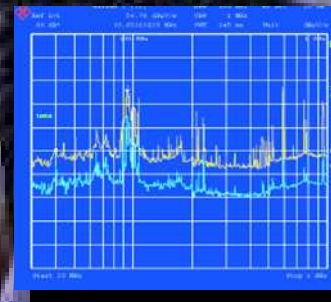


Elektromagnetická kompatibilita



Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

je schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), **a současně** svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. neprodukovat signály, jež by byly nepřipustně rušivé pro jiná zařízení.

EMC

biologických systémů

- EM pozadí životního prostředí
- vliv EM polí na živé organizmy
- přípustné úrovně EM polí

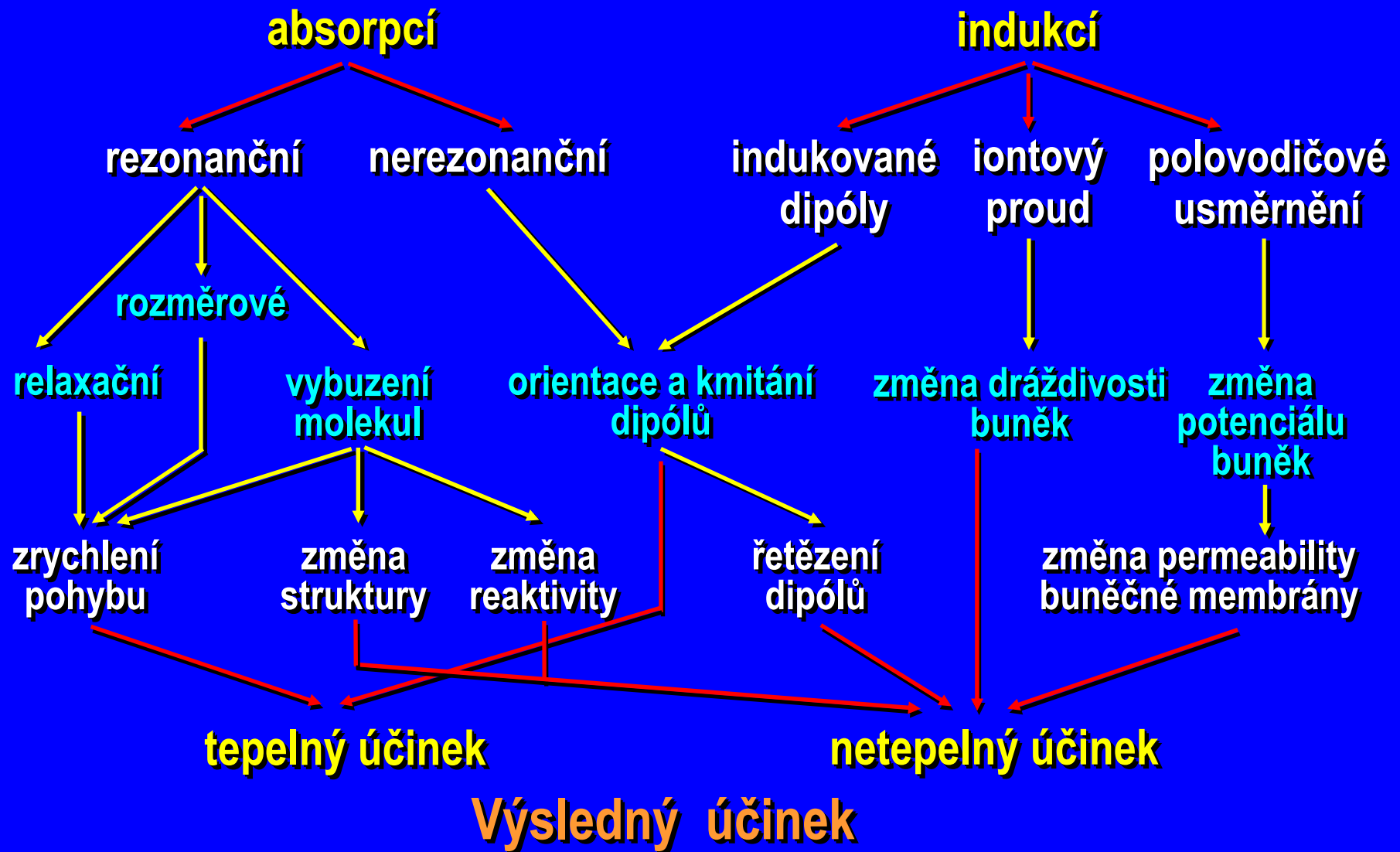


technických systémů

hygienické normy

-
- tepelné účinky EM polí
 - netepelné účinky EM polí

Vstup elektromagnetických vln do organismu



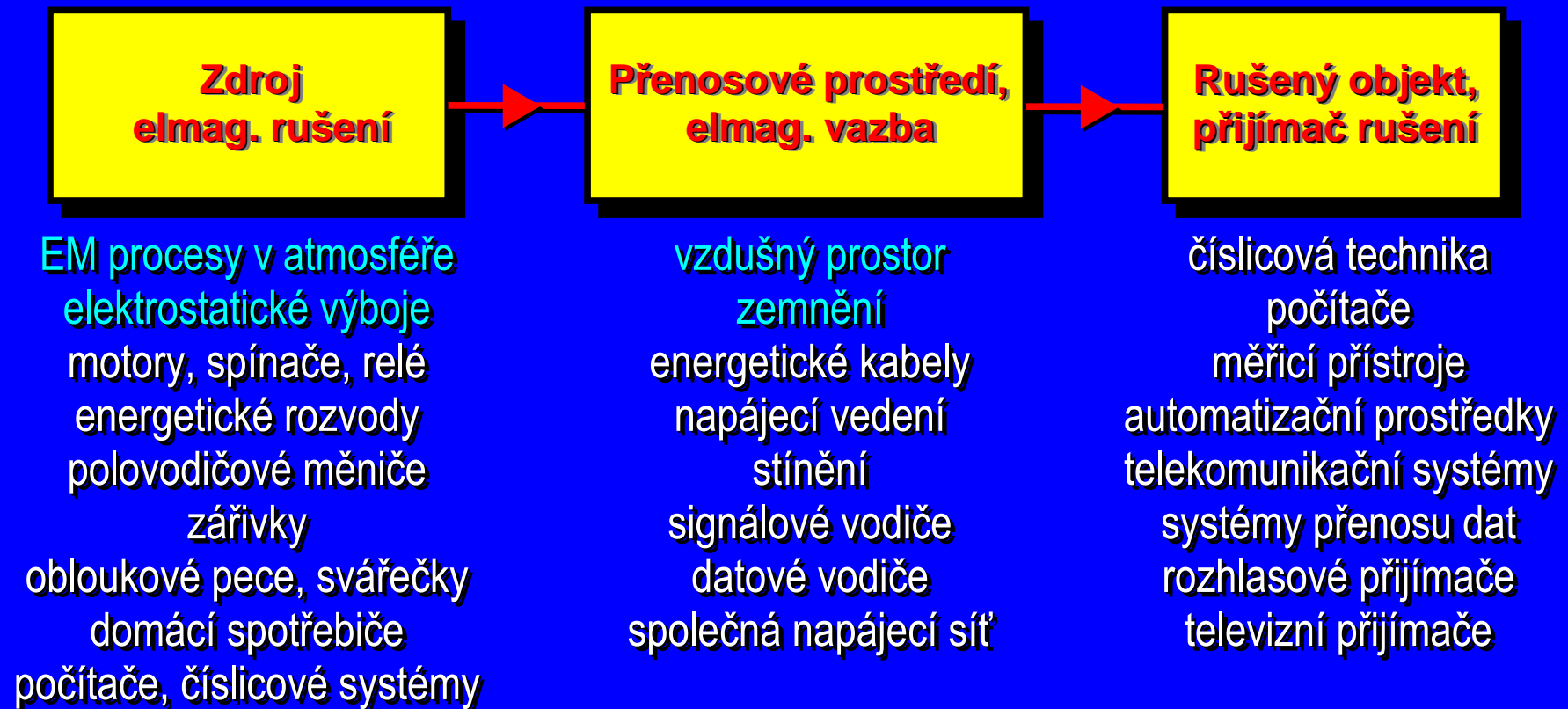
**Nejvyšší přípustné hodnoty indukovaných proudů,
absorbovaných výkonů a hustoty ozáření
podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 480/2000 Sb.**

Veličina	Zaměstnanci				Ostatní osoby			
	Kmitočet f [Hz]				Kmitočet f [Hz]			
	< 1	1 ÷ 4	4 ÷ 10 ³	10 ³ ÷ 10 ⁷	< 1	1 ÷ 4	4 ÷ 10 ³	10 ³ ÷ 10 ⁷
Indukovaná proudová hustota [A/m ²]	0,057	$\frac{0,04}{f}$	0,01	$\frac{f}{10^5}$	0,011	$\frac{0,008}{f}$	0,002	$\frac{f}{5 \cdot 10^5}$
Měrný absorbovaný výkon [W/kg]	$10^5 \div 10^{10}$				$10^5 \div 10^{10}$			
	0,4				0,08			
Plošná hustota zářivého toku [W/m ²]	$10^{10} \div 3 \cdot 10^{11}$				$10^{10} \div 3 \cdot 10^{11}$			
	50				10			

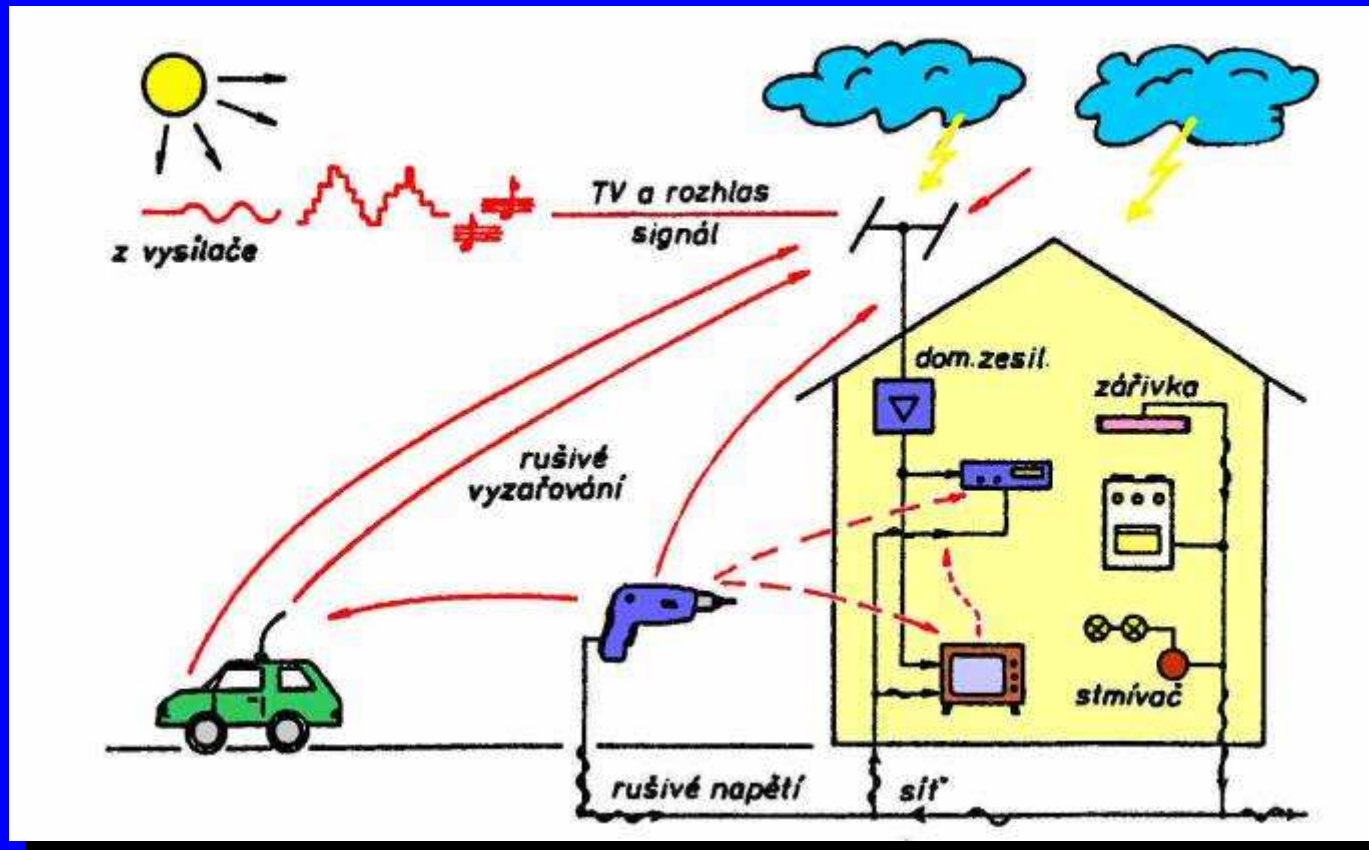
Vyhláška 480/2000 určuje rovněž způsoby, jimiž se splnění uvedených podmínek zjišťuje a vyhodnocuje.

EMC technických systémů

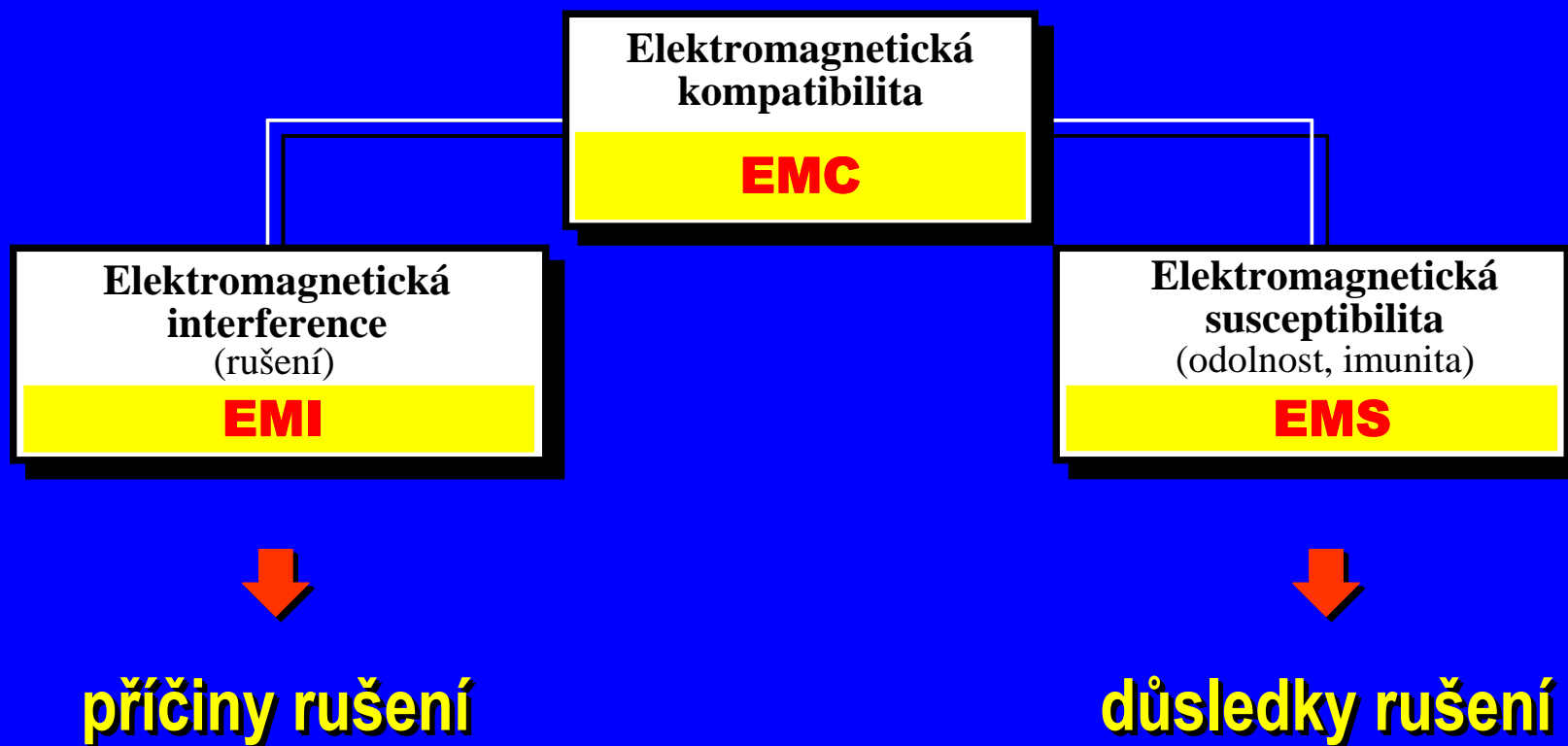
Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí



Příklady různého působení rušivých signálů

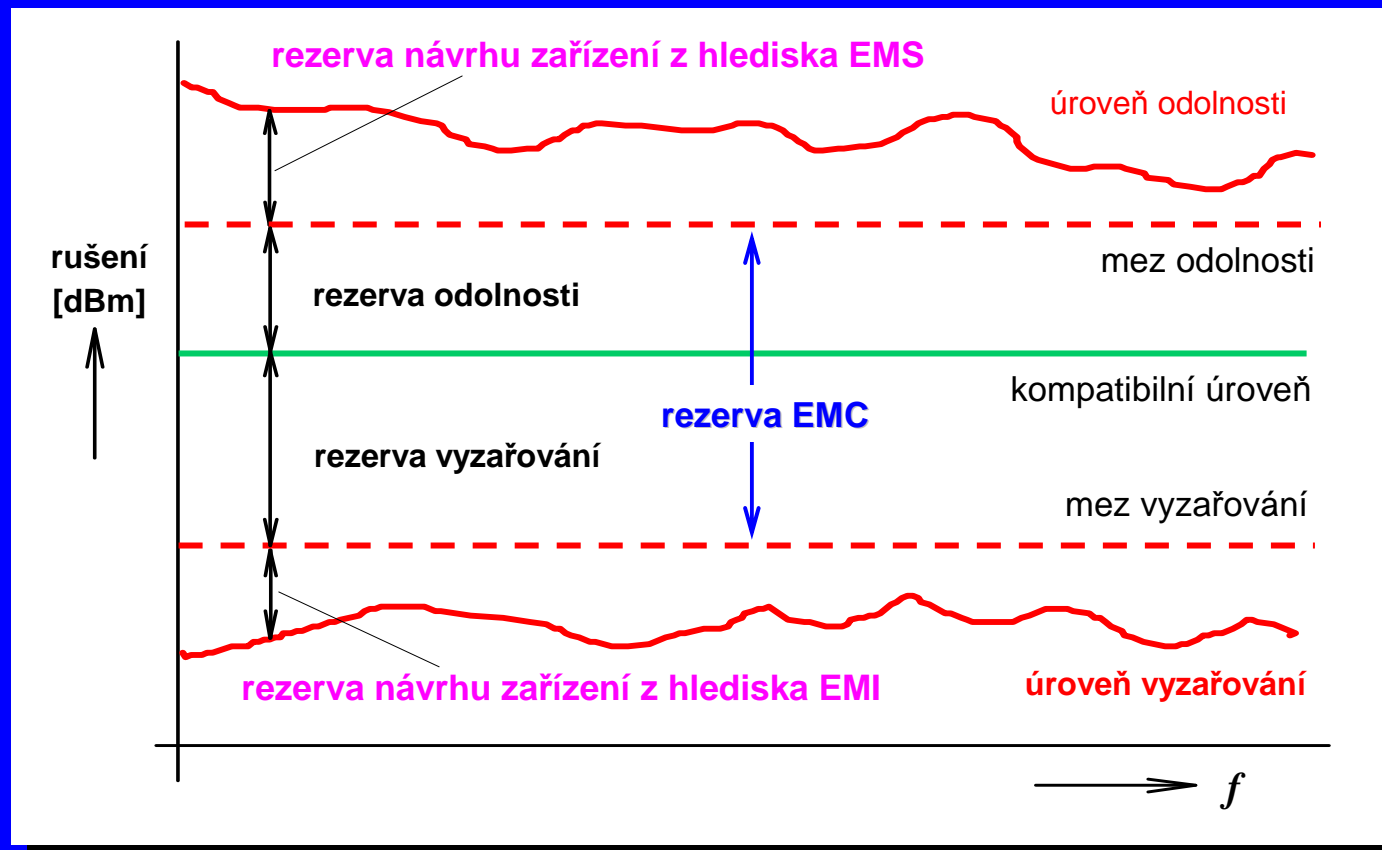


Základní členění problematiky EMC

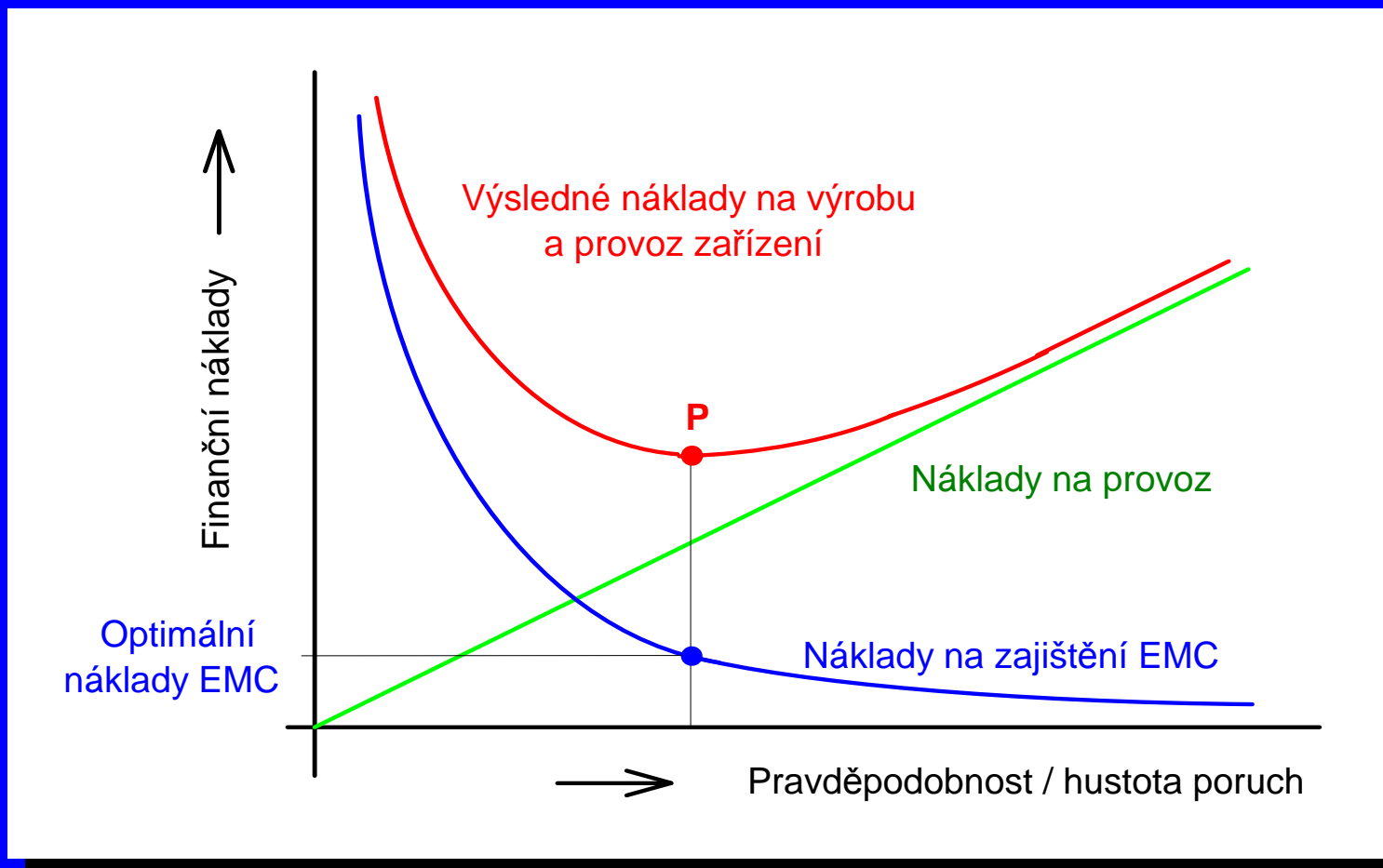


Základní pojmy EMC

Mezinárodní elektrotechnický slovník ČSN IEC 50 kapitola 161 „Elektromagnetická kompatibilita“

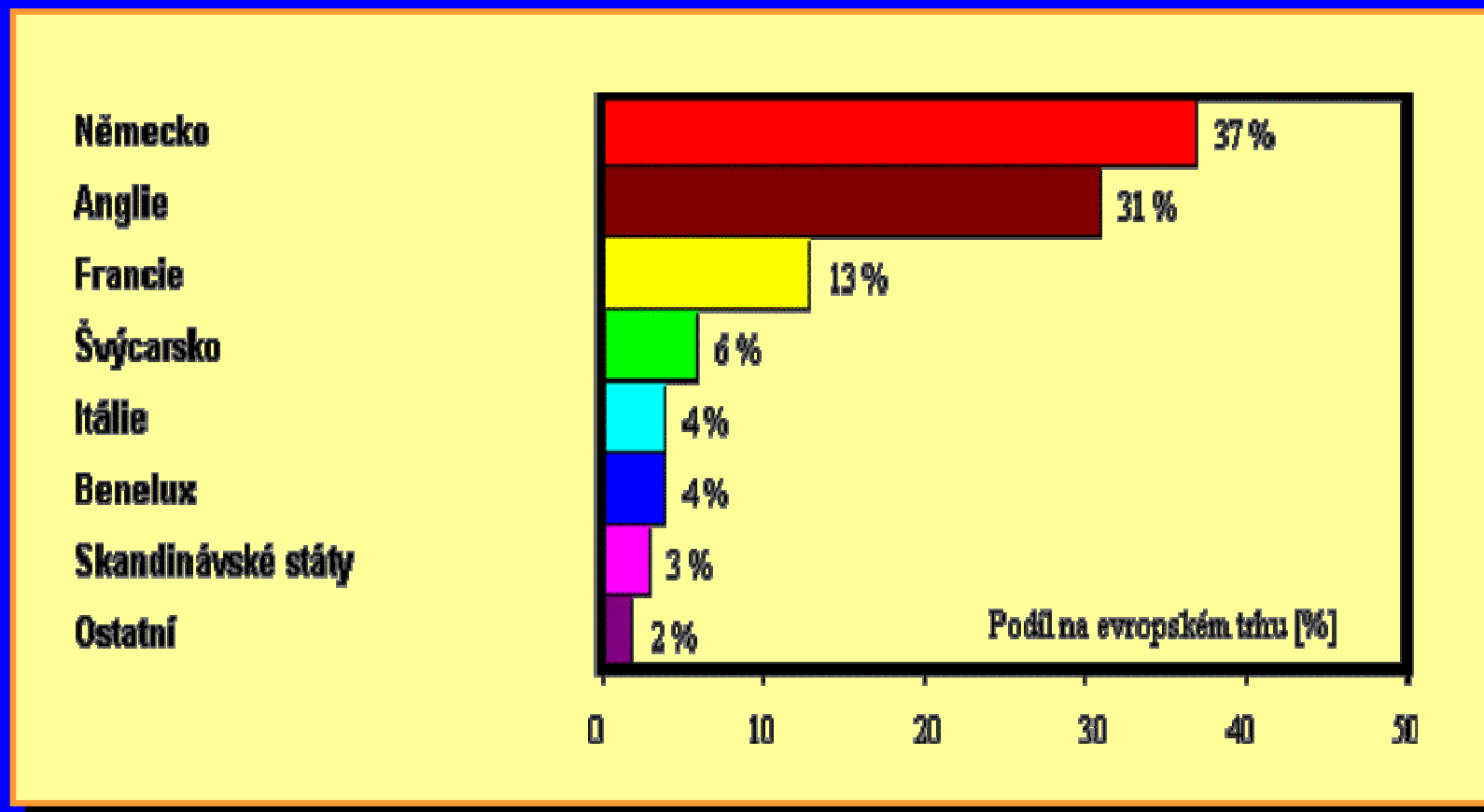


Optimalizace finančních nákladů pro zajištění EMC zařízení

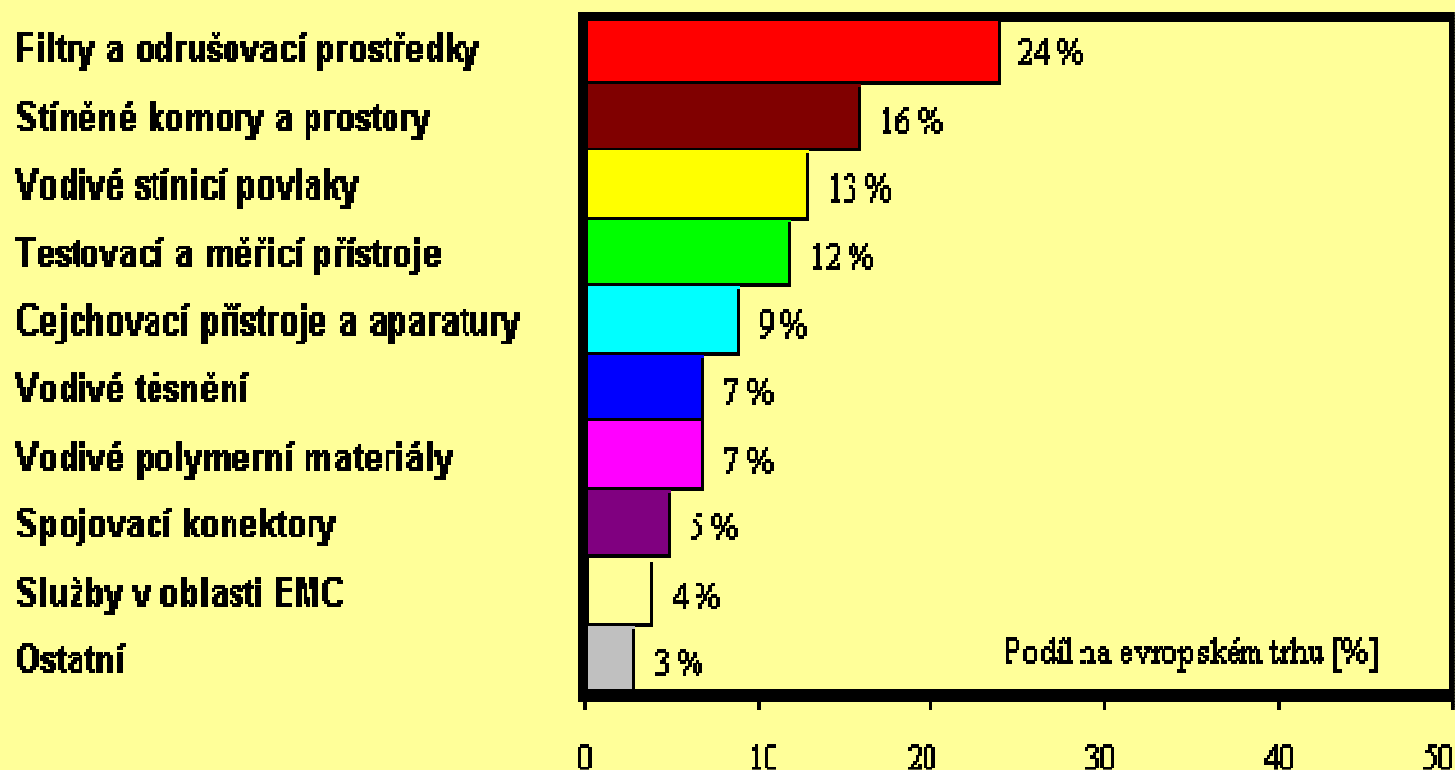


Některé ekonomické aspekty EMC

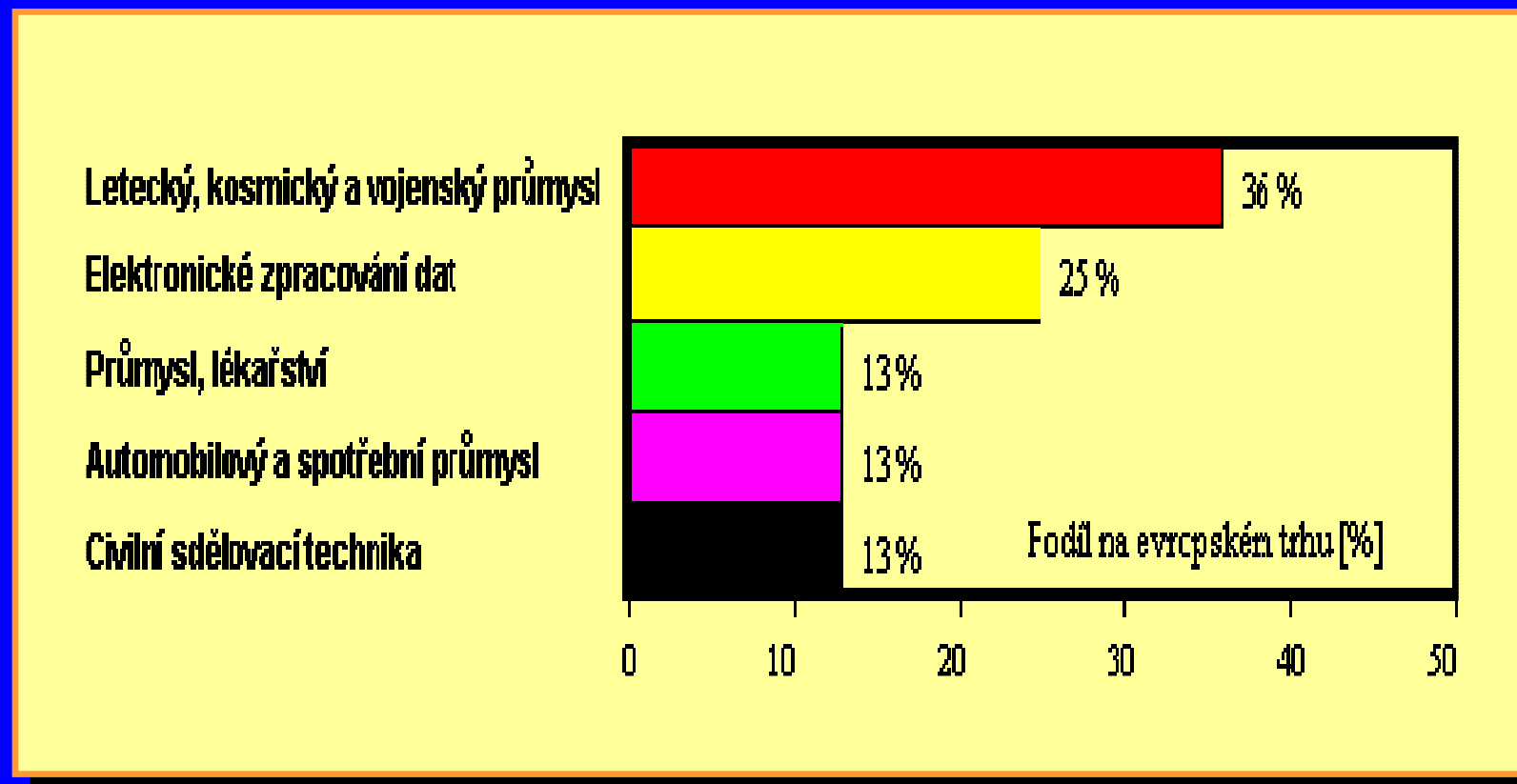
Teritoriální rozdělení evropského trhu EMC



Podíly hlavních produktů na evropském trhu EMC



Zastoupení hlavních uživatelských oblastí na evropském trhu EMC



RUŠIVÉ SIGNÁLY A JEJICH ZDROJE

→ přírodní (přírozené)
umělé (technické), tzv. „man made noise“

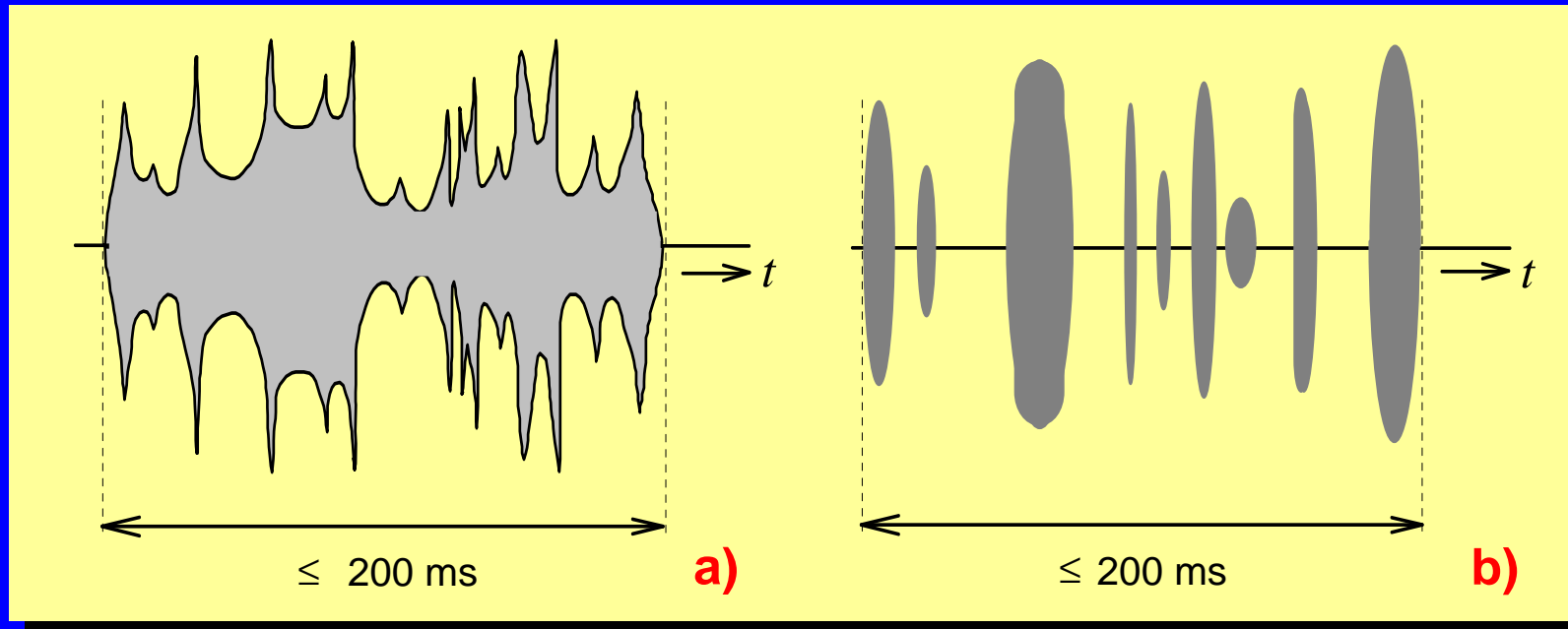
→ funkční
nefunkční (parazitní, nežádoucí)

→ impulzní (mžikové)
spojité
kvazi-impulzní

→ úzkopásmové
širokopásmové

→ nízkofrekvenční
vysokofrekvenční (rádiové)

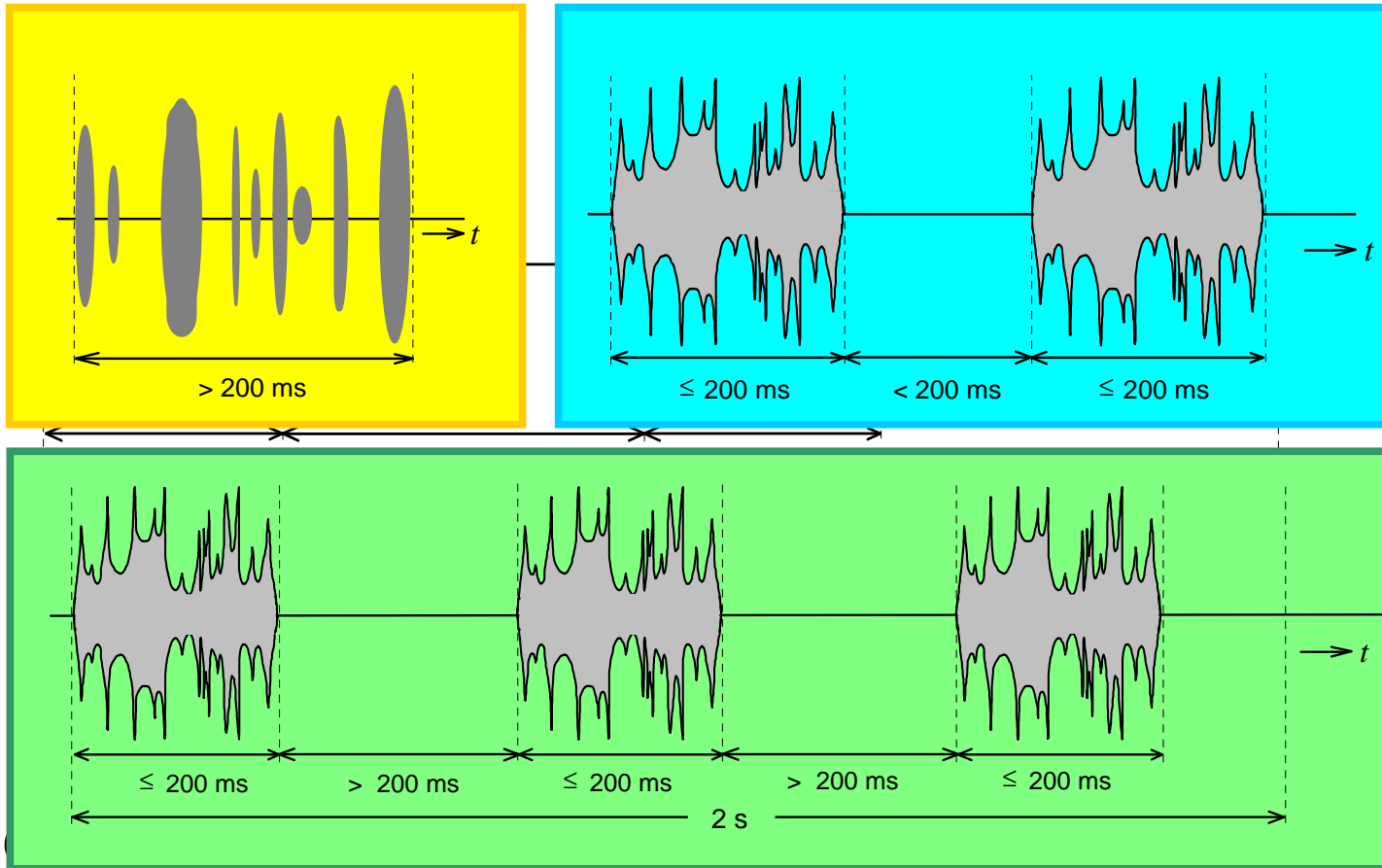
Impulzní (mžikové) a spojitě rušení dle ČSN EN 55014



Jednorázová mžiková porucha

- a) jako nepřerušená řada impulzů s dobou trvání kratší než 200 ms
- b) jako seskupení jednotlivých impulzů netrvajících déle než 200 ms

Další porucha následuje až po době delší než 200 ms.



