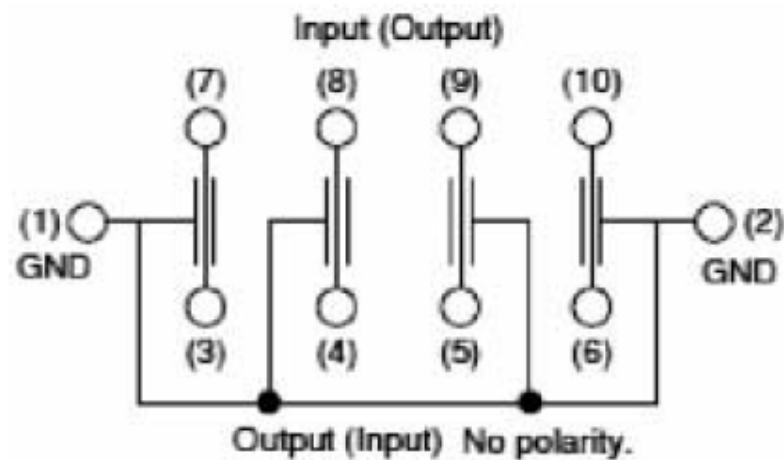
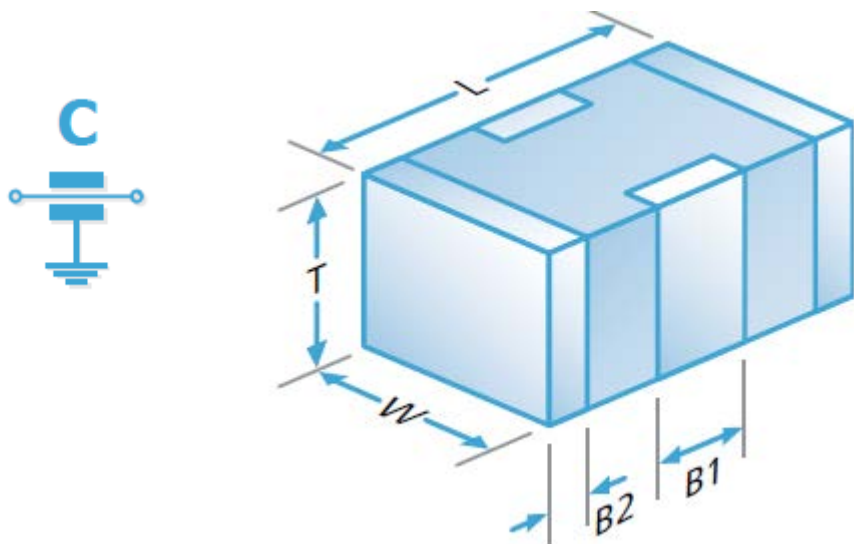
# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

За защита от диференциални смущения се използват проходни кондензатори, които се поставят на активния проводник. Поради специфичната им конструкция те се наричат 3-изводни кондензатори (3-terminal capacitor). Те осигуряват капацитет между проводника и маса, който формира много голям импеданс  $X_C$  за полезния сигнал и не му влияе. За високочестотните смущения  $X_C$  е малък и ги отклонява към маса. Обикновено тези кондензатори се поставят на захранващия проводник, например при паметите.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри



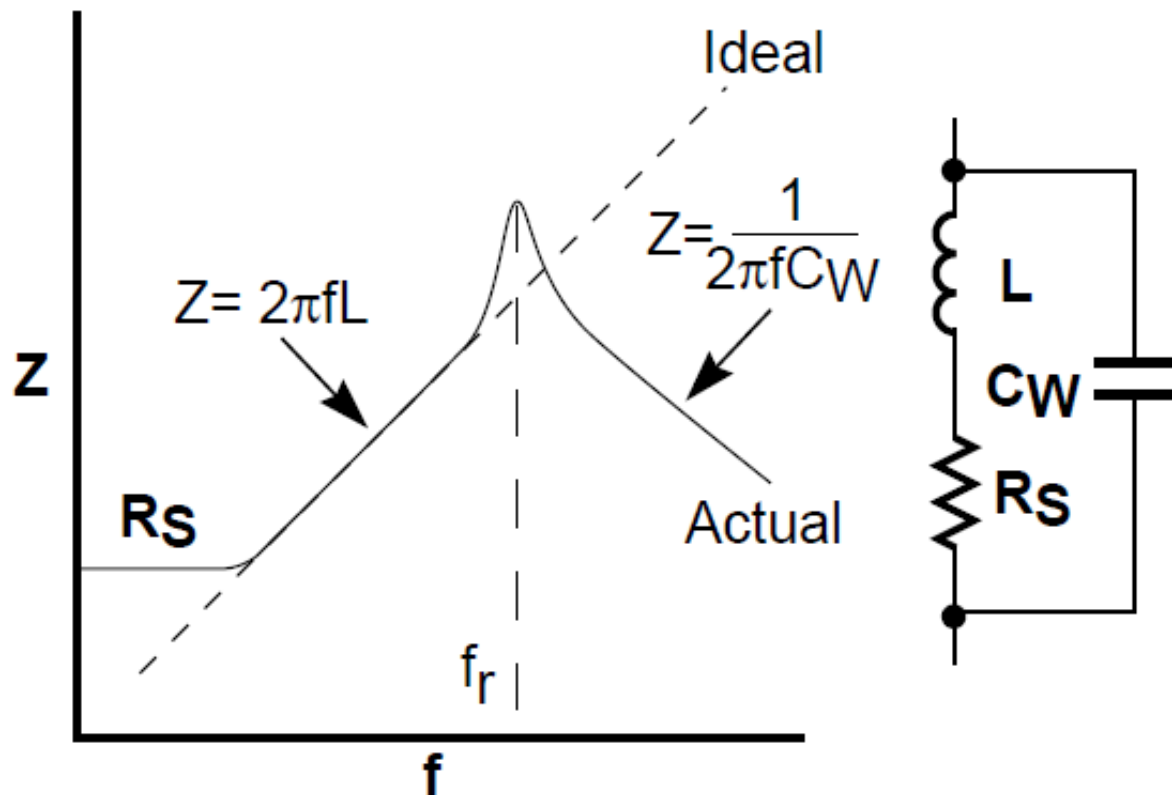
NFA31CC Series на Murata  
6 модела с капацитет от  
22 pF до 22 nF

E01			
0805	1206	1806	
300mA	300mA	300mA	
E07			
0805	1206	1806	1812
1A	2A	2A	3A



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри



Импедансни  
характеристики на  
идеална и реална  
индуктивност

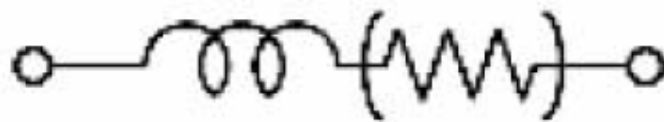
Изборът на подходяща индуктивност за филтър срещу електромагнитни смущения се прави според следните критерии: импедансни характеристики, номинален ток и максимален ударен ток.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

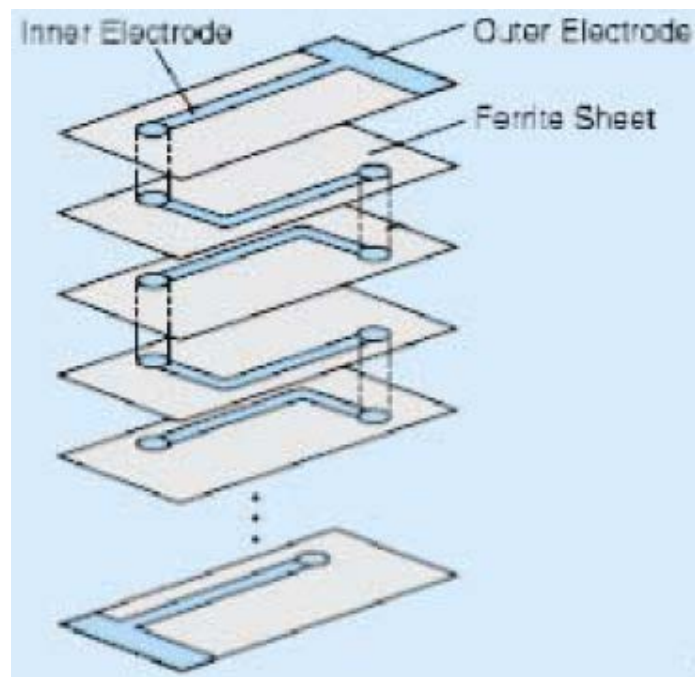
В зависимост от приложението има дросели с общо предназначение, за обикновени и бързи комуникационни мрежи, за силови мрежи, за потискане на смущения от гигагерцовия обхват, за цифрови интерфейси, за приложение в автомобилостроенето.

