

# ZPŮSOBY OMEZOVÁNÍ RUŠENÍ

## ODRUŠOVACÍ PROSTŘEDKY

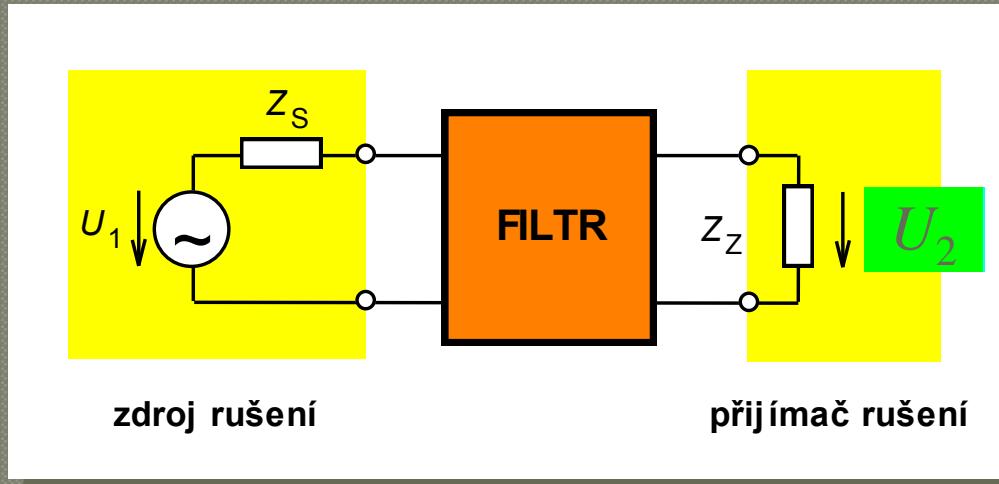
- odrušovací tlumivky a jednoprvkové tlumivkové filtry,
  - odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry,
  - pasivní odrušovací filtry LC,
  - přepěťové ochranné prvky (bleskojistky, plynem plněné výbojky, varistory, omezovací diody),
  - elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění.
- 

**Rušení na vedení:** odrušovací tlumivky, kondenzátory, kmitočtové filtry LC a omezovače přepětí

**Rušení vyzařováním:** elektromagnetické stínění

Základním parametrem každého odrušovacího prvku, filtru,  
příp. stínícího krytu je

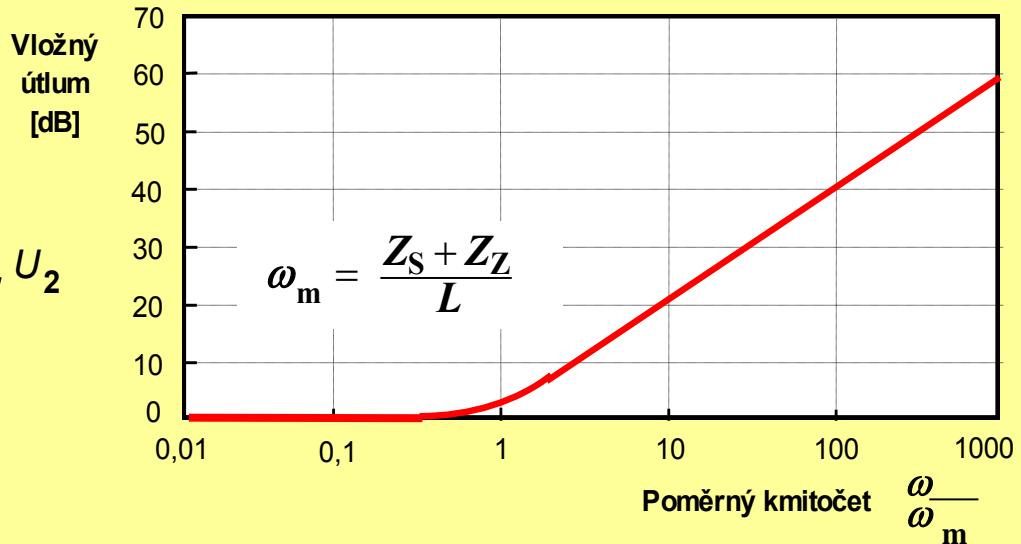
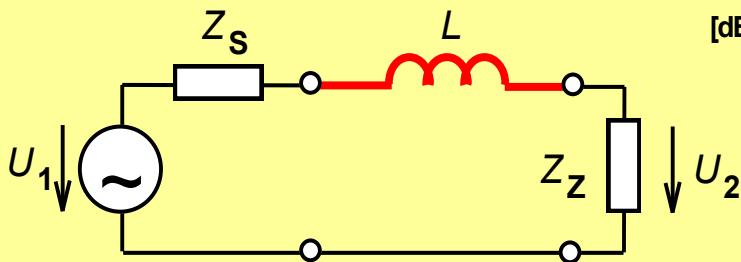
## vložný útlum VL



$$VL = 20 \cdot \log \frac{U_{20}}{U_2} \quad [\text{dB}]$$

$$VL[\text{dB}] = U_{20} [\text{dB}\mu\text{V}] - U_2 [\text{dB}\mu\text{V}]$$

# Odrošovací tlumivky

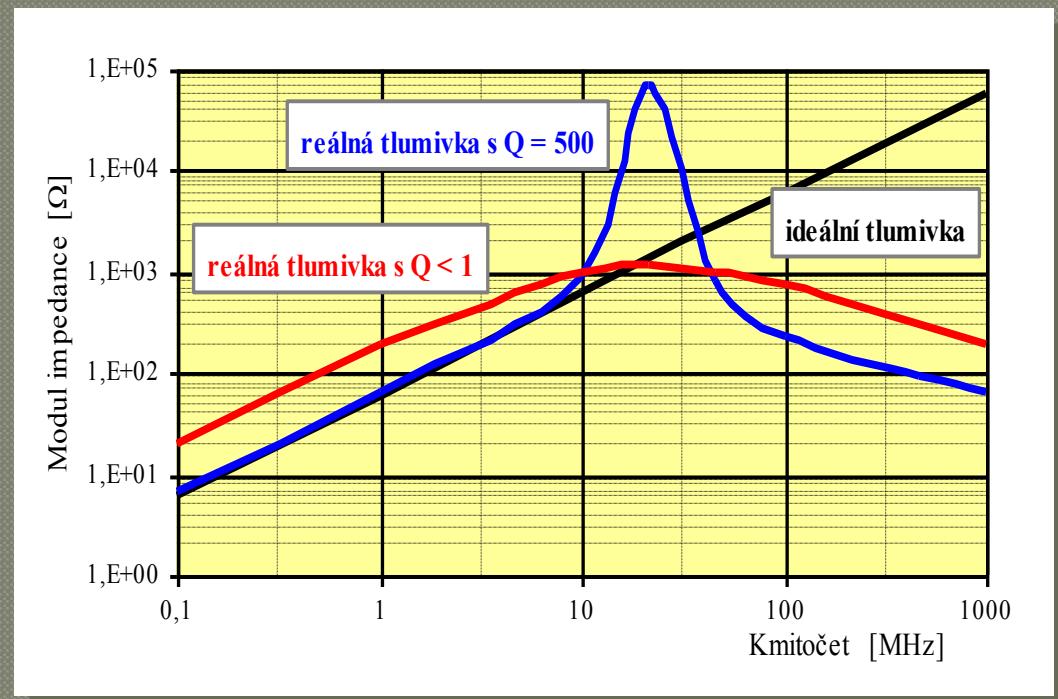
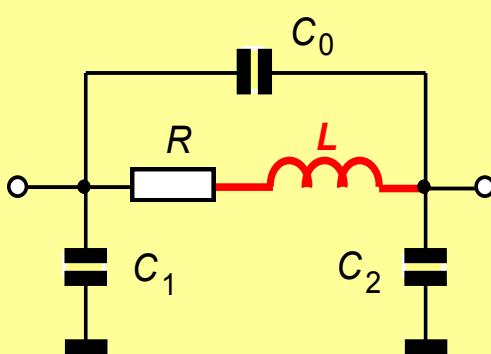


$$VL \approx 0 \quad [\text{dB}] \quad \text{pro} \quad \omega L \ll Z_s + Z_z$$

$$VL \approx 20 \cdot \log \frac{\omega L}{Z_s + Z_z} \quad [\text{dB}] \quad \text{pro} \quad \omega L \gg Z_s + Z_z$$

# Parazitní parametry odrušovací tlumivky

Náhradní schéma reálné  
odrušovací tlumivky



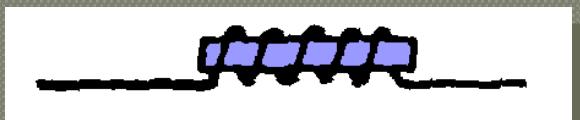
Kmitočtová závislost velikosti impedance  
reálné odrušovací tlumivky

## Základní požadavky na odrušovací tlumivky:

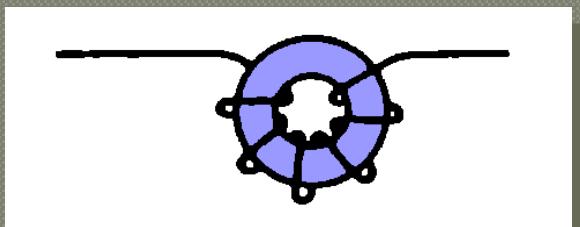
- **Velká indukčnost** (řádově mH) při malých rozměrech, malém počtu závitů, nízké hmotnosti a nízké ceně. Napěťový úbytek napájecího napětí 50 Hz na tlumivce je základním omezujícím faktorem počtu závitů tlumivky, a tedy hodnoty její indukčnosti.
- **Vysoký vlastní rezonanční kmitočet**, tj. minimální parazitní kapacity tlumivky.
- Mimo oblast síťových kmitočtů ( $100 \div 400$  Hz) musí mít tlumivka **co největší činné ztráty**, tedy co nejmenší činitel jakosti ( $Q < 1$ ). Typická hodnota vložného útlumu „síťové“ tlumivky činí  $15 \div 20$  dB na kmitočtu řádu 100 kHz.
- Tlumivka s feromagnetickým jádrem se nesmí přesycovat při pracovních proudech, pro něž je určena.
- Tvar a permeabilita magnetického obvodu jádra musí umožňovat dosáhnout **maximální indukčnosti** při minimálním počtu závitů.

## Druhy odrušovacích tlumivek

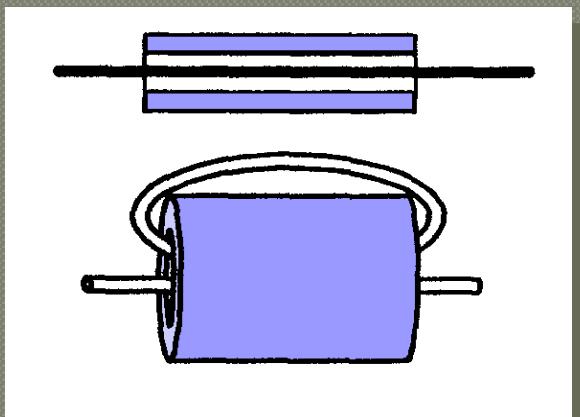
- a) **Tlumivky pro potlačení symetrické složky rušení** v napájecích obvodech, pro potlačení parazitních vazeb mezi signálovými a řídicími obvody, vysokofrekvenční blokovací tlumivky.