Spojité rušení:

jedna mžiková porucha delší než 200 ms,
 dvě mžikové poruchy ve vzájemném odstupu menším než 200 ms,
 více než dvě mžikové poruchy v intervalu 2 s.

Úzkopásmové a širokopásmové rušení

- **Úzkopásmové rušení** je produkováno zejména „užitečnými“ signály rozhlasových a televizních vysílačů.
- **Širokopásmové rušení** produkuje většina průmyslových rušivých signálů (spojitých, impulzních či kvazi-impulzních). Rovněž všechna přírodní rušení jsou svou podstatou širokopásmová.

Zdroj rušivých signálů	Kmitočtové pásmo	Způsob šíření
zářivka	0,1 Hz ÷ 3 MHz 100 Hz ÷ 3 MHz	po vedení prostorem
rtuťová výbojka	0,1 Hz ÷ 1 MHz	po vedení
kolektorové motory	2 Hz ÷ 4 MHz 10 Hz ÷ 400 kHz	po vedení prostorem
síťové vypínače	0,5 Hz ÷ 25 MHz	po vedení
výkonové spínače	10 Hz ÷ 20 MHz 0,1 Hz ÷ 20 MHz	po vedení prostorem
spínané síťové zdroje	0,1 Hz ÷ 30 MHz 0,1 Hz ÷ 30 MHz	po vedení prostorem
koronový výboj	0,1 Hz ÷ 10 MHz	po vedení
klopné obvody	15 kHz ÷ 1000 MHz	prostorem

Nízkofrekvenční a vysokofrekvenční rušení

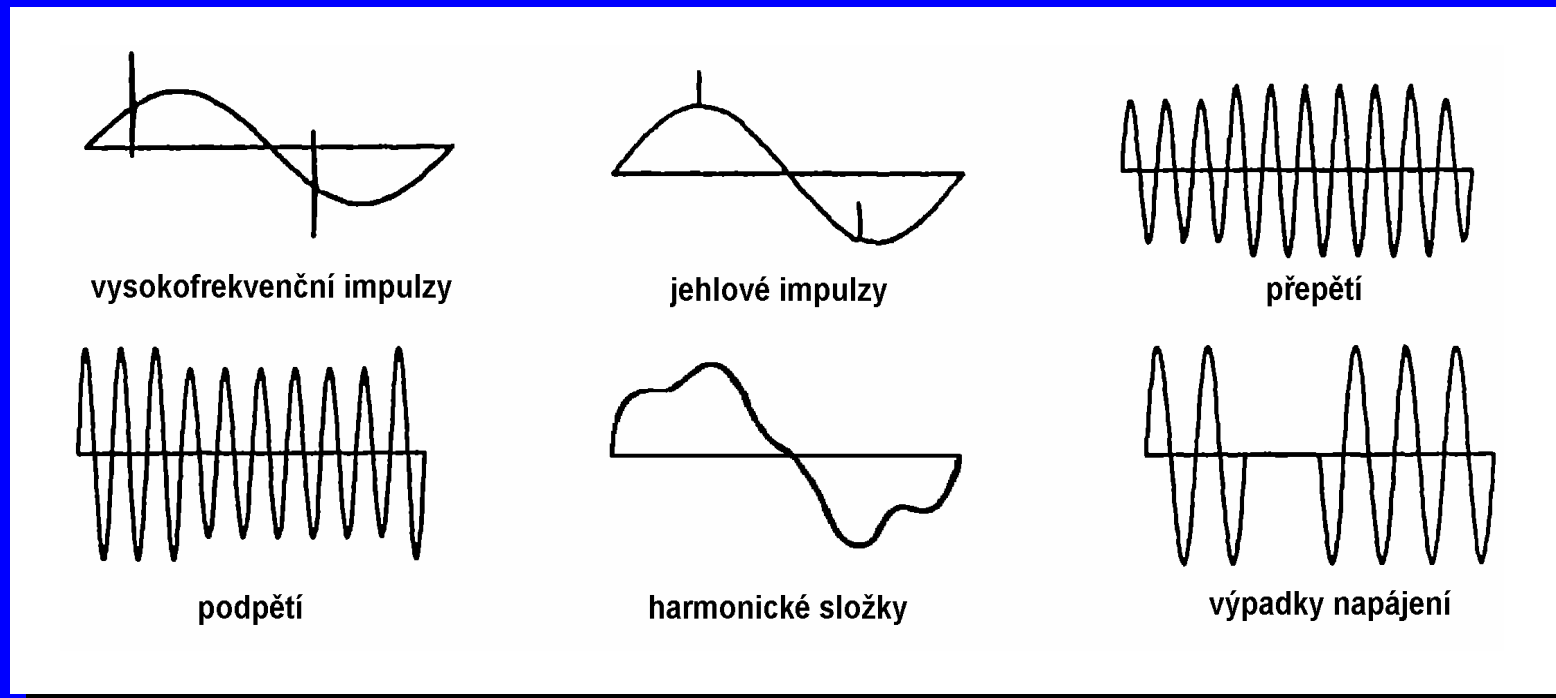
- **Nízkofrekvenční rušení** → **energetické** (do 2 kHz); deformace napájecího napětí energetických sítí.
→ **akustické** (do 10 kHz); ruší přenosové a komunikační systémy.
- **Vysokofrekvenční (rádiové) rušení** od 10 kHz do 400 GHz; zahrnuje prakticky všechny existující interferenční zdroje.

Klasifikace rušení podle způsobu šíření

- **rušení šířené vedením** (napájecím, signálovým, datovým atd.)
- **rušení šířené vyzařováním** (prostorem).

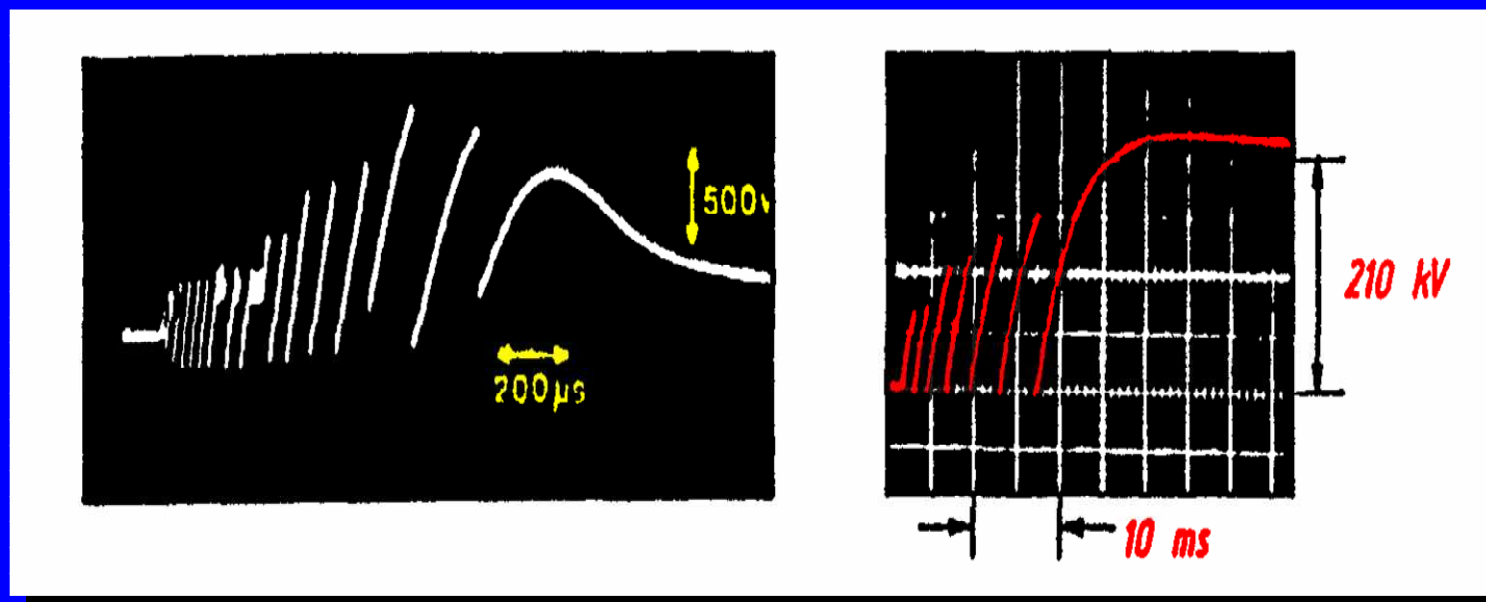
Průmyslová rušení

- **Harmonické složky kmitočtu 50 Hz napájecí sítě (do 30 MHz)**
- **Rušivá napětí v energetické napájecí síti**



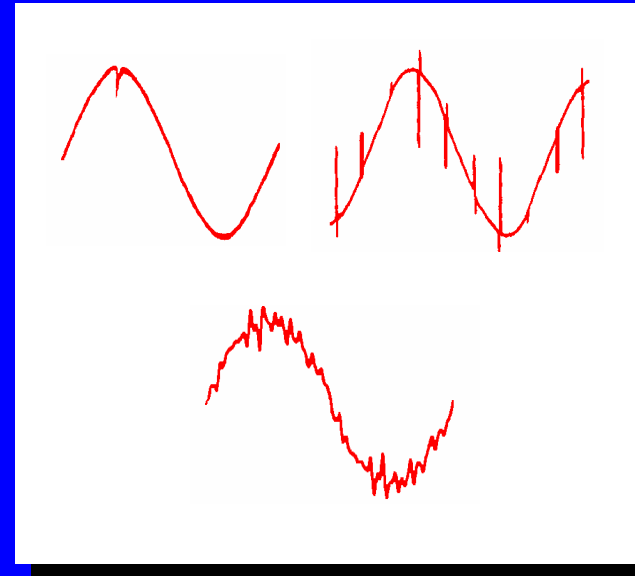
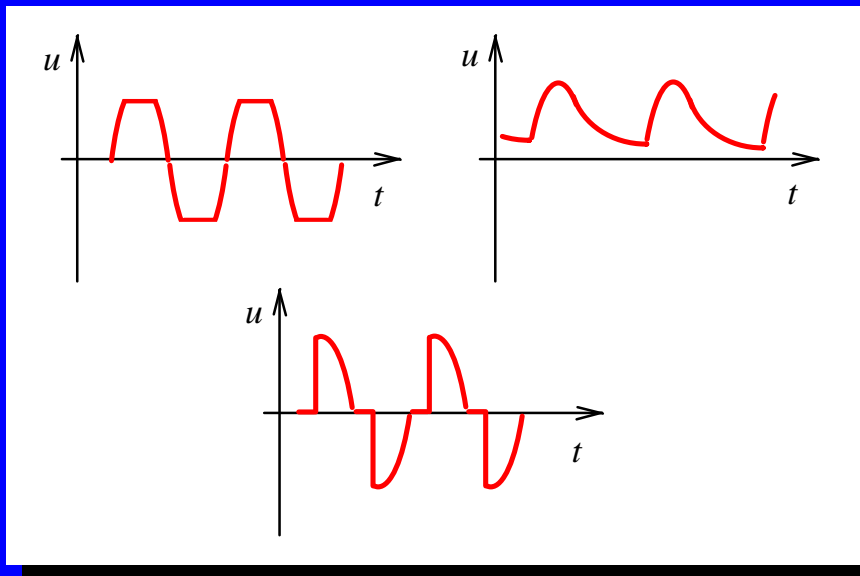
Typické projevy rušivých signálů v síťovém napájecím napětí

- **Vysokofrekvenční oscilace** při spínacích a rozpínacích procesech mechanických spínačů, stykačů, kontaktů a relé
 - ➔ přechodový jev pilovitého průběhu - **burst**



Oscilogramy rušivých napětí vznikajících na rozpojovaných kontaktech nízkonapěťového relé a vysokonapěťového spínače

- **Rušení z diodových a tyristorových usměrňovačů, měničů**
 - ➔ jsou opakovaně spínány velké proudy, takže vznikají rušivá napětí v podobě opakujících se impulzů, které značně deformují průběh napájecího napětí; **rušení až do desítek MHz.**



Deformace síťového napětí vlivem diodového a tyristorového omezovače, usměrňovače či regulátoru

- **Rušení ze spínacích napájecích zdrojů:** síťové napětí 50 Hz se transformuje na požadované ss. napětí pomocí pomocného napětí s kmitočtem až stovek kHz
 - ➔ výrazné vyzařování rušivých signálů; vyzařování závisí na velikosti odběru kvůli regulaci výstupního napětí pomocí PWM
-

- **Rušení od vnějších energetických vedení VN a VVN**

- ➔ **Koronové výboje:** jen u vedení VN (≥ 110 kV) na nerovnostech vodičů a armatur. Podobá se doutnavému výboji, spektrální složky do 10 MHz. Velikost výbojů roste za vlhka (intenzivní praskot pod vedením VVN), není však příliš velká.
- ➔ **Kapacitní výboje:** vznikají na nedokonalém spojení kovových předmětů u vedení VN 22 kV (kloubové spoje izolátorů). Při narušení dielektrické vrstvy vznikne jiskrový výboj. Rušení sahá k 1 GHz, za sucha je větší, za vlhka někdy zcela mizí.

Napět'ové (energetické) přepětí

Zařízení, součástka	Ničivá energie → [J]							
	10^{-8}	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}	10^0	10^2	10^4	10^6
Motory, transformátory								█
Přístroje, relé				█				
Počítače	█							
Rezistory			█					
Kondenzátory			█					
Cívky				█				
Vakuové elektronky				█				
Usměrňovací diody			█					
Zennerovy diody			█					
Výkonové tranzistory			█					
Vf. tranzistory		█						
Integrované obvody	█							
Obvody CMOS	█							
Mikrovlonné diody	█							

Rozmezí ničivé energie pro různé součástky a zařízení

Zdroje napětového přepětí

přírodní

- **Atmosférický výboj blesku**
(**L**ightning **E**lectro**M**agnetic **P**ulse – **LEMP**)

- **Lokální elektrostatické výboje**
(**E**lectro**S**tatic **D**ischarge – **ESD**)

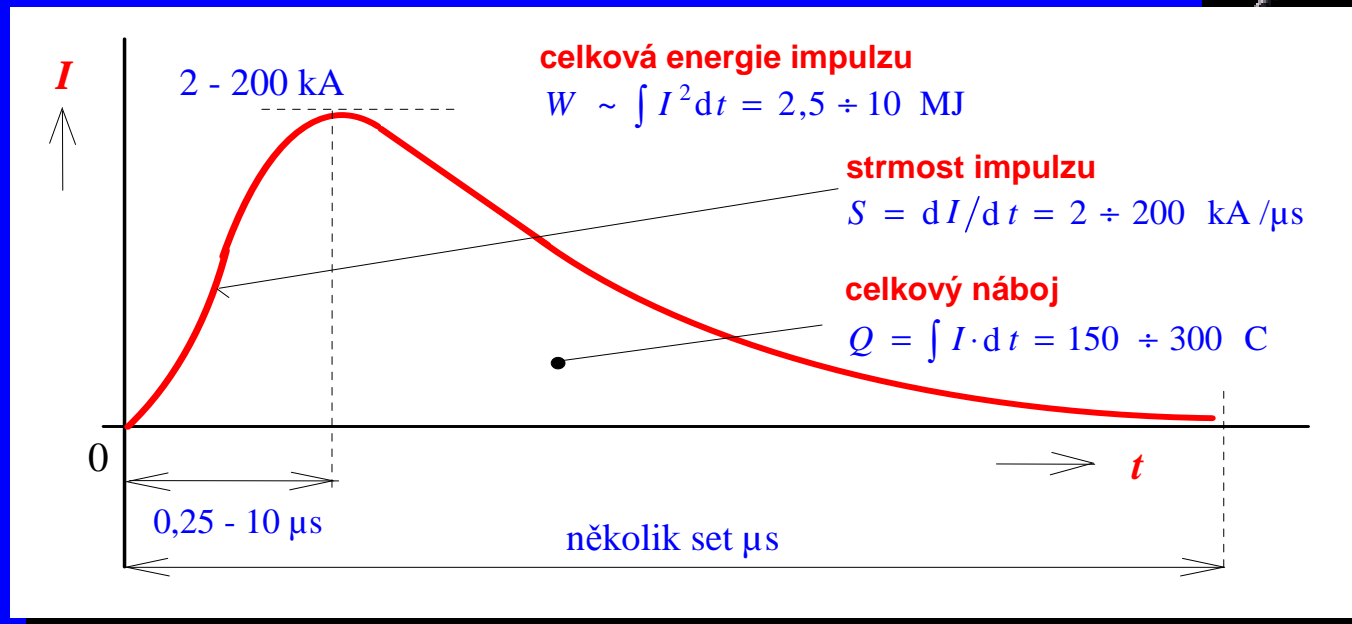
uměle vytvořené

- **Spínací a rozpínací zařízení**
(vznik elektrického oblouku)

- **Lokální elektrostatické výboje (ESD)**

Atmosférický výboj blesku (LEMP)

- ➔ rušivý účinek až do vzdálenosti cca 4 km
- ➔ velikost proudového impulzu blesku až 200 kA
- ➔ spektrální rušení až do kmitočtu cca 100 MHz



Proudový impulz při úderu blesku a jeho základní parametry

Účinek blesku

přímý účinek (úder)

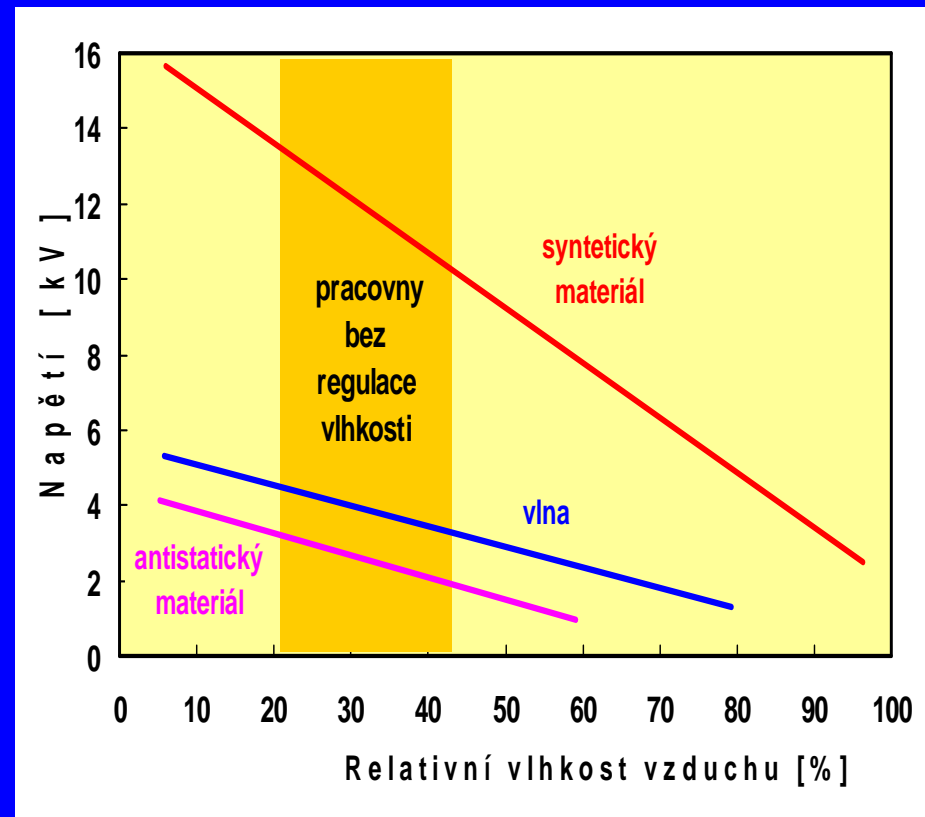
nepřímý účinek



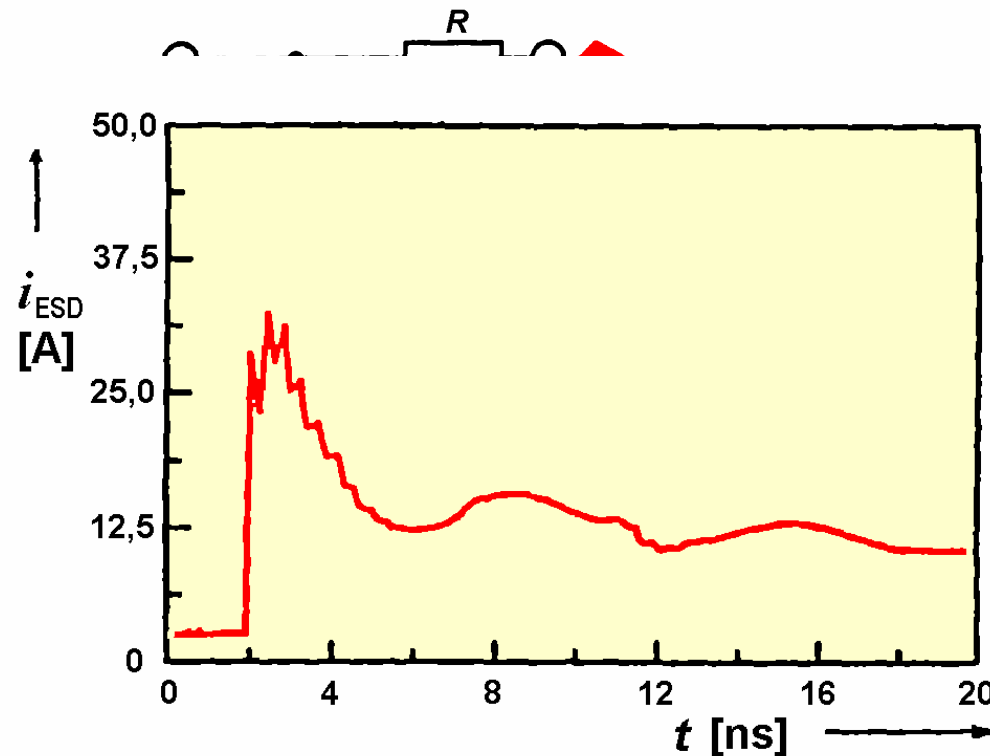
Lokální elektrostatické výboje (ESD)

vznikají tam, kde se vyskytuje třecí pohyb mechanických částí (kovových a/nebo dielektrických – pevných, kapalných či plyných).

- Pracovníci obsluhy mají nevhodné oblečení z hlediska vzniku vysokého elektrostatického napětí.
- Povrchy stolů, židlí, podlahové krytiny jsou z umělých hmot s vysokým izolačním odporem.
- V místnosti je nízká vlhkost vzduchu.



Vznik lokálního elektrostatičké výboje

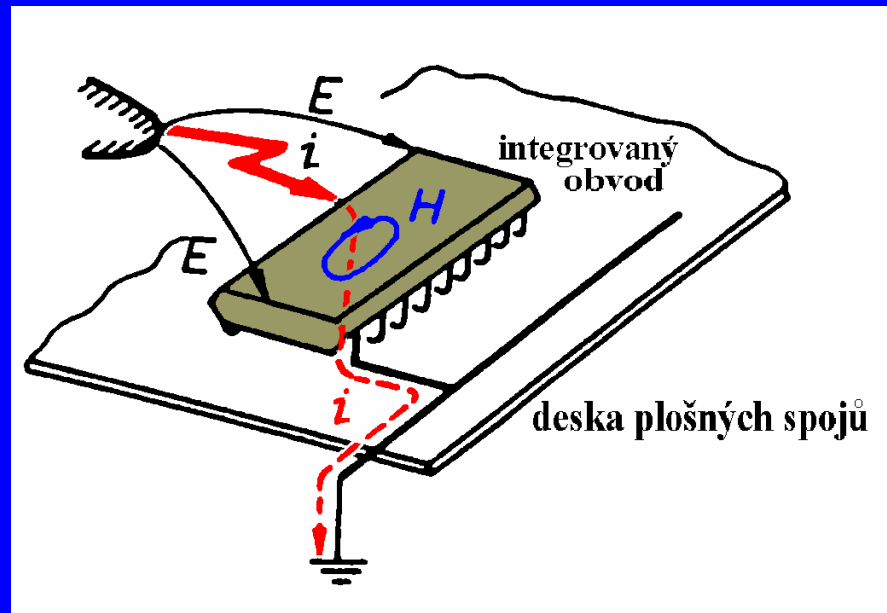


odpor „vybijecí“ paze člověka je 100 Ω až 2 kΩ.

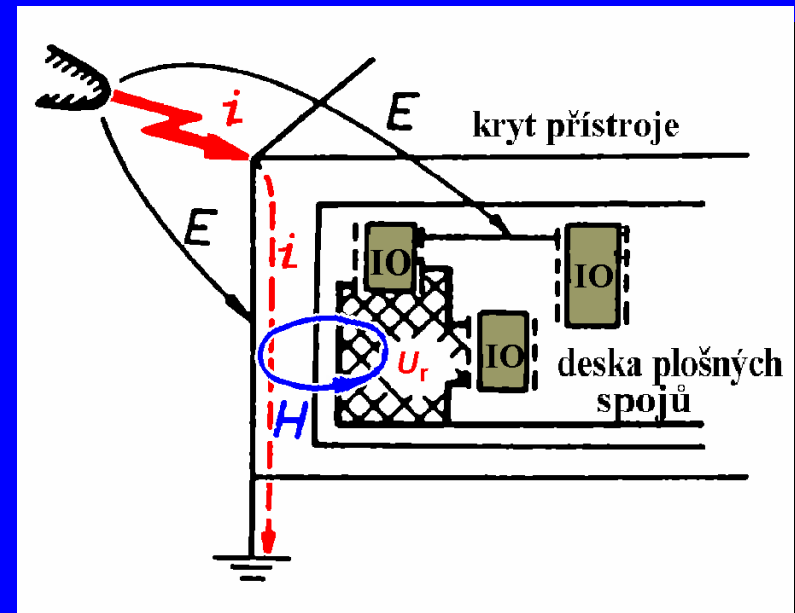
Proudový impuls vybití elektrostatičké náboje

$$W = \frac{1}{2} \cdot CU^2 = \frac{1}{2} \cdot (100 \div 200) \cdot 10^{-12} \cdot (15 \cdot 10^3)^2 \approx (10 \div 20) \text{ mJ}$$

Působení elektrostatického výboje na elektronické součástky a obvody



Přímé působení (vybití) při přiblížení
paže nebo nabitého nástroje

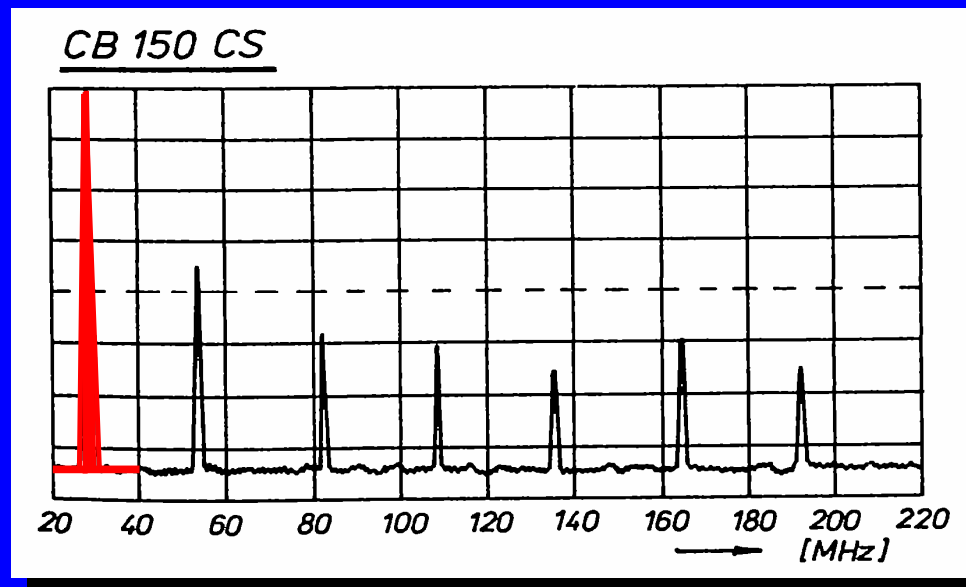


Působení indukci rušivého napětí U_r
do galvanicky oddělených obvodů

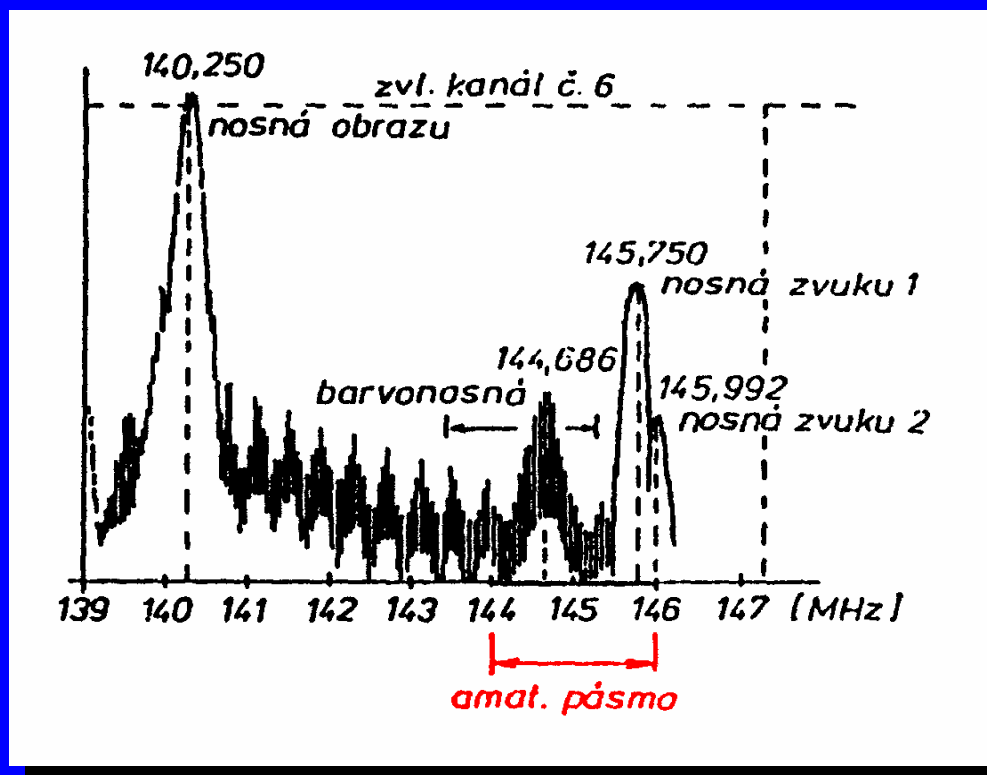
Spojité (kontinuální) rušení

- Rozhlasové, televizní, příp. radarové vysílače
- Vyšší harmonické složky v napájecí síti
- Neveřejné radiokomunikační služby
 - ➔ **CB radio** (Citizen Band radio) v pásmu 27 MHz: překračování povoleného vf. vyzařovaného výkonu.