Съществена особеност на бобините е, че вместо индуктивността им като параметър се дава импеданса  $Z$  при определена честота. В каталозите обикновено се дава еквивалентната им схема.



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

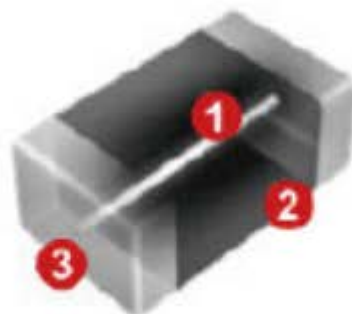
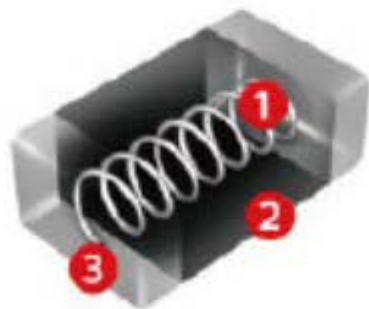
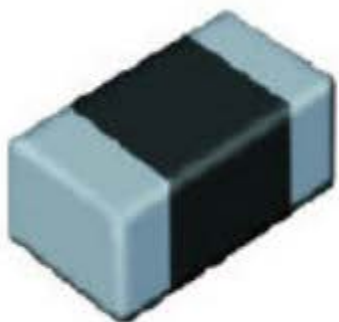


С цел постигане на минимални размери се използват бобини с феритна сърцевина за получаване на по-голяма индуктивност.

Първият тип са единични бобини (Ferrite Bead, Ferrite Bead Inductor), които потискат диференциалните сигнали. Те се поставят във веригата на активния проводник и импедансът им  $Z$  намалява преминаващите по него смущения.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри



- 1. Ag wire**
- 2. Ferrite material**
- 3. Electrode**

Осигуряване на ниско активно съпротивление и голям ток чрез използване на сребърен проводник;

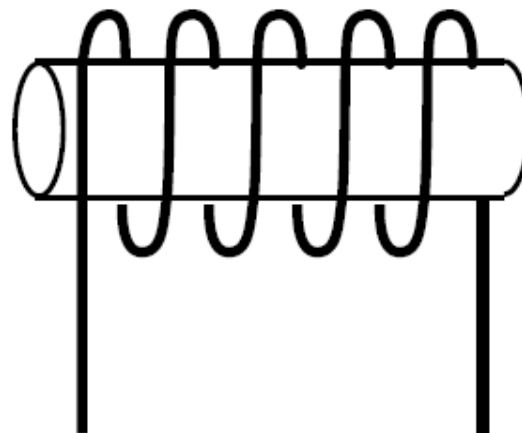
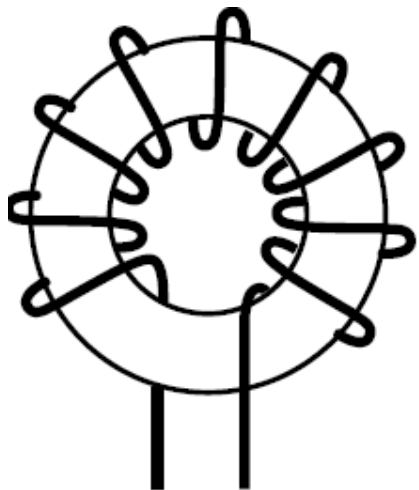
Постигане на добри високочестотни характеристики чрез намален паразитен капацитет;

Висока енергийна устойчивост;

Висока надеждност.

## Електромагнитна съвместимост

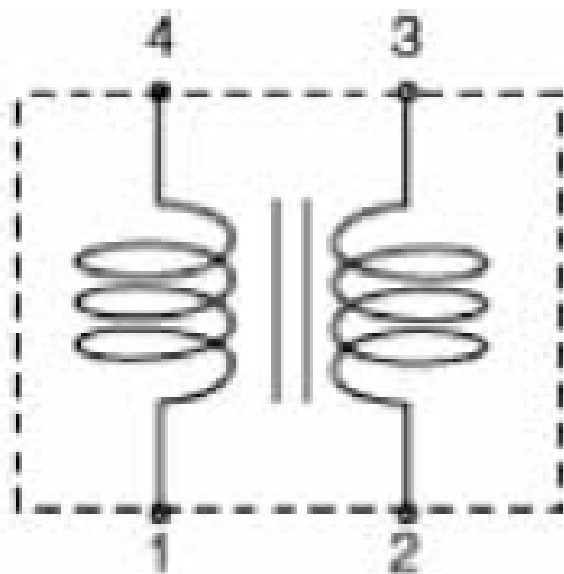
### Филтри



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. Пример е серията VLM на Murata с 260 модела, които имат  $Z$  при 100 MHz между  $5 \Omega$  и  $2,7 \text{ k} \Omega$  и  $I_{\text{max}}$  от 50 mA до 6 A.

# Електромагнитна съвместимост

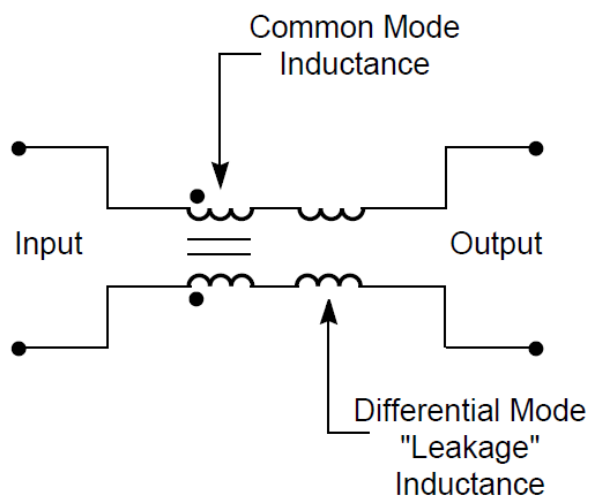
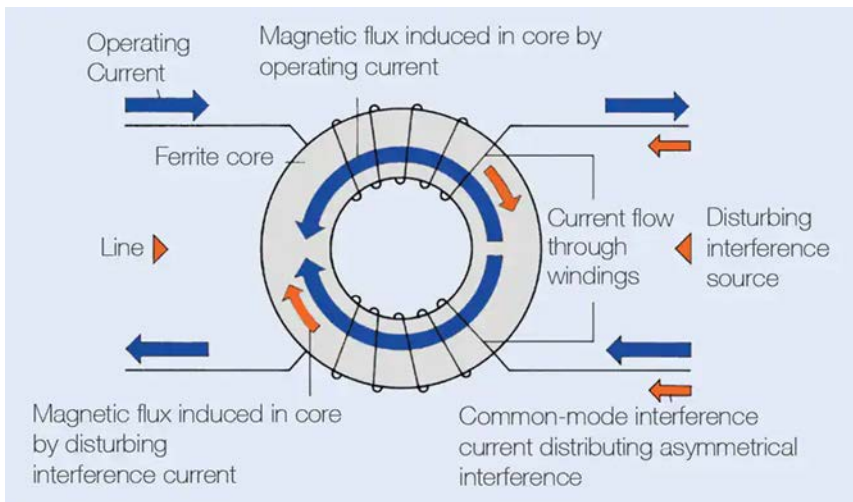
## Филтри



Синфазните бобини (Common Mode Choke, Common Mode Coil, Common Mode Noise Filter) са предназначени да потискат синфазните сигнали. В същото време те представляват късо съединение за диференциалните сигнали. Синфазните бобини съдържат две еднакви части със силна индуктивна връзка. Могат да се използват и като единични след успоредно свързване 1-2 и 3-4.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