Odrušovací tlumivka na otevřeném feritovém jádru

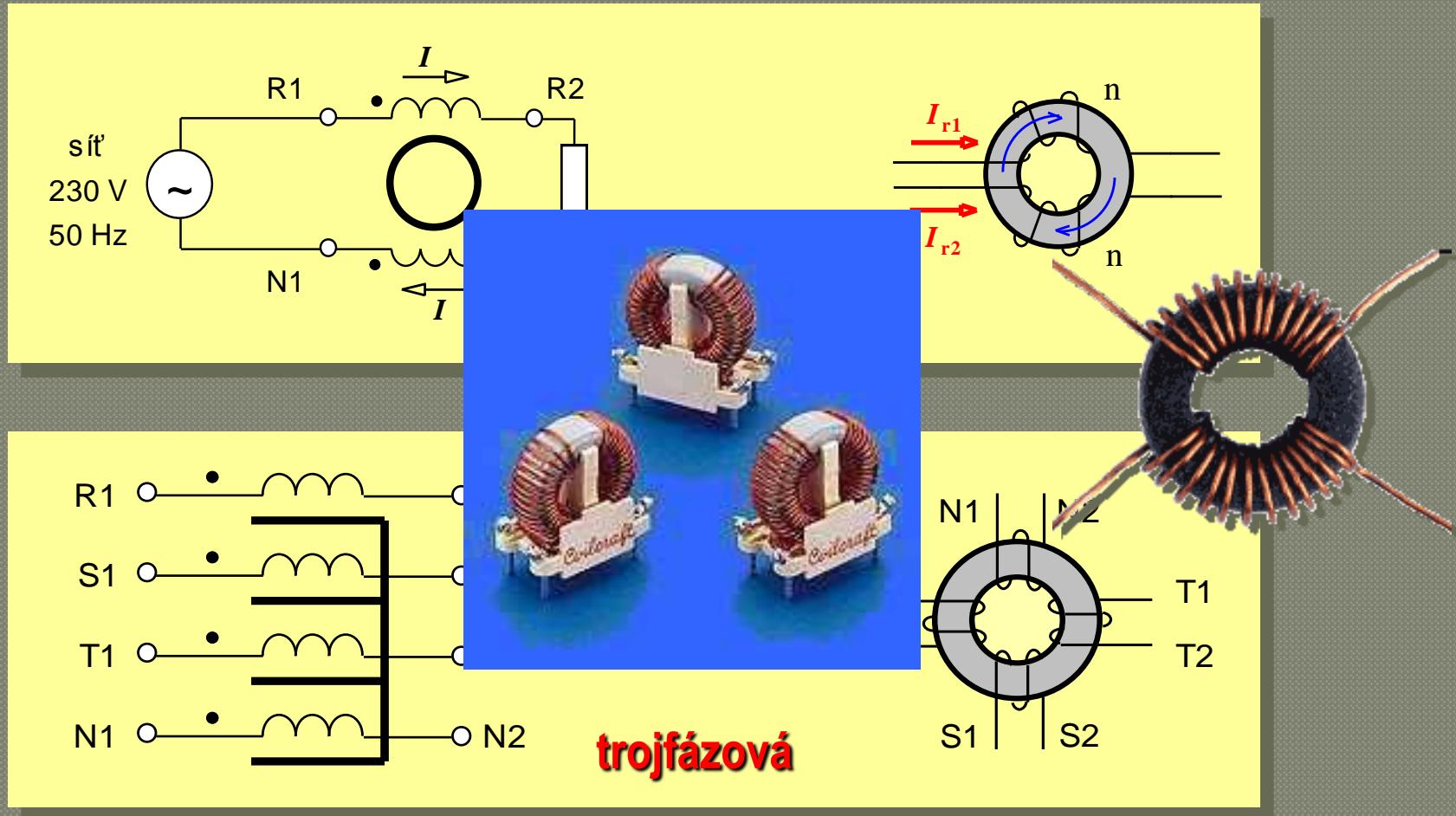


Odrušovací tlumivka na uzavřeném feritovém jádru

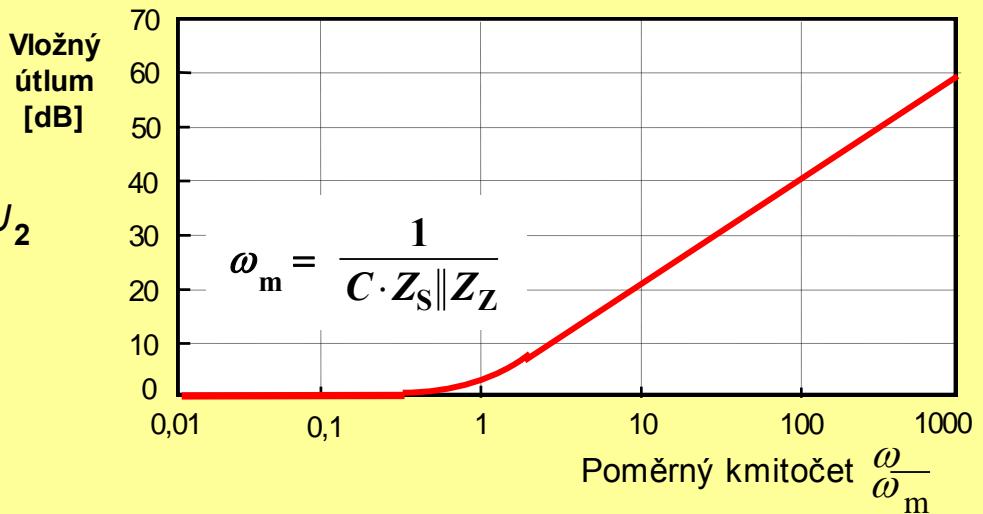
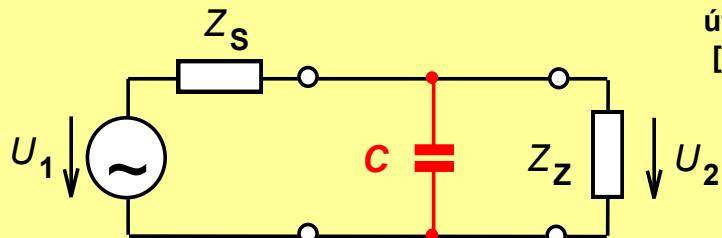


Odrušovací tlumivky pro vysoké kmitočty

b) Tlumivky pro potlačení nesymetrické složky rušení v napájecích obvodech, tzv. tlumivky s proudovou kompenzací.



# Odrušovací kondenzátory (kondenzátorové filtry)



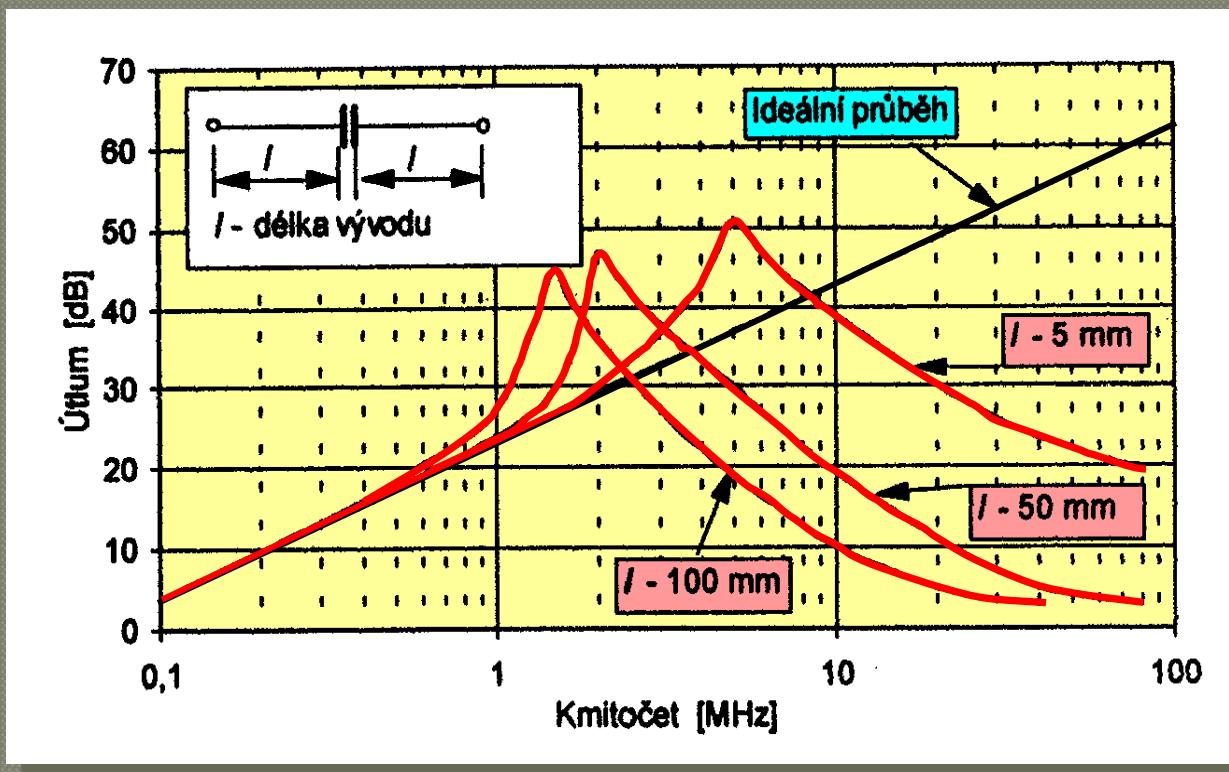
$$VL \approx 0$$

[dB] pro  $\omega C \ll 1/(Z_s \| Z_z)$

$$VL \approx 20 \cdot \log \left( \omega C \cdot \frac{Z_s \cdot Z_z}{Z_s + Z_z} \right)$$

[dB] pro  $\omega C >> 1/(Z_s \| Z_z)$

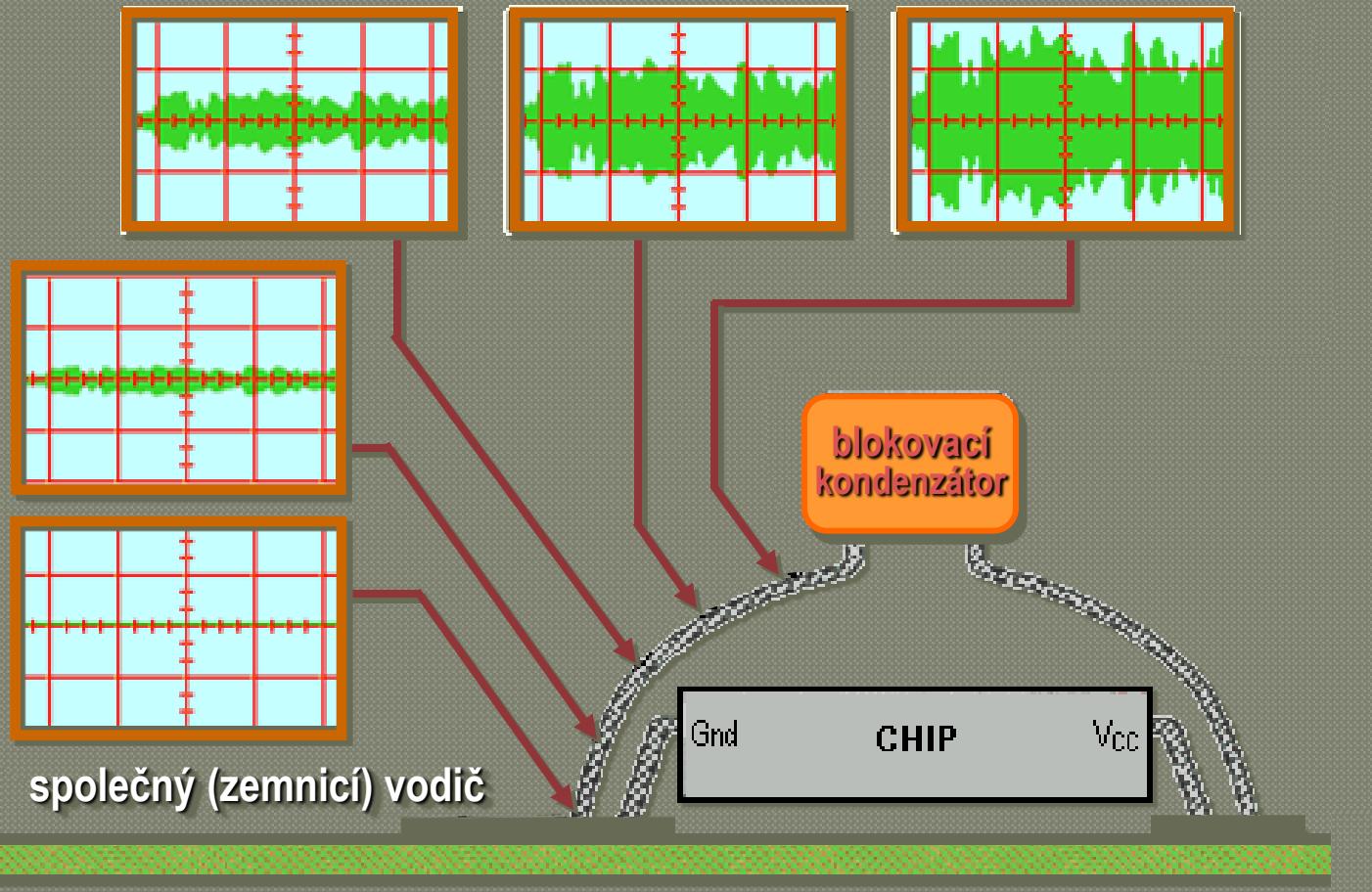
# Parazitní parametry odrušovacích kondenzátorů