Rušivé spektrum výstupního signálu občanské radiostanice CB za zařazeným zesilovačem výkonu




- **Televizní a rozhlasové kabelové rozvody** v pásmech 40 až 300 MHz



Kmitočtové spektrum vyzařované TV kabelovým rozvodem na 6. kanálu při zkušebním obrazci v systému PAL

Zvláštní rušení

- **Nukleární elmag. impulz (Nuclear ElectroMagnetic Pulse) NEMP**

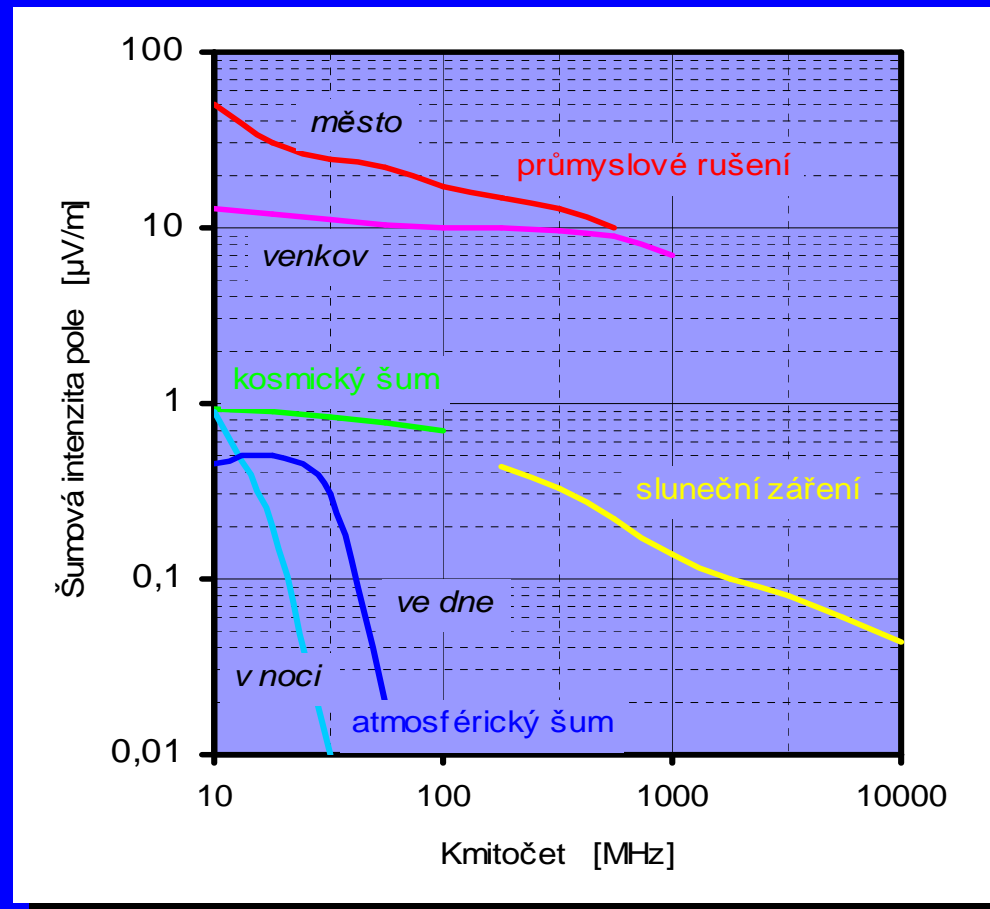
	E_{\max} [kV/m]	H_{\max} [A/m]	náběžná hrana [ns]	kmitočtové spektrum	dosah účinku
LEMP	10 ÷ 100	100 ÷ 1000	100 ÷ 10000	1 kHz ÷ 5 MHz	jednotky km
NEMP	30 ÷ 100	100 ÷ 1000	5 ÷ 8	0,1 ÷ 100 MHz	stovky až tisíce km

Srovnání parametrů LEMP a NEMP

- **Rušení mimozemského původu**

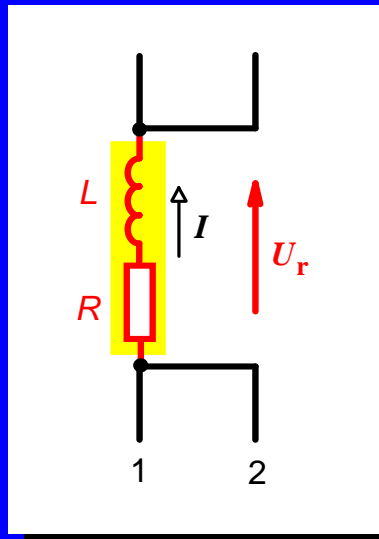
- ➔ **geomagnetické bouře** vlivem tzv. slunečního větru
- ➔ **kosmické záření**

**Spektrální rozložení
a úrovně některých
mimozemských
interferenčních zdrojů**

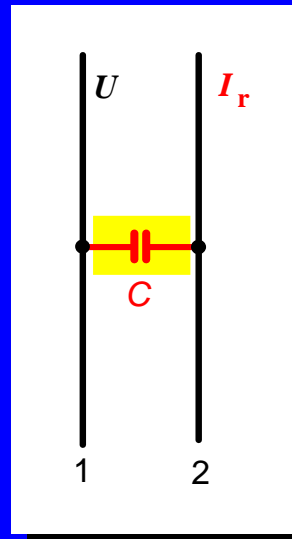


VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

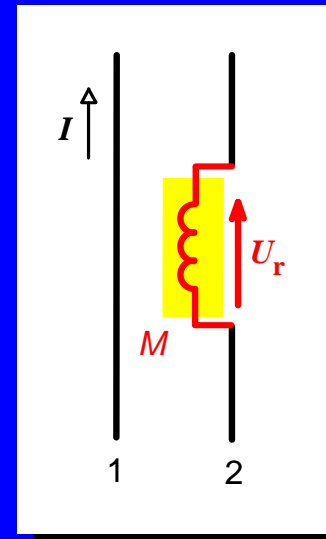
- Galvanická vazba (vazba společnou impedancí)
- Kapacitní vazba
- Induktivní vazba
- Vazba vyzařováním



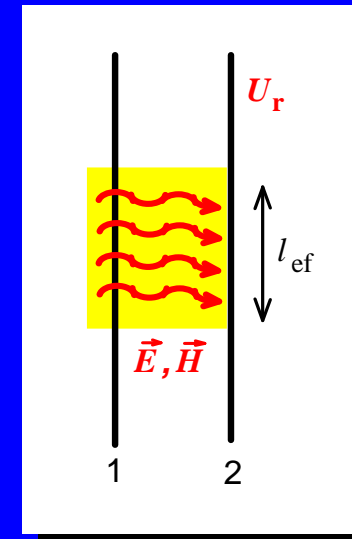
$$U_r = R \cdot I + L \cdot \frac{dI}{dt}$$



$$I_r = C \cdot \frac{dU}{dt}$$



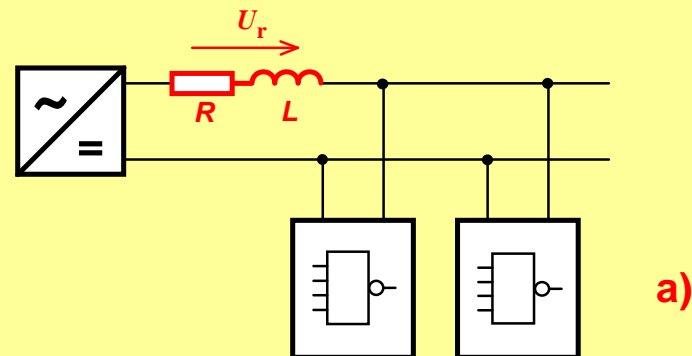
$$U_r = M \cdot \frac{dI}{dt}$$



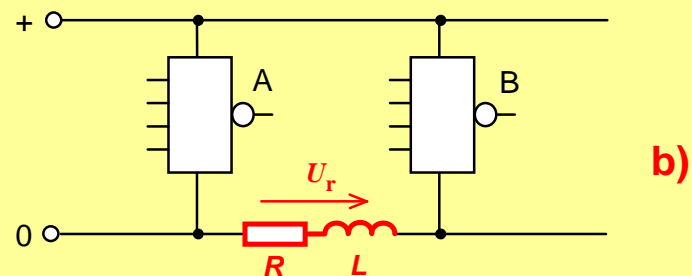
$$U_r = E \cdot l_{ef}$$

Parazitní galvanická vazba (vazba společnou impedancí)

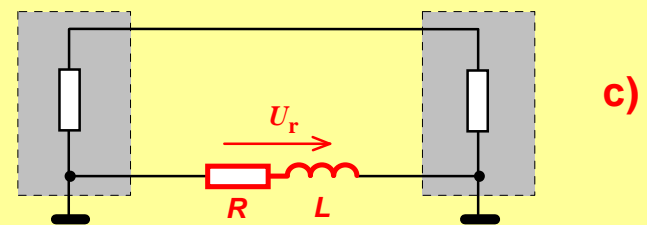
a) v napájecím vedení



b) ve vedení řídicích signálů

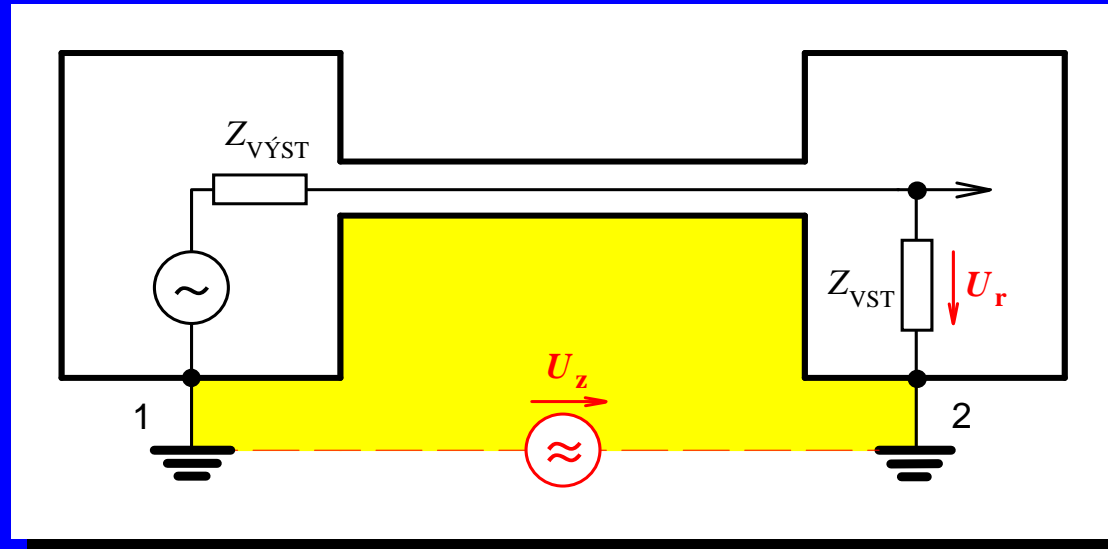


c) ve vícebodovém uzemnění



Parazitní vazba zemní smyčkou

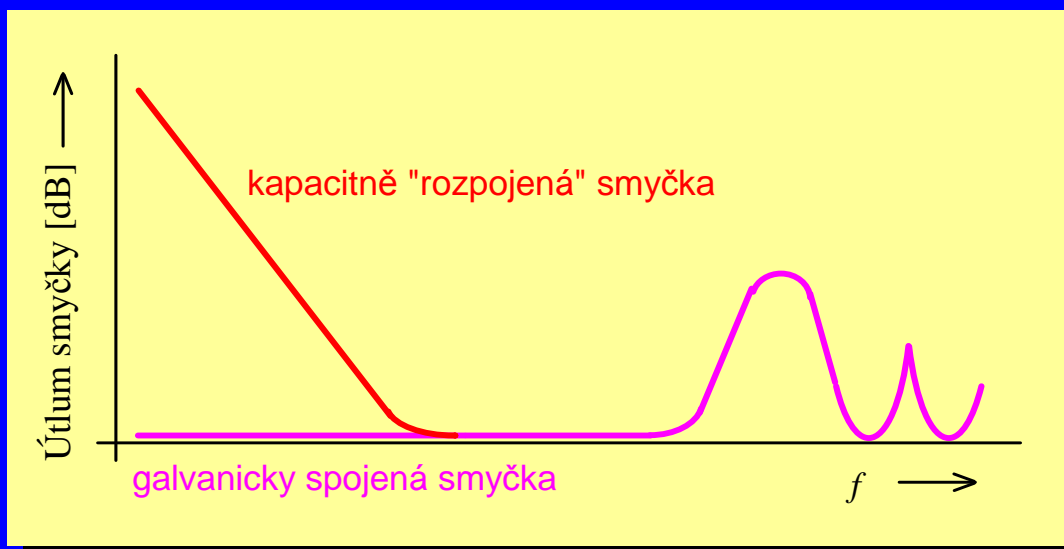
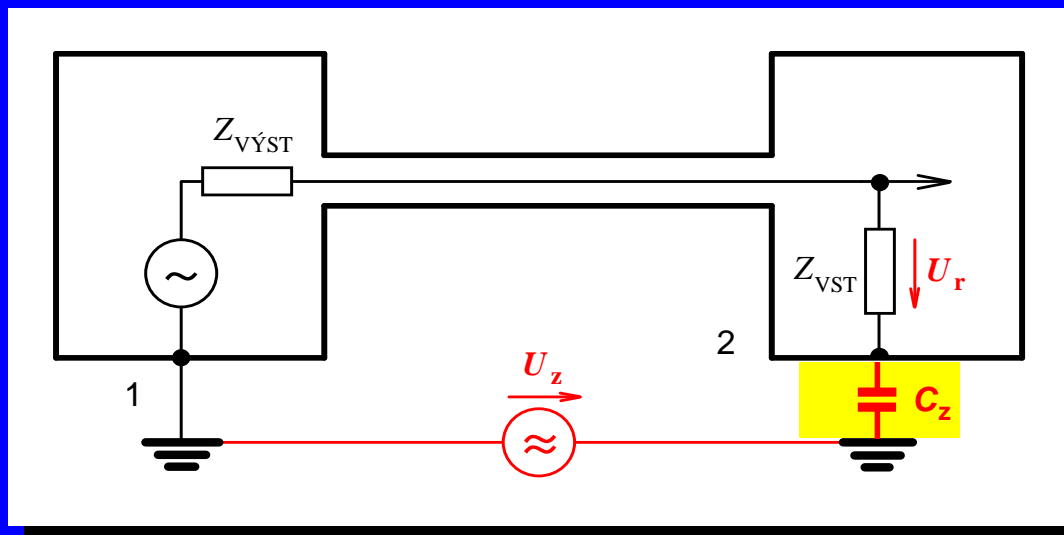
v případě separátního zemnění dvou systémů v různých bodech



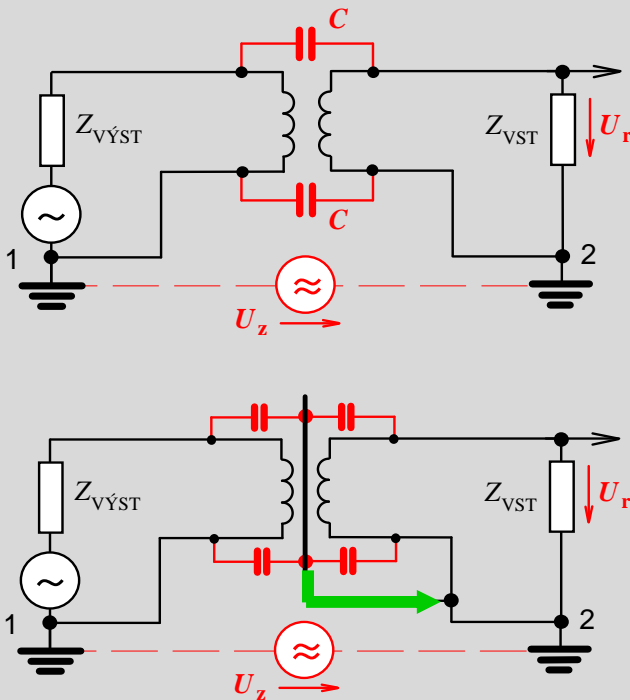
Galvanická parazitní vazba uzavřenou zemní smyčkou

- Principy zmenšení rušivého napětí**
- ➔ **zvýšení impedance (útlumu) smyčky**
 - ➔ **„úplné“ přerušení smyčky**

Rozpojení zemní smyčky



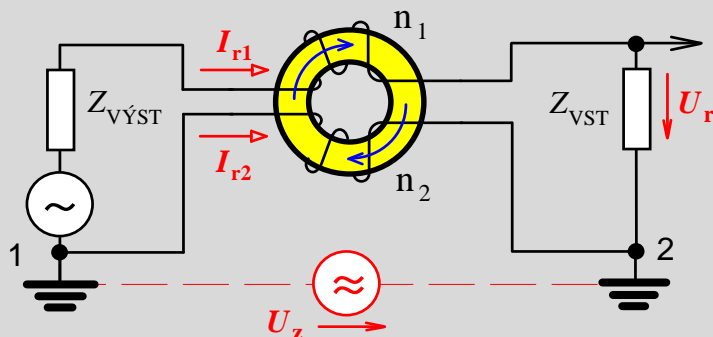
Způsoby potlačení parazitní vazby zemní smyčkou

Zapojení	Poznámka
<p data-bbox="353 523 862 571">Oddělovací transformátor</p> 	<p data-bbox="1209 523 1892 746">Zemní smyčka je galvanicky rozpojena. Zbytková parazitní vazba existuje pouze na vyšších kmitočtech přes rozptylové kapacity C transformátoru.</p> <p data-bbox="1209 997 1892 1273">Vazbu přes rozptylové kapacity C transformátoru lze zmenšit zařazením stínícího „bočníku“ pro rušivý proud mezi primární a sekundární vinutí transformátoru.</p>

Zapojení

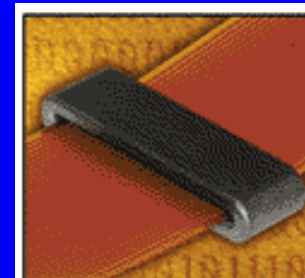
Poznámka

Neutralizační transformátor, BALUN



Závity n_1 a n_2 jsou navinuty na společném toroidním jádru ve stejném smyslu. **Magnetické toky signálových proudů se vzájemně kompenzují, magnetické toky rušivých proudů se sečítají.** Neutralizační transformátor tak zvyšuje impedanci zemní smyčky pro rušivé signály, aniž zvětší její impedanci pro pracovní signál.

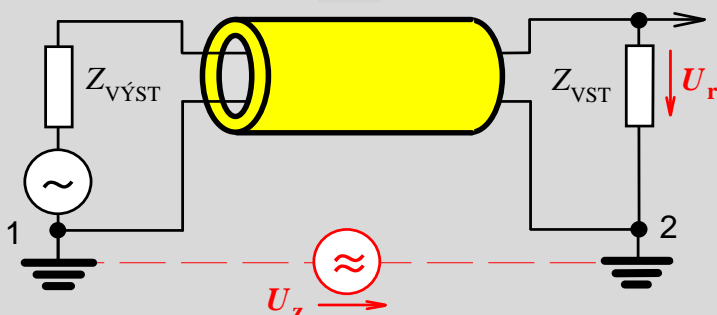
Feritové kroužky, příp. feritové perličky



Zapojení

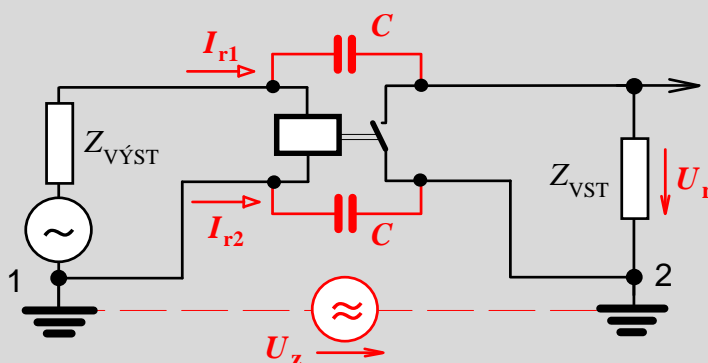
Poznámka

Vedení s útlumovým pláštěm



Účinek je stejný jako při použití feritových kroužků. Plášť vedení je vytvořen ze **silně ztrátového materiálu** (ztrátová pryž, ztrátové dielektrikum apod.) absorbujícího elektromagnetické rušivé signály.

Elektromechanické relé

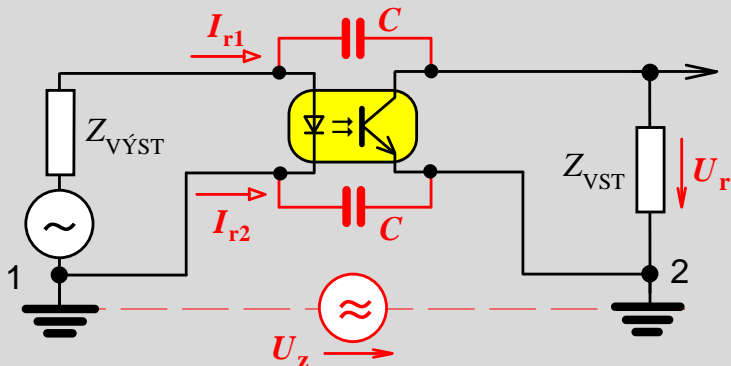


Lze použít jen pro přenos binárních signálů. Rozptylová kapacita C má hodnotu až 5 pF.

Zapojení

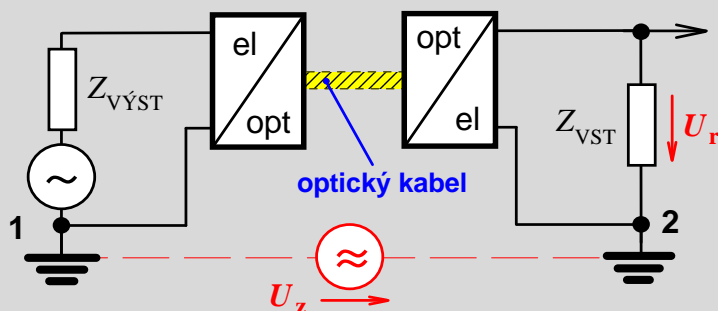
Poznámka

Optočlen



Použití zejména při přenosu číslicových užitečných signálů. Rozptylová kapacita C má hodnotu až 1 pF, napěťová pevnost 0,5 až 10 kV.

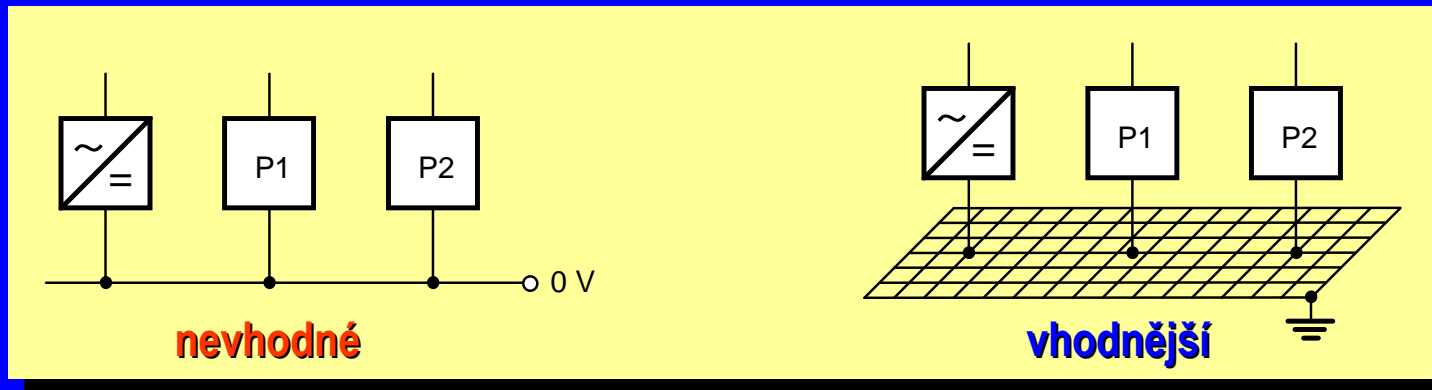
Optický kabel, optická linka



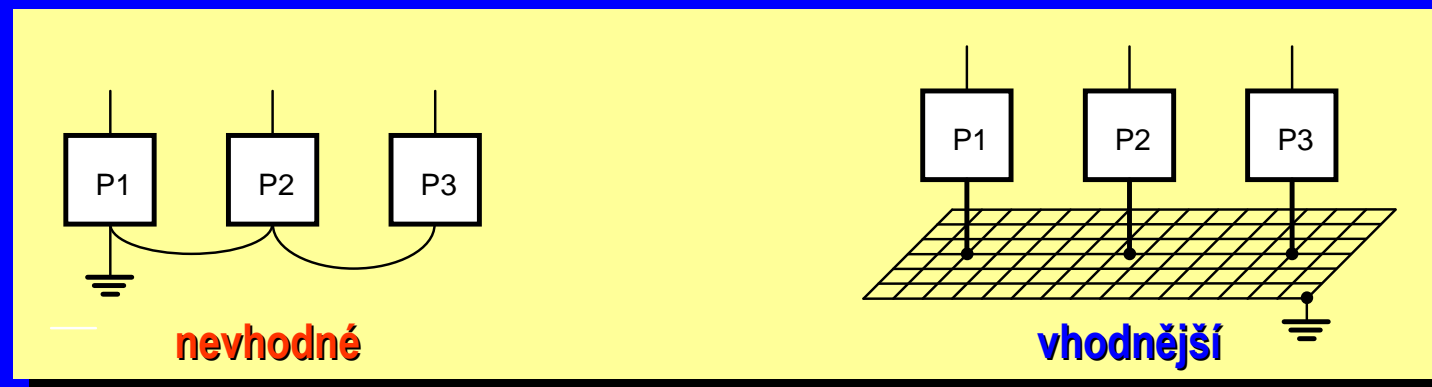
Pro analogové i číslicové signály. **Velmi odolné vůči elektromagnetickému rušení.**

Zásady minimalizace vazeb společnou impedancí

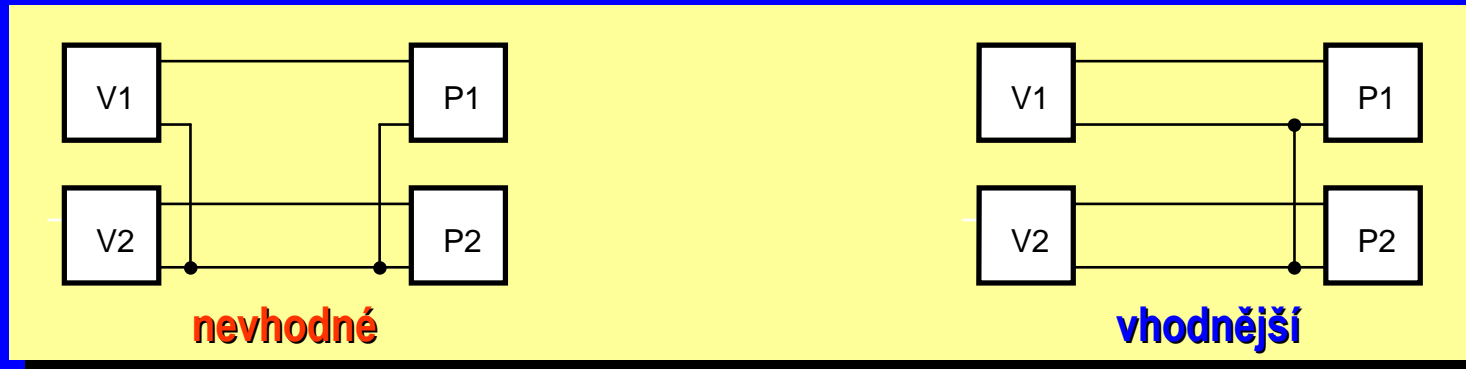
- dostatečně dimenzovat společný zemnicí vodič - zemnicí plochu



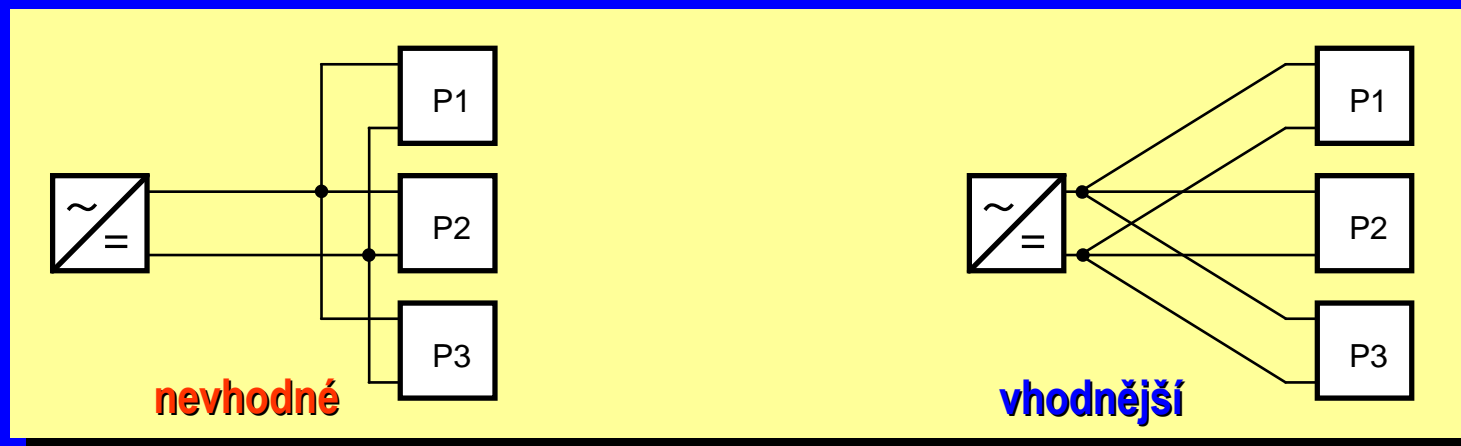
- jednotlivé bloky připojovat k zemnicímu systému přímou cestou masivním vodičem



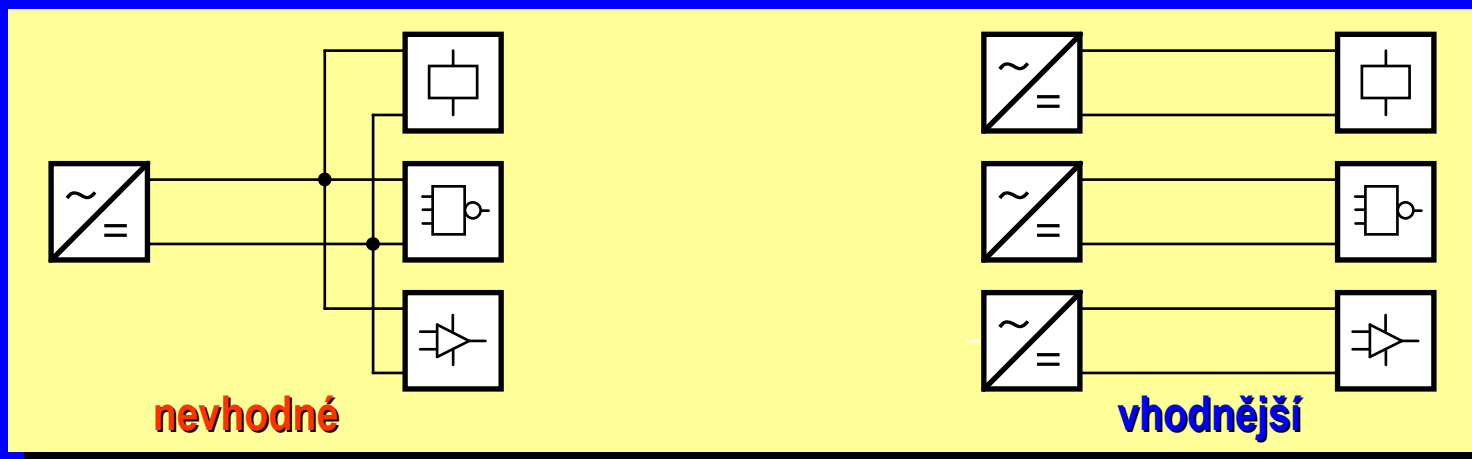
- neslučovat společný vodič signálových vodičů



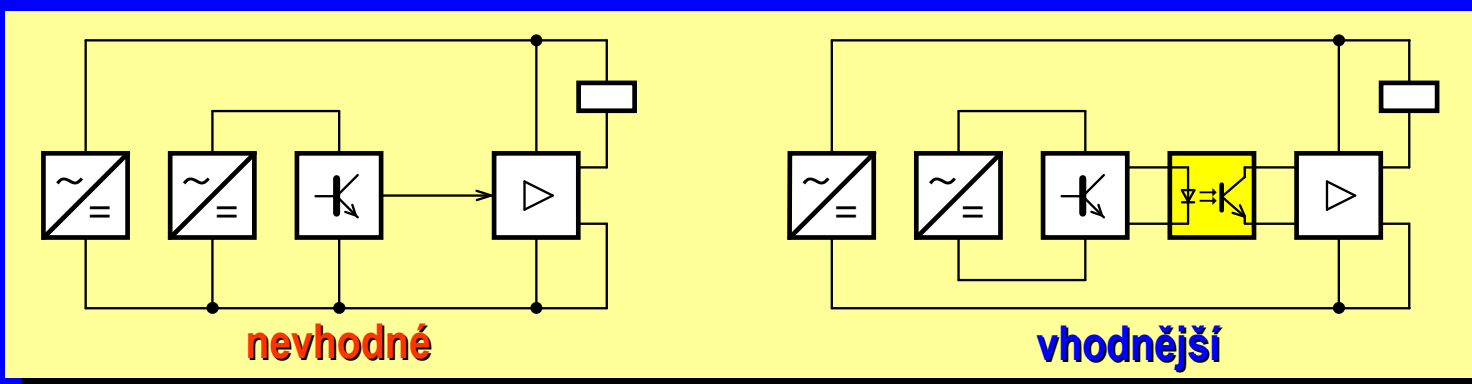
- nevytvářet společné části napájecích přívodů k jednotlivým blokům



- elektronická zařízení různých technologií raději vybavit samostatnými napájecími zdroji

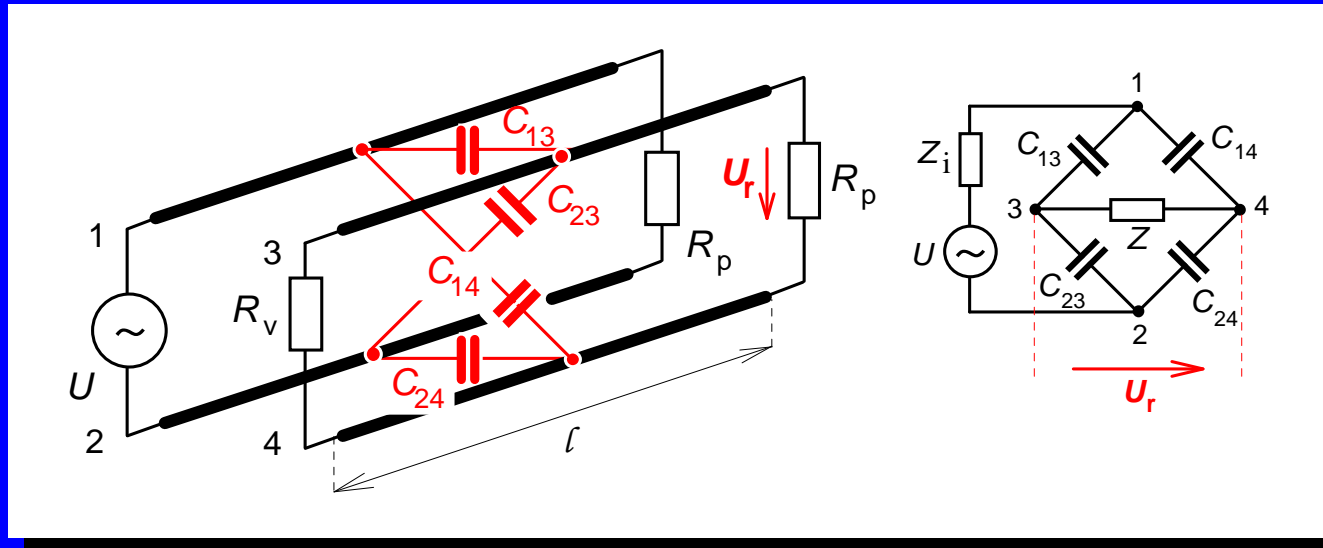


- v možných případech zcela vzájemně galvanicky oddělit např. funkčně související signálové a výkonové obvody jednoho zařízení



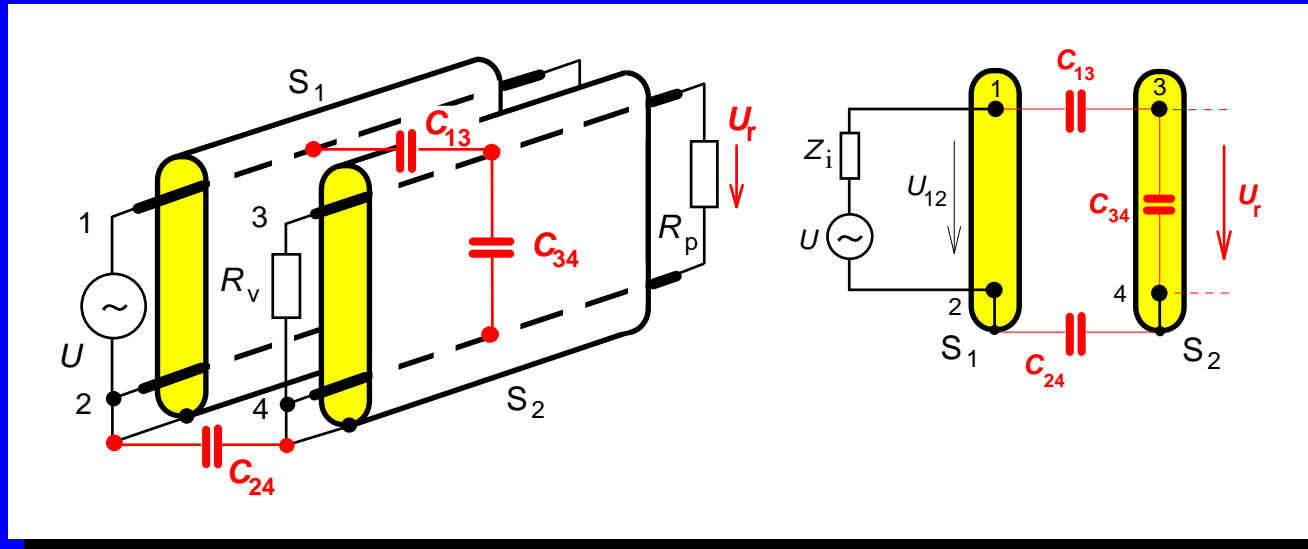
Parazitní kapacitní vazba

Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů



- **Vyvážení kapacitního můstku**, např. $C_{13} \approx C_{23}$ a $C_{14} \approx C_{24}$ ➔ zkroucení obou párů vodičů (vodiče 1 a 2 a rovněž vodiče 3 a 4), příp. aspoň rušeného vedení, tj. vodičů 3 a 4.