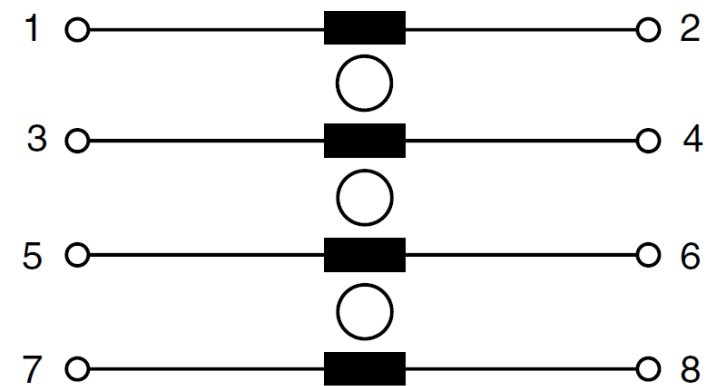
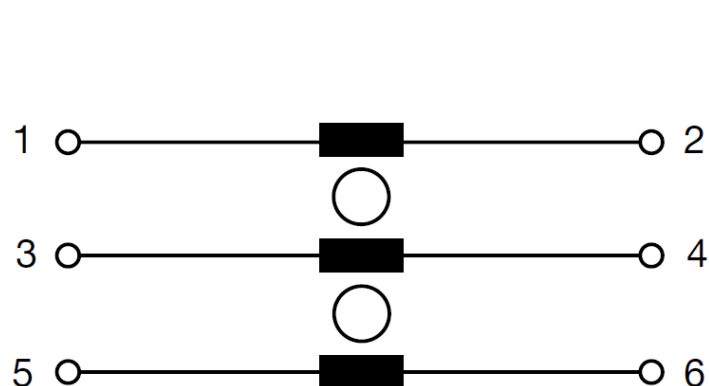
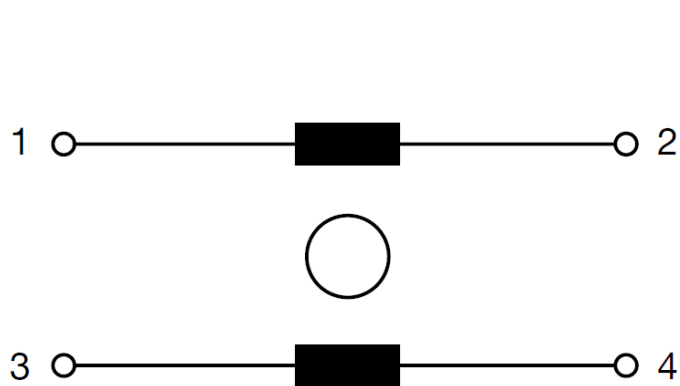


Дроселите, които потискат синфазните сигнали представляват късо съединение за диференциалните сигнали. Токът, породен от смущението (Common Mode Current), протича в една посока и през двете части и за него поведението на дросела е като на единична бобина с импеданс  $Z$ . Токът от полезния сигнал (Differential Mode Current) има различна посока през двете части и създава в тях магнитни полета с противоположни посоки.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

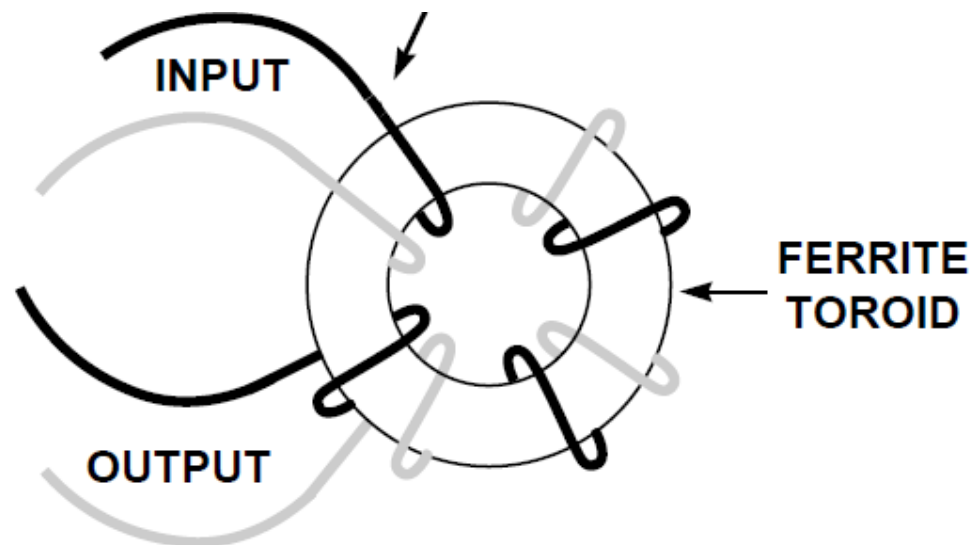
Масови са приложенията на бобините при потискане на смущения в едно- и многофазни променливотокови мрежи.





# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

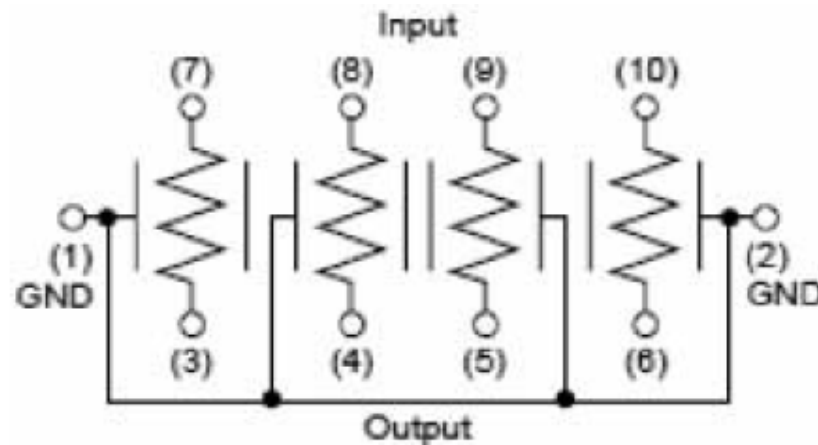
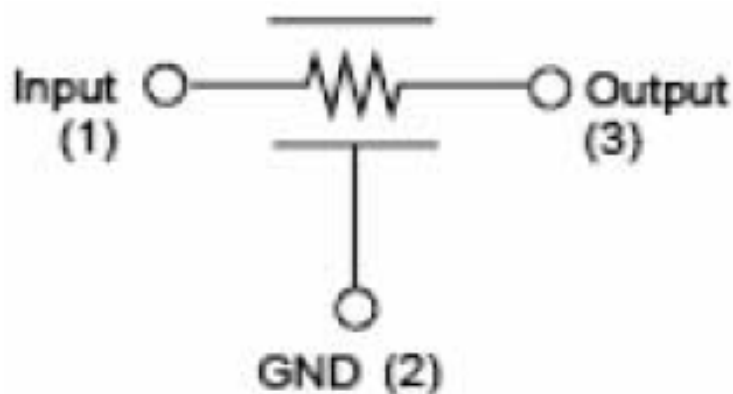


За потискане на синфазни сигнали с високи честоти (10 MHz до 200 MHz) се използват дросели с 3 до 5 навивки.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

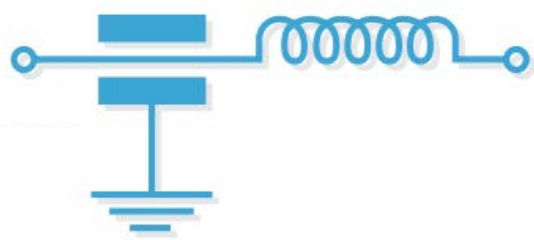
С използването на проходни кондензатори и резистори се произвеждат RC филтри. Филтрите NFR21G Series на Murata са 10 модела с размери 2x1.25x0.5 mm и съдържат кондензатор от 10 pF до 100 pF и резистор от 22  $\Omega$  до 100  $\Omega$ , които определят гранична честота между 20 MHz и 300 MHz и потискат смущения с честоти до 1 GHz.