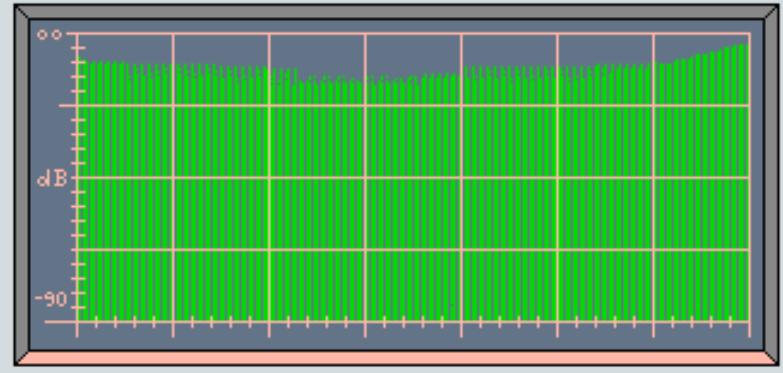
Vliv přívodů dvojpólového kondenzátoru 250 nF na hodnotu vložného útlumu

Přívod o délce 5 mm představuje indukčnost cca  $5 \div 10 \text{ nH}$

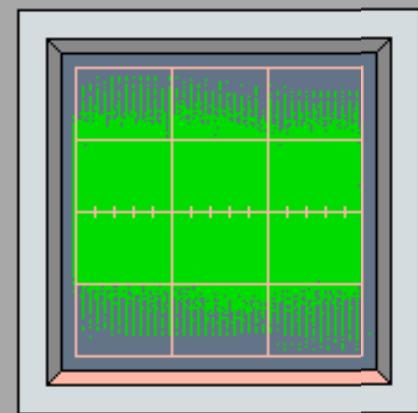
# Blokovací (oddělovací) kondenzátor (bypassing capacitor, decoupling capacitor)



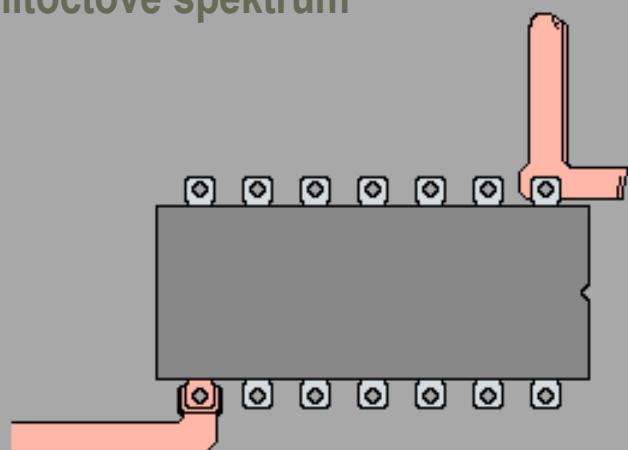
# Rušivé napětí (šum) na blokovacím kondenzátoru



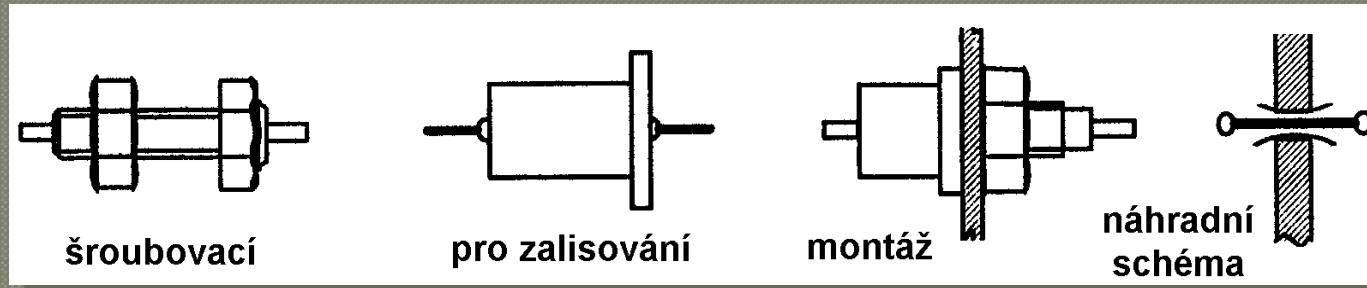
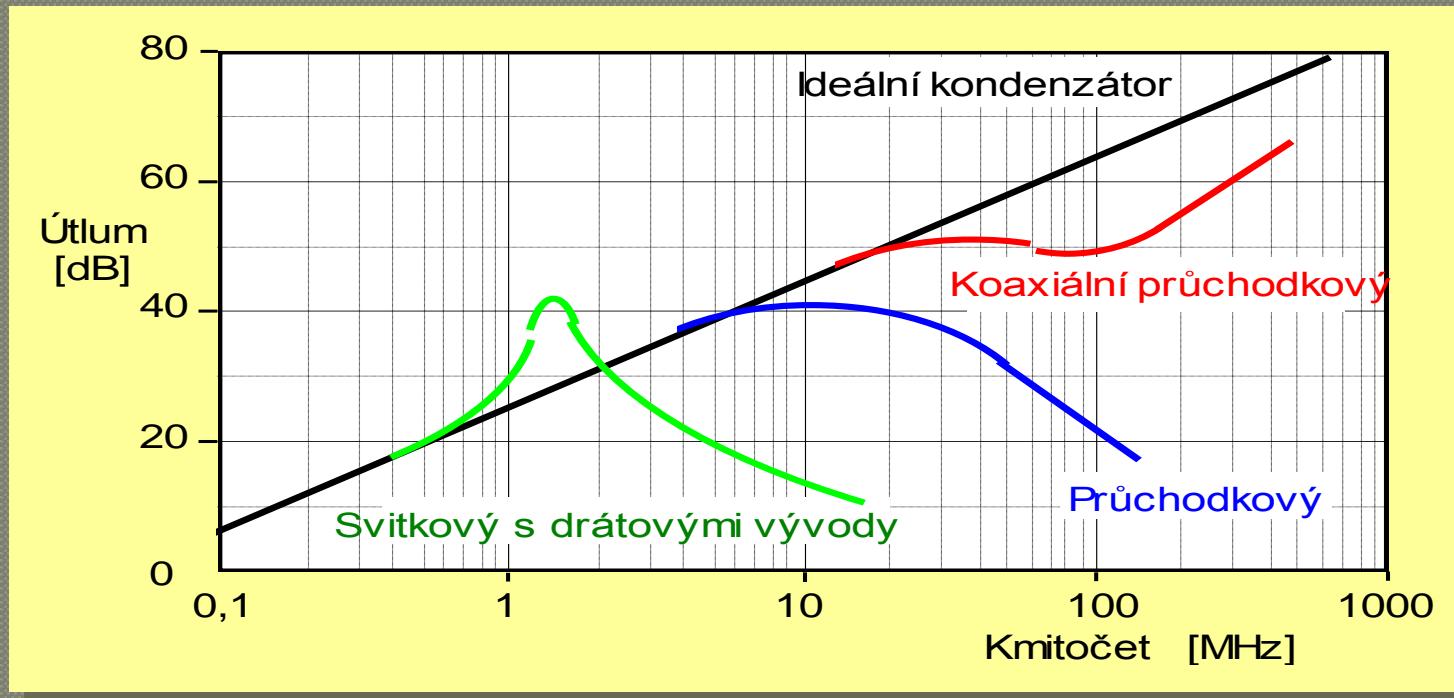
kmitočtové spektrum



časový průběh



# Kmitočtový průběh vložného útlumu různých kondenzátorů



**Typy a montáž průchodkových kondenzátorů**

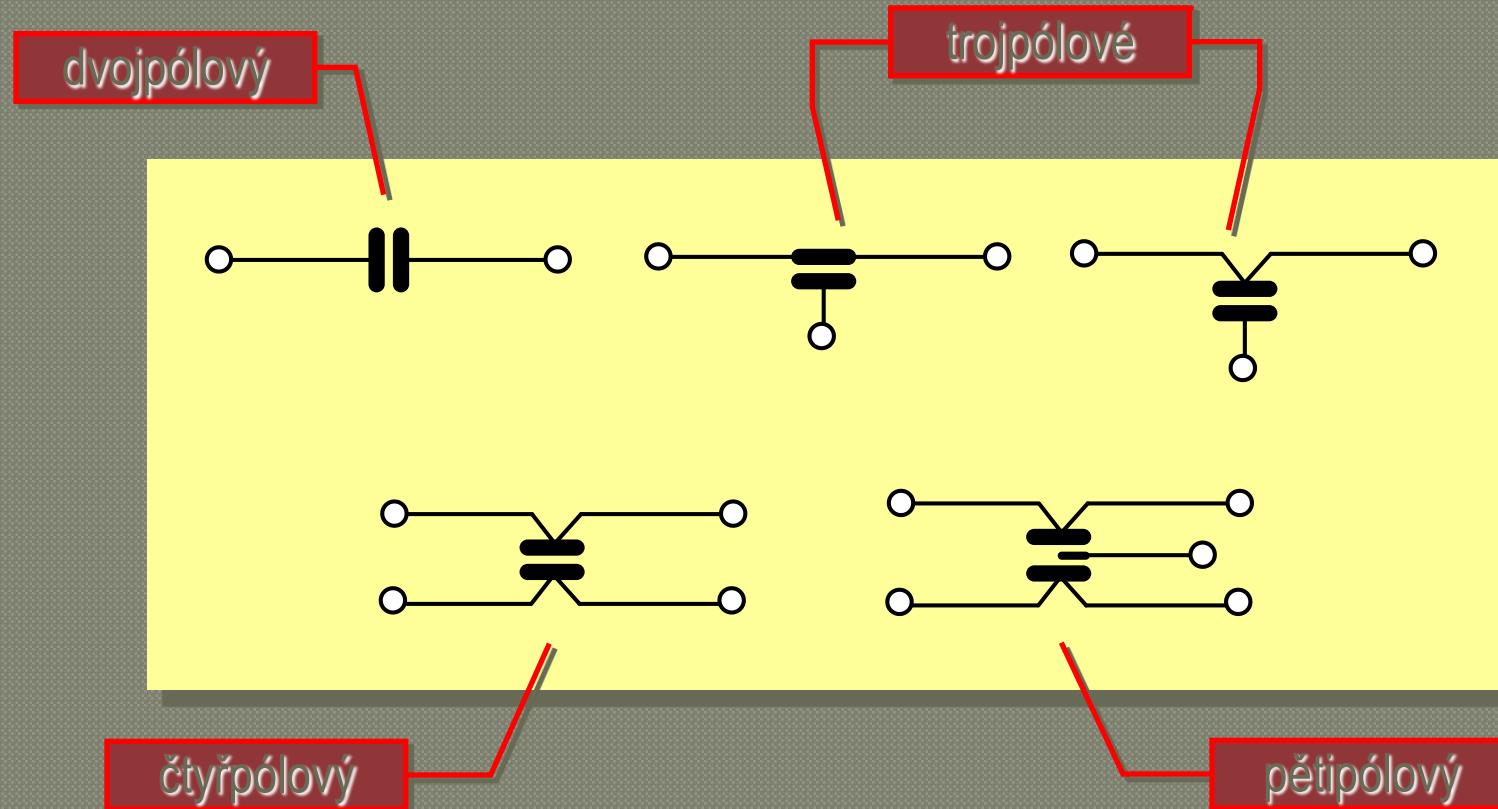
# Kapacita odrušovacích kondenzátorů

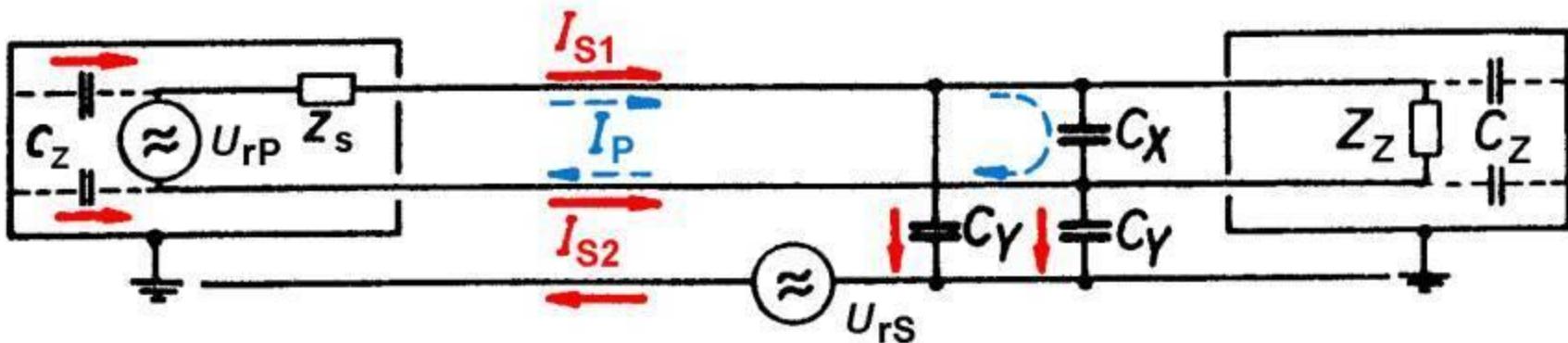
se volí v závislosti na kmitočtovém spektru rušení → → čím nižší dolní kmitočet potlačovaného kmitočtového pásmá, tím větší kapacita