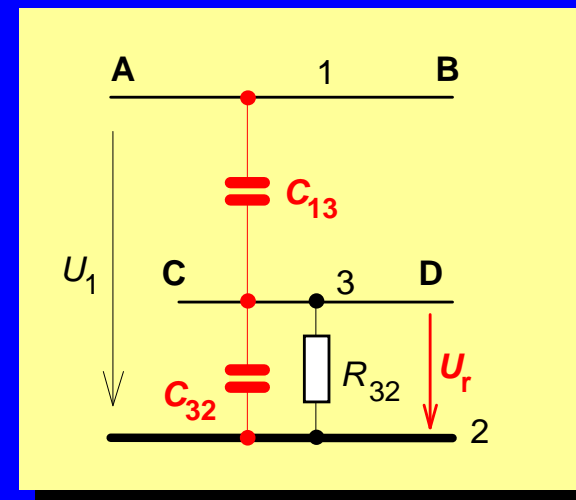
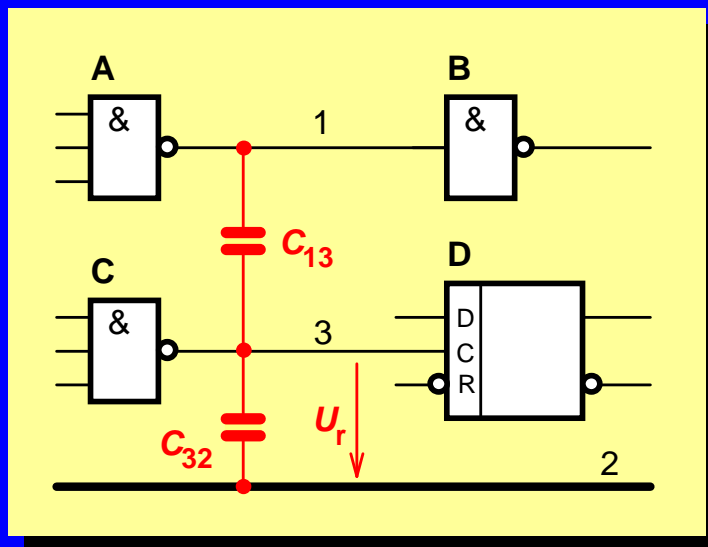
- Použití oboustranného stínění



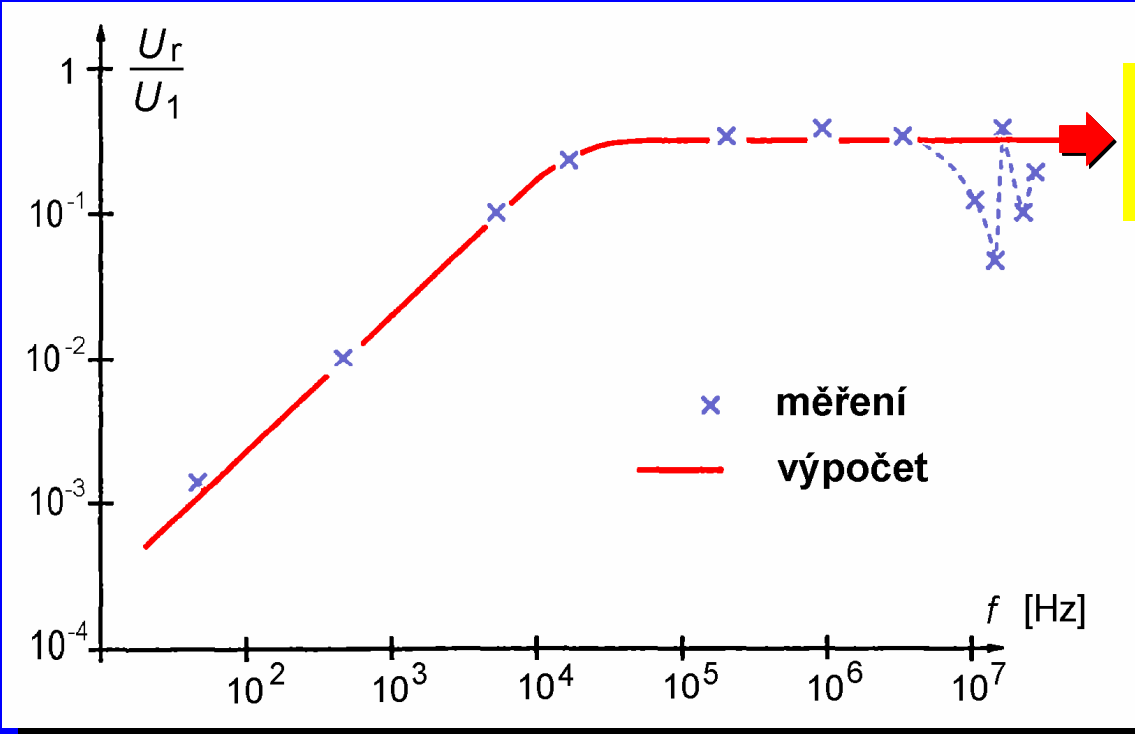
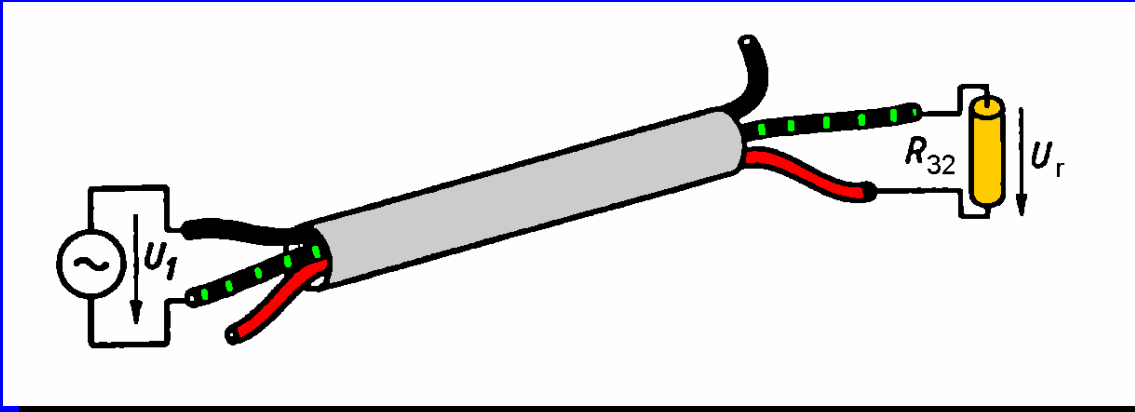
$$U_r = U_{12} \cdot \frac{1}{1 + C_{34}/C_{13} + C_{34}/C_{24}}$$

$$C_{34} \gg C_{13} \quad \text{a} \quad C_{34} \gg C_{24}$$

Kapacitní vazba mezi obvody se společným (vztažným) vodičem



$$U_{r \max} = U_1 \cdot \frac{C_{13}}{C_{13} + C_{32}}$$

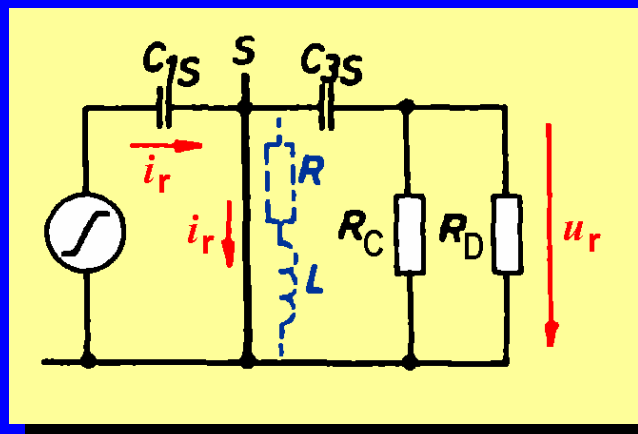
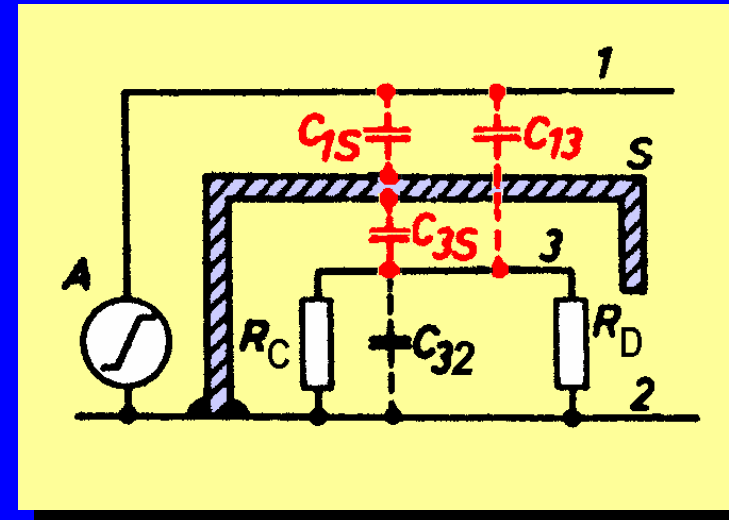
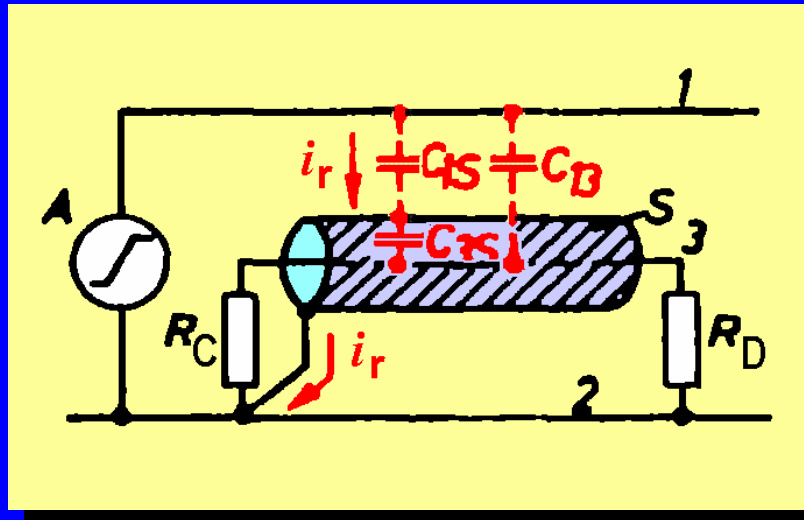


$$U_{r\max} = U_1 \cdot \frac{C_{13}}{C_{13} + C_{32}}$$

Zásady zmenšení tohoto druhu parazitní kapacitní vazby

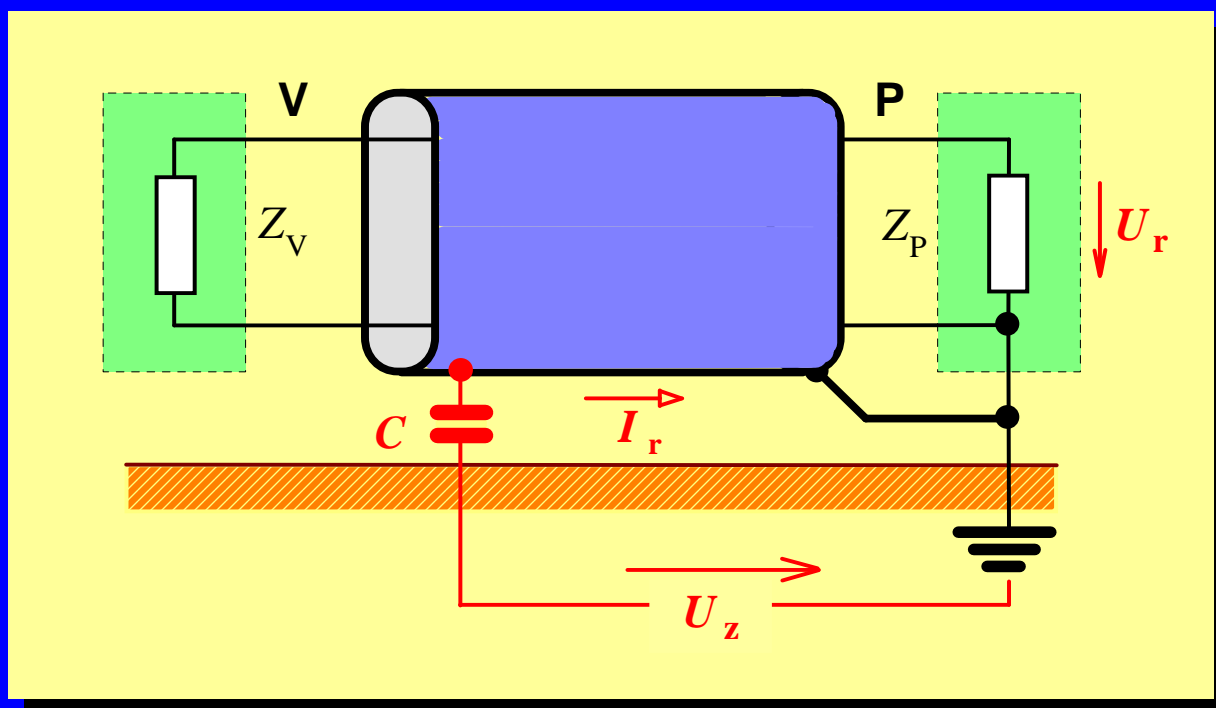
- **Zmenšit parazitní vazební kapacitu C_{13}** vzdálením obou vodičů 1 a 3, co nejkratší souběžné vedení, příp. zamezení jejich souběžnému vedení, co nejmenší průřezy obou vodičů a co nejmenší hodnota permitivity izolace mezi vodiči, příp. permitivity materiálu desky plošného spoje.
- **Co největší kapacita C_{32}** , která na vstupu ovlivňovaného obvodu omezuje velikost přeneseného rušivého napětí (např. těsným přiblížením či zkroucením vodiče 3 se vztažným vodičem 2).
- **Nízkoohmové impedanční poměry** v navázaném (ovlivňovaném) obvodu, tedy hodnotu **R_{32} udržovat minimální**.
- **Rychlost časových změn** všech napětí (signálů) v obvodu **$\Delta u / \Delta t$ omezit na minimální možnou hodnotu**, postačující ke správné činnosti daného obvodu.

- **Vzájemně elektricky odstínit** oba ovlivňující se vodiče buď stíněním vodiče 3, **nebo** zavedením pomocného „stínícího“ spoje s nulovým potenciálem na desce plošného spoje mezi vodiče 1 a 3.



Kapacitní vazba vůči zemi

vyvolaná velkou kapacitou např. přívodů obvodu vůči společné zemi



Parazitní induktivní vazba

$$U_r = -\frac{d\Phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -S \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} = -\mu_0 \cdot S \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

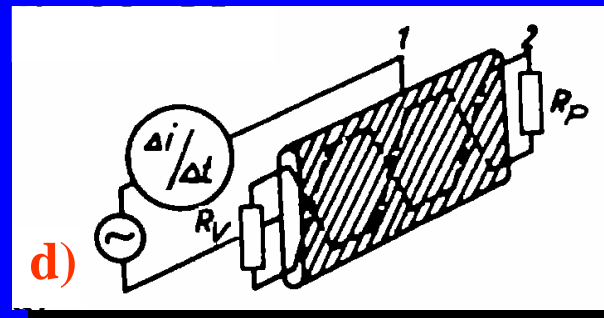
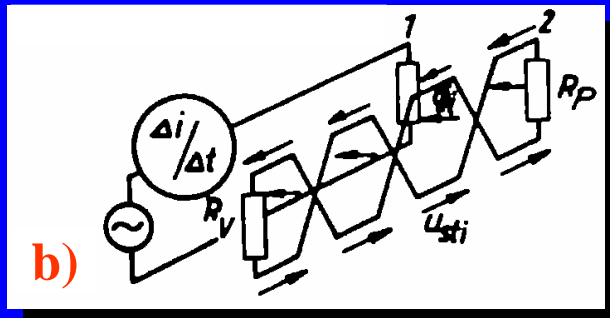
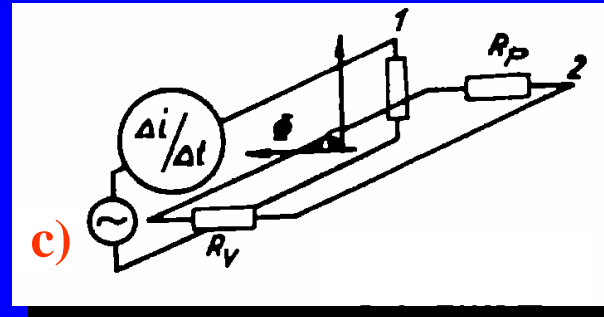
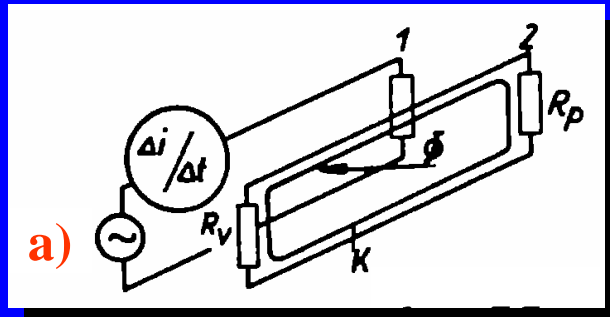
$$H = \frac{I}{2\pi r}$$



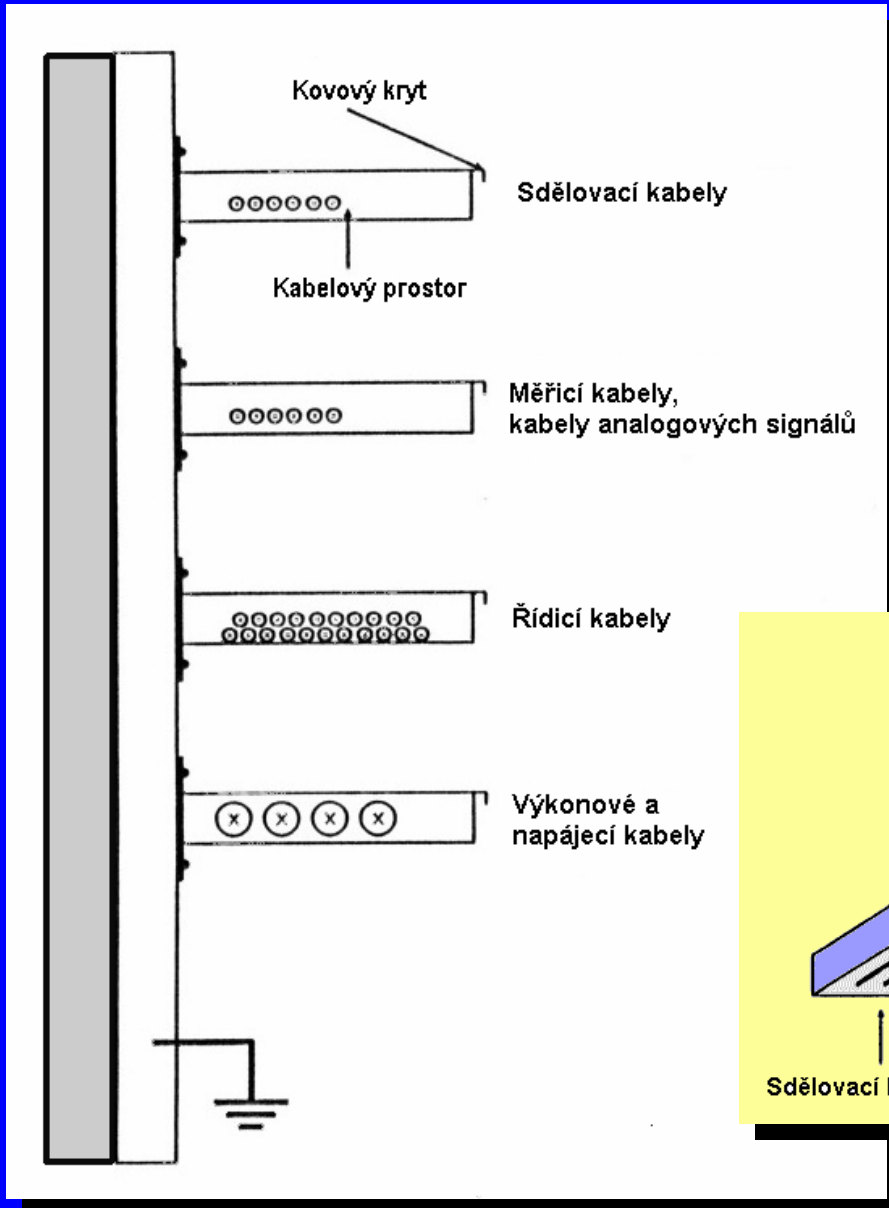
$$U_r \approx -\frac{\mu_0 S}{2\pi r} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

- minimální délka souběžně probíhajících vodičů obou obvodů;
- maximální vzájemná vzdálenost r obou obvodů;
- minimální velikost proudové smyčky S rušeného obvodu (obvodu přijímače);
- minimální rychlost časových změn všech proudů (signálů) v obvodu $\Delta I / \Delta t$.

Způsoby omezení indukční vazby



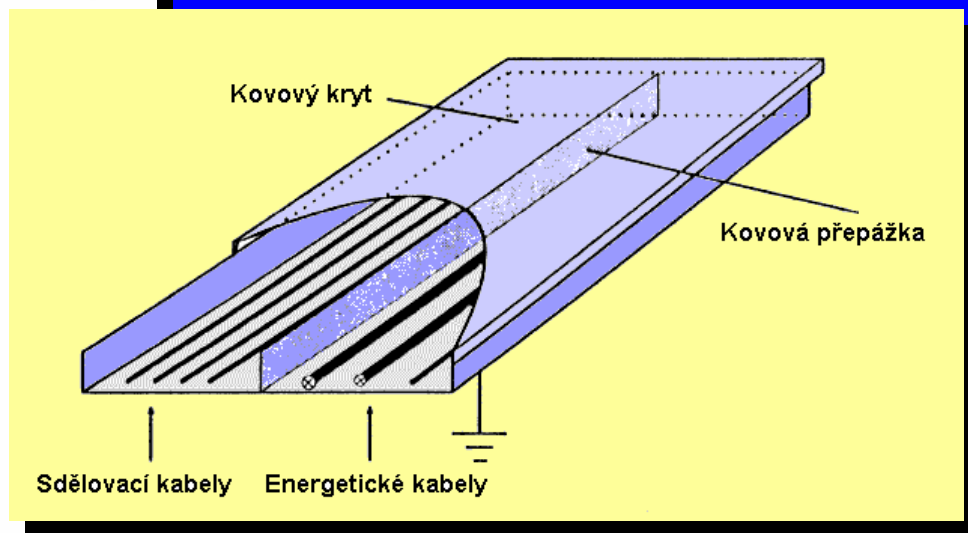
- a) omezení indukční vazby pomocí závitu K nakrátko;
- b) kompenzace indukční vazby zkroucením vodičů obvodu přijímače;
- c) minimalizace vazby kolmým natočením vazebních smyček;
- d) minimalizace vazby stíněním obvodu přijímače.



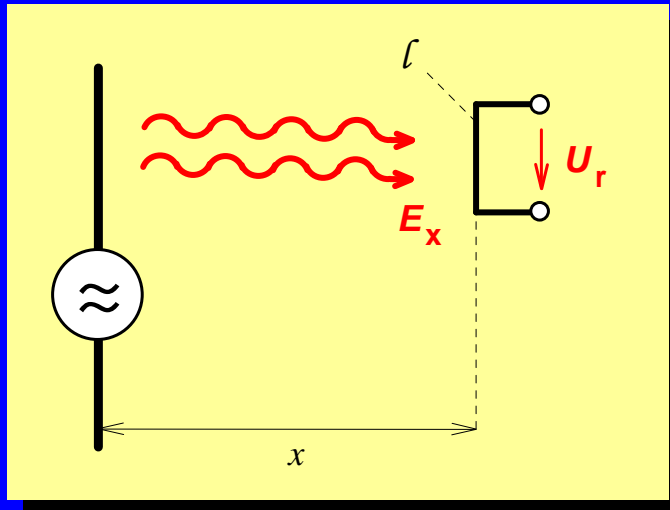
Omezení parazitních kapacitních a induktivních vazeb mezi souběžnými kabely



separátní vedení kabelů ve stíněných sekcích

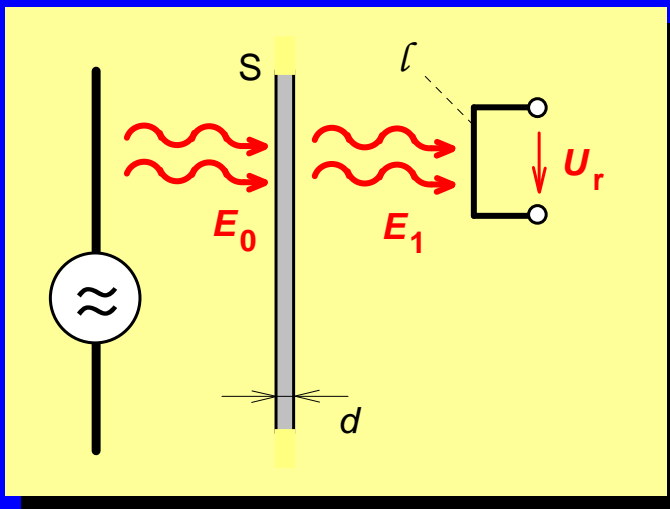


Parazitní vazba vyzařováním



$$E_x \approx 0,3 \cdot \frac{\sqrt{P}}{x} \quad [\text{V/m ; kW , km}]$$

$$U_r = E_x \cdot l_{\text{ef}}$$



Účinná ochrana



elektromagnetické stínění

ZPŮSOBY OMEZOVÁNÍ RUŠENÍ

ODRUŠOVACÍ PROSTŘEDKY

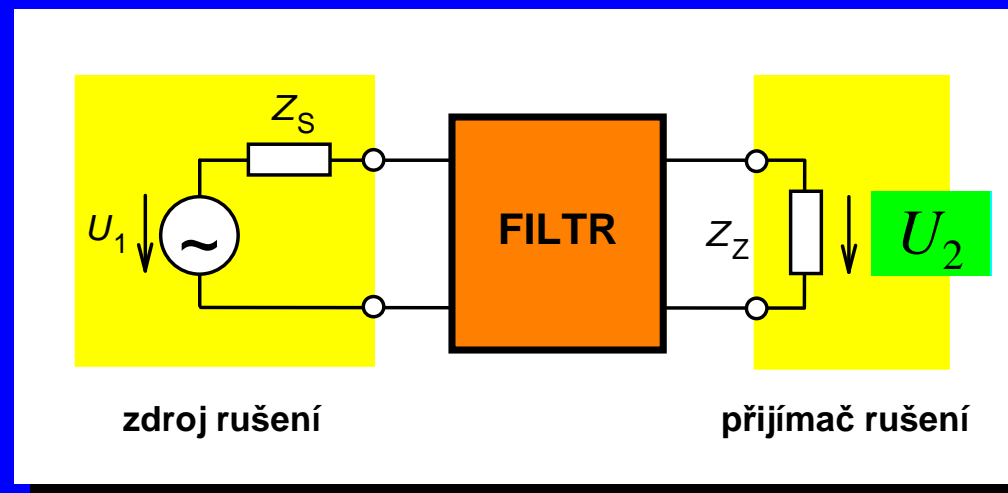
- **odrušovací tlumivky a jednoprvkové tlumivkové filtry,**
 - **odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry,**
 - **pasivní odrušovací filtry LC,**
 - **přepět'ové ochranné prvky** (bleskojistky, plynem plněné výbojky, varistory, omezovací diody),
 - **elektromagnetické, elektrické a magnetické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

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

Rušení vyzařováním: elektromagnetické stínění

Základním parametrem každého odrušovacího prvku (filtru) je

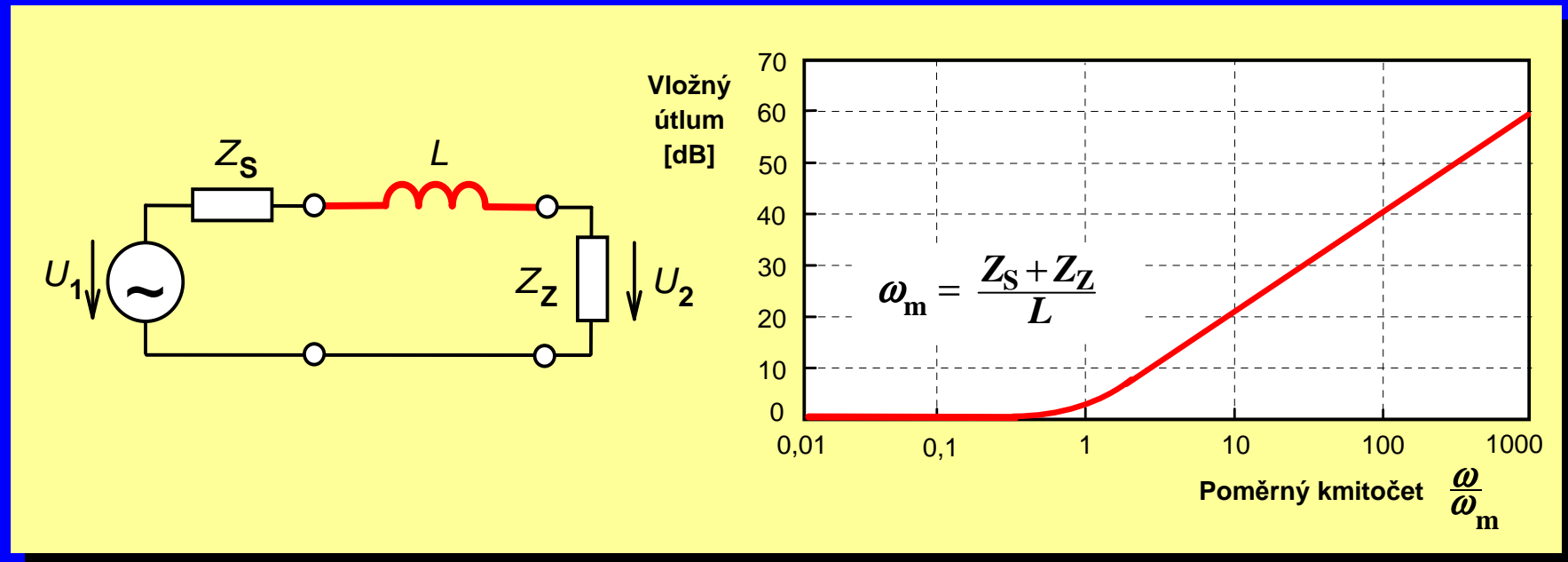
vložný útlum L



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

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

Odrušovací tlumivky

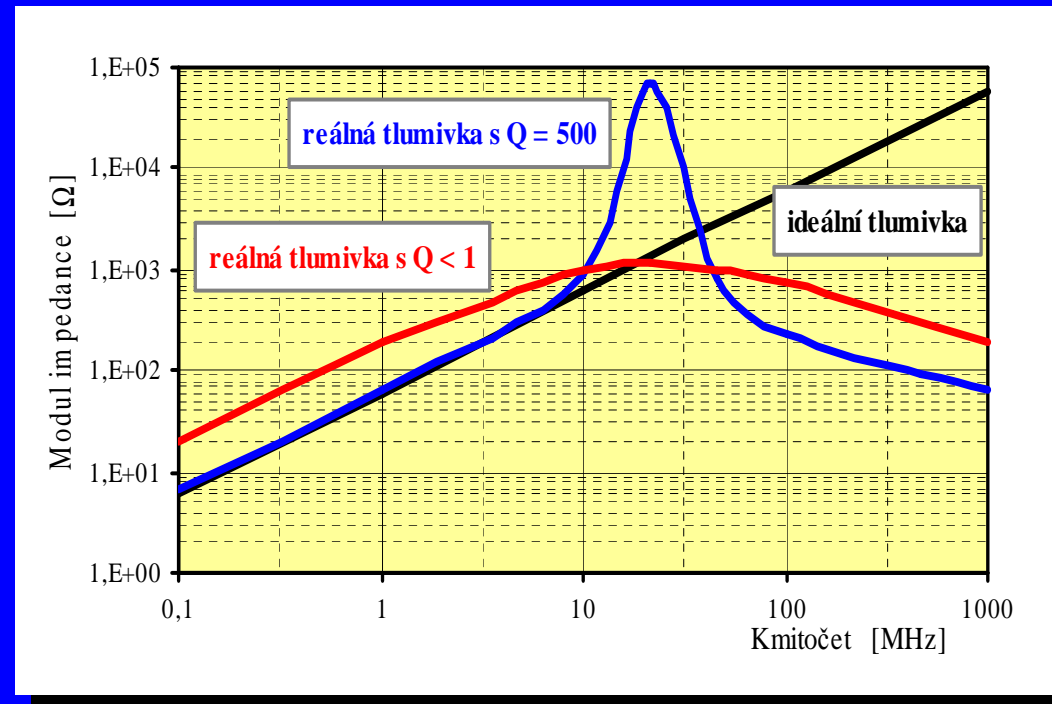
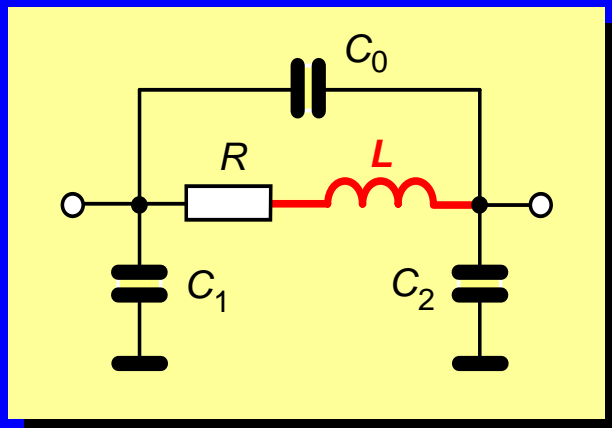


$$L \approx 0 \quad [\text{dB}] \quad \text{pro} \quad \omega L \ll Z_S + Z_Z$$

$$L \approx 20 \cdot \log \frac{\omega L}{Z_S + Z_Z} \quad [\text{dB}] \quad \text{pro} \quad \omega L \gg Z_S + Z_Z$$

Parazitní parametry odrušovací tlumivky

Náhradní schéma reálné odrušovací tlumivky



Kmitočtová závislost velikosti impedance reálné odrušovací tlumivky

Základní požadavky na odrušovací tlumivky:

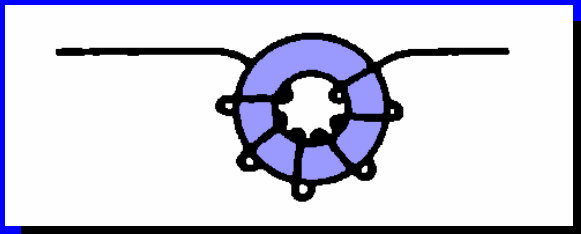
- **Velká indukčnost** (řádově mH) při malých rozměrech, malém počtu závitů, nízké hmotnosti a nízké ceně. Napěťový úbytek napájecího napětí 50 Hz na tlumivce je základním omezujícím faktorem počtu závitů tlumivky, a tedy hodnoty její indukčnosti.
- **Vysoký vlastní rezonanční kmitočet**, tj. minimální parazitní kapacity tlumivky.
- Mimo oblast síťových kmitočetů (50 ÷ 400 Hz) musí mít tlumivka **co největší činné ztráty**, tedy co nejmenší činitel jakosti ($Q < 1$). Typická hodnota vložného útlumu „síťové“ tlumivky činí 15 ÷ 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

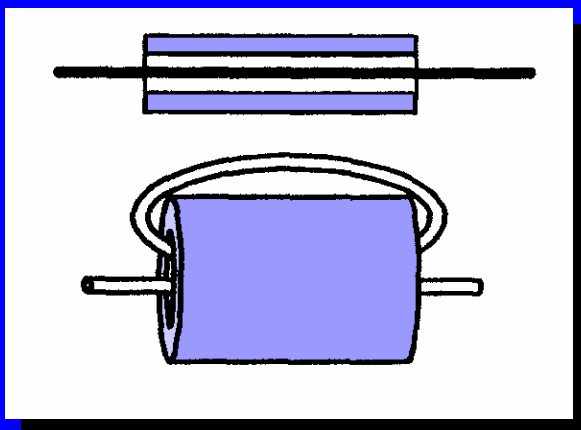
- a) Tlumivky pro potlačení symetrické složky rušení v napájecích obvodech, pro potlačení parazitních vazeb mezi signálovými a řídicími obvody, vysokofrekvenční blokovací tlumivky.