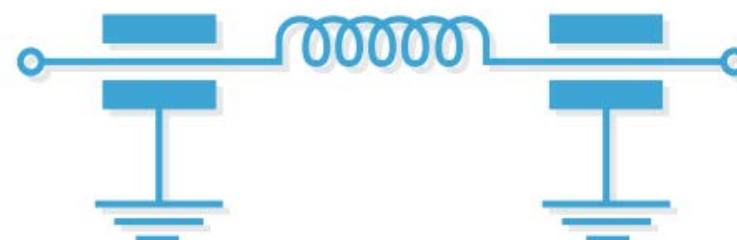
# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Съвременните компоненти позволяват използването на LC филтри дори в джобни преносими устройства. Съществуват Г- (L-type), Т- (T-type) и П-образни (π-type) филтри за диференциални сигнали като използващите класически навита бобина съдържат в наименованието си “Coil” или „Wire-wound“, а тези с тънкослойна бобина - „Chip“.



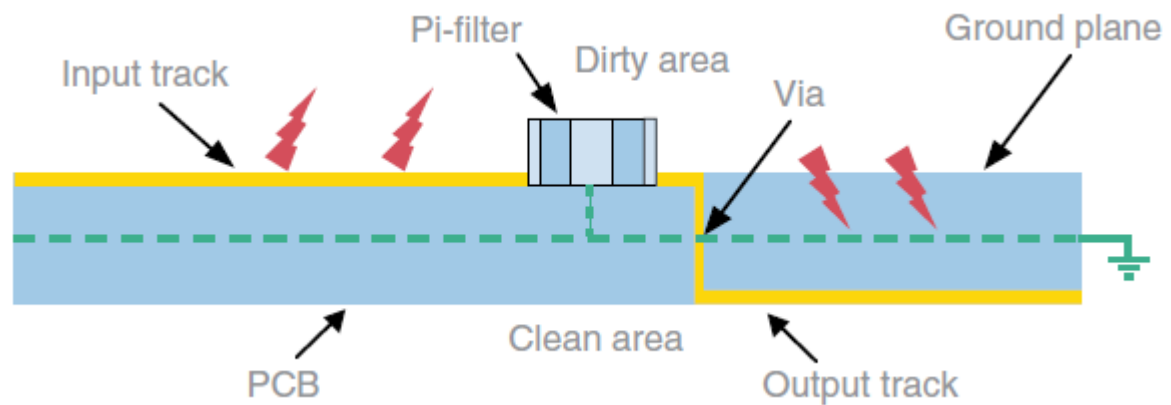
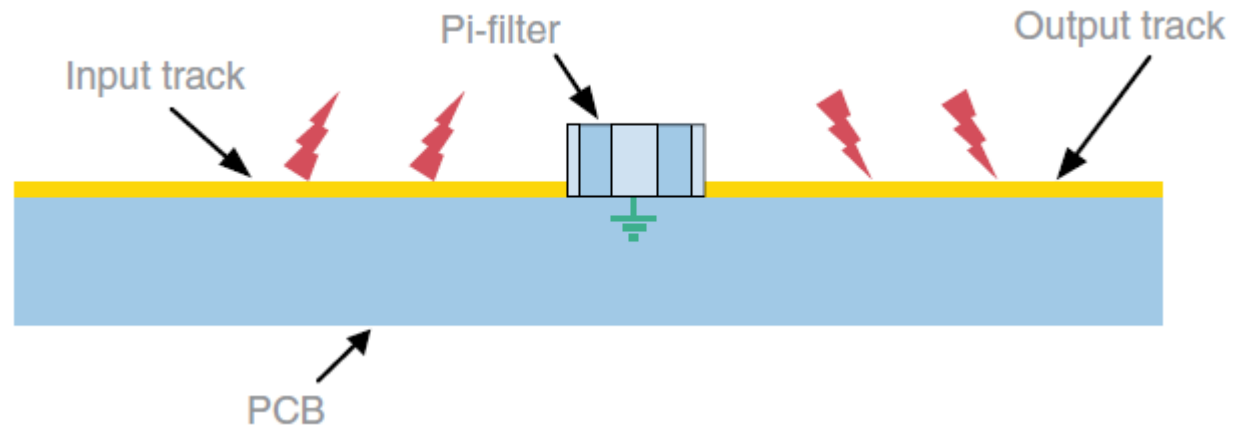
40 dB/dec