Ohrušené kmitočtové pásno	Doporučené hodnoty odrušovacích kondenzátorů
10 kHz - 0,5 MHz	5 - 4 - 2 - 1 - 0,5 $\mu$ F
0,5 - 6 MHz	0,5 - 0,25 - 0,1 $\mu$ F
6 - 30 MHz	100 nF až 1000 pF
nad 30 MHz	návě než 1000 pF

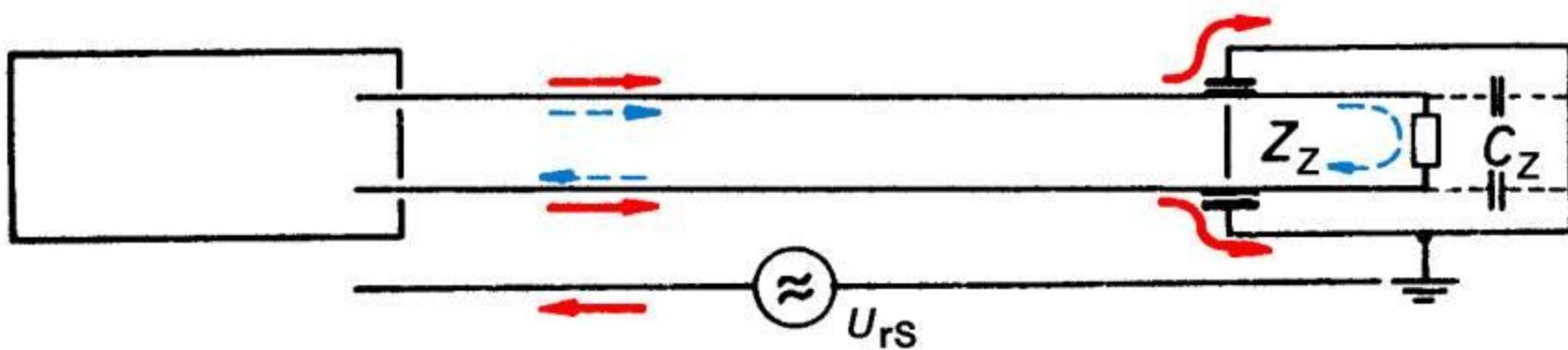
- **Kondenzátory třídy X** se používají tam, kde jejich případný průraz nemůže ohrozit lidský život.
- **Kondenzátory třídy Y (tzv. bezpečnostní)** se zapojují mezi fázový a ochranný vodič tam, kde je omezena pustná hodnota svodového pří- proudu.

# Konstrukční typy odrušovacích kondenzátorů a způsoby jejich použití

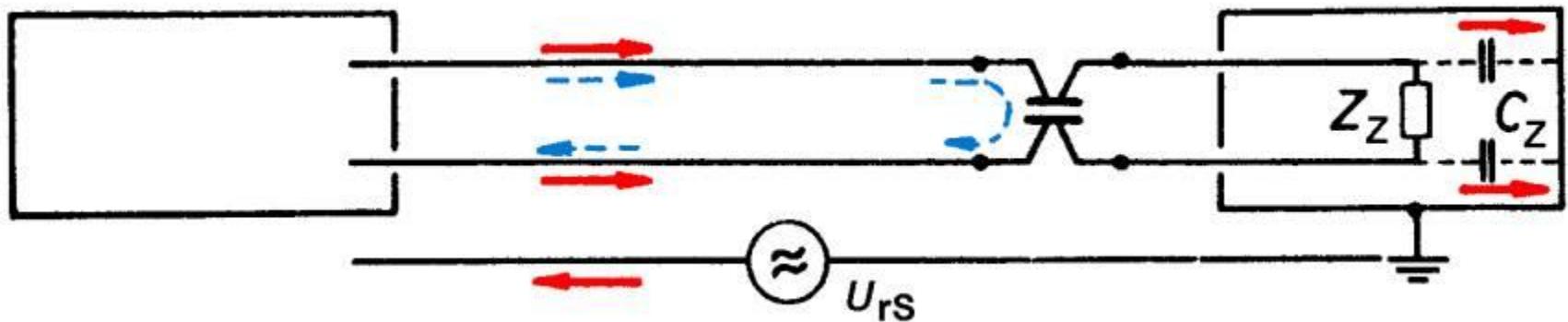




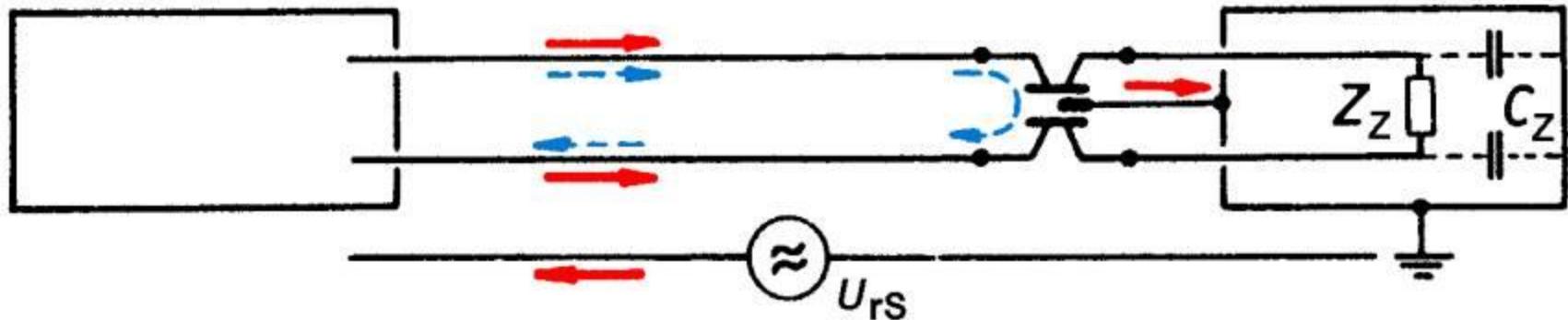
Potlačení protifázových rušivých proudů  $I_P$  pomocí dvojpólového kondenzátoru  $C_X$   
a soufázových rušivých proudů  $I_S$  pomocí dvojpólových kondenzátorů  $C_Y$



Potlačení soufázových rušivých proudů → pomocí trojpólových kondenzátorů



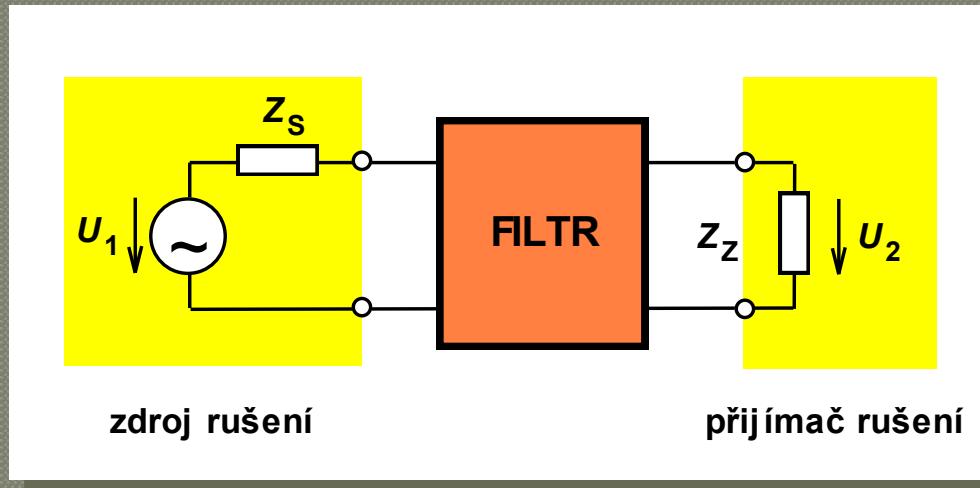
Potlačení protifázových rušivých proudů → pomocí čtyřpólového kondenzátoru



Potlačení protifázových rušivých proudů → a soufázových rušivých proudů →  
pomocí jediného pětipólového odrušovacího kondenzátoru

# Odrušovací filtry LC

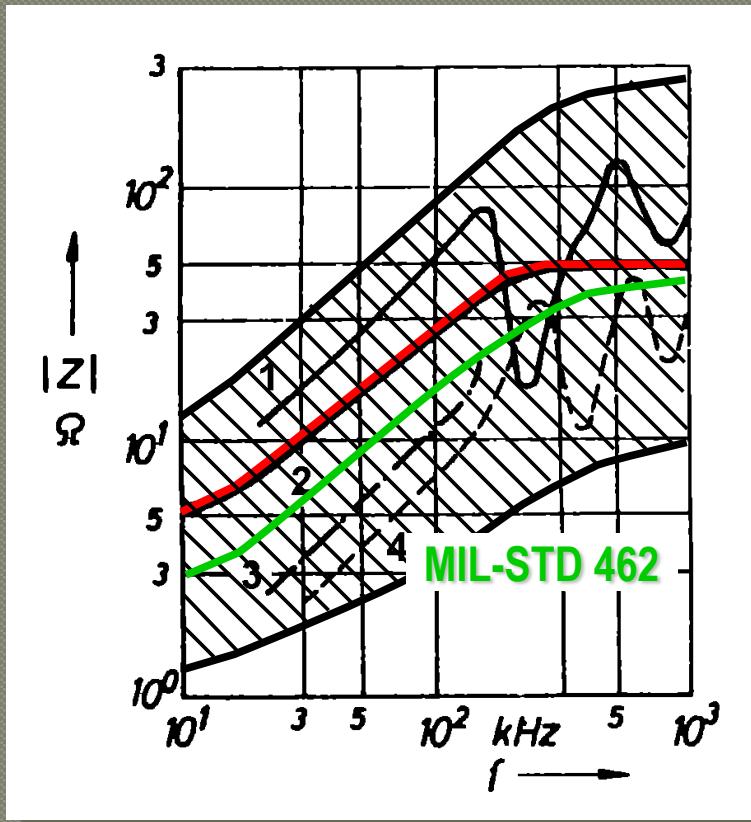
## Sítové (napájecí) odrušovací filtry



Vlastnosti filtru (velikost **vložného útlumu**) závisí na jeho vlastních parametrech i na impedančních parametrech zdroje a přijímače rušení (impedance napájecí sítě  $Z_s$  a napájecího vstupu zařízení  $Z_z$ ). Neurčitost těchto impedancí působí značné obtíže při návrhu a provozu síťových odrušovacích filtrů.

# Impedance energetické napájecí sítě

silně závisí na typu a provedení sítě a značně se mění v závislosti na kmitočtu v širokém rozsahu od zlomků  $\Omega$  až po stovky  $\Omega$ . Je hlavním zdrojem neurčitosti při provozu filtrů.