Odrušovací tlumivka na otevřeném feritovém jádru

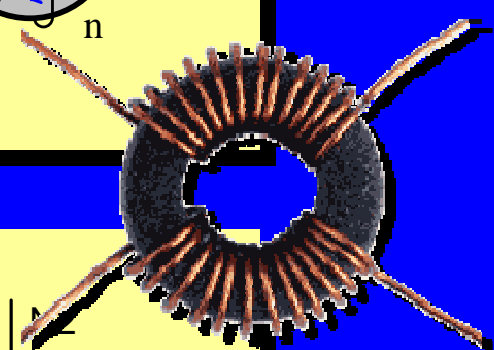
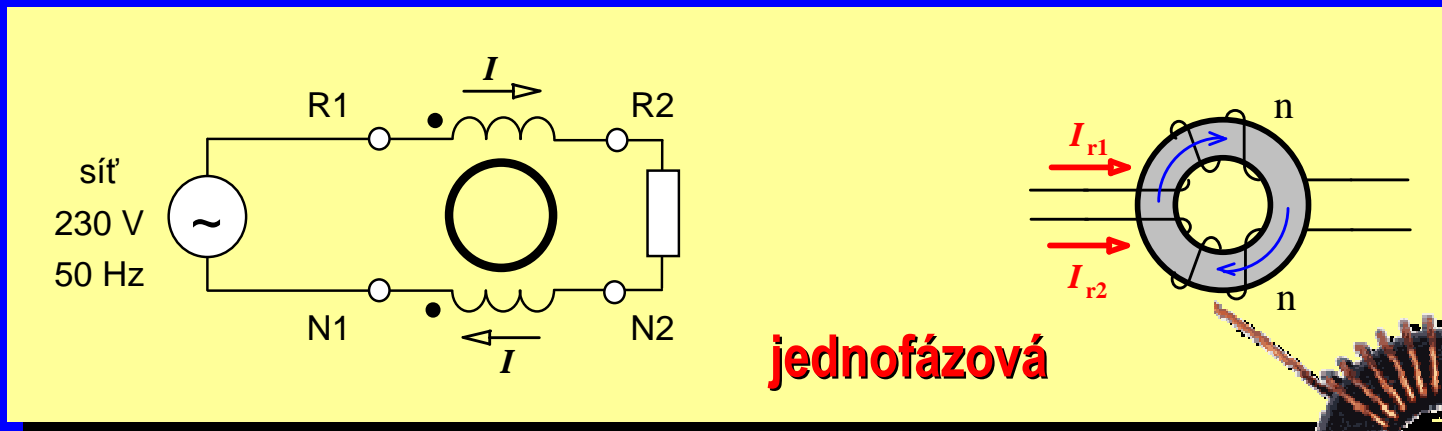


Odrušovací tlumivka na uzavřeném feritovém jádru

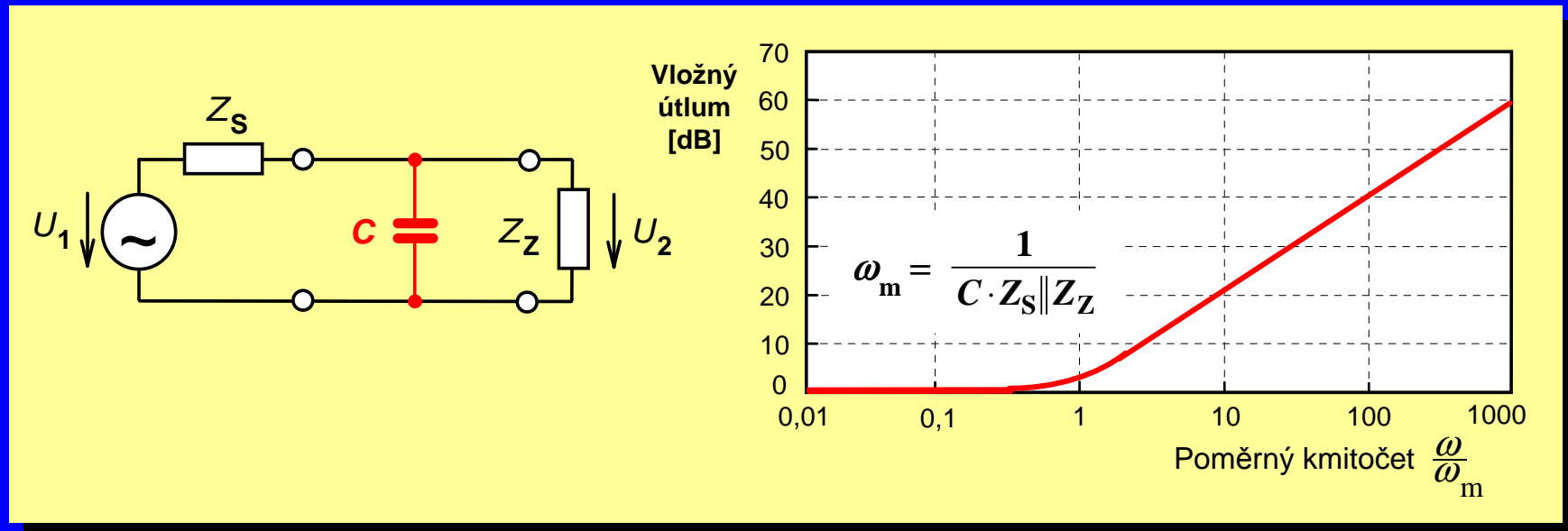


Odrušovací tlumivky pro vysoké kmitočty

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



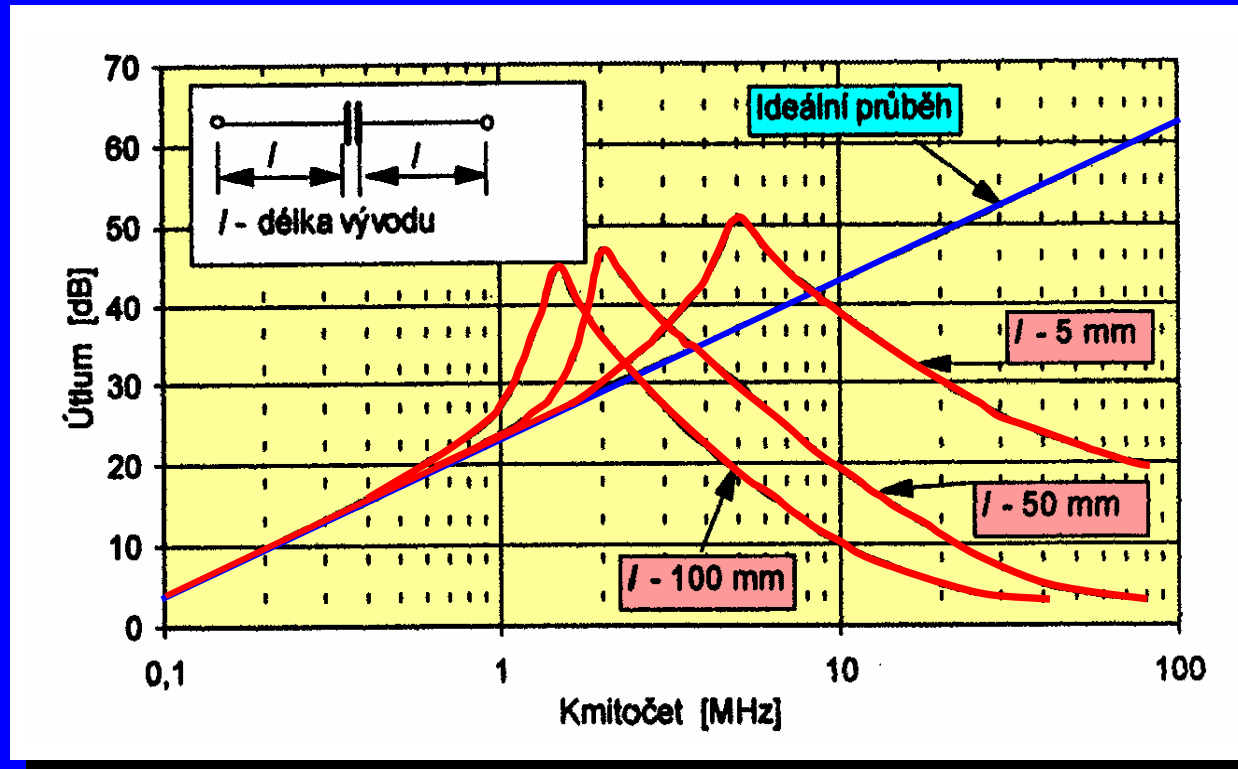
Odrušovací kondenzátory (kondenzátorové filtry)



$$L \approx 0 \quad [\text{dB}] \quad \text{pro} \quad \omega C \ll 1 / (Z_S \parallel Z_Z)$$

$$L \approx 20 \cdot \log \left(\omega C \cdot \frac{Z_S \cdot Z_Z}{Z_S + Z_Z} \right) \quad [\text{dB}] \quad \text{pro} \quad \omega C \gg 1 / (Z_S \parallel Z_Z)$$

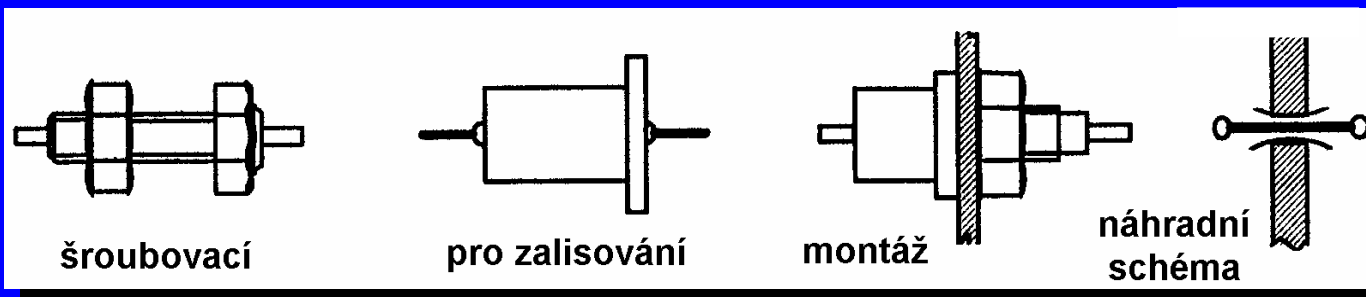
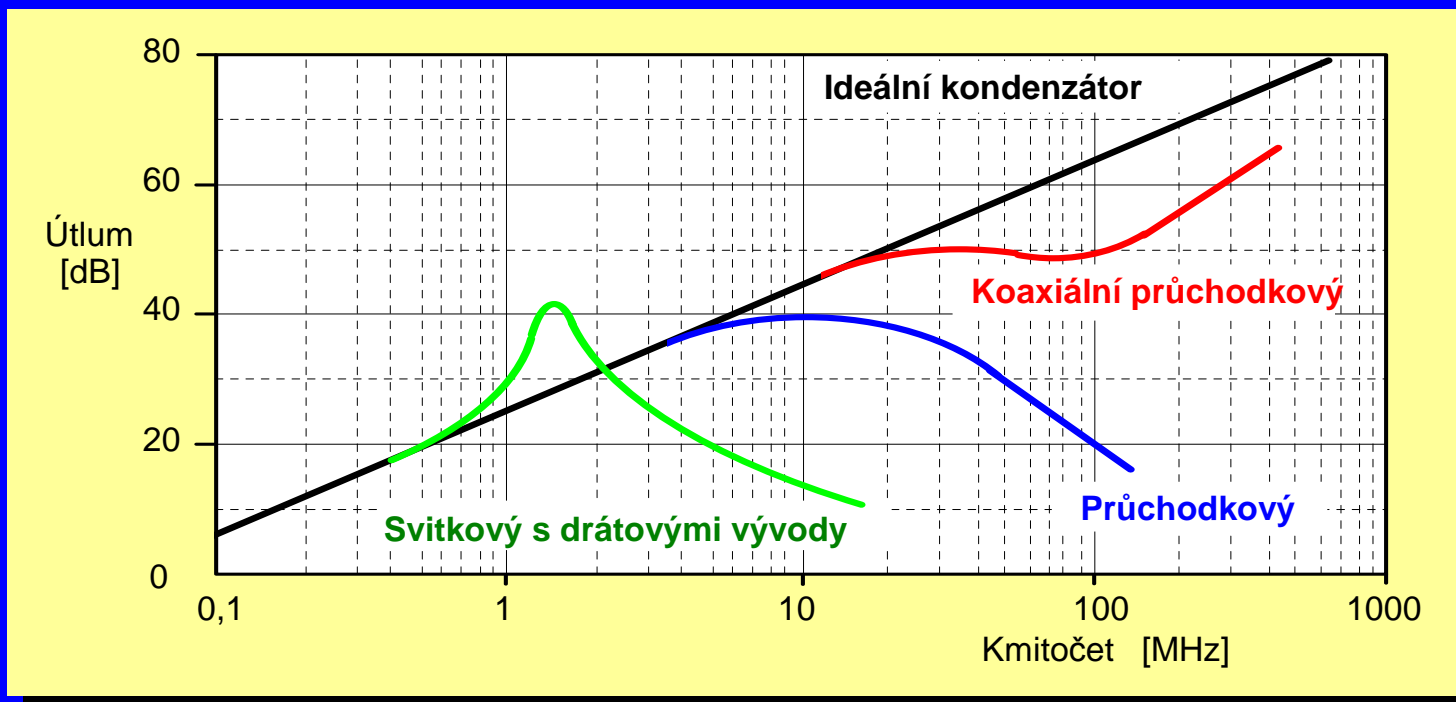
Parazitní parametry odrušovacích kondenzátorů



Vliv přívodů dvojpólového kondenzátoru 250 nF na hodnotu vložného útlumu

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

Kmitočtový průběh vložného útlumu různých kondenzátorů



Typy a montáž průchodkových kondenzátorů

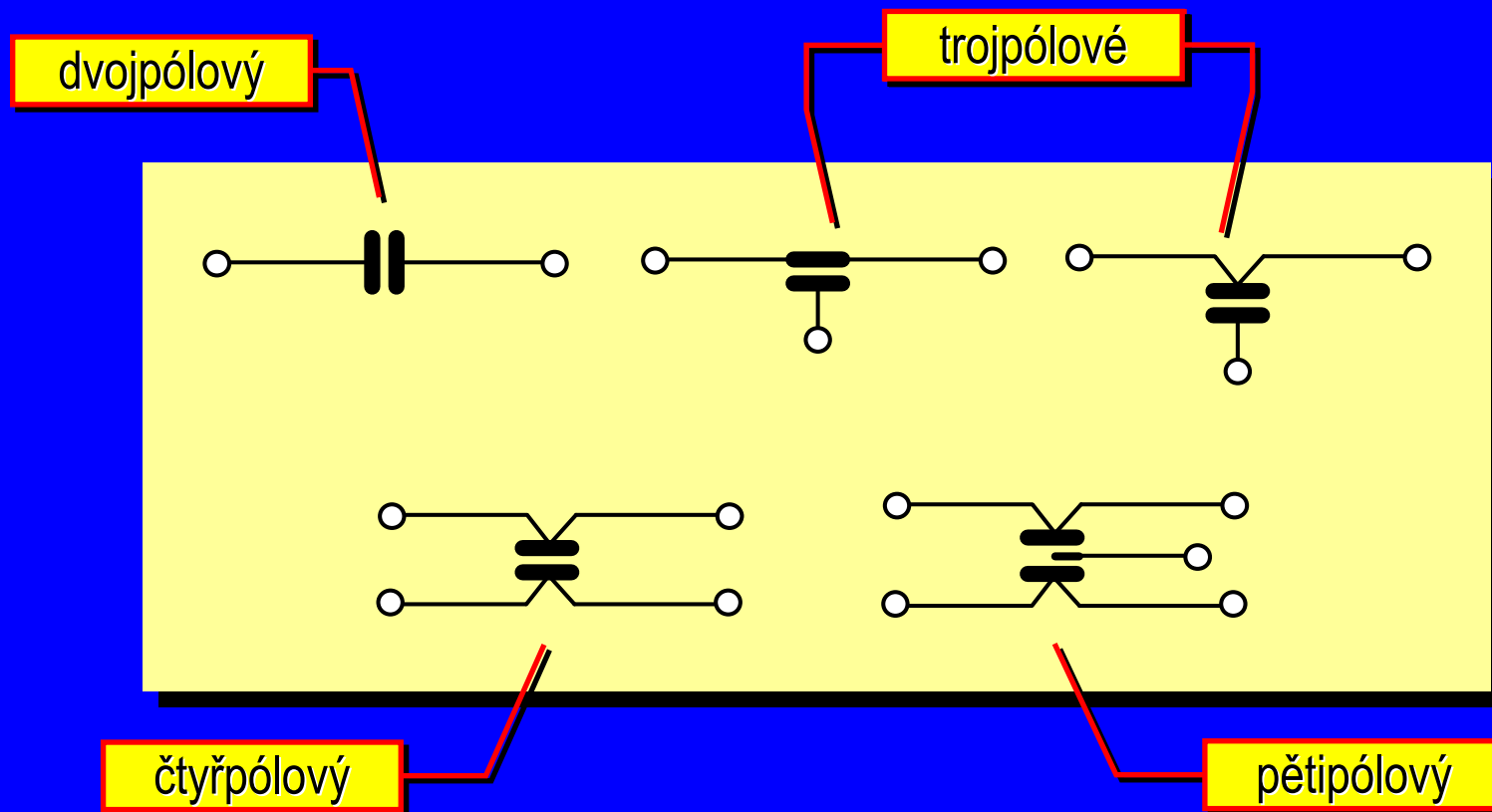
Kapacita odrušovacích kondenzátorů

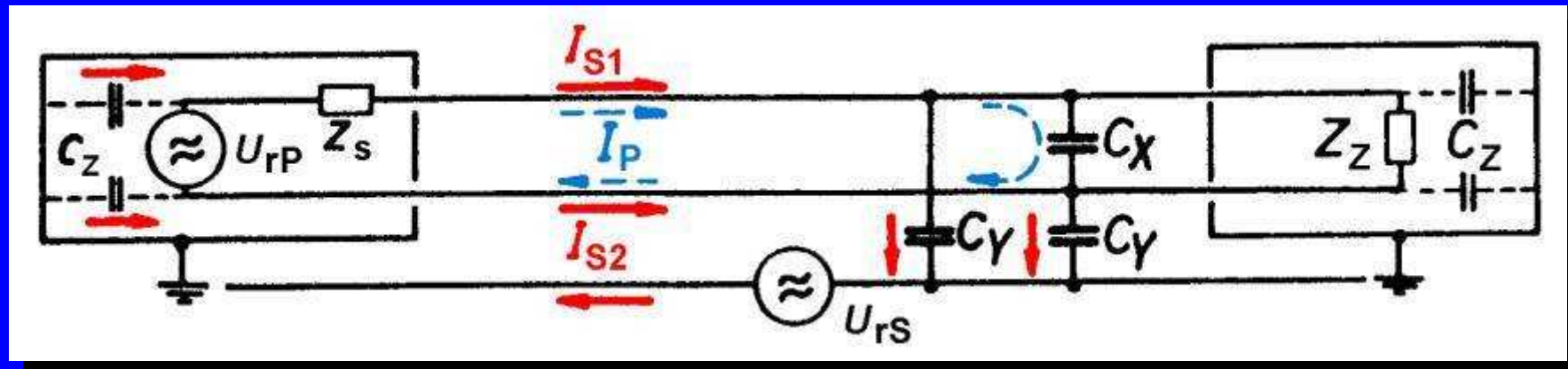
se volí v závislosti na kmitočtovém spektru rušení → → čím nižší dolní kmitočet potlačovaného kmitočtového pásma, tím větší kapacita

Odrušované kmitočtové pásmo	Doporučené hodnoty odrušovacích kondenzátorů
10 kHz - 0,5 MHz	5 - 4 - 2 - 1 - 0,5 μF
0,5 - 6 MHz	0,5 - 0,25 - 0,1 μF
6 - 30 MHz	100 nF až 1000 pF
nad 30 MHz	méně než 1000 pF

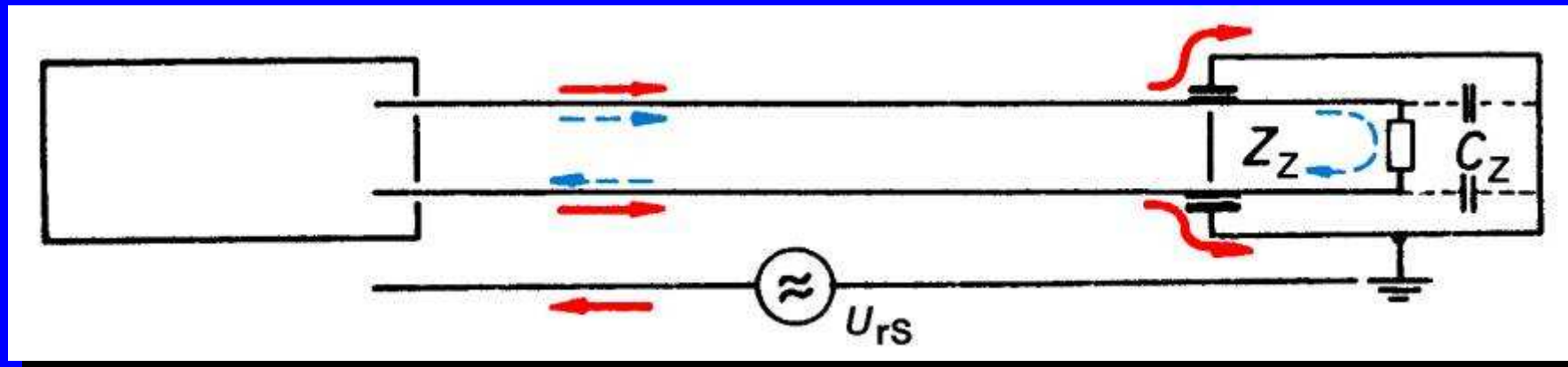
- **Kondenzátory třídy X** se používají tam, kde jejich případný průraz nemůže ohrozit lidský život.
- **Kondenzátory třídy Y (tzv. bezpečnostní)** se zapojují mezi fázový a ochranný vodič tam, kde je omezena přípustná hodnota svodového proudu.

Konstrukční typy odrušovacích kondenzátorů a způsoby jejich použití

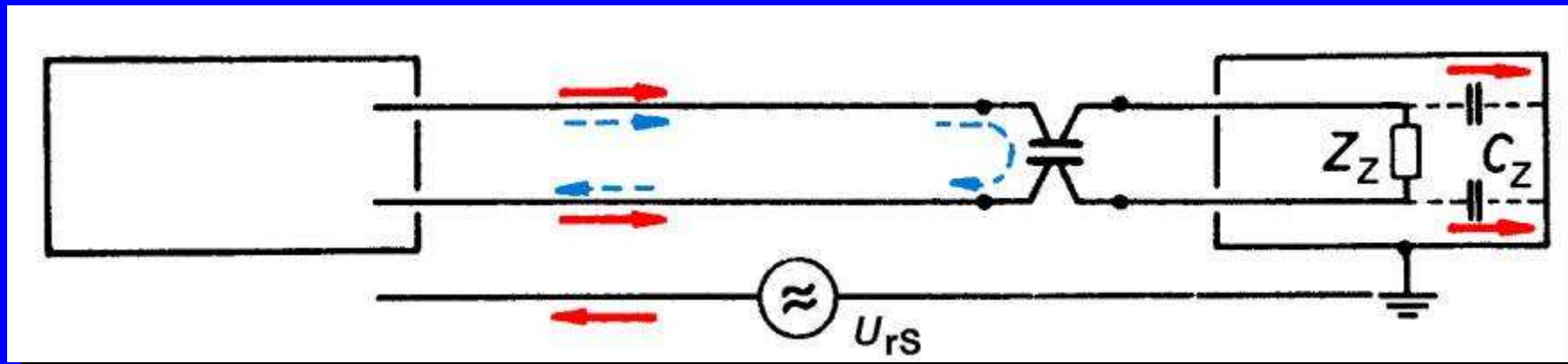




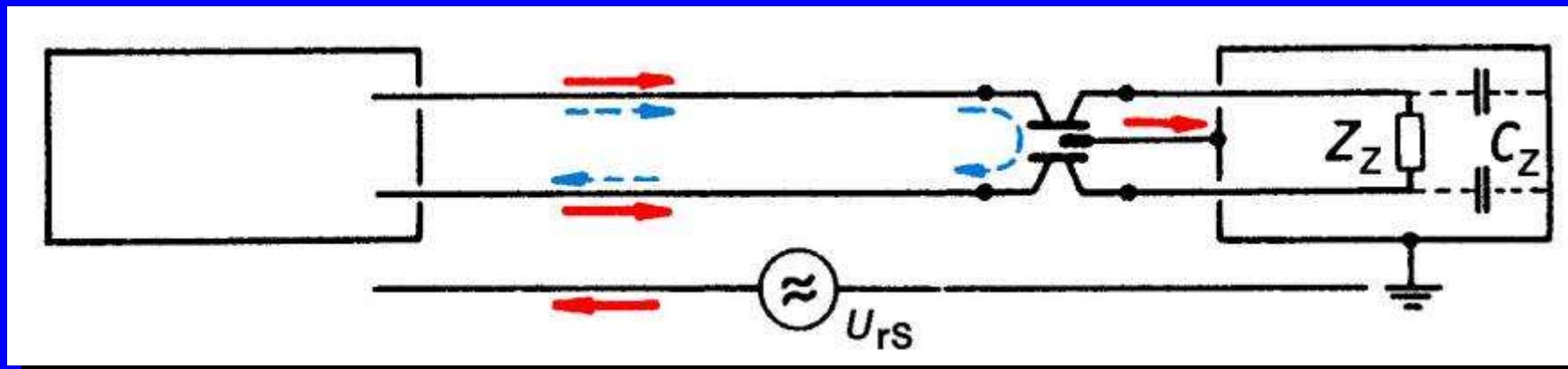
Potlačení protifázových rušivých proudů I_p pomocí dvojpólového kondenzátoru C_x a soufázových rušivých proudů I_s pomocí dvojpólových kondenzátorů C_y



Potlačení soufázových rušivých proudů → pomocí trojpólových kondenzátorů

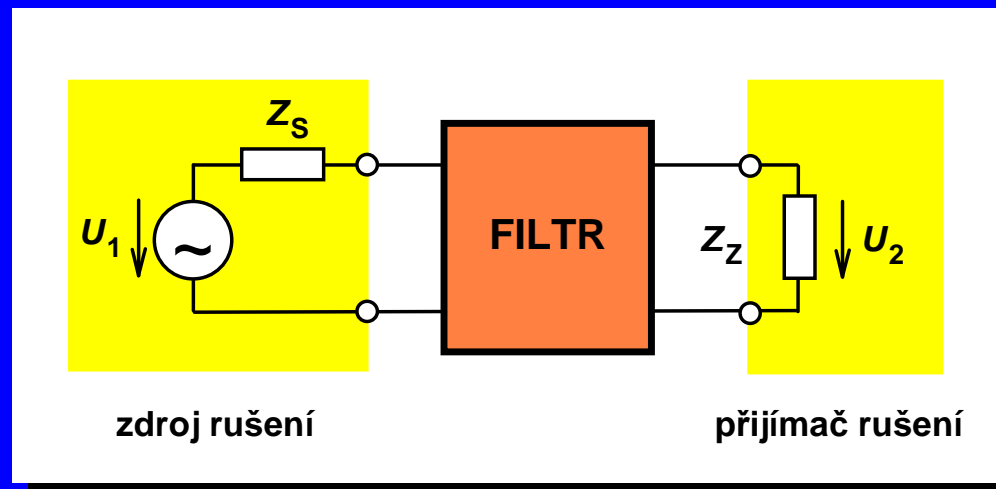


Potlačení protifázových rušivých proudů \dashrightarrow pomocí čtyřpólového kondenzátoru



Potlačení protifázových rušivých proudů \dashrightarrow a soufázových rušivých proudů \rightarrow pomocí jediného pětipólového odrušovacího kondenzátoru

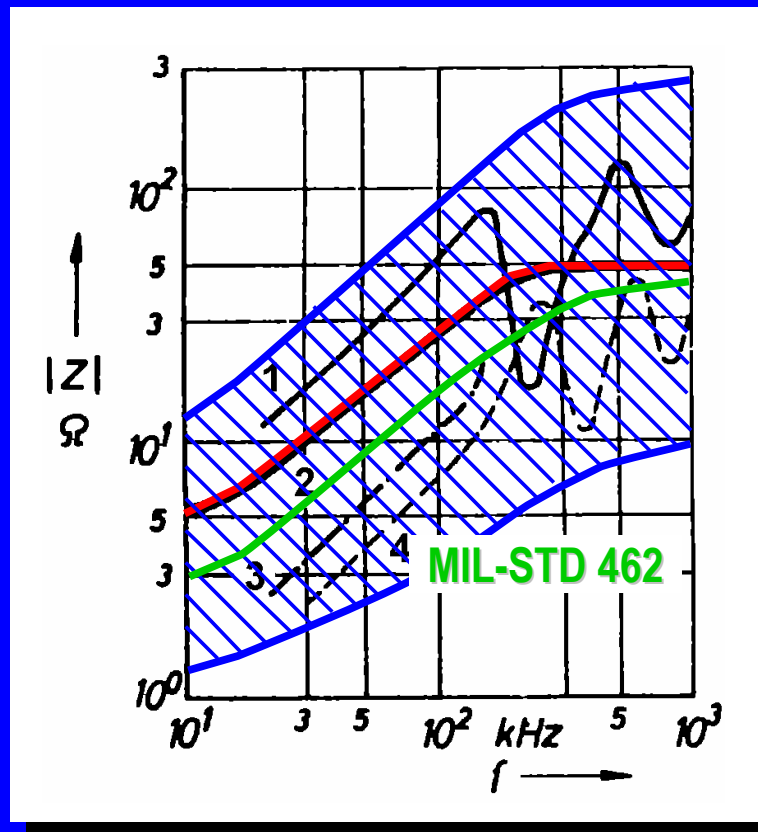
Sít'ové (napájecí) odrušovací filtry



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 sít'ových 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 Ω až po stovky Ω . Je hlavním zdrojem neurčitosti při provozu filtrů.



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

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

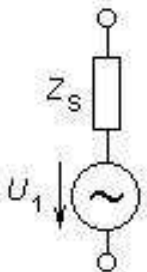
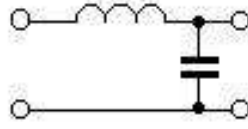
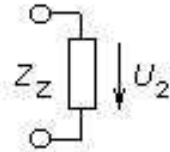
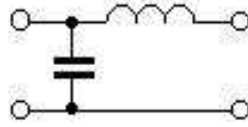
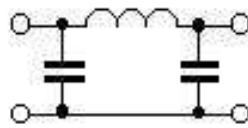
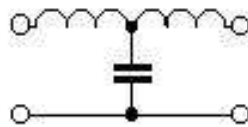
Další problémy návrhu síťových odrušovacích filtrů

- Na tlumivkách filtru (bez proudové kompenzace) nesmí vzniknout větší úbytek napájecího napětí 50 Hz než 1÷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 síť nebo ohrozit jejich správnou činnost.
- Ekonomické a konstrukční otázky ➔ cena filtru, rozměry a váha. Všechny tyto veličiny by měly být minimalizovány.

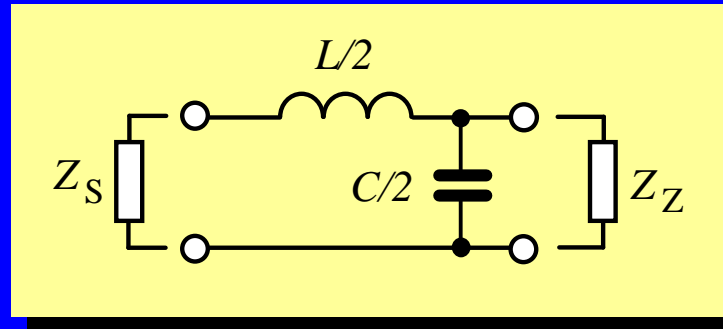


výpočet síťového odrušovacího filtru má vždy spíše jen orientační charakter

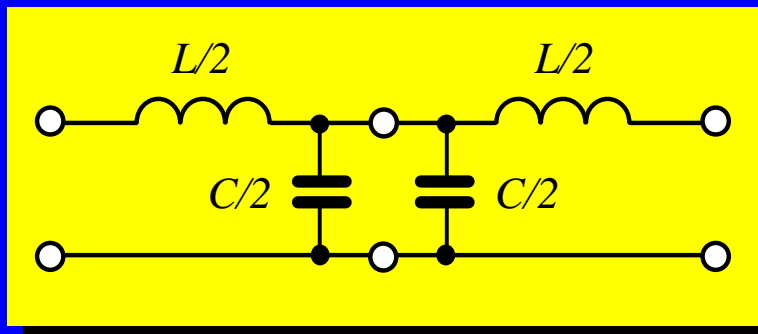
Volba základní struktury síťového filtru podle velikostí zátěžových impedancí Z_S a Z_Z

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	

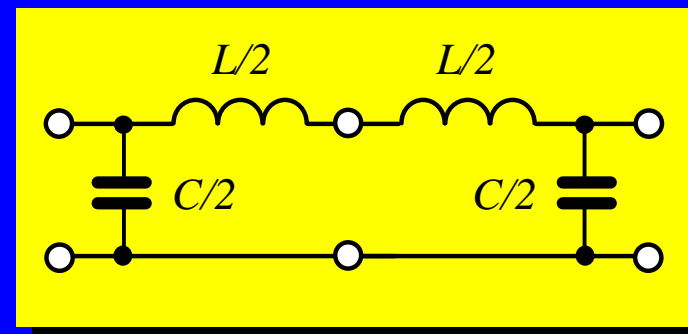
Základní struktury síťových odrušovacích filtrů LC



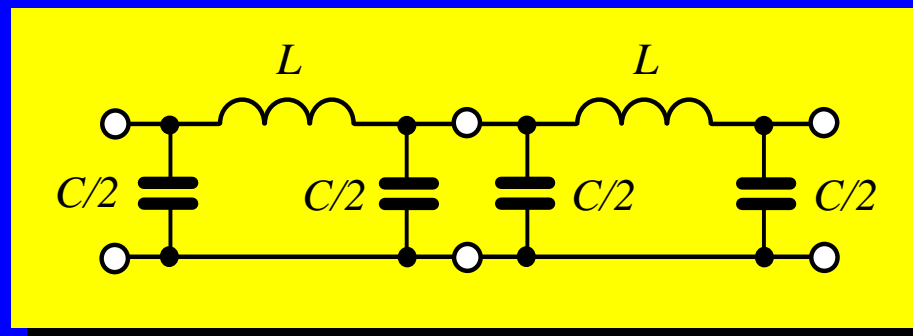
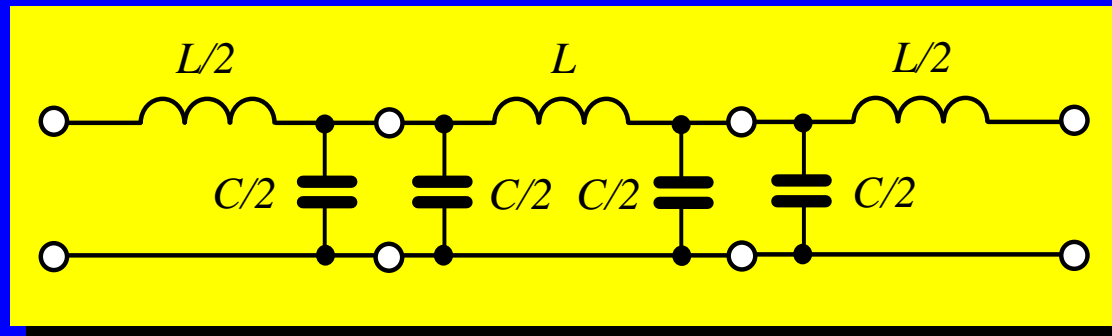
Výchozí půlčlánek L typu dolní propust



Sestavení základního článku T

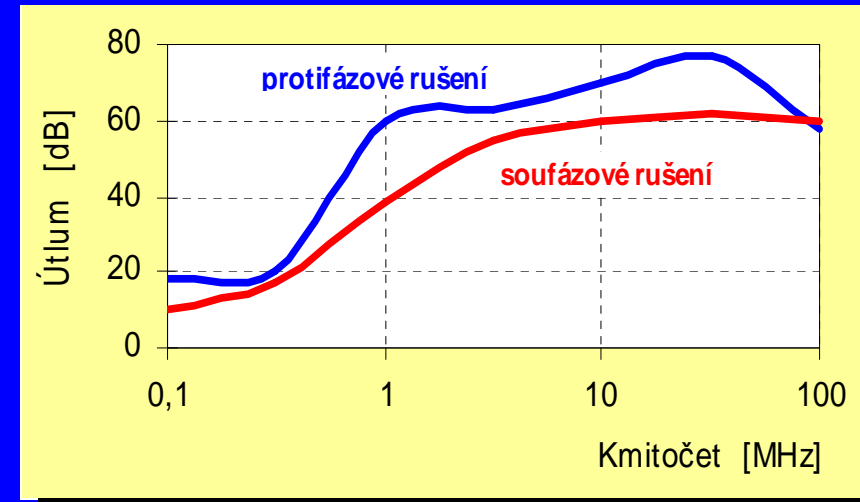
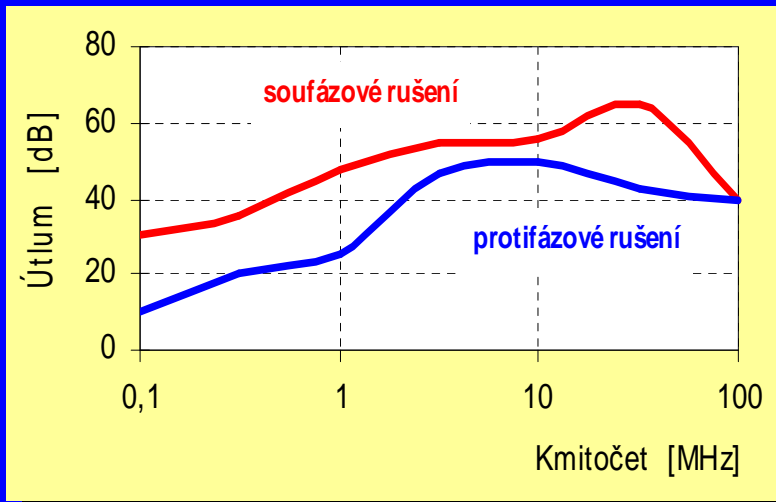
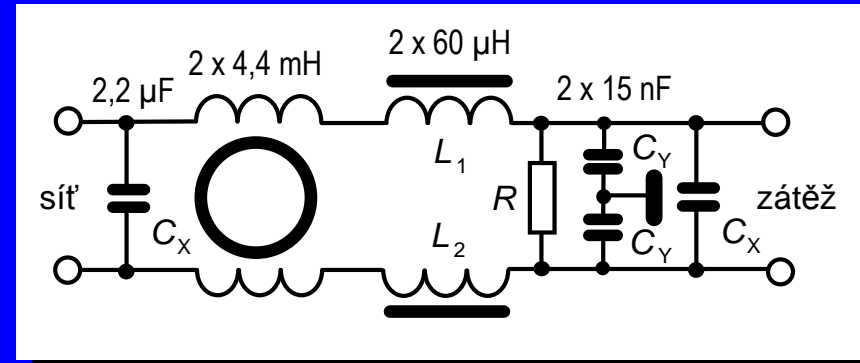
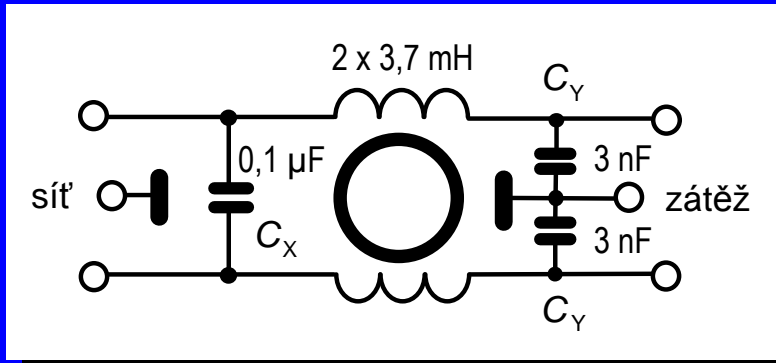