60 dB/dec

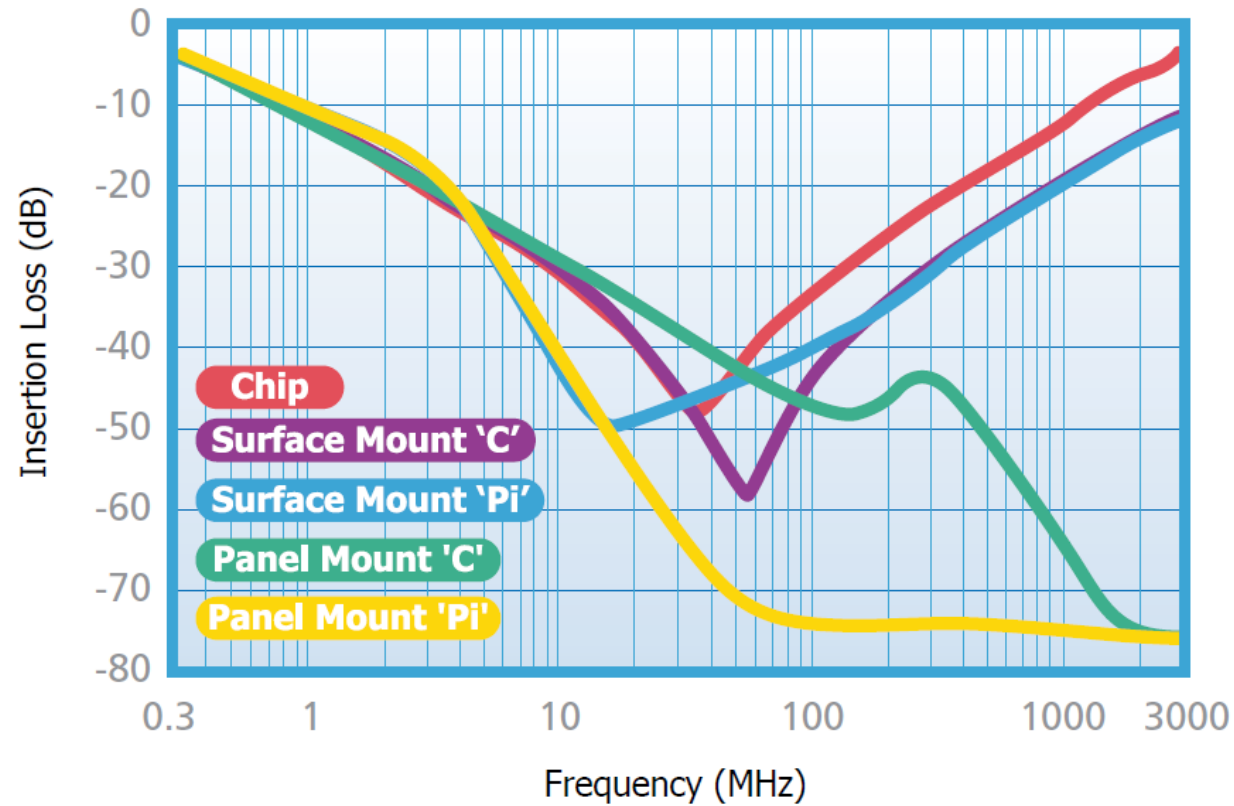
# Електромагнитна съвместимост

## Филтри



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

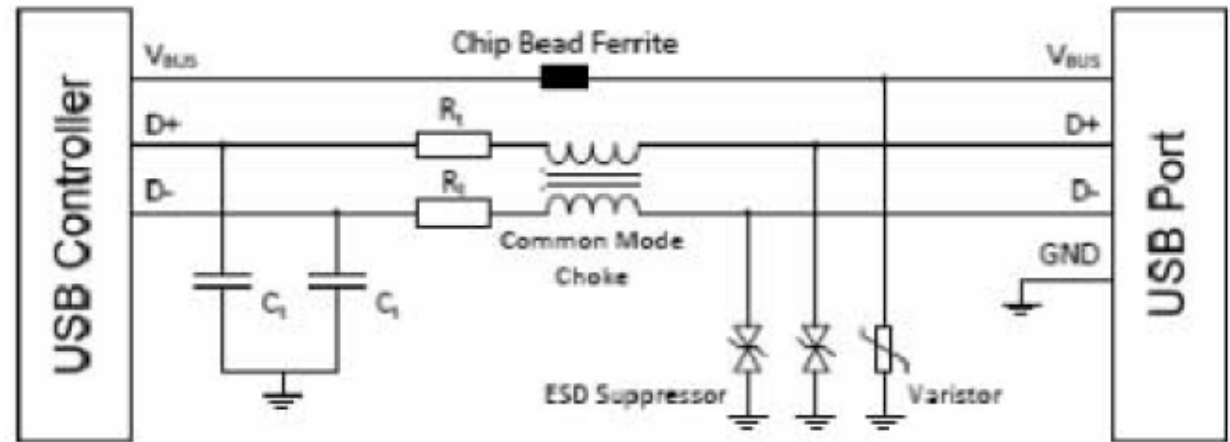
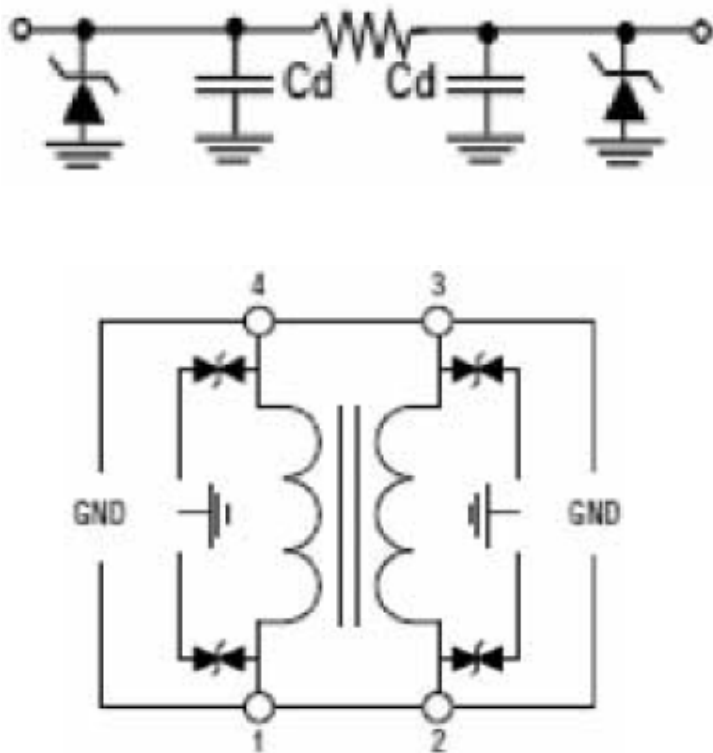


Внесени загуби при различни конфигурации на филтъра

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

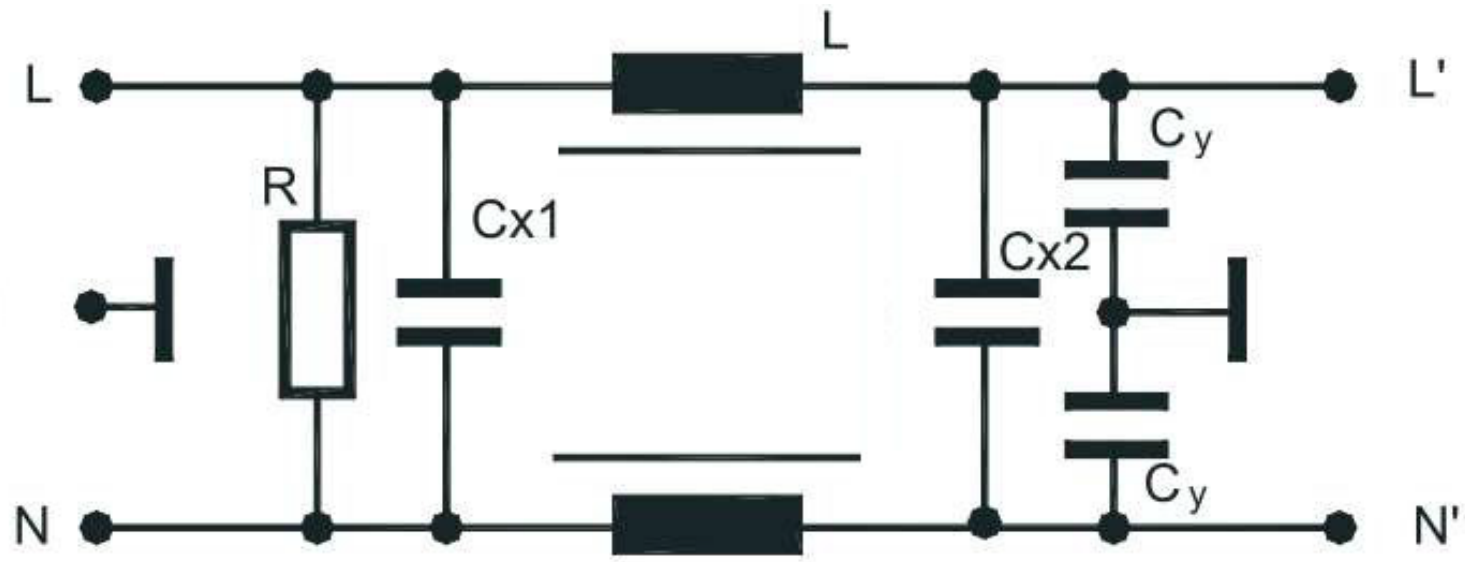
### Комбинирани защиты ESD/EMI



# 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.

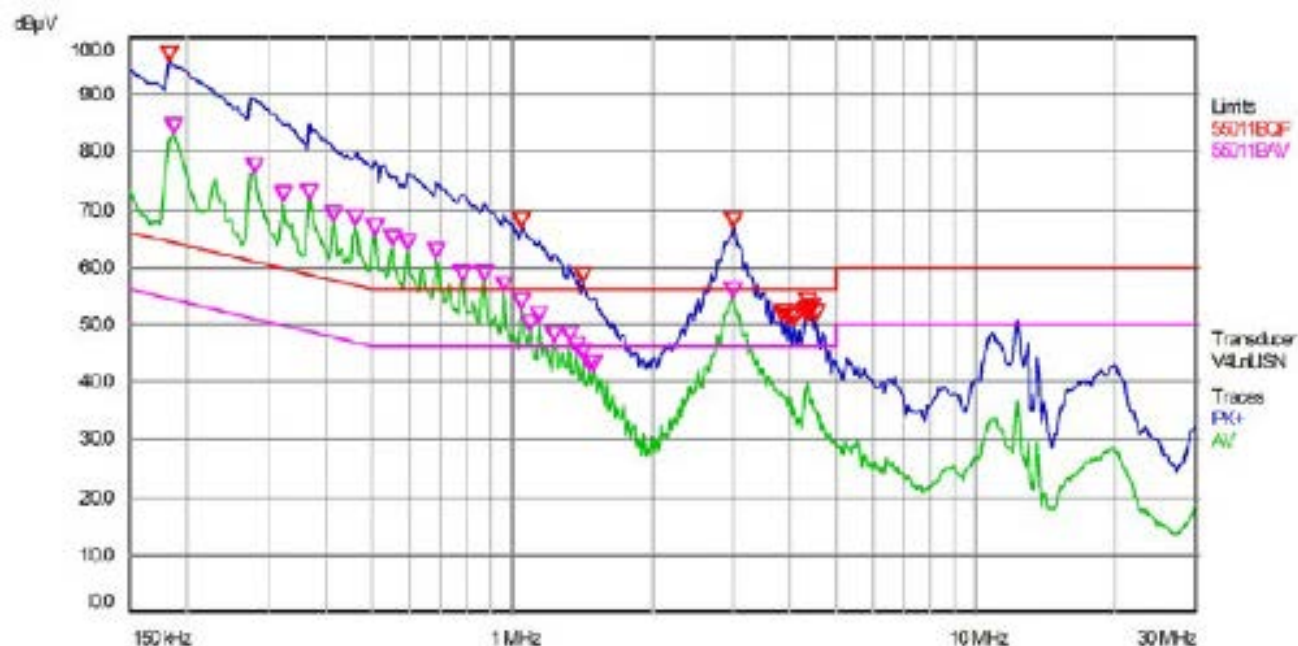
За маломощни уреди, със захранващ ток до 1А, обикновено кондензаторите са тип  $X1$  и  $Y2$ , с капацитет  $0,1-0,22\mu\text{F}$  и  $1-4,7\text{nF}$  съответно. Индуктивностите са в по-широк обхват  $1-20\text{mH}$ .



# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Настройка на мрежов филтър, съдържащ *X* и *Y* кондензатори

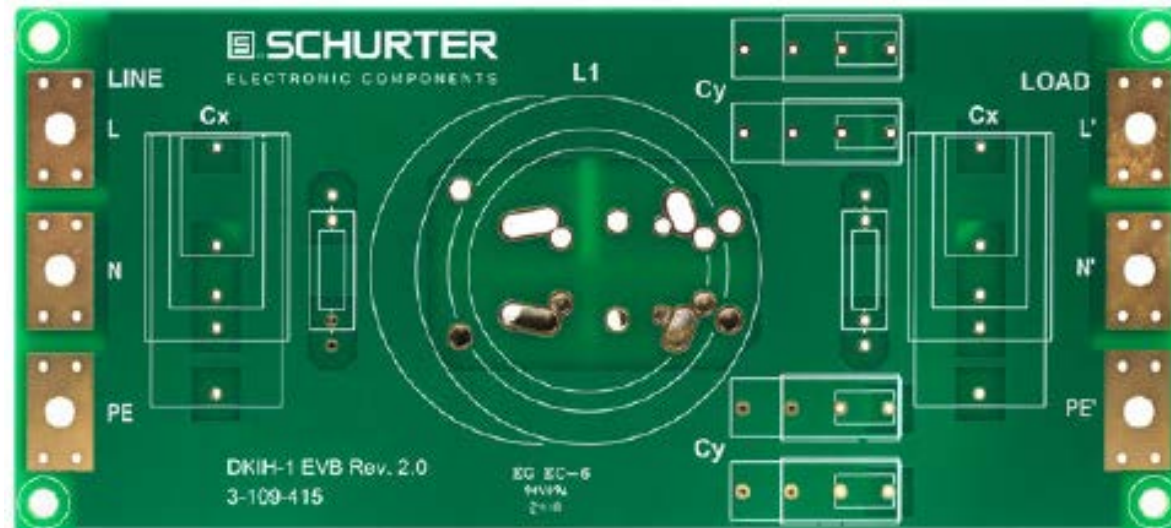


Измерване в диапазона 150 kHz - 30 MHz на внесени по проводниците смущения без филтър

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Настройка на мрежов филтър, съдържащ  $X$  и  $Y$  кондензатори

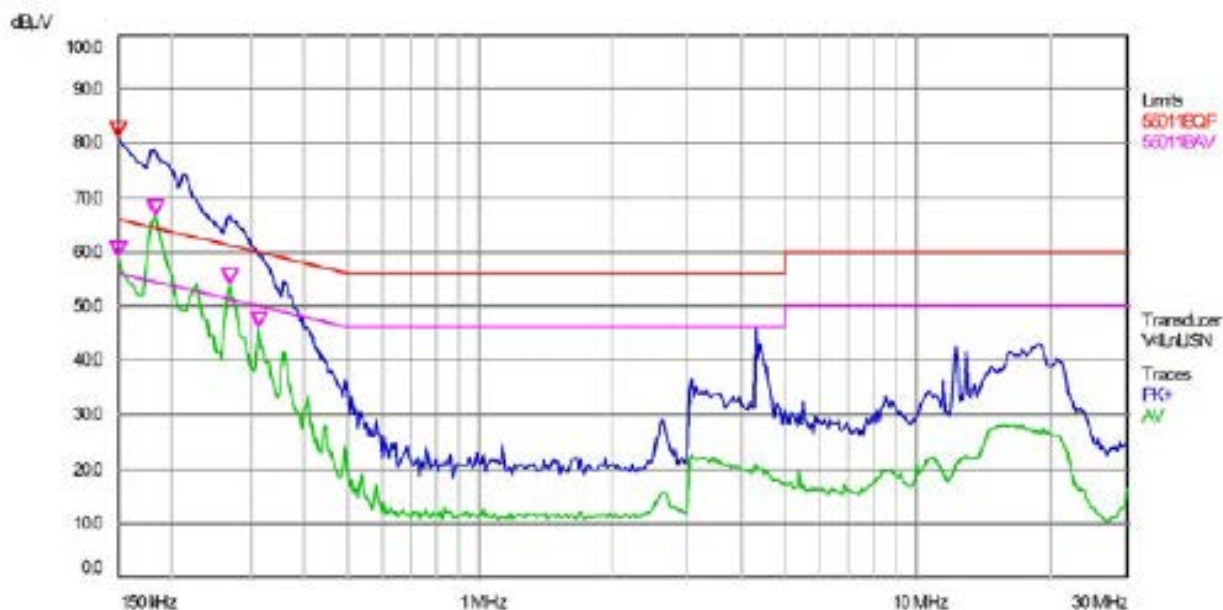


Развойна платка за оптимизация на мрежов филтър:  
<https://www.schurter.com/en/datasheet/DKIH-EVB>

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Настройка на мрежов филтър, съдържащ  $X$  и  $Y$  кондензатори – стъпка 1



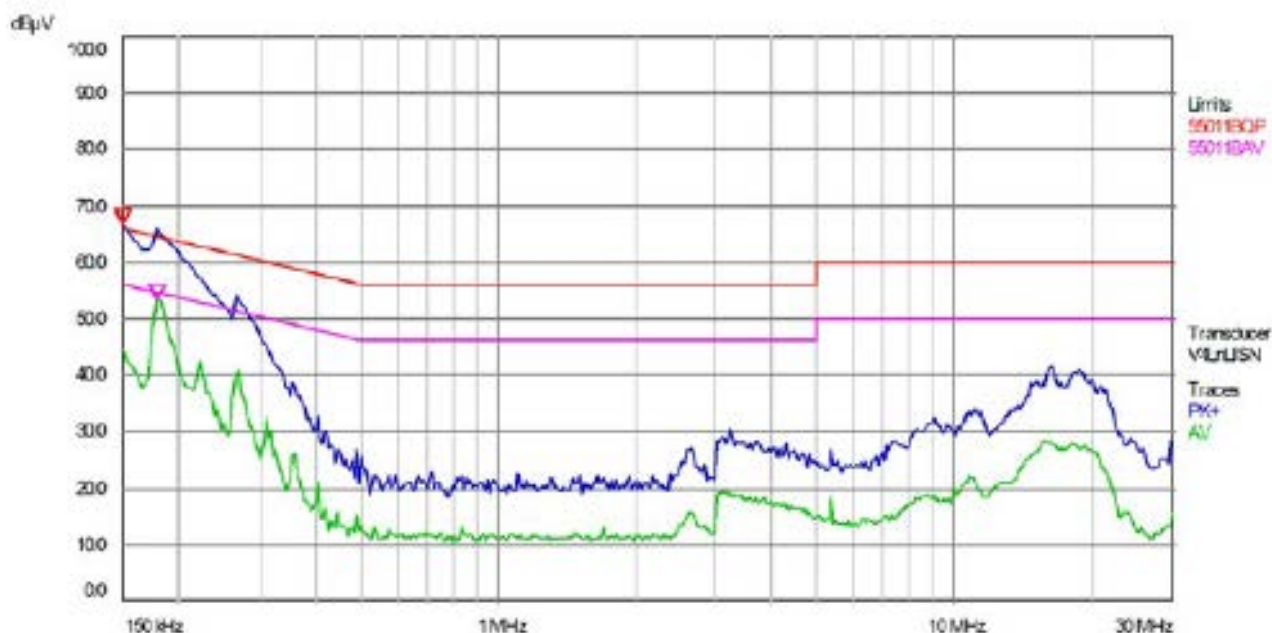
$L = 0.8$  mH (10 A ферит) и кондензатори 2 x 470 nF и 4 x 2.2 nF