- 1 - venkovní síť
- 2 - průběh dle normy CISPR
- 3 - průmyslová síť
- 4 - kabelová zemní  
rozvodná síť

---

[1] HABIGER, E. *Elektromagnetische Verträglichkeit*. Hüthig Buch Verlag, Heidelberg 1992

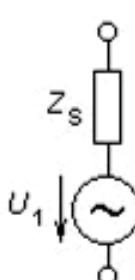
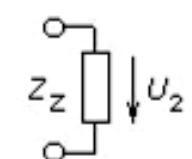
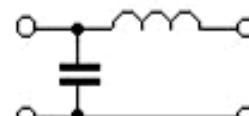
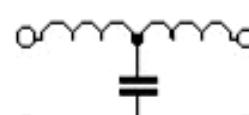
## Další problémy návrhu síťových odrušovacích filtrů

- Na tlumivkách filtru (bez proudové kompenzace) nesmí vzniknout větší úbytek napájecího napětí 50 Hz než  $1\div 2\%$  jmenovité hodnoty ➔ **omezení celkové velikosti indukčnosti tlumivek shora.**
- Parazitní vlastnosti tlumivek a kondenzátorů omezují kmitočtové pásmo a velikost útlumu filtru. Vlivem parazitní indukčnosti kondenzátorů a parazitní kapacity tlumivek se původní dolní propust mění na horní propust, a tím se **rušení na vysokých kmitočtech zhorší**.
- Odrušovací filtr na napájecím vstupu zařízení nesmí zhoršit provoz zařízení ani napájecí sítě nebo ohrozit jejich správnou činnost.
- Ekonomické a konstrukční otázky ➔ cena filtru, rozměry a váha. Všechny tyto veličiny by měly být minimalizovány.

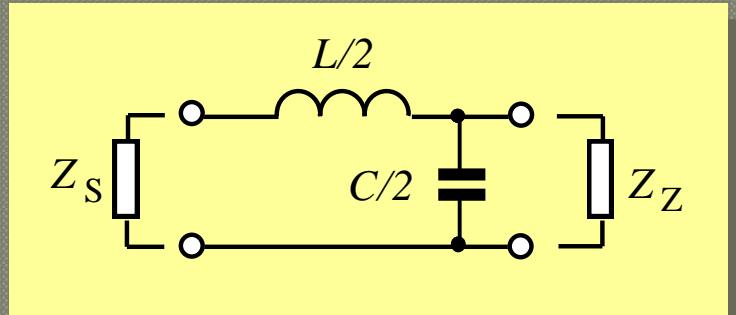


**výpočet síťového odrušovacího filtru má vždy spíše jen orientační charakter**

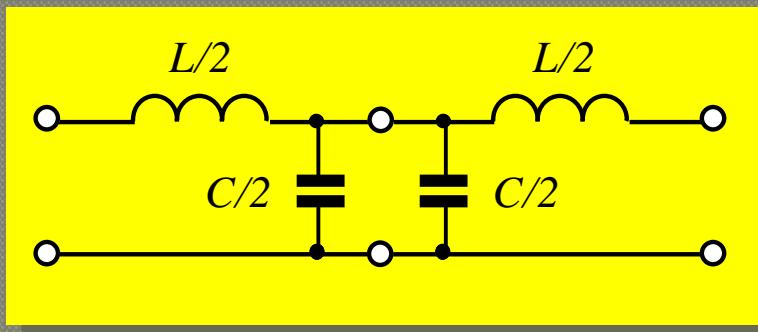
# Volba základní struktury síťového filtru podle velikostí zátěžových impedancí $Z_s$ a $Z_z$

Síť	Impedance sítě	Struktura základního článku filtru	Impedance zátěže	Zátěž
	nízká		vysoká	
	vysoká		nízká	
	neznámá, asi vysoká		neznámá, asi vysoká	
	neznámá, asi nízká		neznámá, asi nízká	

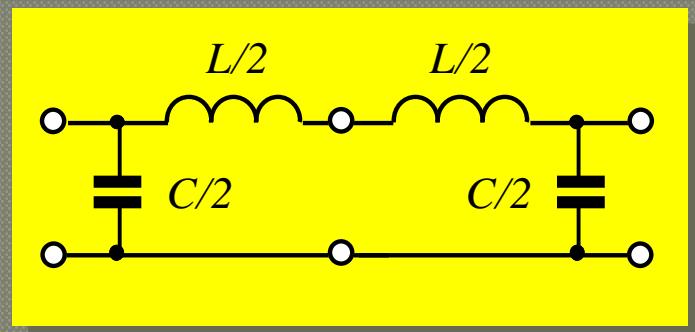
# Základní struktury síťových odrušovacích filtrů LC



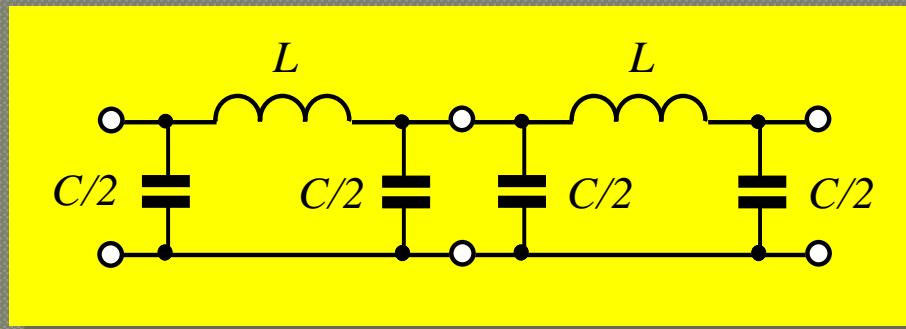
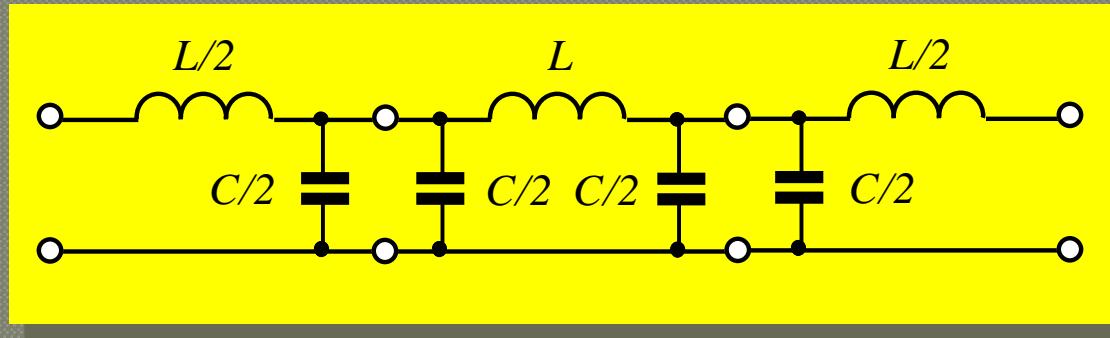
Výchozí půlčlánek L typu dolní propust



Sestavení základního článku T

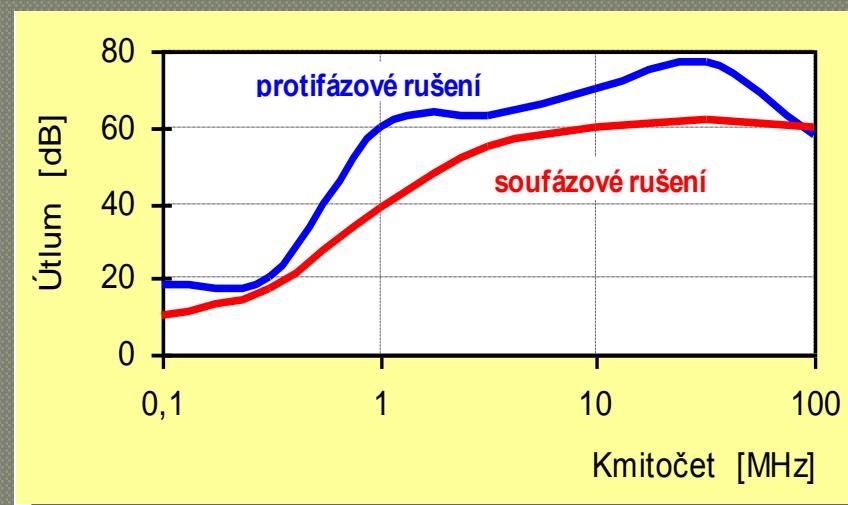
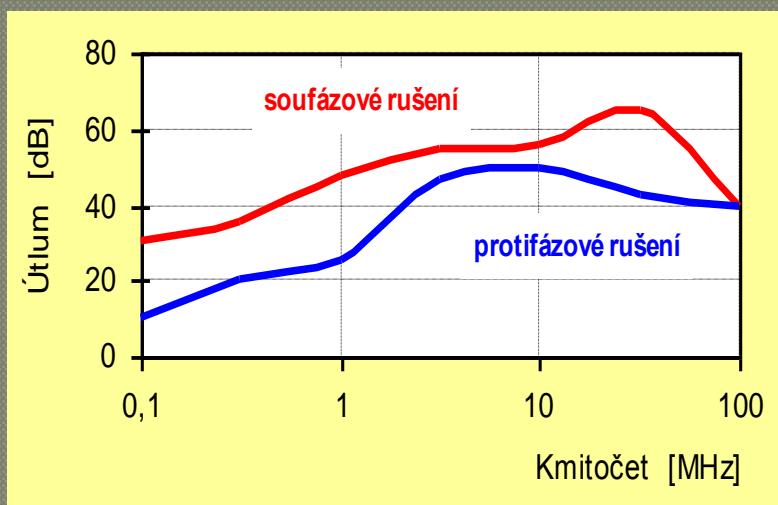
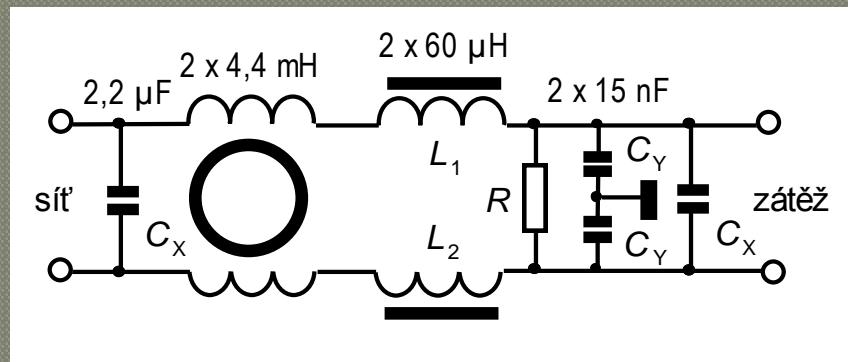
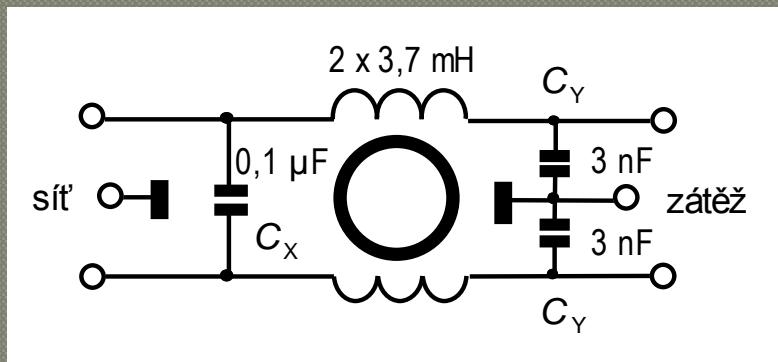


Sestavení základního článku II

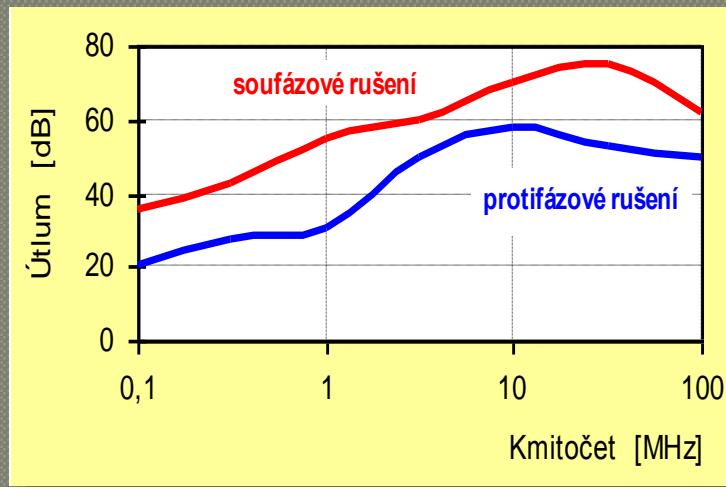
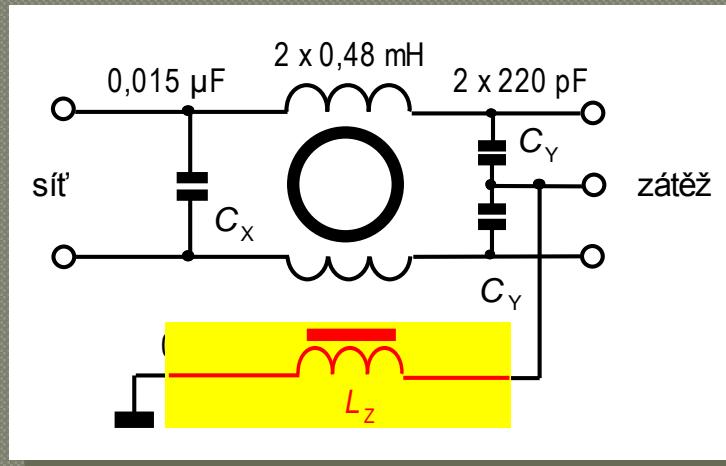