Sestavení základního článku II

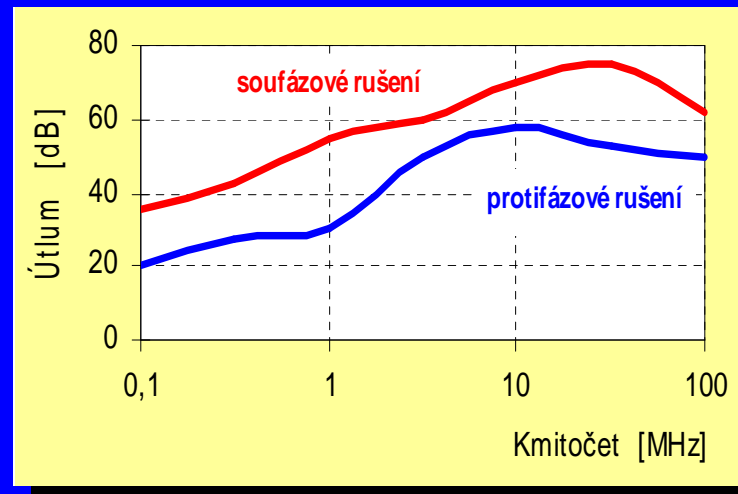
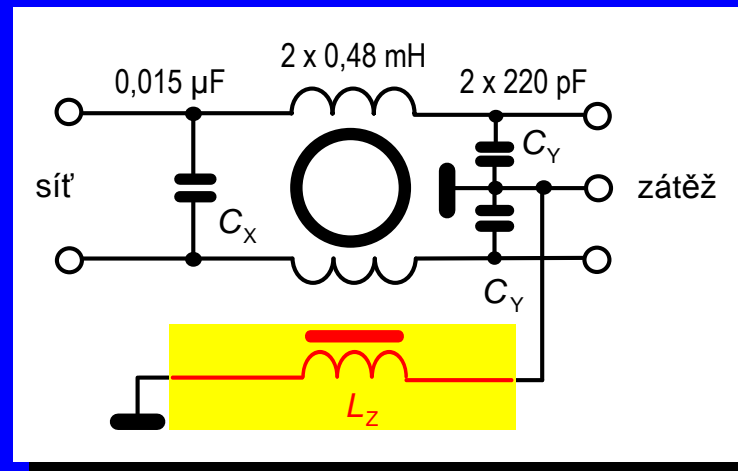


Sestavení dvojitých článků T a Π

Příklady zapojení komerčních odrušovacích síťových filtrů

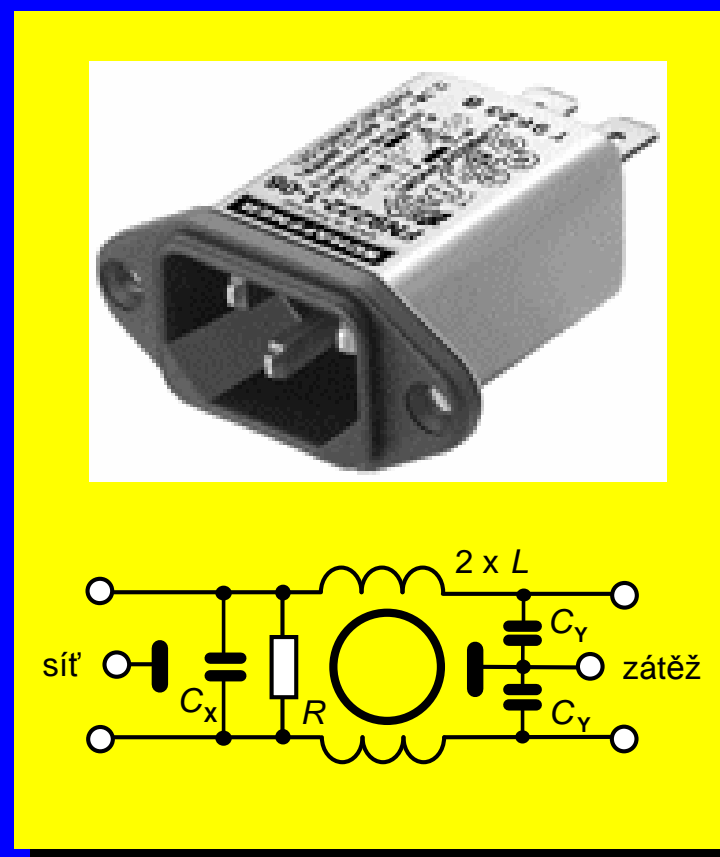
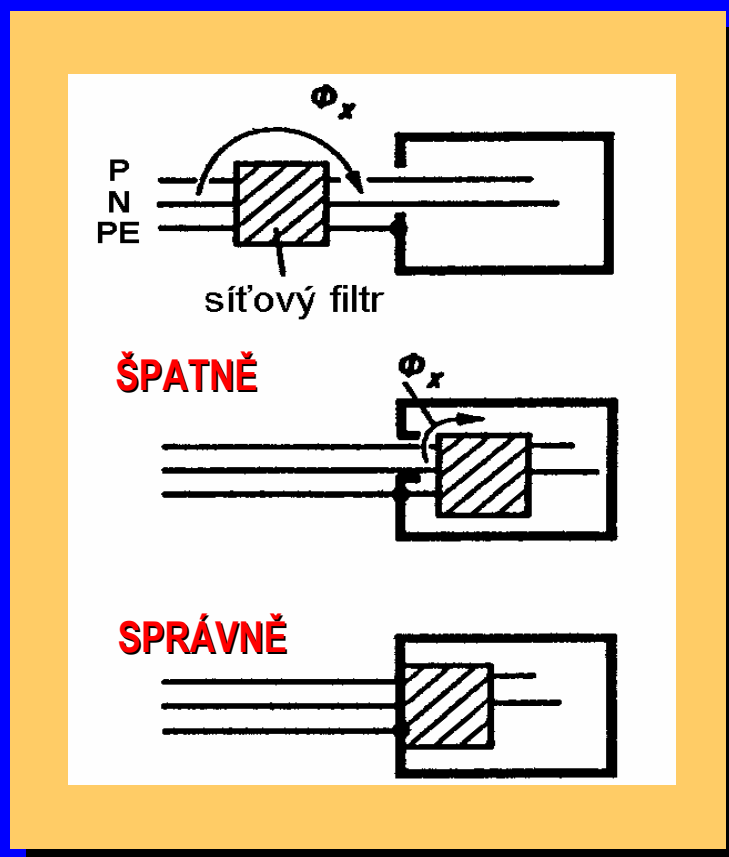


Odrušovací filtr se zemní tlumivkou



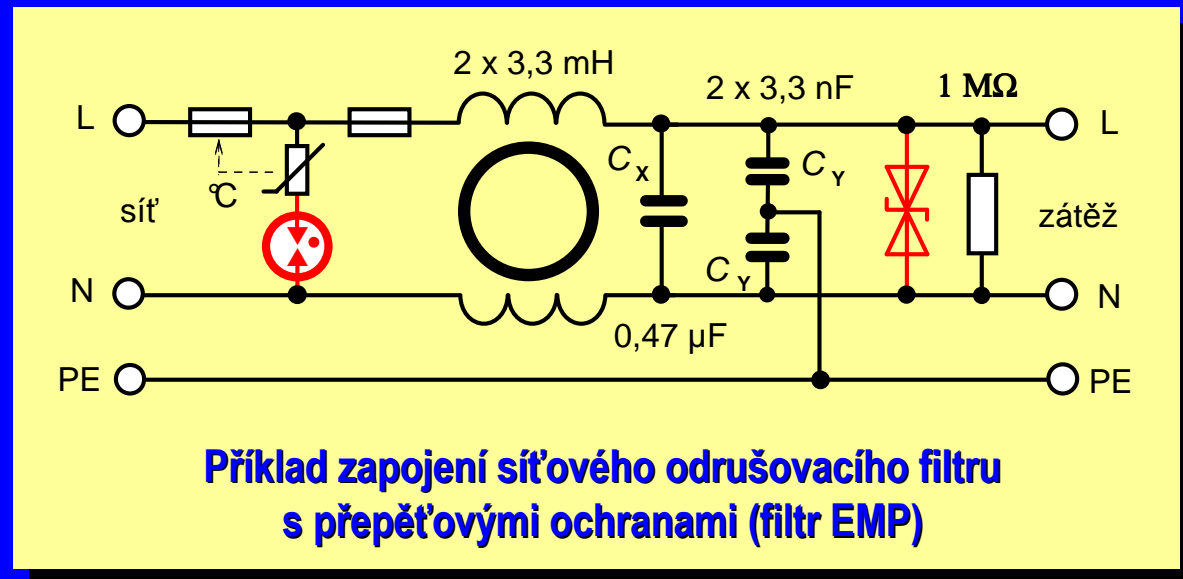
Mechanická konstrukce a instalace odrušovacích filtrů

do chráněného vstupu odrušovaného zařízení musí být takové, aby rušivé signály mohly vstupovat do zařízení jen průchodem přes filtr a nikoli různými parazitními cestami „kolem“ filtru.



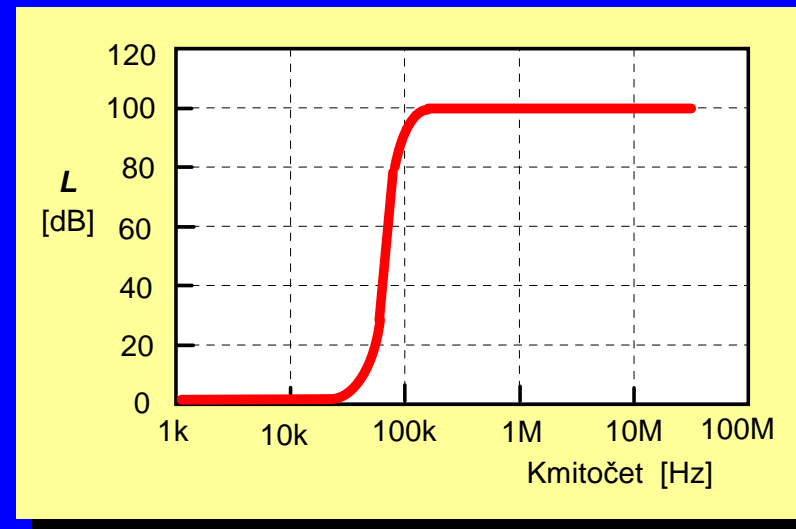
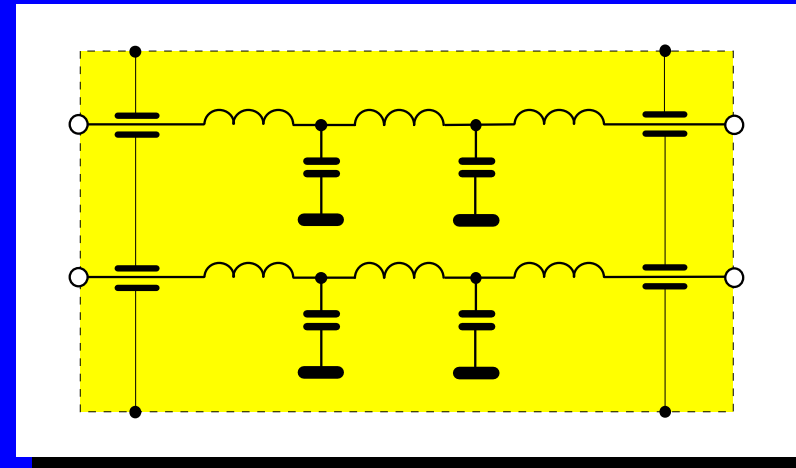
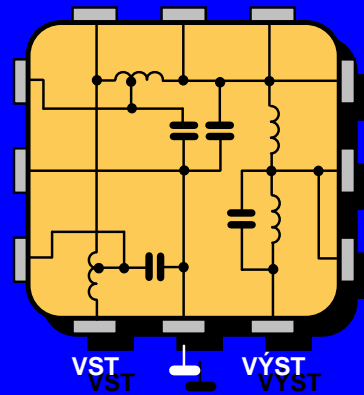
Speciální druhy odrušovacích filtrů

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

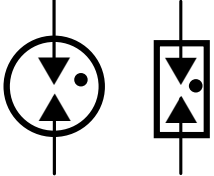
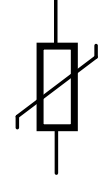




- **Datové filtry (Data - Line Filters)**

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.



Přepět'ové ochranné prvky

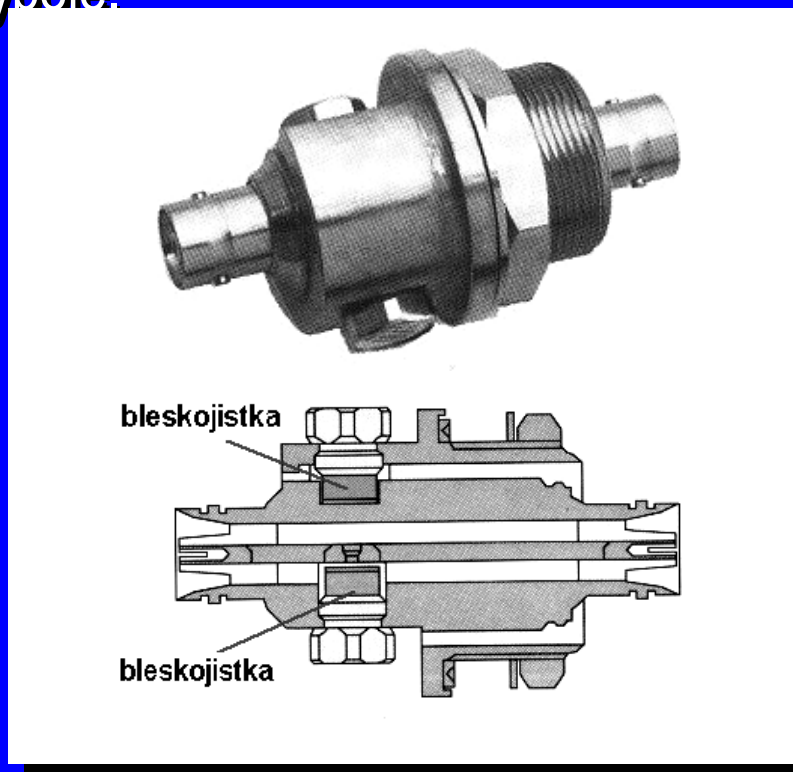
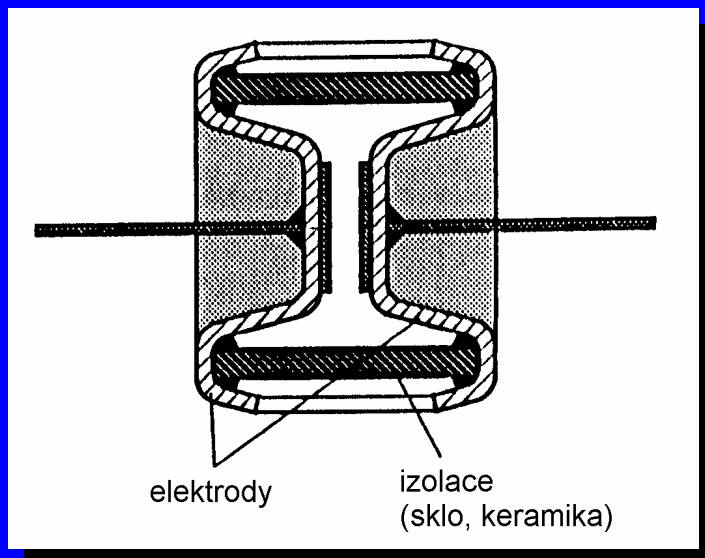
Název	Plynem plněné bleskojistky (výbojky)	Varistory (Voltage Dependent Resistors – VDR)	Klasické Zenerovy diody	Supresorové diody (Transient Absorbing Zener – TAZ diody)
Schematická značka				
Ochranné napětí [V]	10 ÷ 12 000	6 ÷ 2 000	2,4 ÷ 200	6 ÷ 440
Maximální proud po dobu 1 ms [A]	500	120	10	200
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	10	0,01
Druh ochrany	hrubá	hrubá, jemná	jemná	jemná

Hrubé přepět'ové ochrany

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

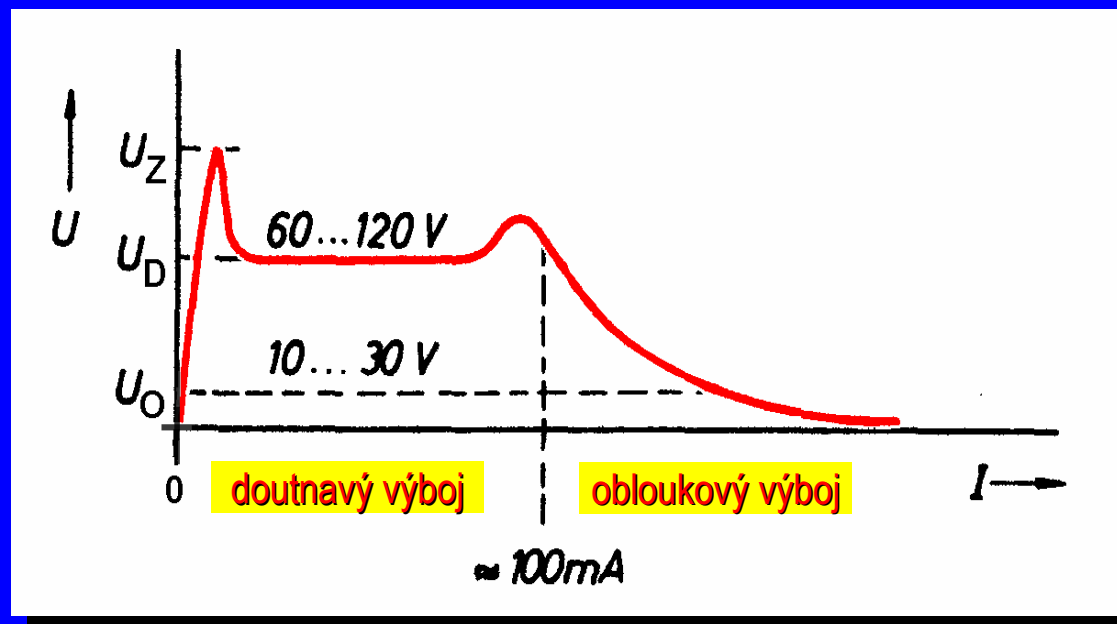
- **Vzduchové jiskřiště** k ochraně proti napětím od 1 kV do několika jednotek MV. Je tvořeno dvěma elektrodami ve vzduchu, mezi nimiž při přepětí dochází k výboji. Základní nevýhodou je nízká reprodukovatelnost procesu vzduchového výboje.

Obvyklá konstrukce plynem plněných výbojek

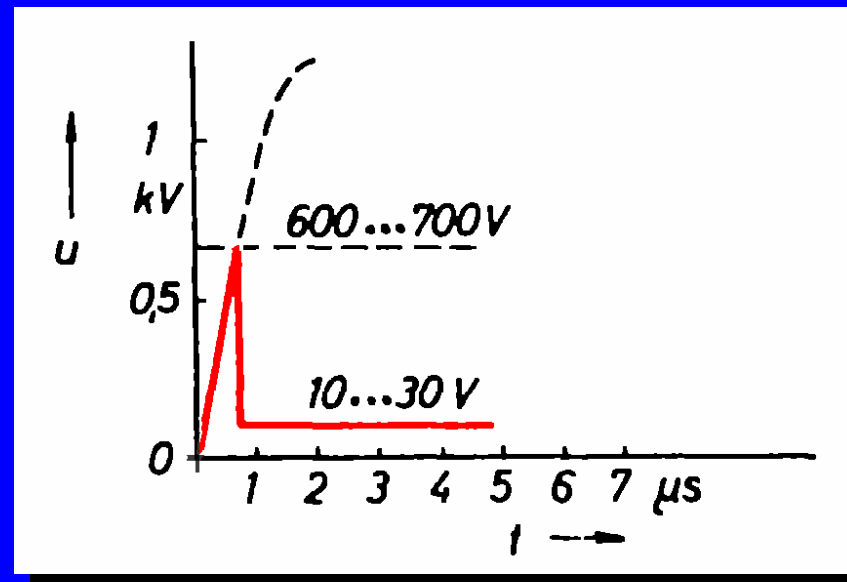


Statická V-A charakteristika bleskojistky

Izolační odpor mezi elektrodami v „nezapáleném“ stavu je větší než $10^{10} \Omega$, vlastní kapacita bleskojistky 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.



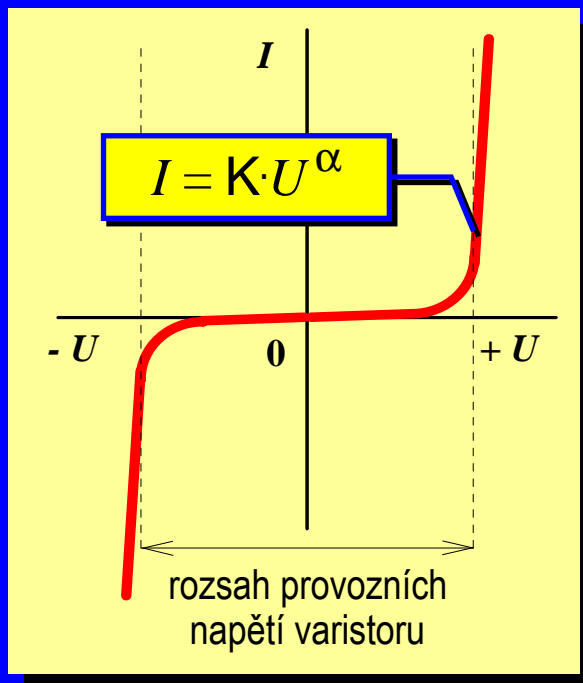
Velikost zápalného napětí U_Z bleskojistky závisí silně na strmosti časového nárůstu přicházejícího napětového impulzu du/dt . **Statické zapalovací napětí U_{Zstat}** je definováno pro nárůst napětí pomalejší než 100 V/s a jeho typické hodnoty jsou cca 90 ÷ 1200 V. **Dynamické zapalovací napětí** bleskojistky je definováno pro nárůst napětového 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 přepětového impulzu

Jemné přepět'ové 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

α 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 $0,4 \div 40$ 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 pár diod zapojených antisériově proti sobě; vzniká bipolární součástka se symetrickou A-V charakteristikou podobnou charakteristice varistoru.

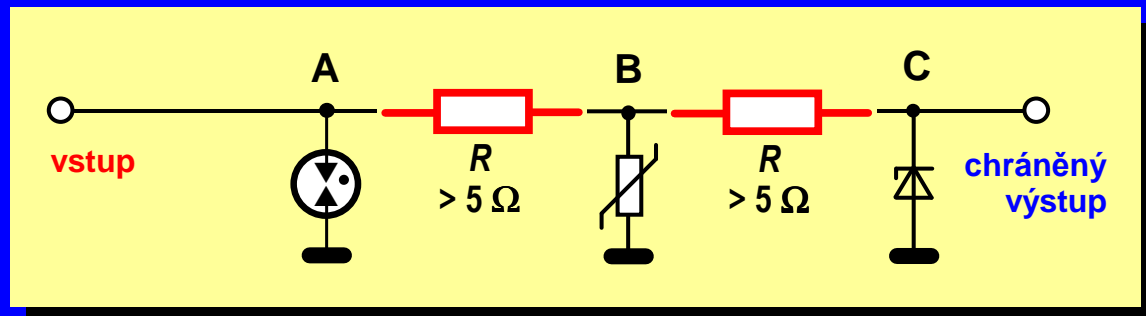
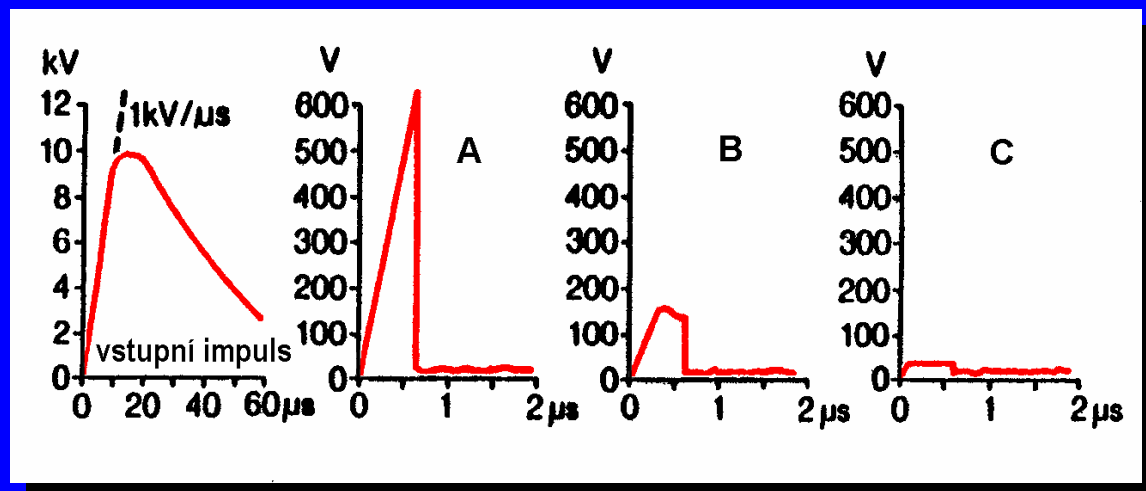
Rozsah ochranných napětí je obvykle 6 ÷ 440 V.

Vlastní kapacita až 15 000 pF.

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

Obvodové zapojení přepětových ochran

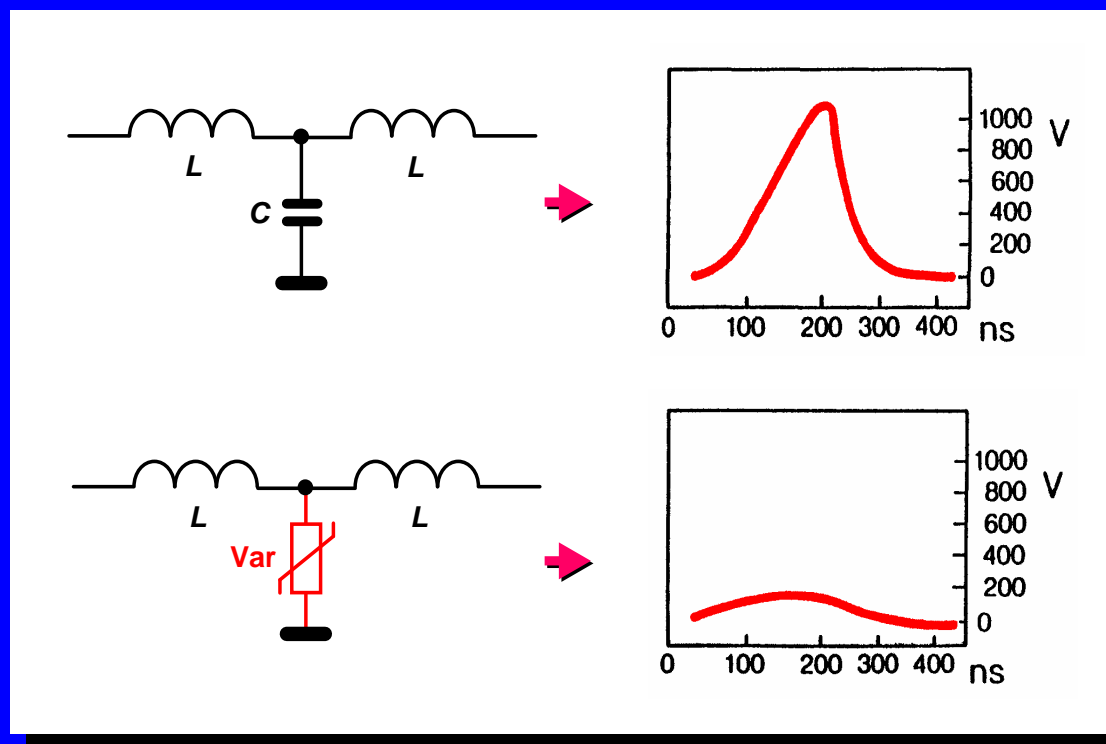
Nejčastěji jako **kombinované ochrany** tvořené kaskádním zapojením několika typů ochranných prvků do společného vedení.



Vlastní kapacita prvků přepět'ových ochran

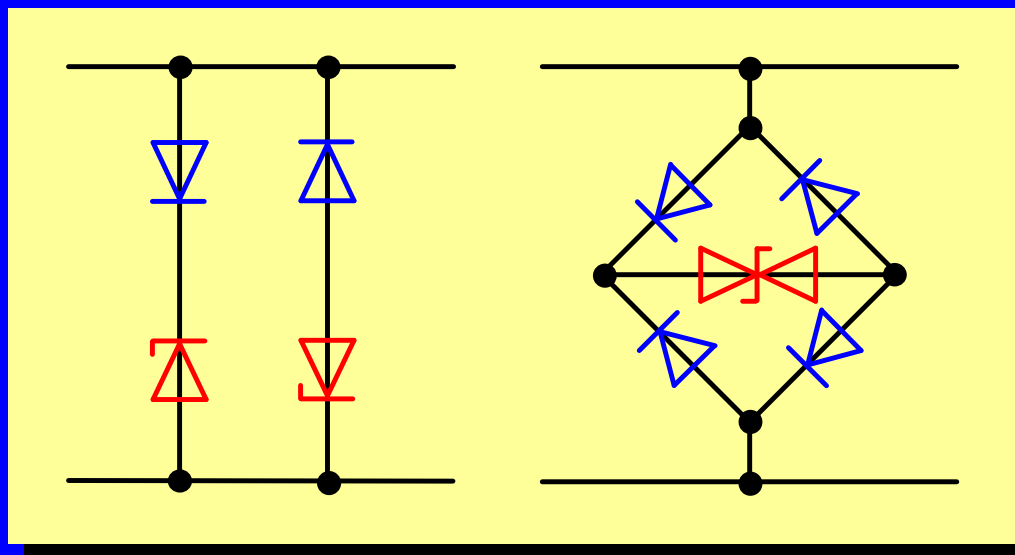
působí:

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



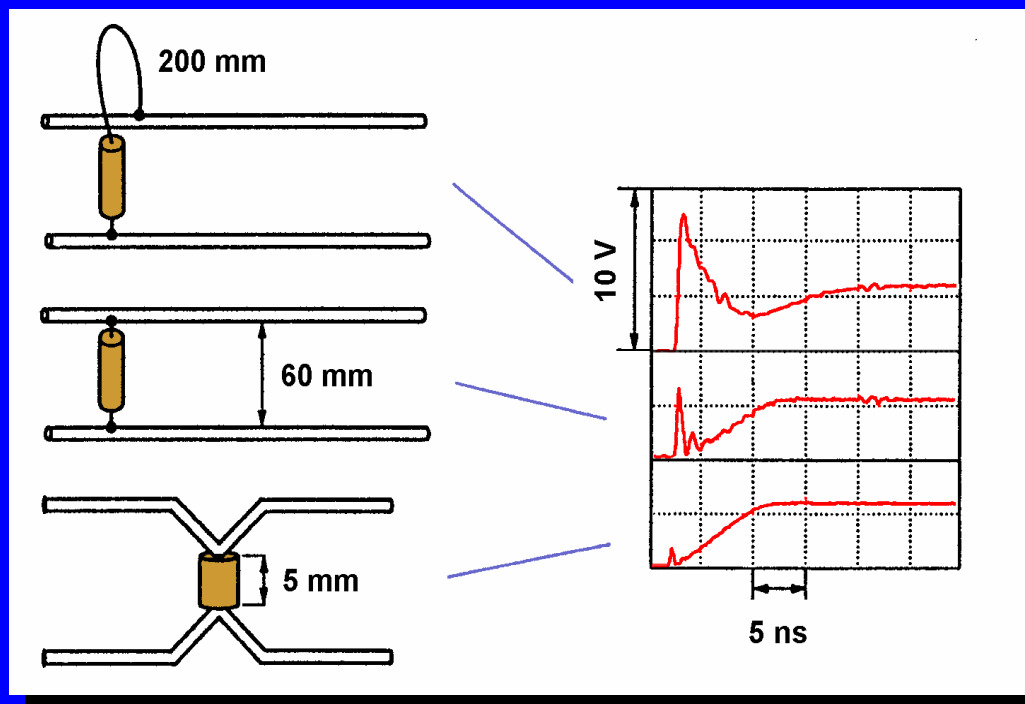
- **negativně** ve vysokofrekvenčních sdělovacích či datových systémech, kde velká hodnota kapacity těchto prvků způsobuje nepříjemně vysoký útlum užitečných vysokofrekvenčních signálů.

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



Vliv délky přívodů přepět'ové ochrany

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

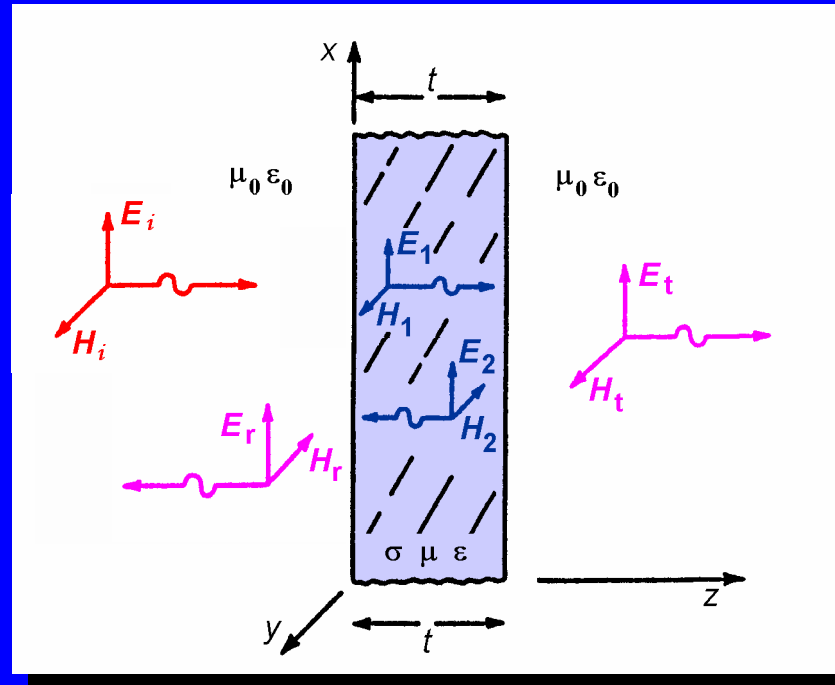


Napětí na výstupu Zenerovy diody 3V3 s různou délkou drátových přívodů jako odezvy na vstupní napět'ový skok o velikosti 10 V

ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNĚNÍ

Teoretické řešení

- neomezeně rozlehlá stínící přepážka z dobře vodivého kovu
- kolmý dopad rovinné elektromagnetické vlny (**nejhorší případ**)



Koeficient stínění

$$K_S = \frac{E_t}{E_i}$$

nebo

$$K_S = \frac{H_t}{H_i}$$

Útlum odrazem R

vzniká vlivem částečného odrazu energie vlny na impedančním rozhraní mezi vzduchem (dielektrikem) s impedancí Z_0 a kovovou stěnou přepážky s impedancí Z_M a rovněž na „výstupním“ rozhraní mezi kovovou stěnou Z_M a dielektrikem (vzduchem) Z_0 :

$$R = 20 \cdot \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0 Z_M} \right|$$

Při $Z_0 \gg Z_M$ je

$$R \approx 20 \cdot \log \left| \frac{Z_0}{4Z_M} \right|$$



$$R \approx 20 \cdot \log \left(\frac{1}{4} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\omega \mu_r \epsilon_0}} \right)$$

Útlum odrazem nezávisí na tloušťce t stínící kovové stěny \rightarrow účinné elektrické stínění lze vytvořit z tenké, ale vysoce vodivé ($Z_0 \gg Z_M$) přepážky.