- 1) Недостатъчно потискане, особено в по-нисък честотна област.
- 2) Могат да се използват по-големи  $X$  кондензатори.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Настройка на мрежов филтър, съдържащ  $X$  и  $Y$  кондензатори – стъпка 2



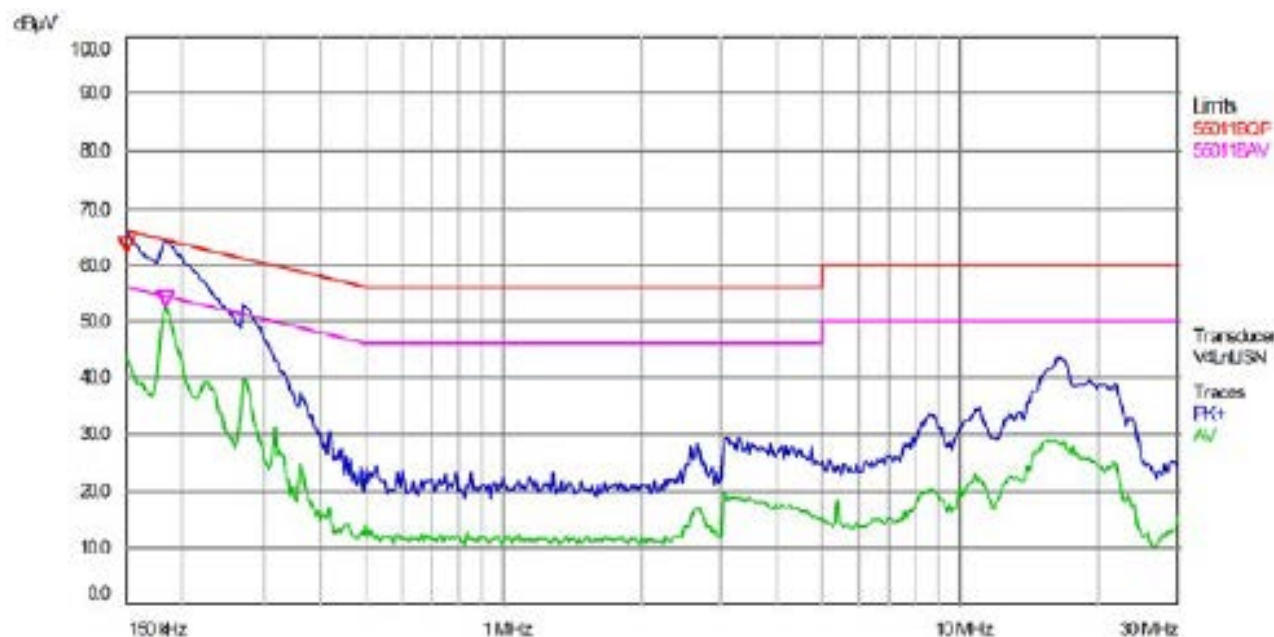
$L = 0.8 \text{ mH}$  (10 A ферит) и кондензатори 2 x 1.0  $\mu\text{F}$  и 4 x 2.2 nF

- 1) Леко недостатъчно потискане, особено в по-нисък честотна област.
- 2) Да се използват по-голяма индуктивност 6.9mH.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Настройка на мрежов филтър, съдържащ  $X$  и  $Y$  кондензатори – стъпка 3



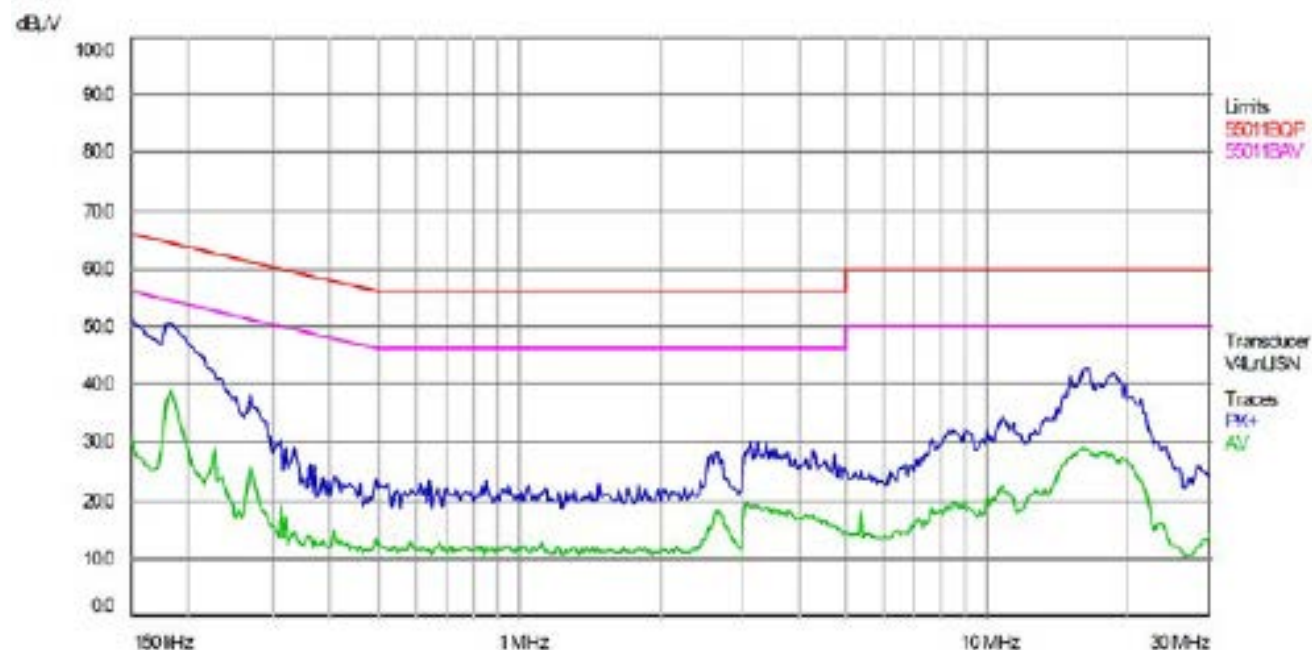
$L = 6.9$  mH (10 A нанокристалин) и кондензатори 2 x 1.0  $\mu$ F и 4 x 2.2 nF

- 1) Леко недостатъчно потискане поради по-голямата индуктивност.
- 2) Филтърният ефект все още не е оптимален.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Настройка на мрежов филтър, съдържащ  $X$  и  $Y$  кондензатори – стъпка 4