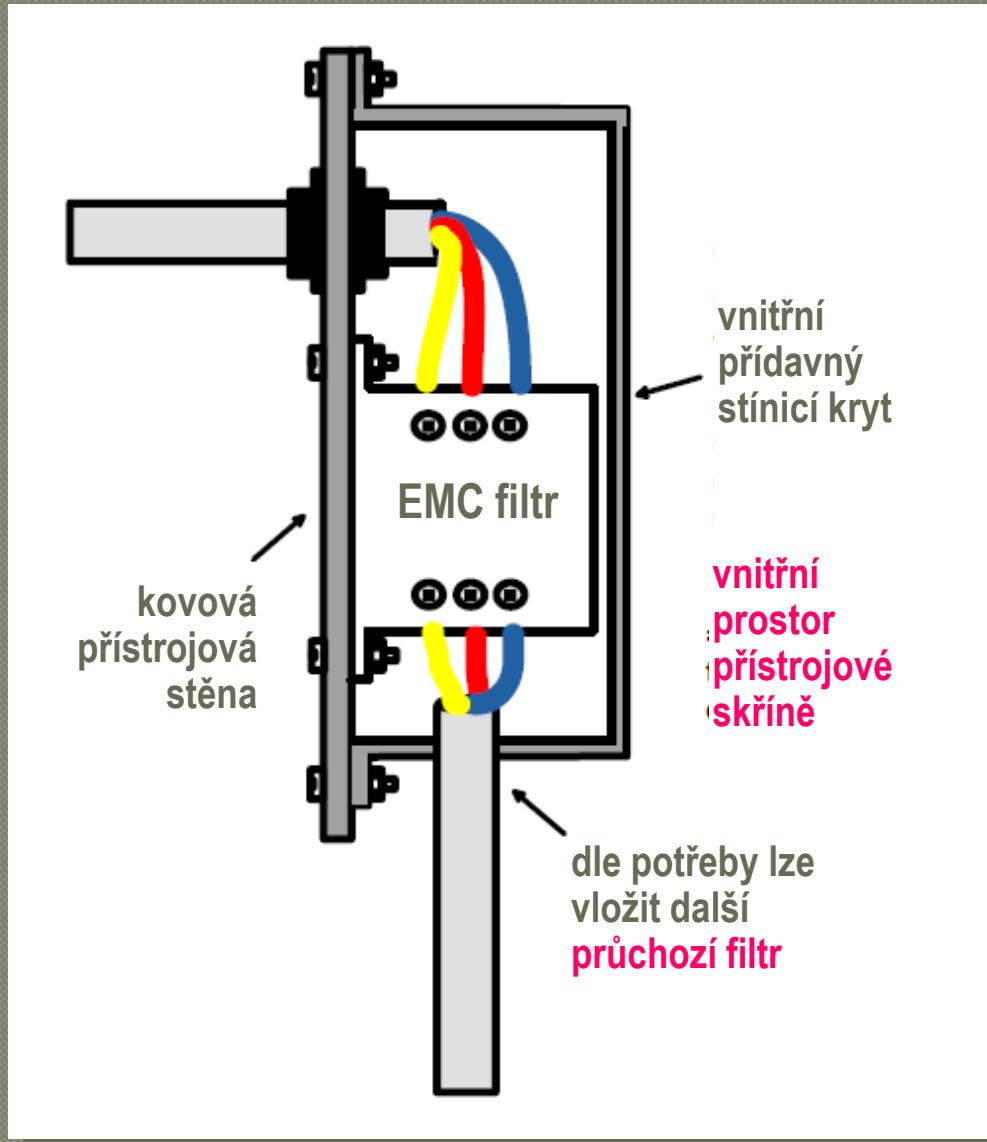
Sestavení dvojitých článků  $\Gamma$  a  $\Pi$

# Příklady zapojení komerčních odrušovacích síťových filtrů



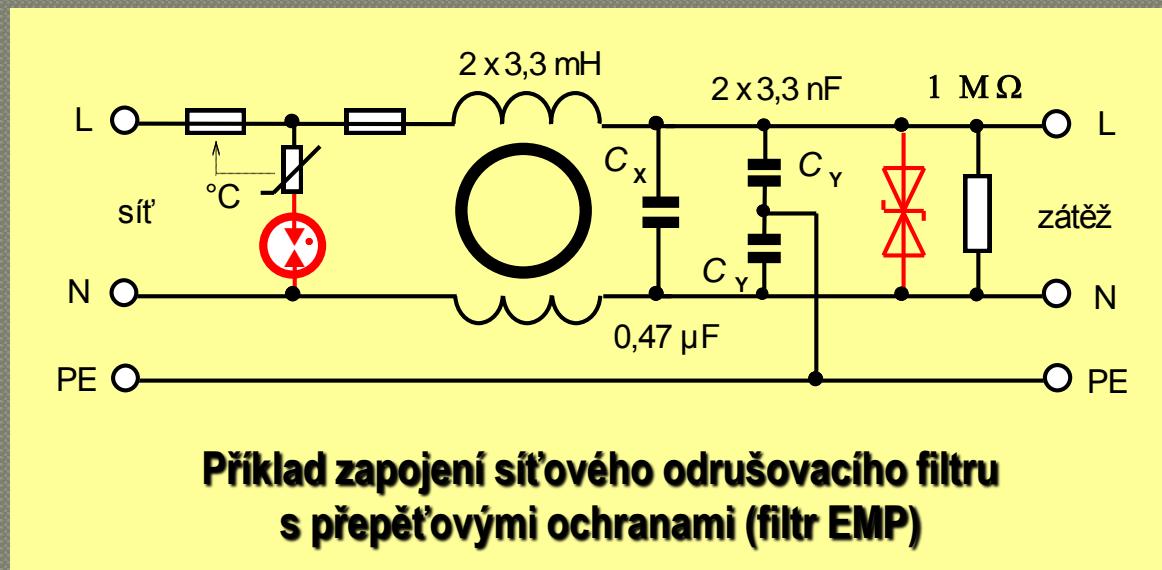
# Odrušovací filtr se zemní tlumivkou



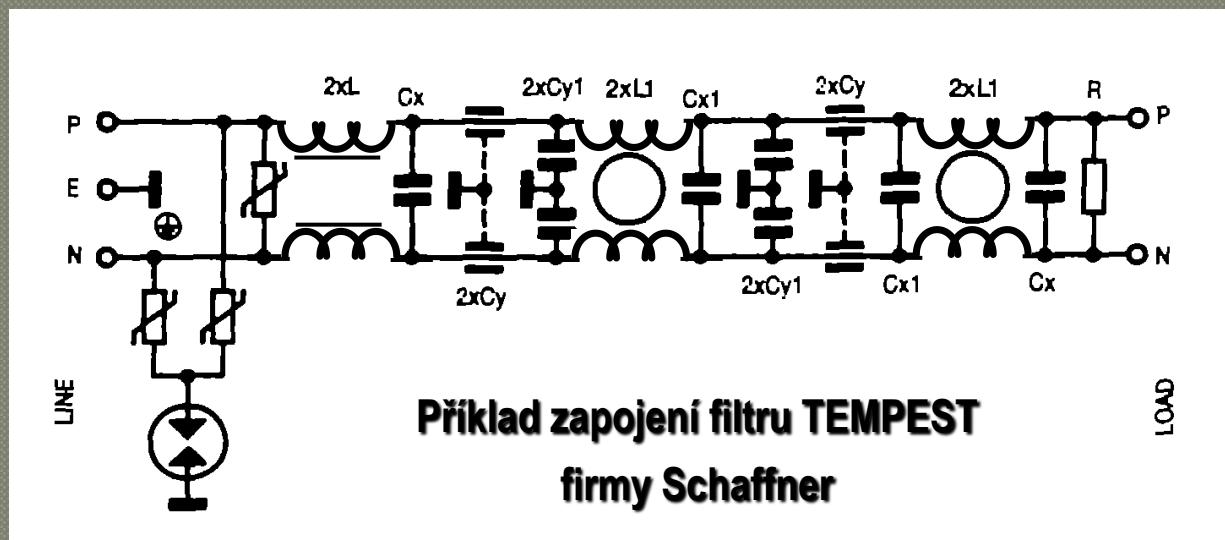


# Speciální druhy odrušovacích filtrů

- **Filtry NEMP (LEMP), filtry EMP (RFI / EMI Filters)** pro ochranu zařízení proti působení rušivých impulzů velké intenzity. Filtr EMP má na vstupu zapojeny přepěťové ochranné prvky (bleskojistky, varistory, ochranné diody aj.).

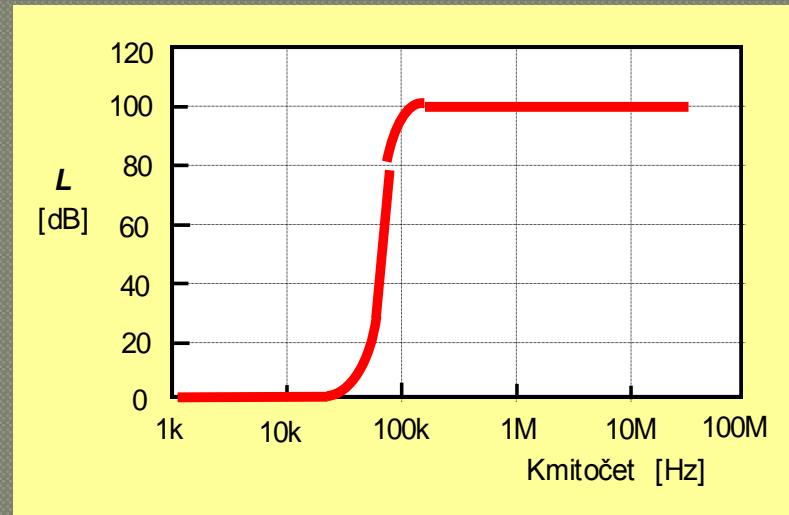
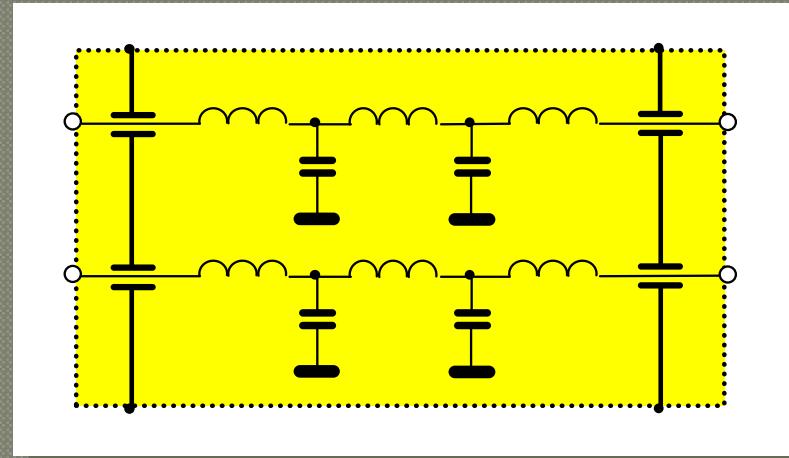
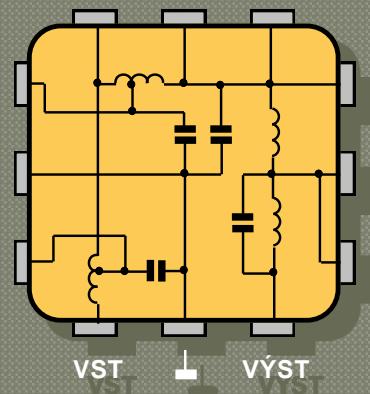


- **Filtry TEMPEST** (**T**emporary **E**manation and **S**purious **T**ransmission – **přechodné úniky a nepravé přenosy**). Velmi jakostní parametry: vysoký útlum 80÷100 dB v širokém kmitočtovém rozsahu od 10 kHz do několika GHz. V USA je jako TEMPEST označován celý národní program na ochranu počítačů a jejich periférií před nežádoucím odposlechem dat.