Absorpční útlum A

vzniká pohlcením části energie elektromagnetické vlny při jejím průchodu stínicí kovovou přepážkou o tloušťce t vlivem tepelných ztrát, tj. vlivem konečné vodivosti kovu stínicí přepážky :

$$A = 20 \cdot \log |e^{\gamma t}| = 20 \cdot \log e^{\alpha t} = 20 \cdot \log e^{\frac{t}{\delta}} \quad [\text{dB}]$$

Hloubka vniku elektromagnetického pole do kovového materiálu

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$



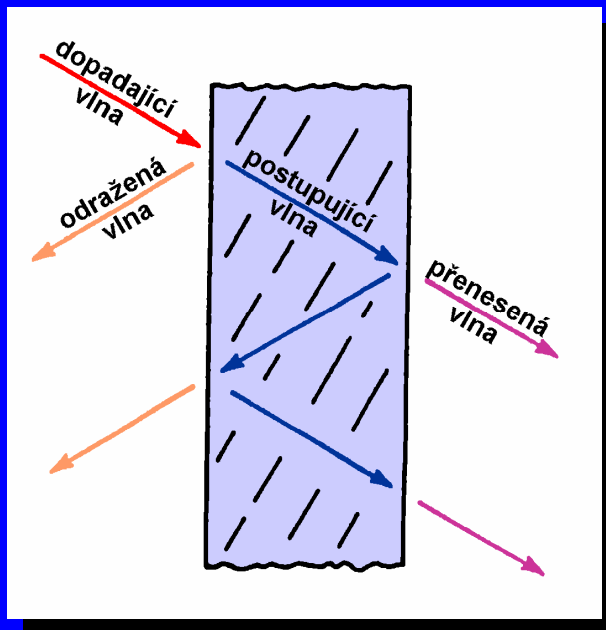
$$A = 8,69 \cdot \frac{t}{\delta} = 0,0069 \cdot t \cdot \sqrt{\omega \mu_r \sigma}$$

Absorpční útlum roste s druhou odmocninou kmitočtu na dB stupnici. Vodivé feromagnetické materiály ($\mu_r \gg 1$) mají přitom větší absorpční útlum než stejně vodivé nemagnetické materiály.

Útlum vlivem mnohonásobných odrazů M

vzniká díky opakovaným odrazům na vstupu a výstupu stínicí kovové přepážky :

$$M = 20 \cdot \log \left| 1 - \left(\frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \cdot e^{-\frac{2t}{\delta}} \cdot e^{-j \frac{2t}{\delta}} \right|$$



Je-li stínění z dobře vodivého kovu ($Z_0 \gg Z_M$) a jeho tloušťka t je podstatně větší než hloubka vniku ($t \gg \delta$), je $M \approx 0$ dB a vliv mnohonásobných odrazů na celkovou účinnost stínění lze zanedbat.

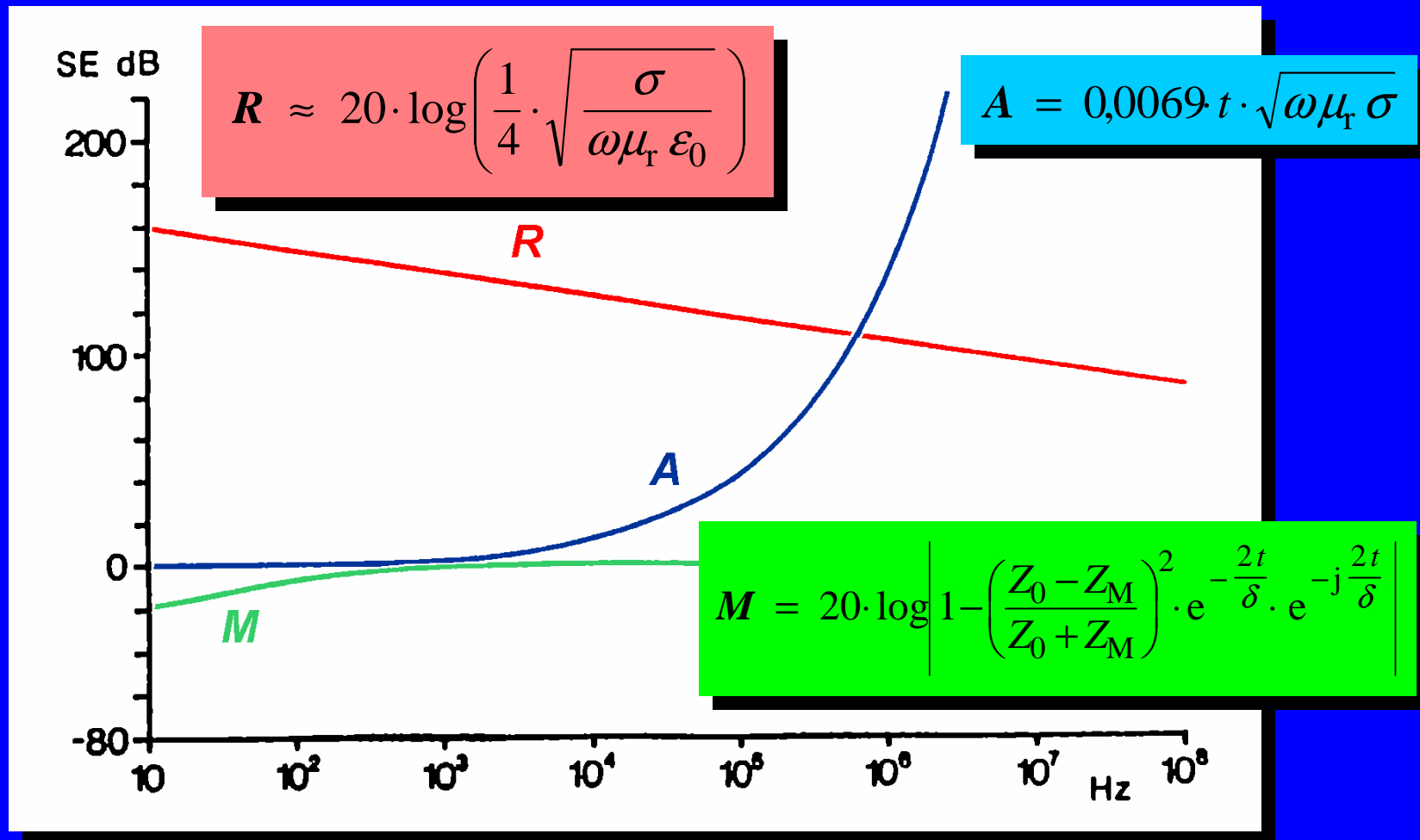


$$SE \text{ [dB]} \approx R \text{ [dB]} + A \text{ [dB]}$$

Celková účinnost stínění

$$SE \text{ [dB]} = R \text{ [dB]} + A \text{ [dB]} + M \text{ [dB]}$$

- Útlum odrazem **R** je funkcí poměru σ/μ_r , zatímco absorpční útlum **A** je funkcí součinu těchto veličin $\sigma \cdot \mu_r$.
- Útlum odrazem **R** tvoří dominantní složku stínicího účinku na nízkých kmitočtech jak pro magnetické, tak i pro nemagnetické kovové materiály.
- Na vysokých kmitočtech vzrůstá absorpční útlum **A** a vysoce převyšuje klesající útlum odrazem. Tento vzrůst účinnosti stínění na vysokých kmitočtech je přitom výraznější u magnetických kovových materiálů s $\mu_r \gg 1$.
- Na nízkých kmitočtech, kdy hloubka vniku $\delta \gg t$, příp. u velmi tenkých stínících přepážek ($t \ll \delta$) je hodnota útlumu mnohonásobnými odrazy **M záporná** a snižuje celkovou účinnost stínění **SE** kovové přepážky. S rostoucím kmitočtem se velikost **M** $\rightarrow 0$ dB a mnohonásobné odrazy v kovové přepážce přestávají mít vliv na výslednou účinnost stínění.



Kmitočtový průběh jednotlivých složek účinnosti stínění
měděné desky o tloušťce $t = 1 \text{ mm}$

Vliv mnohonásobných odrazů M na velikost celkové účinnosti stínění SE se může nepříznivě uplatňovat i na vyšších kmitočtech, je-li stínicí přepážka velice tenká ($t \ll \delta$).



Přístrojové a počítačové stínicí „kryty“ vytvořené napařením či naprášením velmi tenkého kovového povlaku na vnitřní povrch nekovové (plastové) přístrojové skříně.

Ploušťka stínění	0,1 μm		1,25 μm		2,2 μm		22 μm	
Kmitočet [MHz]	1	1000	1	1000	1	1000	1	1000
Útlum odrazem R [dB]	109	79	109	79	109	79	109	79
Absorpční útlum A [dB]	0,014	0,44	0,16	5,2	0,29	9,2	2,9	92
Mnohonásobné odrazy M [dB]	-47	-17	-26	-0,6	-21	0,6	-3,5	0
Účinnost stínění SE [dB]	62	62	83	84	88	90	108	171

Účinnost stínění v blízké zóně elmag. pole

- vzdálená zóna $r \gg \lambda / 2\pi \rightarrow Z_0 \neq f(r) = \text{konst.}$
- blízká zóna $r \ll \lambda / 2\pi \rightarrow Z_0 = f(r) \neq \text{konst.}$

Blízké elektrické pole – blízké pole elektrického dipólu

$$Z_{0E} = \frac{1}{\omega \varepsilon_0 r} = Z_0 \cdot \frac{\lambda}{2\pi r} > Z_0$$

$$R_E \approx 268 + 10 \cdot \log \frac{\sigma}{\mu_r \omega^3 r^2} > R$$

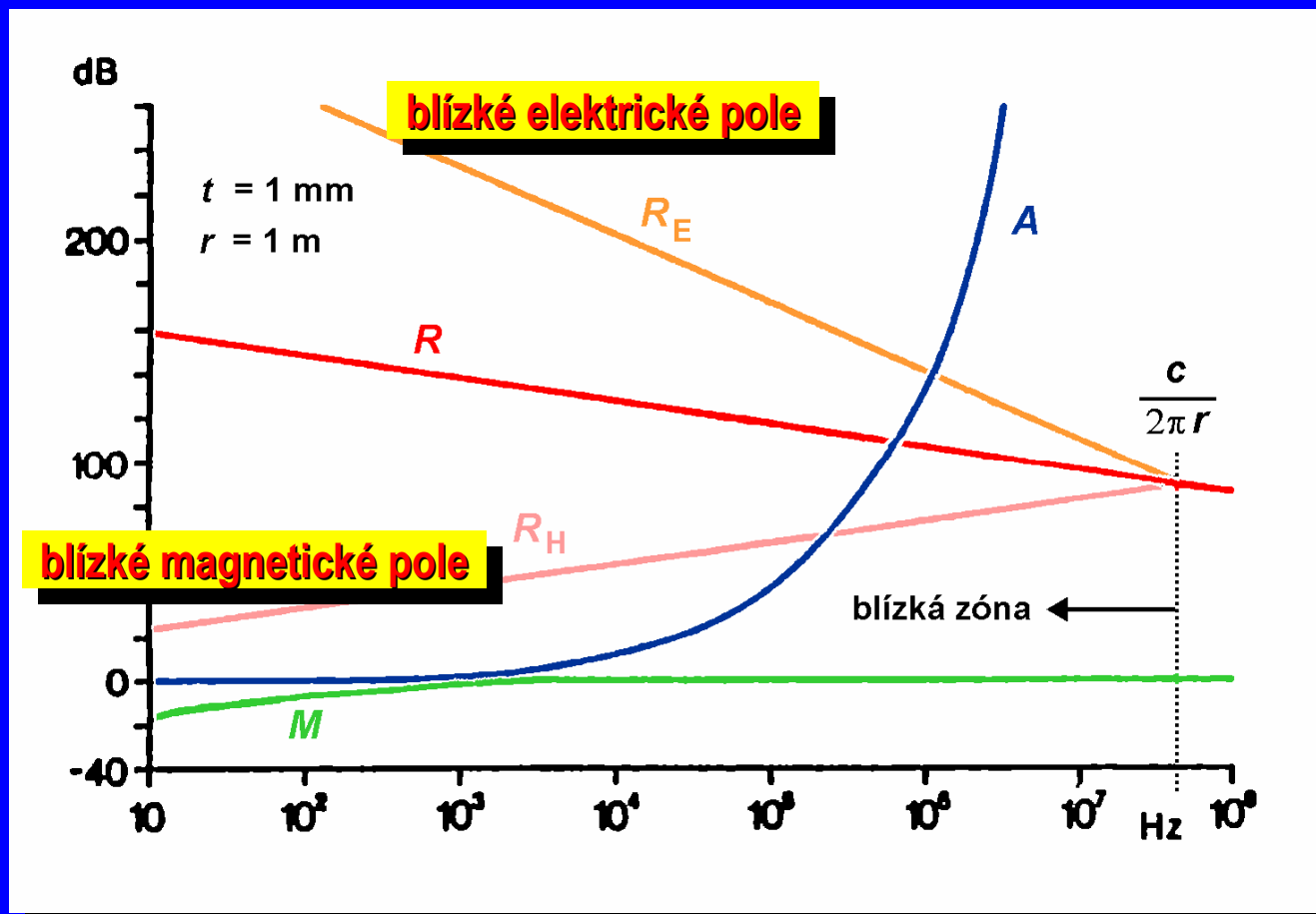
Stínění elektrického pole je účinnější než stínění rovinné vlny. Účinnost stínění R_E roste se zmenšující se vzdáleností zdroje od stínicí přepážky a je větší pro nemagnetické ($\mu_r \approx 1$) než magnetické ($\mu_r \gg 1$) materiály.

Blízke magnetické pole – blízke pole magnetického dipólu (proudové smyčky)

$$Z_{0H} = -\omega\mu_0 r = Z_0 \cdot \frac{2\pi r}{\lambda} < Z_0$$

$$R_H \approx -71 + 10 \cdot \log \frac{\omega\sigma r^2}{\mu_r} < R$$

Útlum odrazem blízkeho magnetického pole se zmenšuje s klesajícím kmitočtem a **je vždy menší, než hodnota R pro rovinnou elektromagnetickou vlnu**. Pro velmi nízké kmitočty je velikost R_H velmi malá a nijak nepřispívá k celkové účinnosti stínění $SE = R_H + A + M$. Pro dobré stínění blízkeho pole nízkofrekvenčního (stejnoseměrného) magnetického zdroje je nutno zvýšit velikost absorpčního útlumu A . To lze docílit užitím tlusté stínicí přepážky z feromagnetického kovového materiálu, čímž se zároveň zmenší negativní vliv mnohonásobných odrazů M na výslednou účinnost stínění.



Kmitočtový průběh složek účinnosti stínění blízkého elektromagnetického pole

Vliv otvorů a technologických netěsností na účinnost elektromagnetického stínění

- **Otvory, štěrbiny a další otevření stínicí plochy** (např. dveře, okna, větrací otvory, štěrbiny a netěsnosti mezi jednotlivými kovovými plochami stínění, vstupní otvory pro přípojná kabely, vedení, příp. vnější mechanické ovládací prvky stíněného zařízení).
- **Špatně vodivé (vysokoimpedanční) části stínění** (vodivě nedokonalá spojení jednotlivých částí stínění, nedokonale vodivé průhledné plochy (skla) při požadavku vizuální kontroly zařízení).
- **Vnější přívodní kabely a přípojná vedení** (napájecí, signálové a datové kabely, jimiž se mohou dostávat elektromagnetické rušivé signály do vnitřního prostoru stínicího krytu).

Otvory ve stínící ploše

- Malý kruhový otvor o poloměru a v tenké kovové stínící přepážce

$$SE_{\circ} = R_{\circ} = 10 \cdot \log \frac{P_i}{P_t} = 20 \cdot \log \frac{\lambda}{2\pi a} = 20 \cdot \log \frac{c}{2\pi a \cdot f}$$

- Stínění tenké kovové přepážky s n stejnými kruhovými otvory

$$SE_{\circ} = R_{\circ} = 20 \cdot \log \frac{\lambda}{2\pi a \cdot \sqrt{n}} = 20 \cdot \log \frac{c}{2\pi a \cdot f \cdot \sqrt{n}}$$

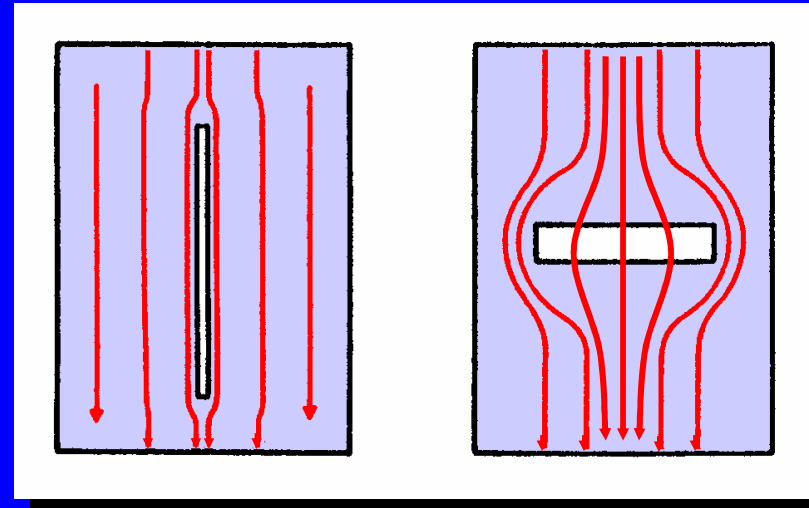
- Stínění **tlusté** kovové přepážky ($t > 2a$) s jedním či více kruhovými otvory na kmitočtech „hluboko“ pod mezním kmitočtem, tj. $f \ll f_m$

$$SE_{\circ} = A_{\circ} = \alpha \cdot t = \frac{54,6 \cdot t}{\lambda_m} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{f}{f_m}\right)^2} \approx \frac{16t}{a}$$

$$\lambda_m = 3,41 \cdot a$$

Dlouhé štěrbiny v kovovém stínění se mohou chovat jako účinné **štěrbinové antény**, které mohou intenzivně vyzařovat a tím výrazně snižovat účinnost stínění.

Orientace nevyzařující
a vyzařující podlouhlé štěrbiny
v kovové stínící přepážce



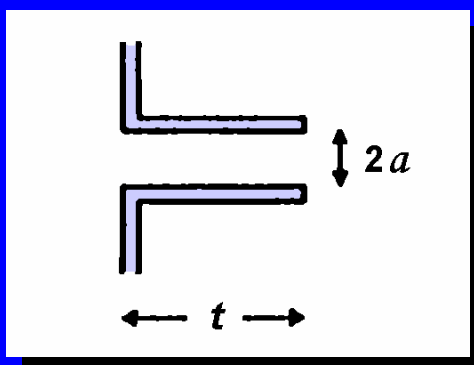
- Stínění krytu s pravoúhlou štěrbinou (při její nejhorší orientaci)

$$SE_{\square} = R_{\square} + A_{\square} = 20 \cdot \log \frac{c}{2l \cdot f} + 27,2 \cdot \frac{t}{l}$$

Druhý člen vyjadřuje útlum pravoúhlého „vlnovodu“ v pásmu nepropustnosti. Musí se uvažovat při tloušťce stínící desky $t > l$ na kmitočtech $f \ll c / 2l$.

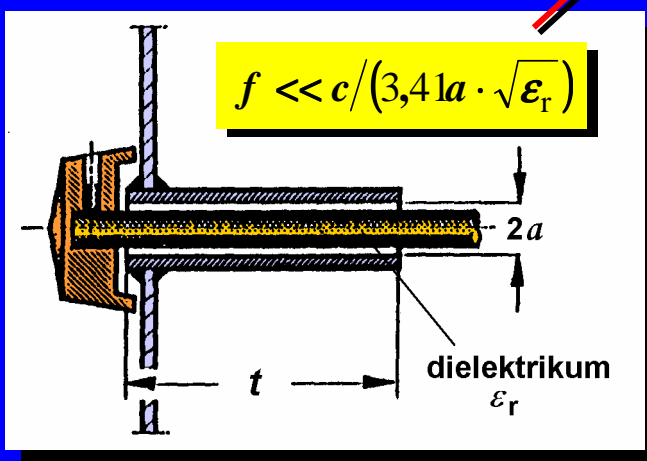
Průchody v kovovém stínění na principu „podkritického“ vlnovodu

(zavedení kabelů či mechanických ovládacích prvků do vnitřku stíněného prostoru, zajištění jeho větrání či denního osvětlení)

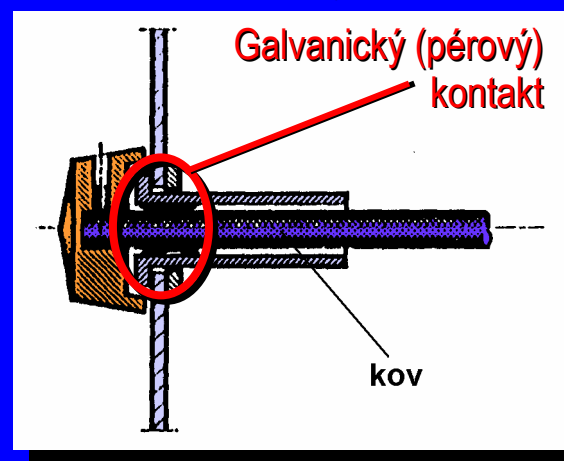


Základní provedení

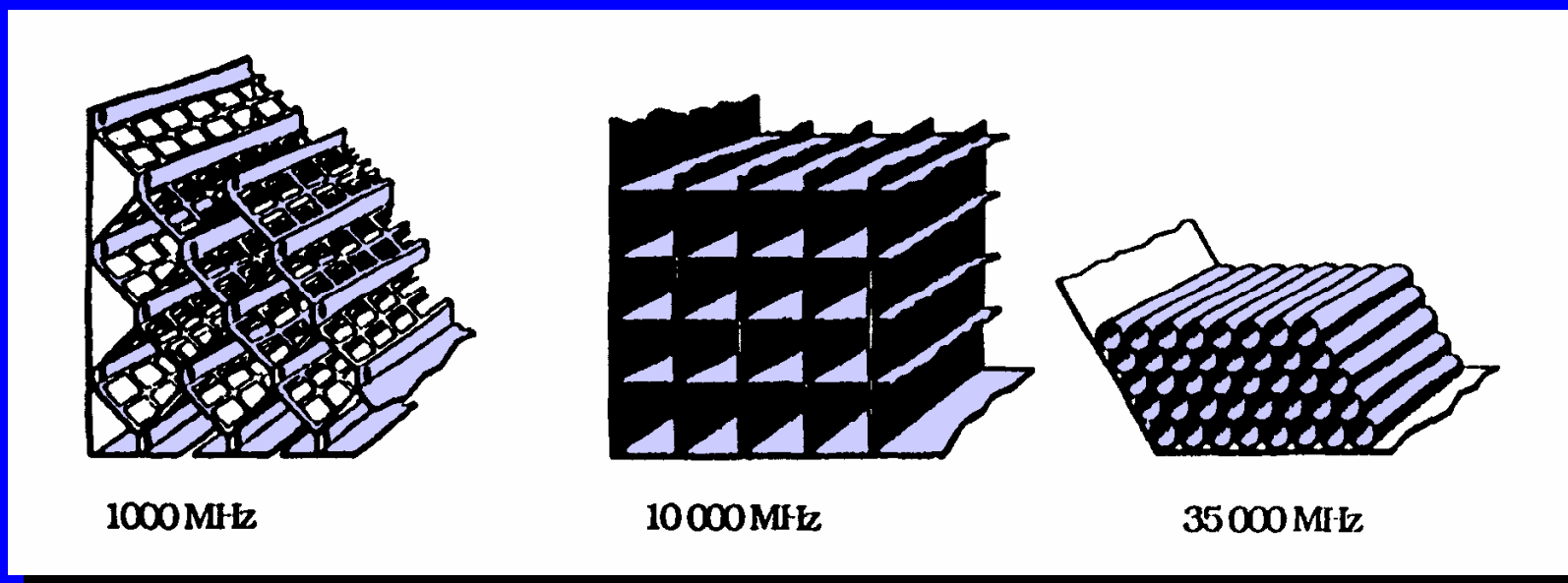
Průchod s dielektrickým průvlakem



Průchod s kovovým průvlakem

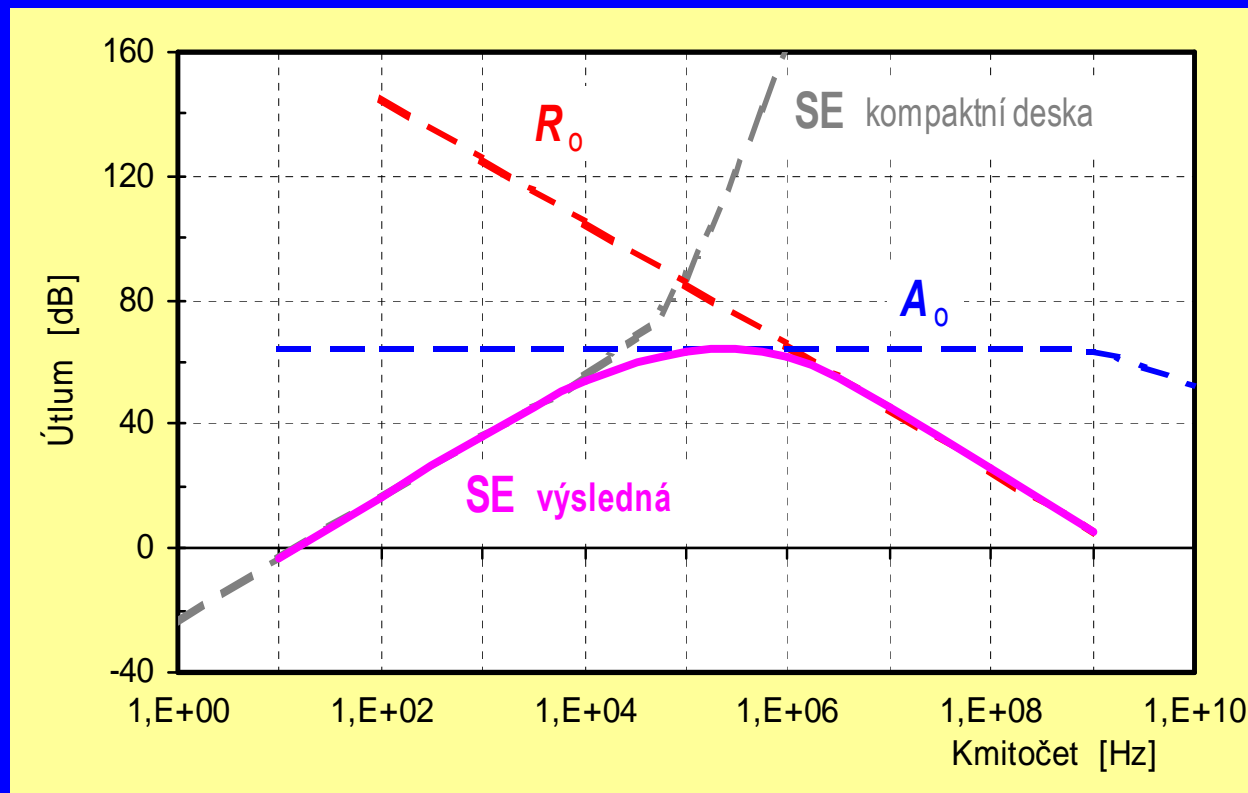


Větrací a průchodkové sekce stínících krytů

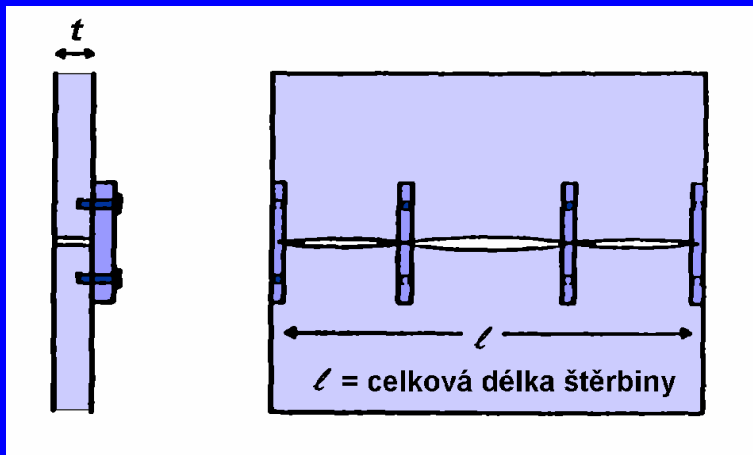


$$f \ll c/(2a)$$

$$f \ll c/(3,41a)$$



Kmitočtový průběh výsledné účinnosti stínění **SE** desky je na nízkých kmitočtech (stovky Hz a jednotky kHz) dán především útlumem odrazem blízkého magnetického pole R_H , na středních kmitočtech (cca 10 kHz ÷ 1 MHz) zejména konečným útlumem vlnodových průchodek A_0 a v oblasti vysokých kmitočtů (MHz) klesajícím útlumem větracích otvorů R_0 . Na velmi nízkých kmitočtech (v oblasti jednotek a desítek Hz) je stínění desky nevyhovující vlivem mnohonásobných odrazů procházejících vln M .



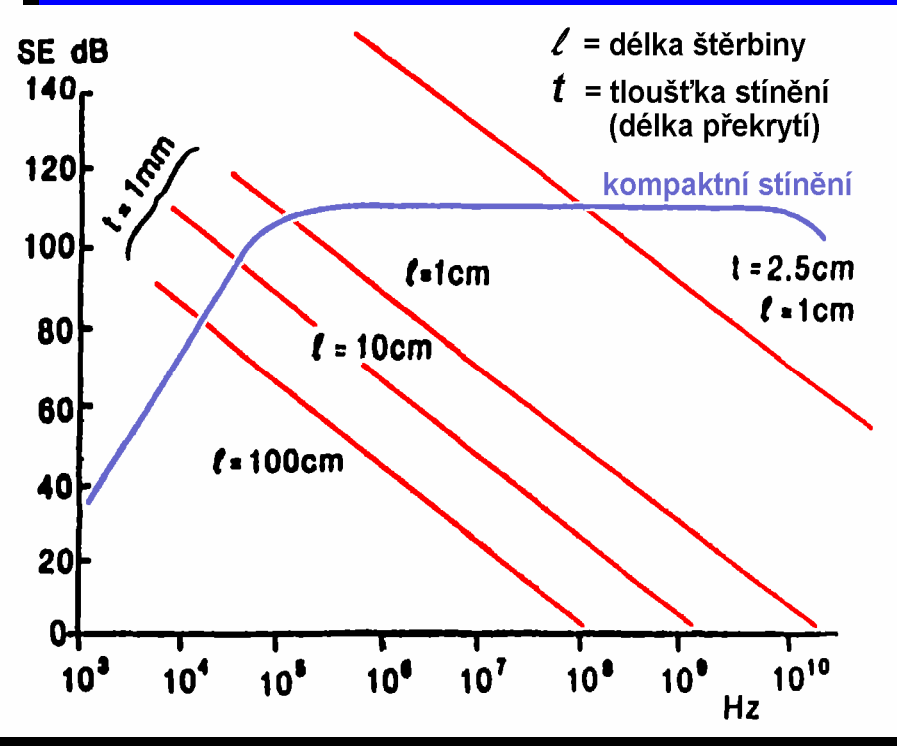
Vznik nežádoucích štěrbin

při spojení částí stínicího krytu
„na tupo“

$$SE = 20 \cdot \log \frac{c}{2l \cdot f} + 27,2 \cdot \frac{t}{l}$$

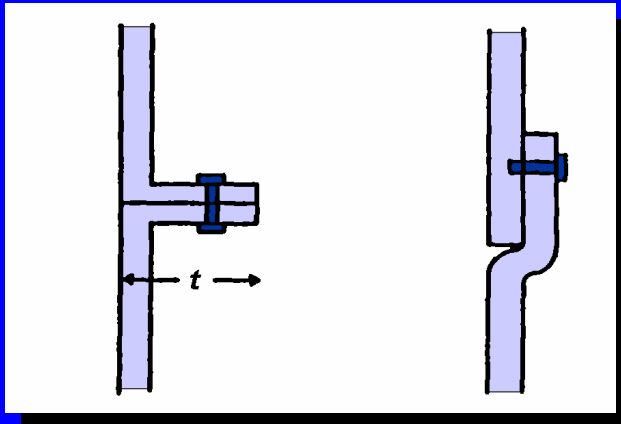


nevhodné

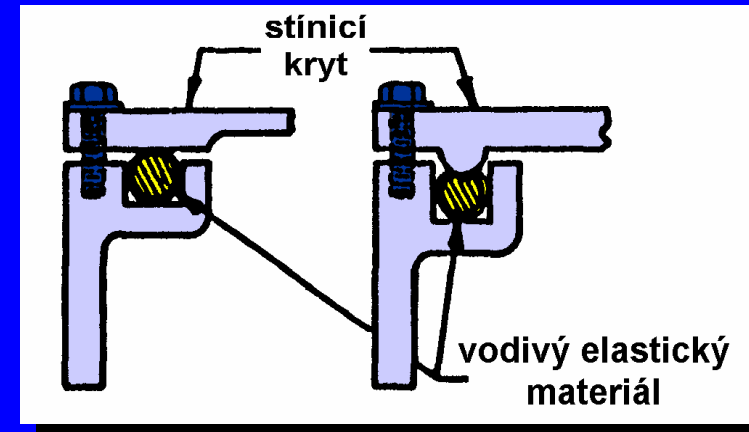


Konstrukční zlepšení účinnosti stínění

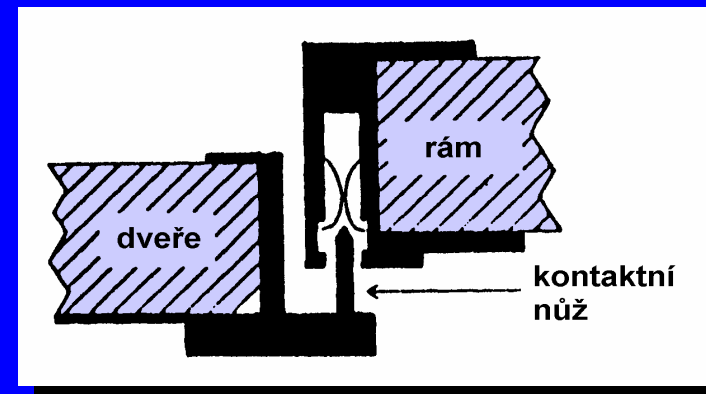
- vzájemným „dlouhým“ překryvem spojovaných částí



- použitím elastických vodivých materiálů (past, silikonů aj.)