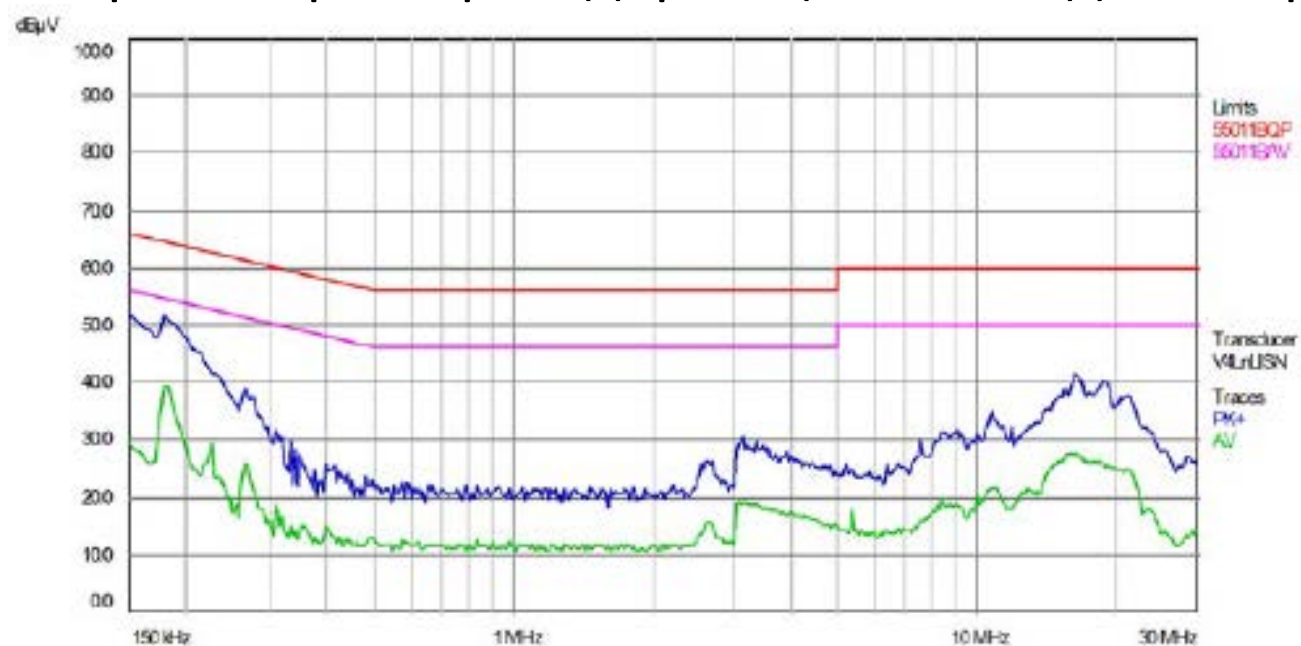
$L = 6.9 \text{ mH}$  (10 A нанокристалин) и кондензатори  $2 \times 2.2 \mu\text{F}$  и  $4 \times 2.2 \text{ nF}$

- 1) Много добро потискане поради по-големите  $X$  кондензатори.
- 2) Схемата може да се оптимизира по цена и габарити.

# Електромагнитна съвместимост

## Филтри

Настройка на мрежов филтър, съдържащ  $X$  и  $Y$  кондензатори – стъпка 5



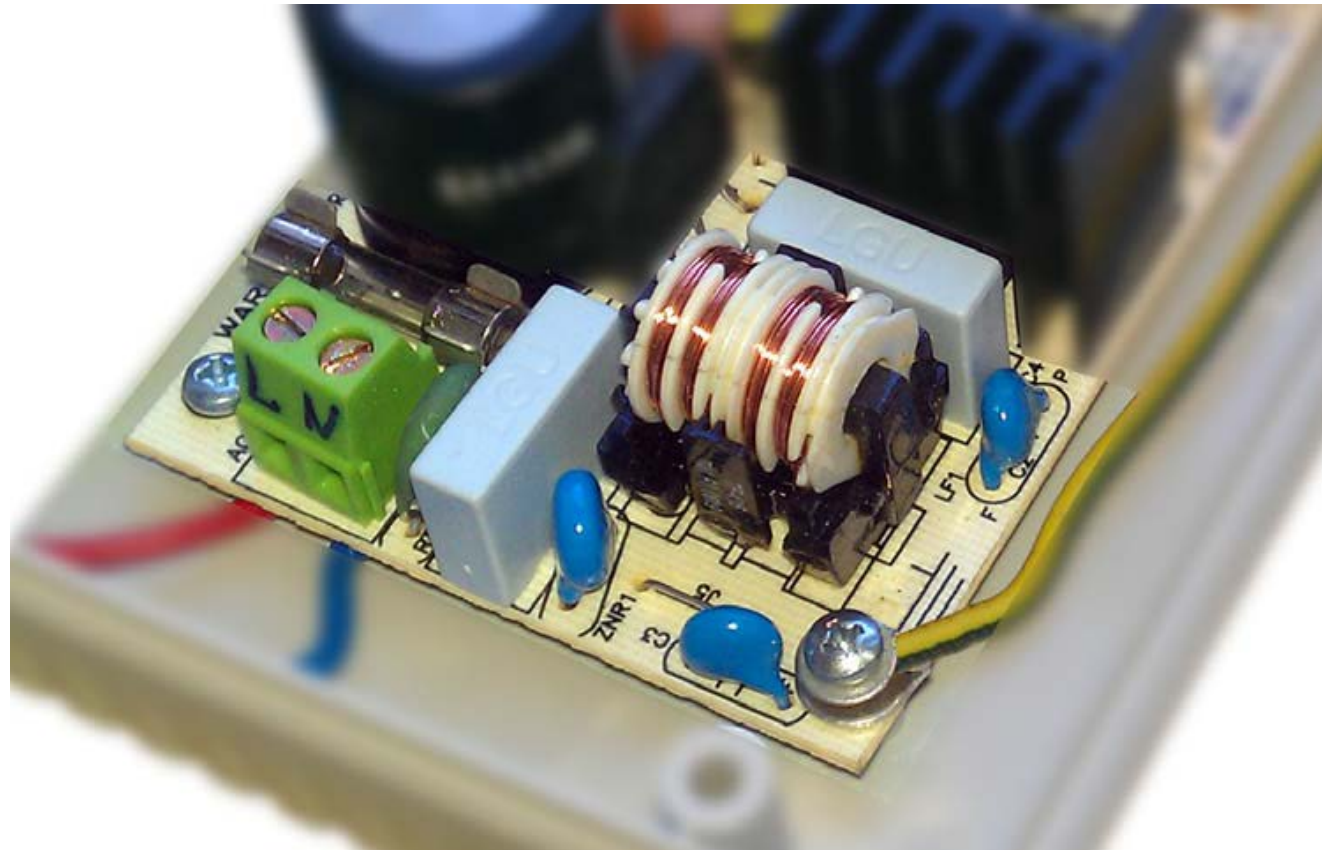
$L = 0.8$  mH (10 A ферит) и кондензатори  $2 \times 2.2$   $\mu$ F и  $4 \times 2.2$  nF

- 1) Асиметричните смущения не са много големи, така че индуктивността да бъде намалена.
- 2) Оптимизирана по цена схема с големи  $X$  кондензатори вместо скъпи нанокристалинови дросели.

# 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

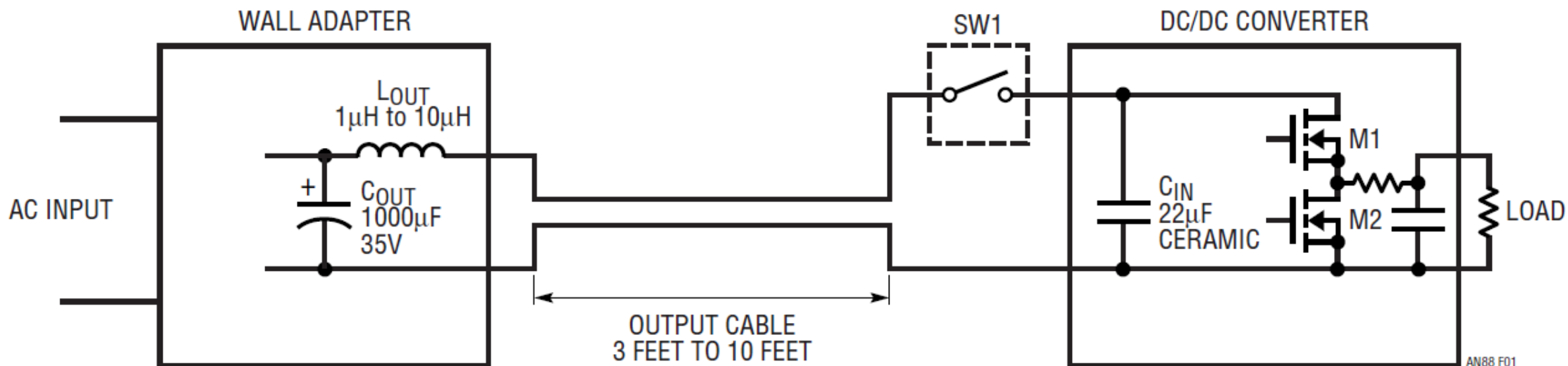
### Особености при използване на керамични кондензатори

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