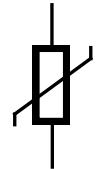


- **Datové filtry (Data - Line Filters)**

k omezení rušivých signálů na datových a signálových vedeních. Datové filtry pracují v přizpůsobených systémech ( $Z_s = Z_z$ ) a propouštěné užitečné signály bývají značně širokopásmové. Obvyklým požadavkem je proto velká strmost jejich útlumové charakteristiky mezi propustným a nepropustným pásmem.



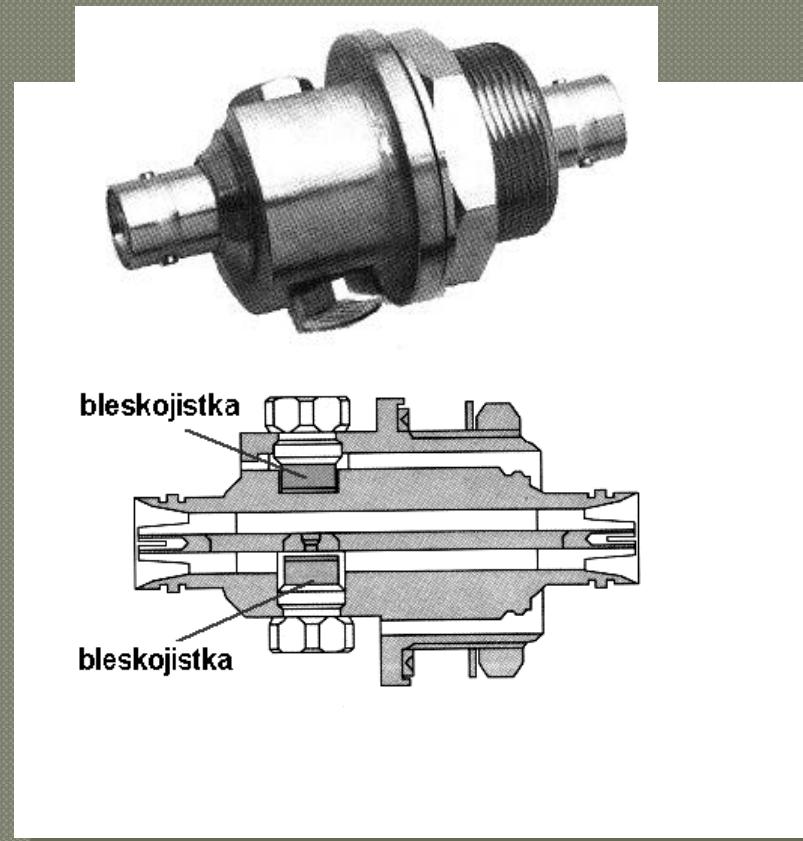
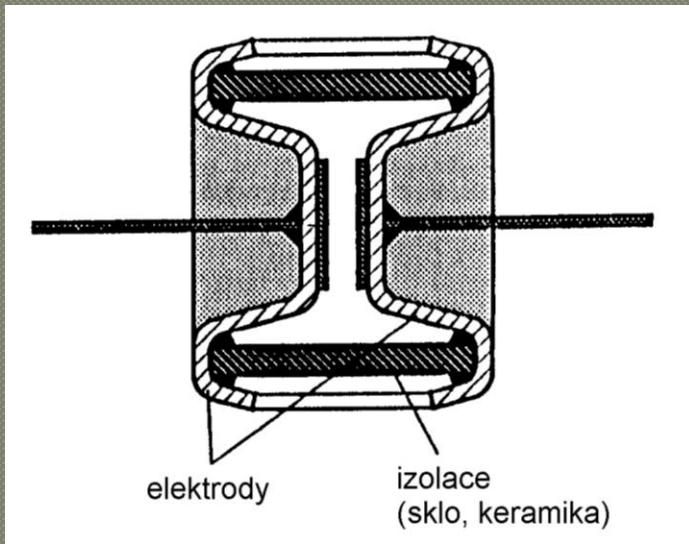
# Přepěťové ochranné prvky

Název	Plynem plněné bleskojistky (výbojky)	Varistory (Voltage Dependent Resistors – VDR)	Klasické Zenerovy diody	Supresorové diody (Transient Absorbing Zener – TAZ diody)
Schematická značka	 			
Ochranné napětí [V]	100 ÷ 12 000	6 ÷ 2 000	2,4 ÷ 200	6 ÷ 440
Maximální proud po dobu 1 ms [A]	500	120	10	200
Maximální absorbovaná energie [J]	60	2 000	0,1	1
Přípustné výkonové zatížení [W]	800	2	50	5
Vlastní kapacita [pF]	0,5 ÷ 10	40 ÷ 40 000	5 ÷ 15 000	300 ÷ 15 000
Doba reakce [ns]	> 1 000	25	1	0,01
Druh ochrany	hrubá	hrubá, jemná	jemná	jemná

## Hrubé přepěťové ochrany

**Vzduchové jiskřiště** k ochraně proti napětím od 1 kV do několika jednotek MV. Je tvořeno dvěma elektrodami ve vzduchu, mezi nimiž při přepětí dochází k výboji. Základní nevýhodou je nízká reprodukovatelnost procesu vzduchového výboje.

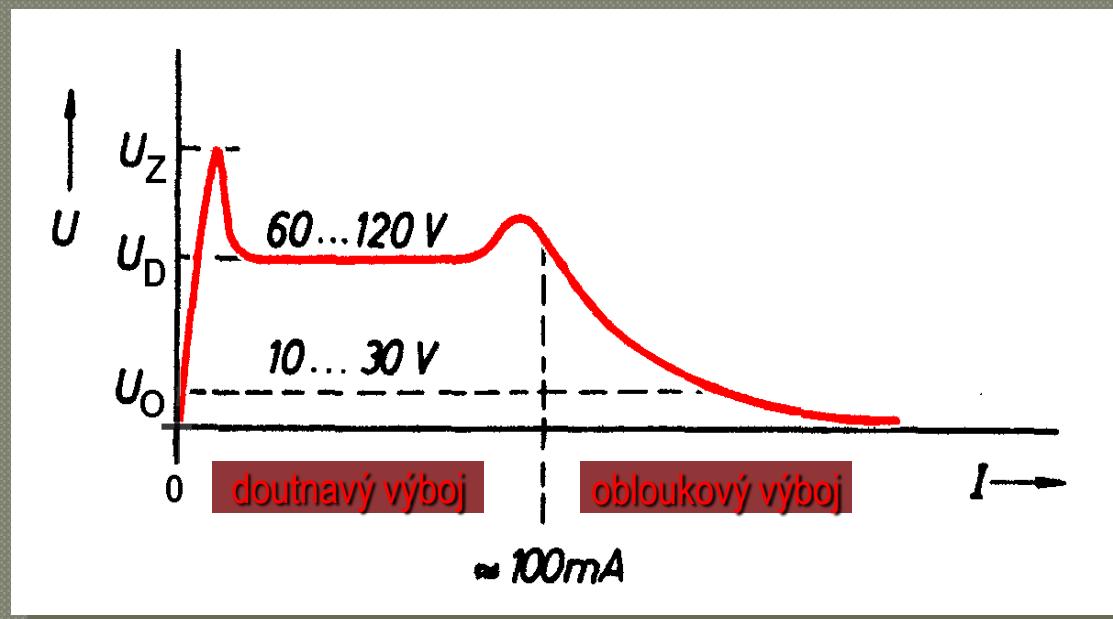
### Obvyklá konstrukce plynem plněných výbojek



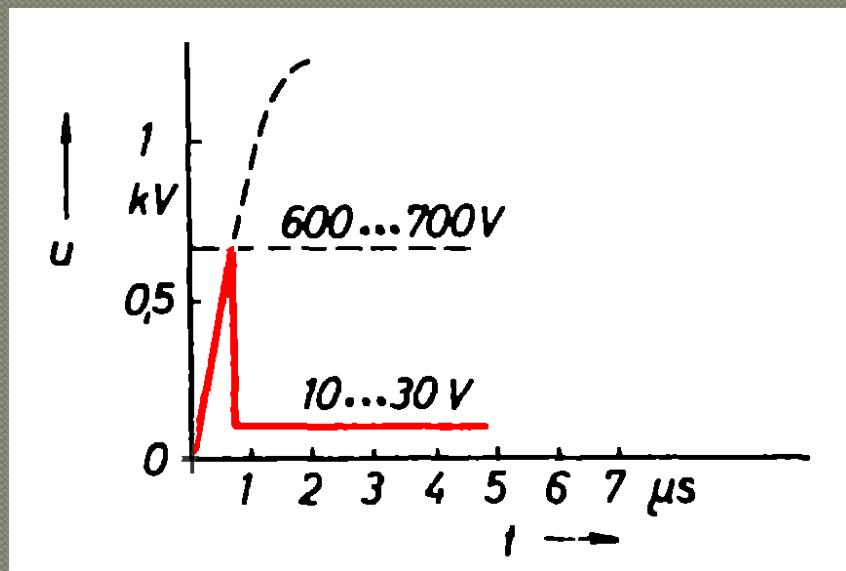
- **Plynem plněné výbojky (bleskojistky)** s elektrodami v keramickém či skleněném pouzdro naplněném vzácným plynem (argon, neon) pod slabým tlakem. Vysoká přesnost a reproducovatelnost výboje.

## Statická V-A charakteristika bleskojistiky

Izolační odpor mezi elektrodami v „nezapáleném“ stavu je větší než  $10^{10} \Omega$ , vlastní kapacita bleskojistiky je menší než 10 pF. Přesáhne-li napětí hodnotu tzv. **zápalného napětí  $U_Z$**  (desítky V až několik kV), dojde k „zapálení“ výbojky a její odpor prudce klesne až o deset řádů.



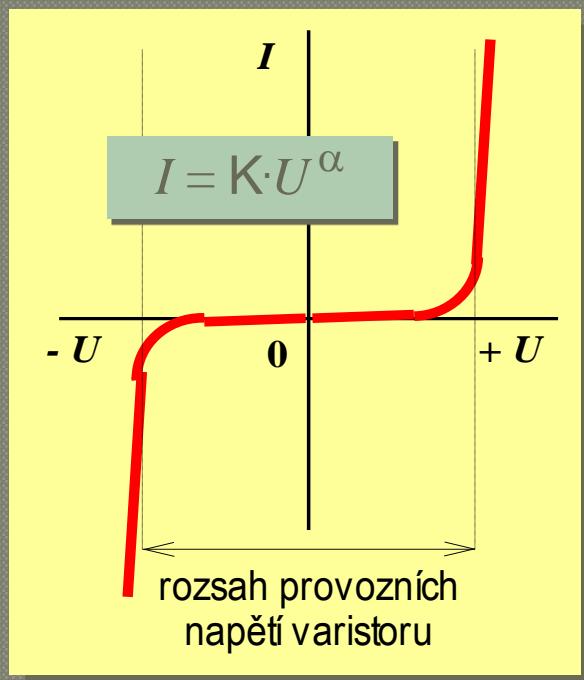
**Velikost zápalného napětí  $U_z$**  bleskojistky závisí silně na strmosti časového nárůstu přicházejícího napěťového impulzu  $du/dt$ . **Statické zapalovací napětí  $U_{Zstat}$**  je definováno pro nárůst napětí pomalejší než 100 V/s a jeho typické hodnoty jsou cca 90 ÷ 1200 V. **Dynamické zapalovací napětí** bleskojistky je definováno pro nárůst napěťového impulzu  $du/dt = 1 \text{ kV}/\mu\text{s}$ . Jeho hodnota bývá v rozmezí 600 ÷ 700 V. Při velmi strmých impulzech (< 30 ns) plynová bleskojistka nezapálí.



Průběh napětí na bleskojistce při působení rychlého přepěťového impulzu

# Jemné přepěťové ochrany

- **Varistory (Variable Resistors)**, **odpory VDR (Voltage Dependent Resistors)** jsou nelineární napěťově závislé polovodičové rezistory se symetrickou A-V charakteristikou. Varistory se vyrábějí ze ZnO (**MOV – Metal Oxide Varistor**) nebo z SiC.



$K$  závisí na geometrii varistoru

$\alpha$  pro SiC je  $\alpha = 3 \div 7$ , pro ZnO  $\alpha = 25 \div 40$ .

**Rozsah provozních napětí varistoru** (velikost ochranného napětí varistoru) činí jednotky V až jednotky kV.

**Odpor varistoru** je  $10^{12} \Omega$  (v rozsahu pracovních napětí) a  $1 \div 10 \Omega$  mimo tento rozsah. Varistorem může protékat proud až desítek A.

**Reakční doba varistoru** činí nízké desítky ns.

**Kapacita varistoru** je  $0,4 \div 40 \text{ nF}$ .

- **Zenerovy diody** s hodnotami Zenerova, tj. ochranného napětí od cca 3 V do 200 V.
- **Supresorové diody, TAZ diody** (*Transient Absorbing Zener*), **Transil** (*Thomson*) nebo **Transzorb** (*General Semiconductor*) jsou speciální křemíkové lavinové diody s vyšší proudovou zatížitelností v závěrné oblasti a kratší reakční dobou. Jsou pouzdřeny jako páry diod zapojených antisériově proti sobě; vzniká bipolární součástka se symetrickou A-V charakteristikou podobnou charakteristice varistoru.

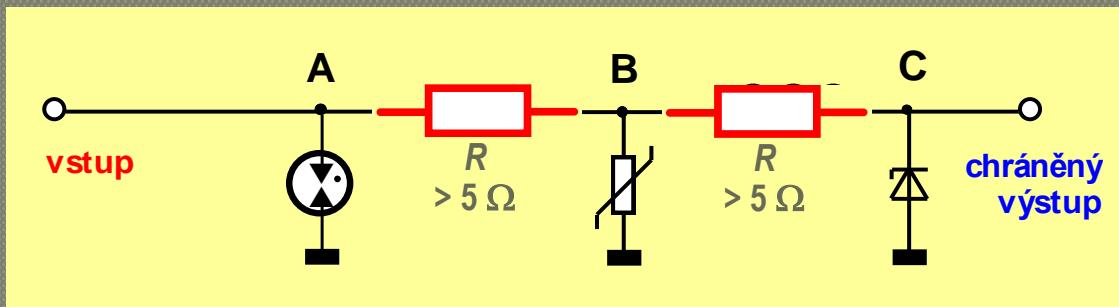
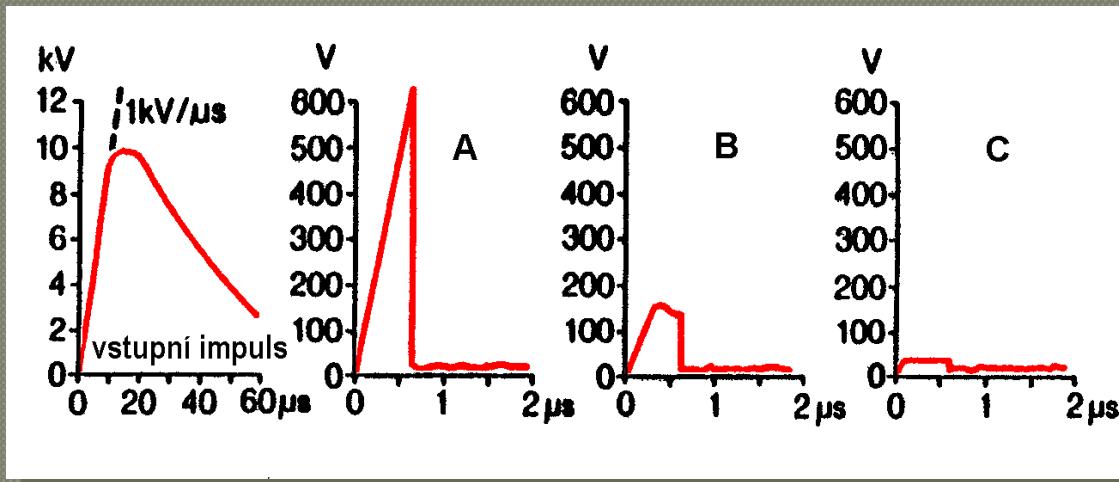
**Rozsah ochranných napětí** je obvykle 6 ÷ 440 V.

**Vlastní kapacita** až 15 000 pF.

Velmi krátká **reakční doba** jednotky až desítky ps.

# Obvodové zapojení přepěťových ochran

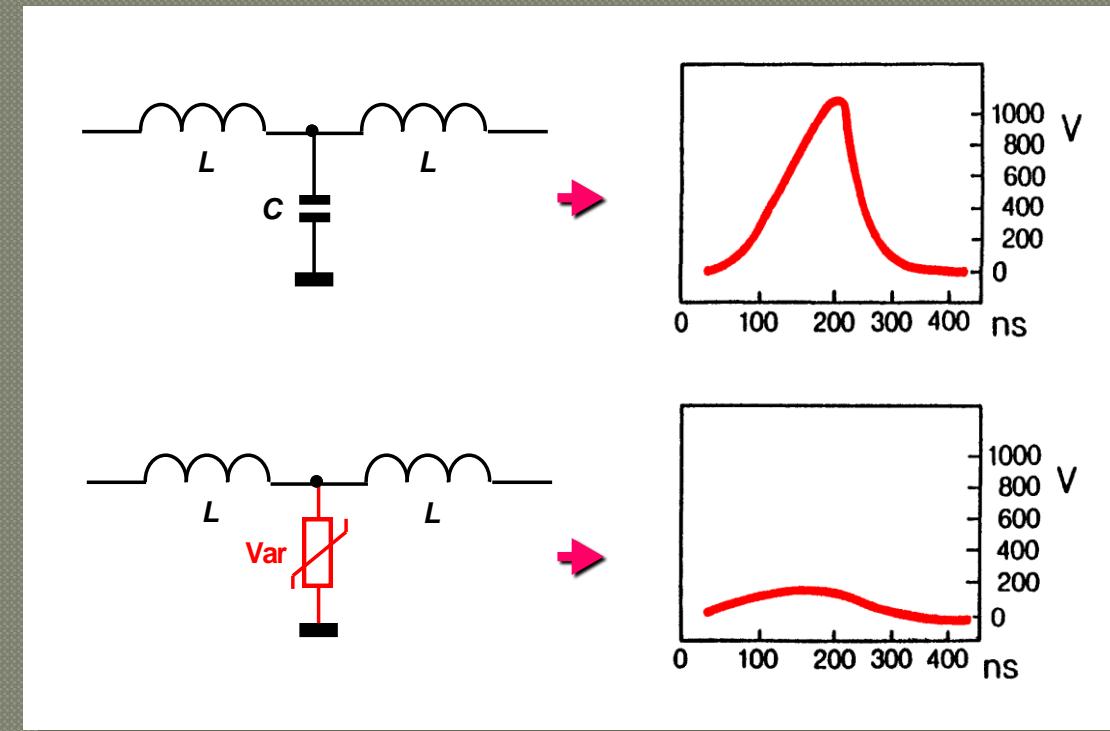
Nejčastěji jako **kombinované ochrany** tvořené kaskádním zapojením několika typů ochranných prvků do společného vedení.



# Vlastní kapacita prvků přepěťových ochran

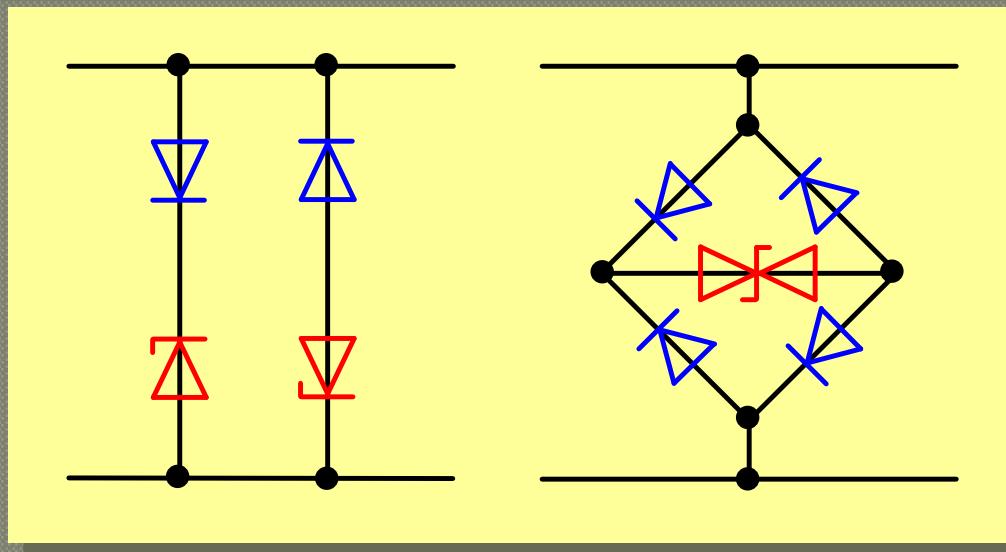
působí:

- **pozitivně** v nízkofrekvenčních odrušovacích systémech (např. v napájecích odrušovacích filtroch) jako součást filtračních kapacit filtru.



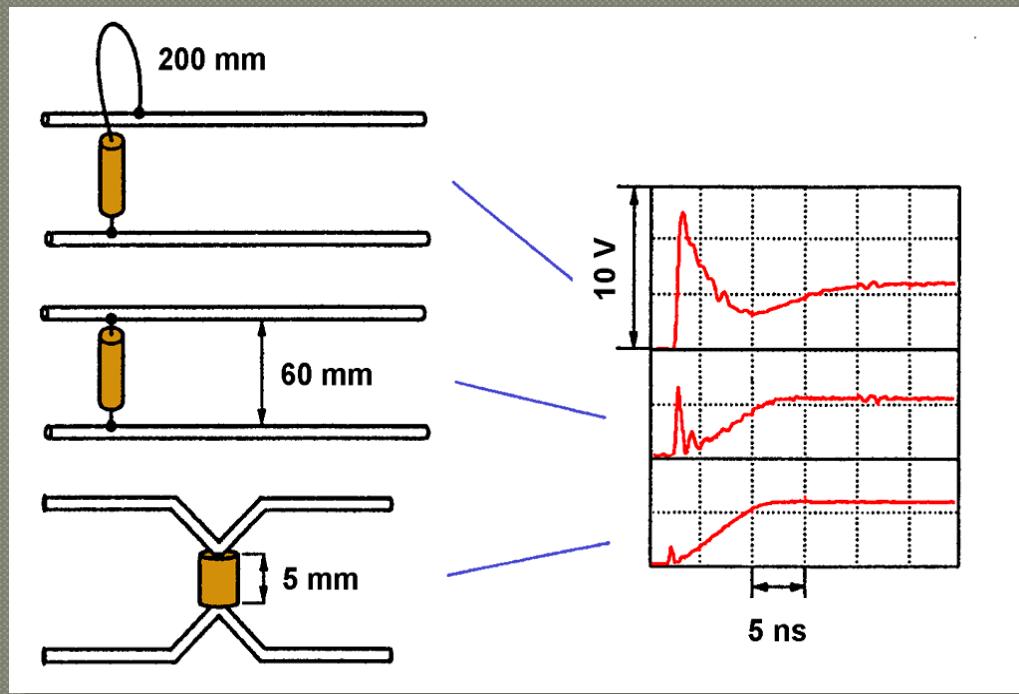
- **negativně** ve vysokofrekvenčních sdělovacích či datových systémech, kde velká hodnota kapacity těchto prvků způsobuje nepřijatelně vysoký útlum užitečných vysokofrekvenčních signálů.

Zmenšení kapacity přepěťové ochranné diody pomocí rychlých (nízkokapacitních) spínacích diod



# Vliv délky přívodů přepěťové ochrany

Vlivem indukčnosti dlouhých přívodů a vlastní kapacity ochranného prvku vzniká ostrý (**derivační**) napěťový impulz, jehož velikost může být větší než je výsledná hodnota omezovaného napětí na přepěťovém prvku.



Napětí na výstupu Zenerovy diody 3V3 s různou délkou drátových přívodů jako odezvy na vstupní napěťový skok o velikosti 10 V