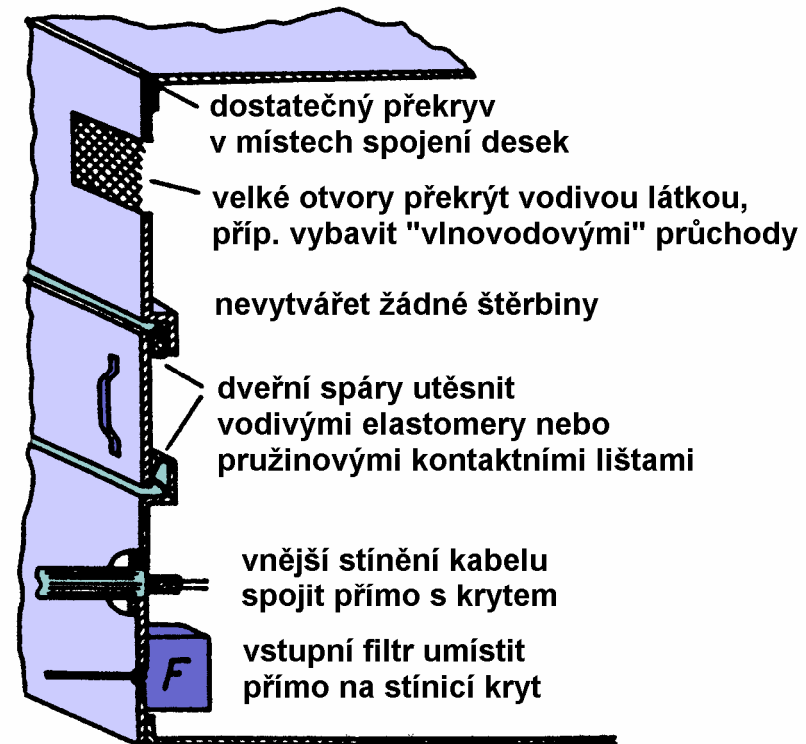
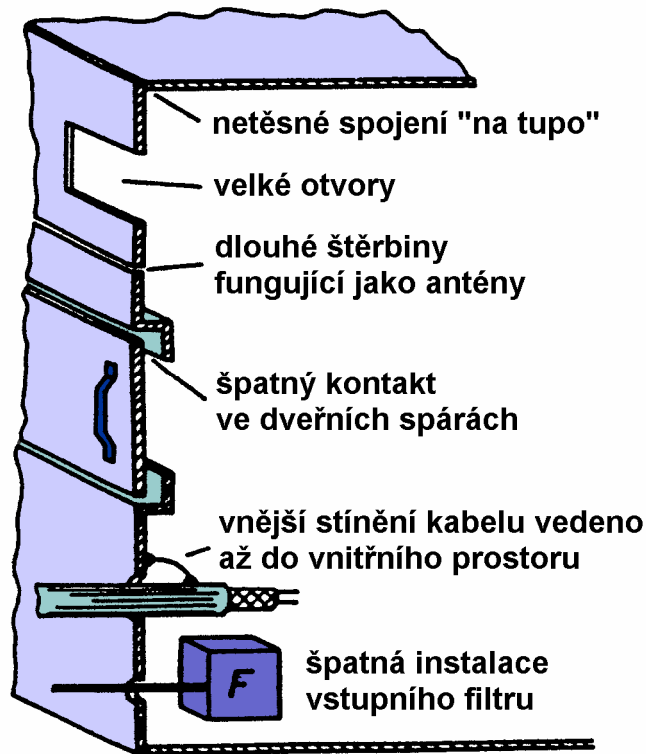
- použitím pružinových, příp. pérových nožových kontaktů na pohyblivých částech



Hodnocení elektromagnetického stínění dle orientačních hodnot SE

Účinnost stínění [dB]	Kategorie – hodnocení
0 ÷ 10	Nedostatečné stínění
10 ÷ 30	Stínění pro minimální požadavky
30 ÷ 60	Stínění dostačující pro většinu běžných požadavků
60 ÷ 90	Velmi dobré stínění
90 ÷ 120	Vysoce kvalitní stínění

Zásady správné konstrukce elektromagneticky stíněných krytů



chybná konstrukce z hlediska EMC

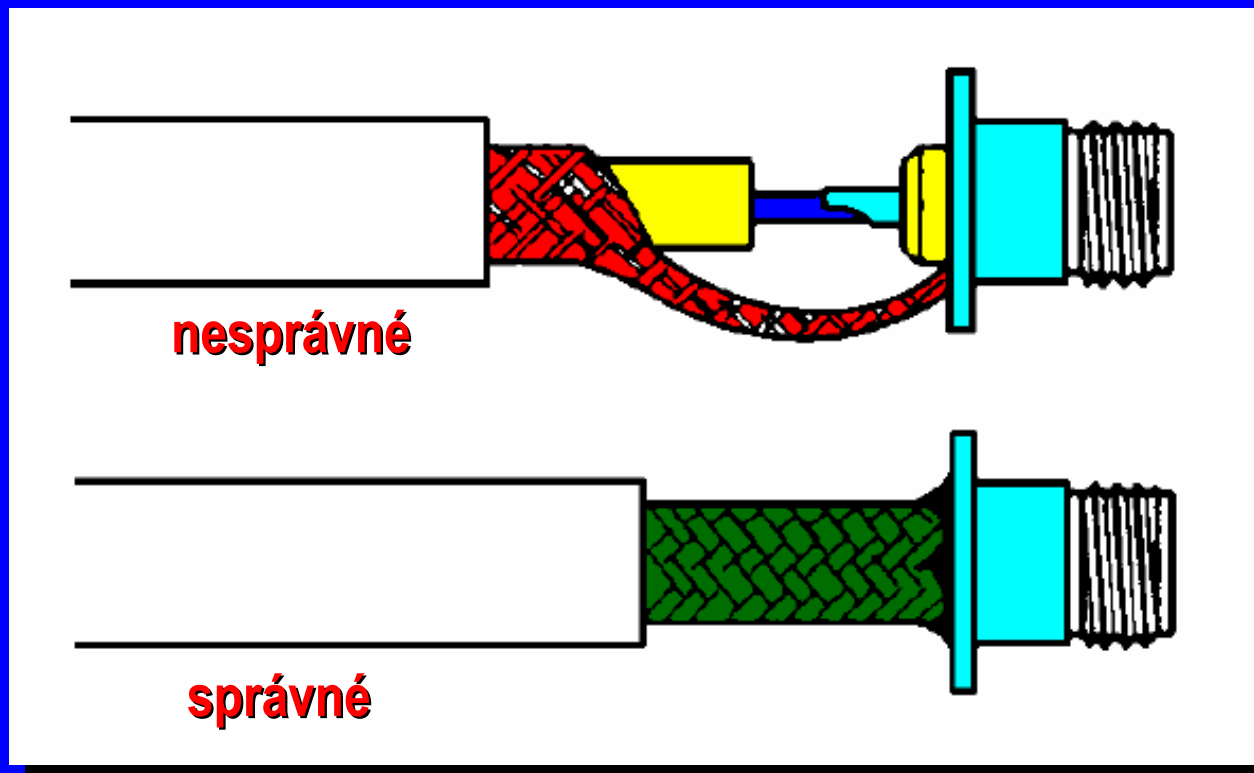
zlepšená konstrukce pro vyšší účinnost stínění

Vazební impedance

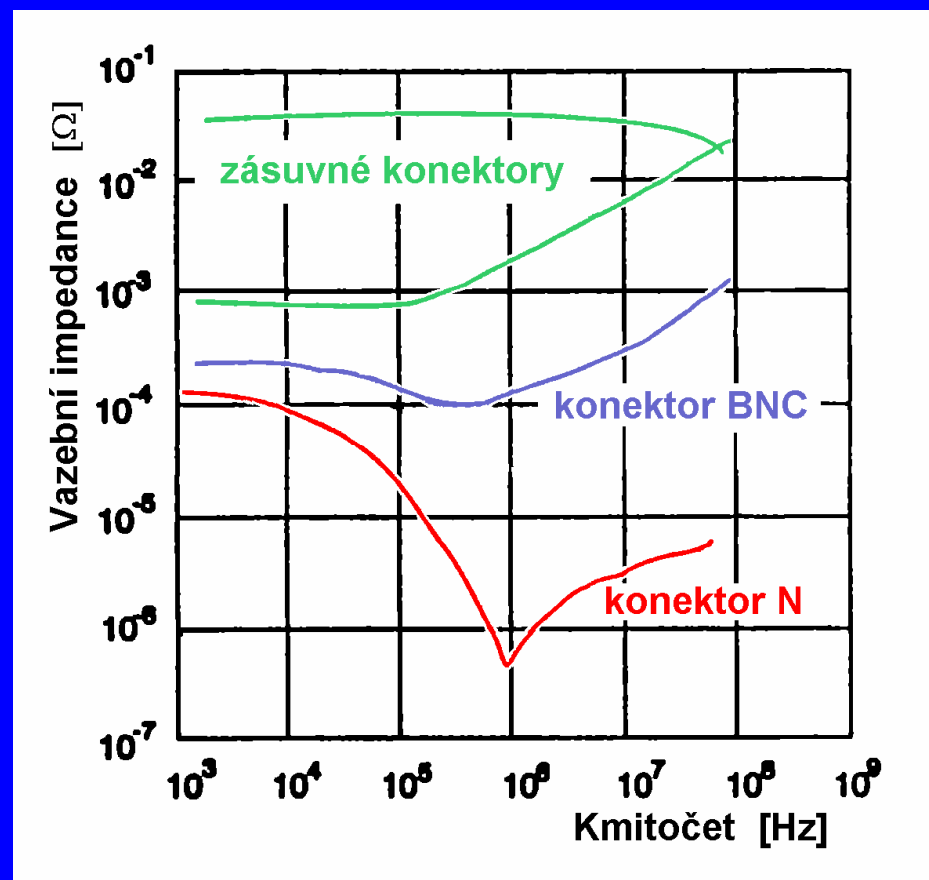
stínění koaxiálních konektorů

- Při spojování konektoru se stínicí pláště obou jeho částí musí pevně spojit (uzavřít) dříve, než se propojí vnitřní „živé“ vodiče obou kabelů a naopak, při rozpojování se musí nejprve rozpojit „živé“ vodiče a teprve pak stínicí pláště obou částí konektoru. Případné „jiskření“ a parazitní impulzy, které mohou vznikat při spojování či rozpojování elektricky „živých“ vodičů, tak odeznějí ve stavu, kdy vnější stínění konektoru je již či ještě uzavřeno.
- Elektricky „živé“ (vnitřní) části konektoru musejí být kvalitně izolovány od vnějšího kovového pláště. Důvodem je jednak bezpečnost, jednak zamezení přenosu elektrostatických výbojů vznikajících mezi obsluhující osobou a vnějším pláštěm konektoru do jeho vnitřního prostoru.
- Elektrická, mechanická a elektromagneticky „těsná“ konstrukce konektoru musí odolat všem změnám pracovních podmínek, tj. otřesům a vibracím, korozi, kolísání teploty a teplotním extrémům apod.

Spojení stínicího pláště kabelu a konektoru



Vazební impedance koaxiálních konektorů

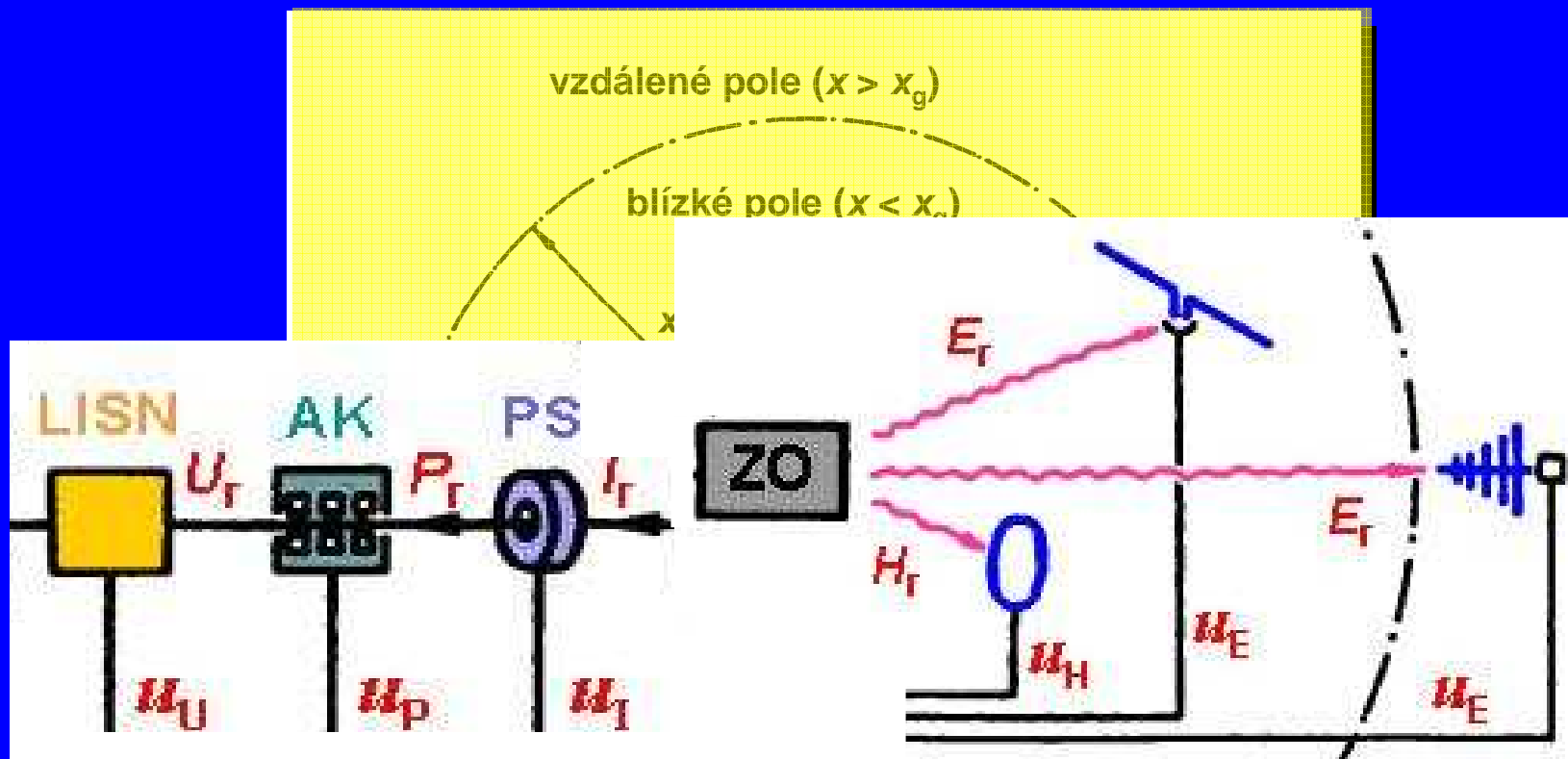


Vazební impedance některých typů koaxiálních konektorů

MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Způsoby a metody měření

- **Přenos vedením** (např. napájecím či datovým vedením daného zařízení). Měřenými veličinami jsou rušivé napětí U_r , rušivý proud I_r , příp. výkon P_r rušivého signálu.
- **Přenos elektrickou či magnetickou vazbou** (blízkým elektrickým či magnetickým polem) mezi dvěma blízkými objekty. Parazitní vazbu charakterizujeme intenzitou rušivého elektrického pole E_r nebo intenzitou rušivého magnetického pole H_r .
- **Přenos vyzařováním elektromagnetických vln** (vzdáleným polem) mezi vzdálenými objekty na vyšších kmitočtech. Měřenými veličinami jsou intenzity elektrického či magnetického pole E_r , H_r , příp. hustota vyzářeného výkonu p_r rušivého signálu (velikost Poyntingova vektoru rušivého elektromagnetického pole).



Sl

Snímače vyzařovaných rušivých signálů

- • měřicí anténa pro blízké elektrické pole E_T (prutová, dipólová)
- • měřicí anténa pro blízké magnetické pole H_T (feritová, rámová)
- • měřicí anténa pro vzdálené elektromagnetické pole E_T (bikónická, logaritmicko-periodická, Bilog)

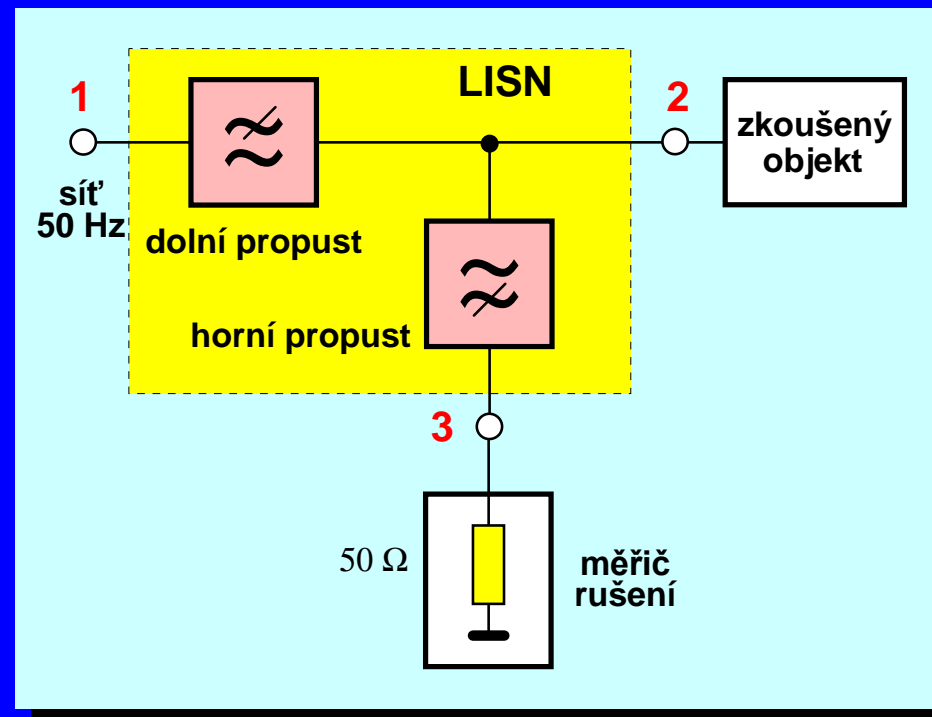
Měření s umělou sítí

Umělá síť AMN (Artificial Mains Network)

Umělá zátěž vedení LISN (Line Impedance Stabilizing Network)

Tři druhy svorek:

- 1** vstupní síťové svorky pro připojení vnější napájecí sítě,
- 2** výstupní síťové svorky pro připojení zkoušeného objektu (přístroje),
- 3** výstupní přístrojové svorky pro připojení měřicího zařízení – měřiče rušení.

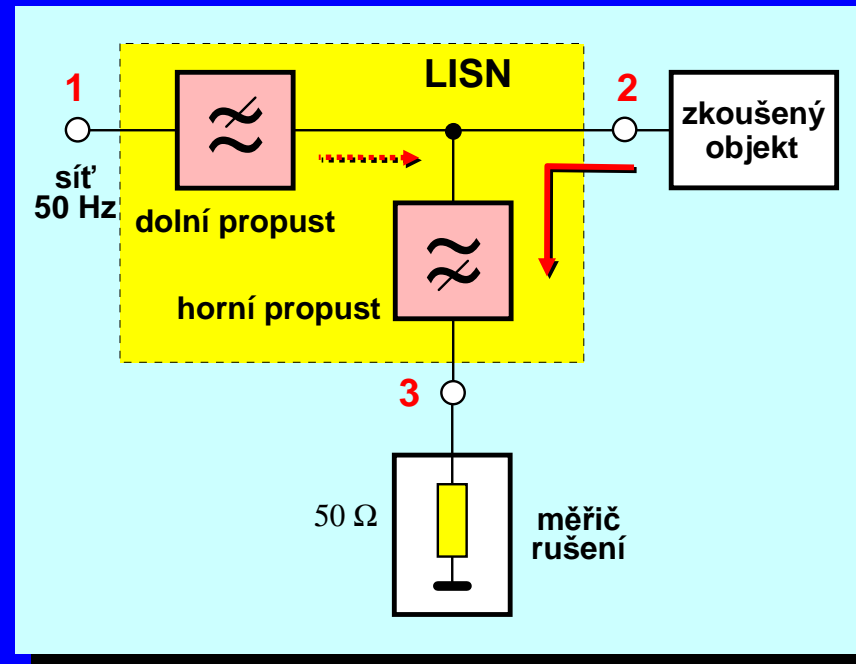


Blokové schéma umělé sítě LISN

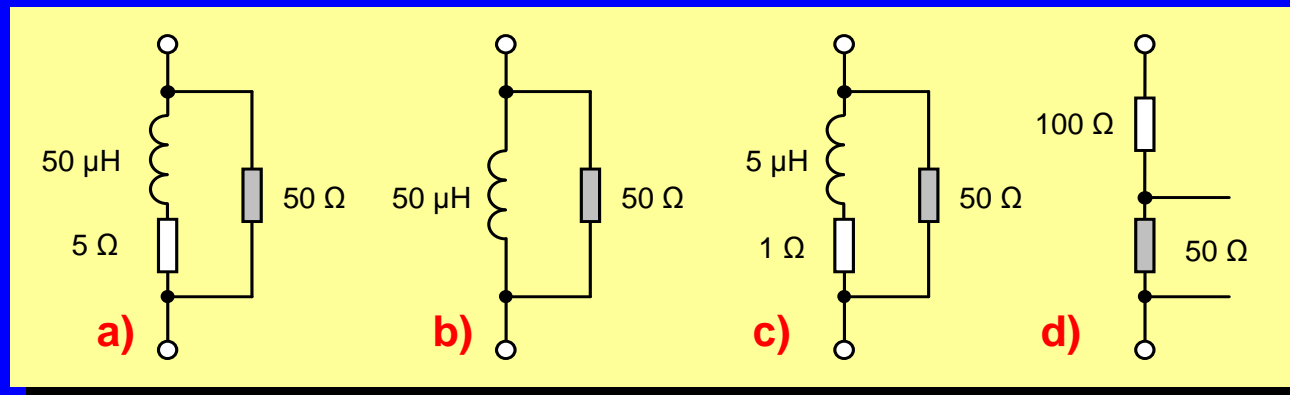
Umělá síť LISN

plní při měření tři funkce:

- Zajišťuje připojení měřicího zařízení (měřiče rušení) k proměřovanému (zkoušenému) objektu pro celý rozsah měřných kmitočtů (**funkce horní propusti**). Propust je často tvořena pouze oddělovacím kondenzátorem o hodnotě několika set nF.
- Zajišťuje, že na vstup měřicího zařízení se dostanou jen měřené rušivé signály ze zkoušeného objektu, ale nikoli z vnější napájecí sítě (**funkce dolní propusti 50 Hz**). Tyto rušivé signály se tak nedostanou ani ke zkoumanému spotřebiči a neovlivňují tak výsledky měření. Dolní propust je obvykle tvořena jediným článkem LC typu Γ .



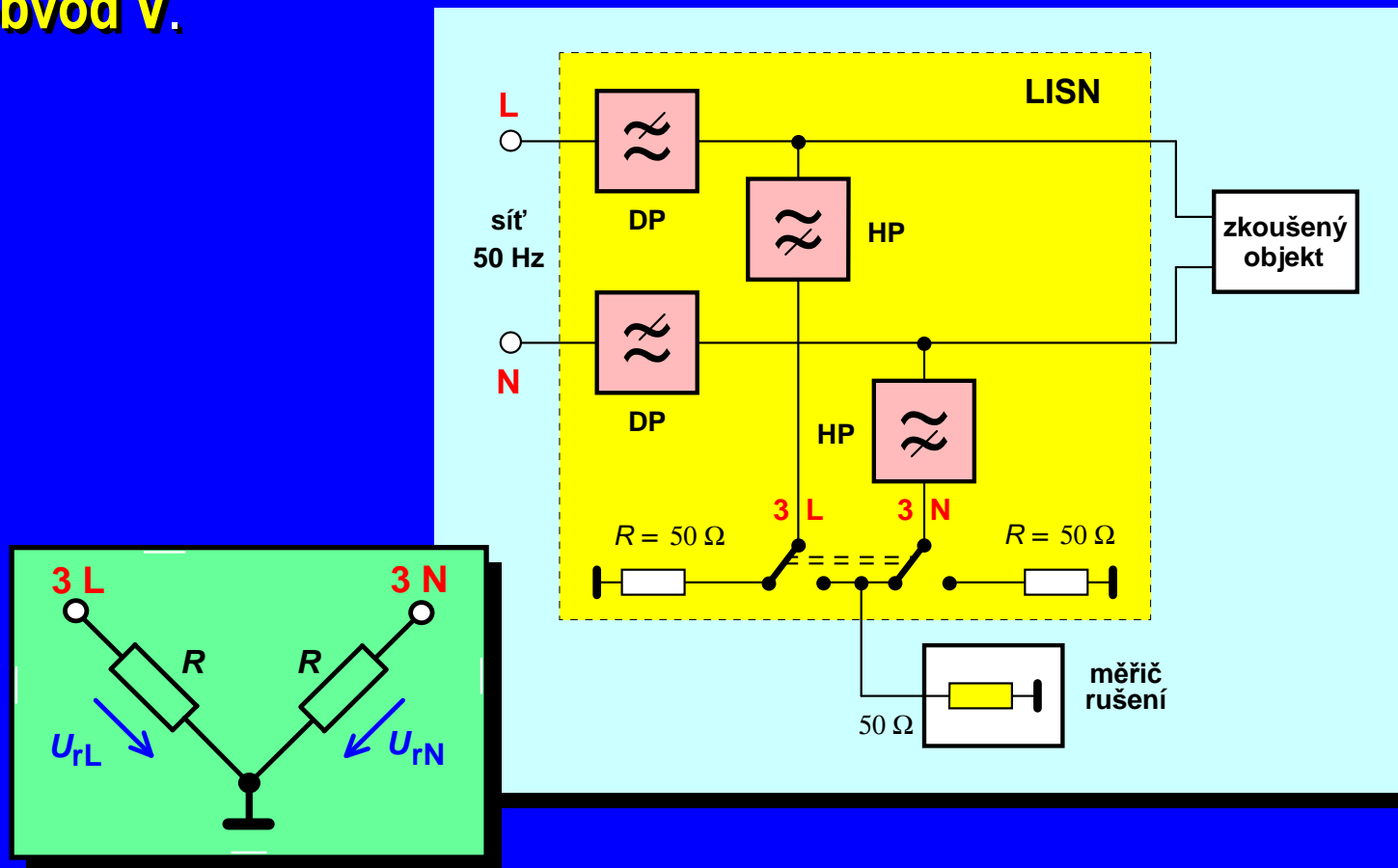
- Zajišťuje přizpůsobení měřiče rušení k výstupním přístrojovým svorkám **3** umělé sítě LISN a zajišťuje definovanou hodnotu impedance na výstupních síťových svorkách **2**. Impedance LISN na přístrojových výstupních svorkách **3** je v celém pásmu rovna vstupní impedanci měřiče rušení (50Ω), impedance LISN ze strany zkoušeného objektu (na výstupních síťových svorkách **2**) – tzv. **impedance umělé sítě** – simuluje impedanci příslušné napájecí sítě v daném pásmu kmitočtů.



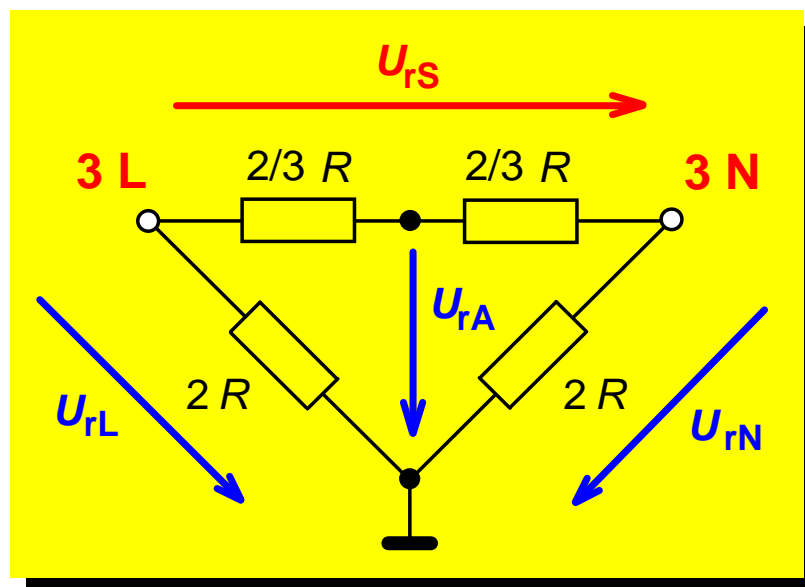
Impedance umělých sítí dle ČSN CISPR 16-1:

- a) $50 \Omega/50 \mu\text{H} + 5 \Omega$ pro 9 kHz až 30 MHz (**nízkonapěťové napájecí sítě**);
- b) $50 \Omega/50 \mu\text{H}$ pro 0,15 MHz až 30 MHz (**průmyslové napájecí sítě**);
- c) $50 \Omega/5 \mu\text{H} + 1 \Omega$ pro 0,15 MHz až 100 MHz (**palubní napájecí sítě**);
- d) 150Ω pro 150 kHz až 30 MHz (**klasické napájecí sítě**).

Pro měření **nesymetrických rušivých napětí**, tj. rušivých napětí na každém napájecím vodiči (např. fázovém a nulovém) vůči zemi, používáme na měřicím výstupu **3** umělé sítě LISN tzv. **obvod V**.



Pro měření **symetrického rušivého napětí** mezi oběma napájecími vodiči navzájem je nutno použít tzv. **obvod Δ** .

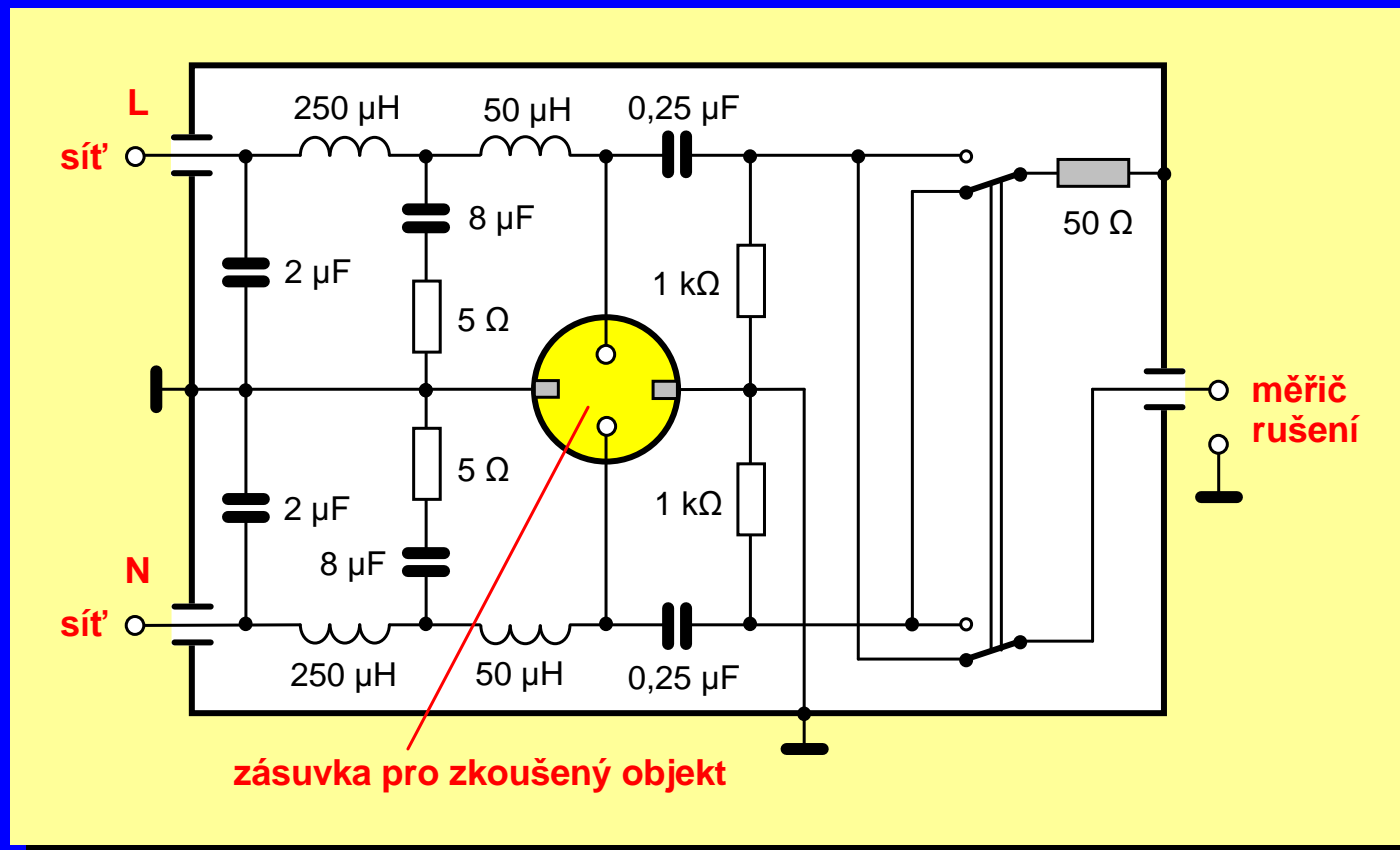


$$R_S = R$$

$$R_A = R$$

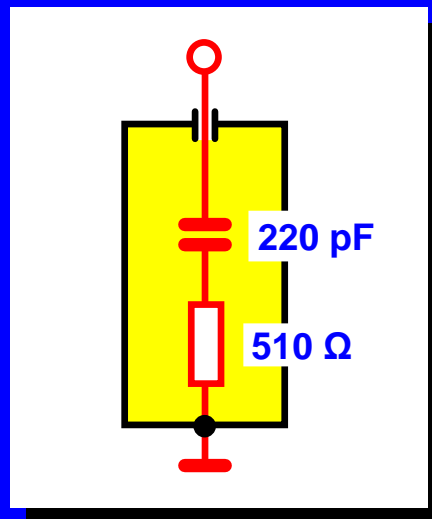
$$R_L = R_N = 5/4 \cdot R$$

$$U_{rS} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (U_{rL}^2 + U_{rN}^2)} - U_{rA}$$

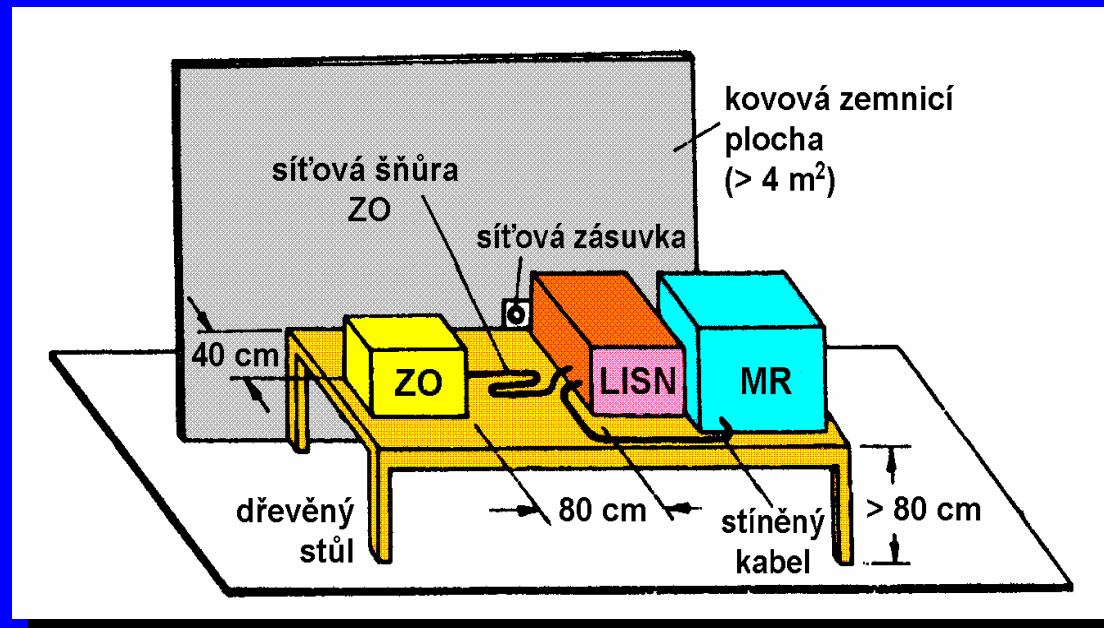


Zapojení jednofázové umělé sítě typu V
pro kmitočtový rozsah 10 kHz až 30 MHz

Častým doplňkem umělých sítí je tzv. **standardní umělý operátor (umělá ruka)**. Je to obvod, který při měření s umělou sítí simuluje vliv ruky uživatele u elektrických spotřebičů, které se při provozu drží v lidské ruce (např. kuchyňské spotřebiče, ruční nářadí, holicí strojek apod.). Místo, kde uživatel drží přístroj, se při měření rušivých napětí ovine kovovou fólií, která se přes obvod umělého operátora spojí s referenční zemí měřicího systému. Obvod umělé ruky je tvořen sériovým spojením kondenzátoru 220 pF a odporu 510 Ω .



Uspořádání pracoviště pro měření rušivého napětí na síťových svorkách zkoušeného objektu ZO



- Zkoušený objekt musí pracovat ve svém standardním režimu a v provozní sestavě uvedené jeho výrobcem v příslušném návodu k obsluze.
- Má-li být **ZO** při provozu uzemněn, musí být připojen k zemnicímu bodu **LISN**. Nemusí-li být **ZO** uzemněn, musí být ve vzdálenosti 40 cm od umělé země tvořené svislou kovovou deskou s minimálními rozměry 2 x 2 m.

Měření s napětovou sondou

na jiných místech než na napájecích svorkách zkoušeného objektu, příp. tam, kde nelze k měření použít umělou síť LISN → vhodné při zkouškách a diagnostických měřeních EMC při vývoji zařízení.



Měření s proudovou sondou

Proudová sonda (proudový transformátor, proudové kleště) slouží k měření rušivého elektrického proudu protékajícího vodičem, a to bez jeho přerušení.

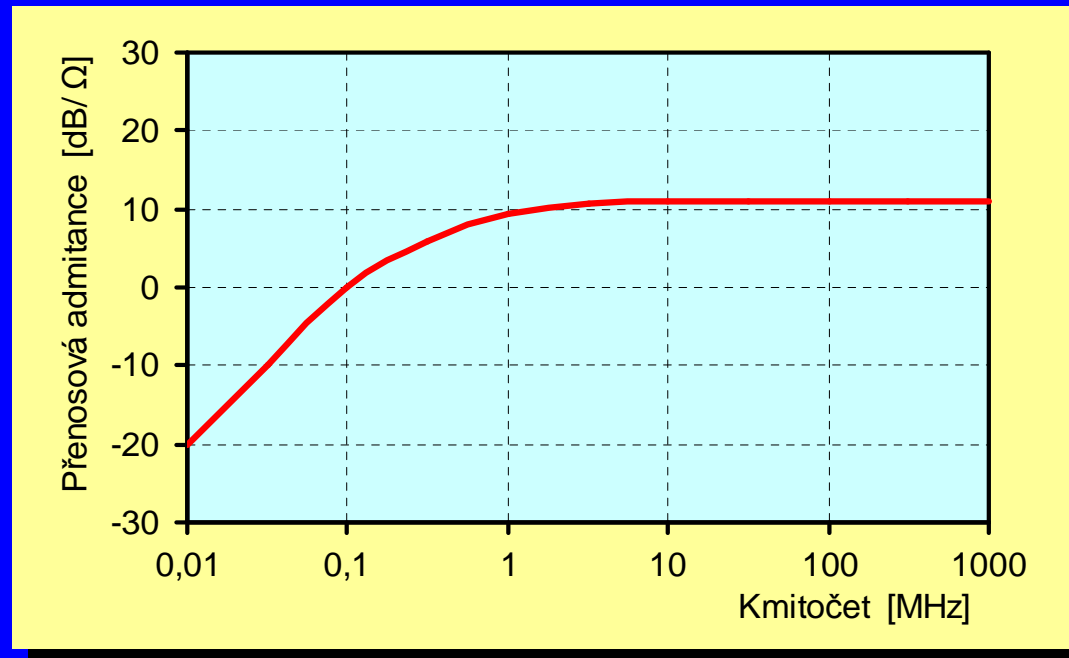


Vnější vzhled proudové sondy

Přenosová admitance proudové sondy

$$Y_T = \frac{I_{rP}}{U_{rS}}$$

vyjadřovaná obvykle v [dBS] nebo v [dB/Ω].



Kmitočtový průběh přenosové admitance
proudové sondy

Dalšími charakteristickými parametry proudové sondy jsou zejména:

- maximální stejnosměrný a nízkofrekvenční primární proud,
- minimální měřitelná a maximální přípustná velikost primárního rušivého proudu I_{rP} v pracovním kmitočtovém pásmu,
- impedance sekundárního obvodu sondy (k dosažení impedančního přizpůsobení k měřiči rušení),
- rozměrové údaje, např. největší průměr kabelu, na němž lze sondu instalovat,
- kmitočtový rozsah použití sondy; obvykle 30 Hz až 100 MHz, výjimečně až do kmitočtu 1000 MHz.

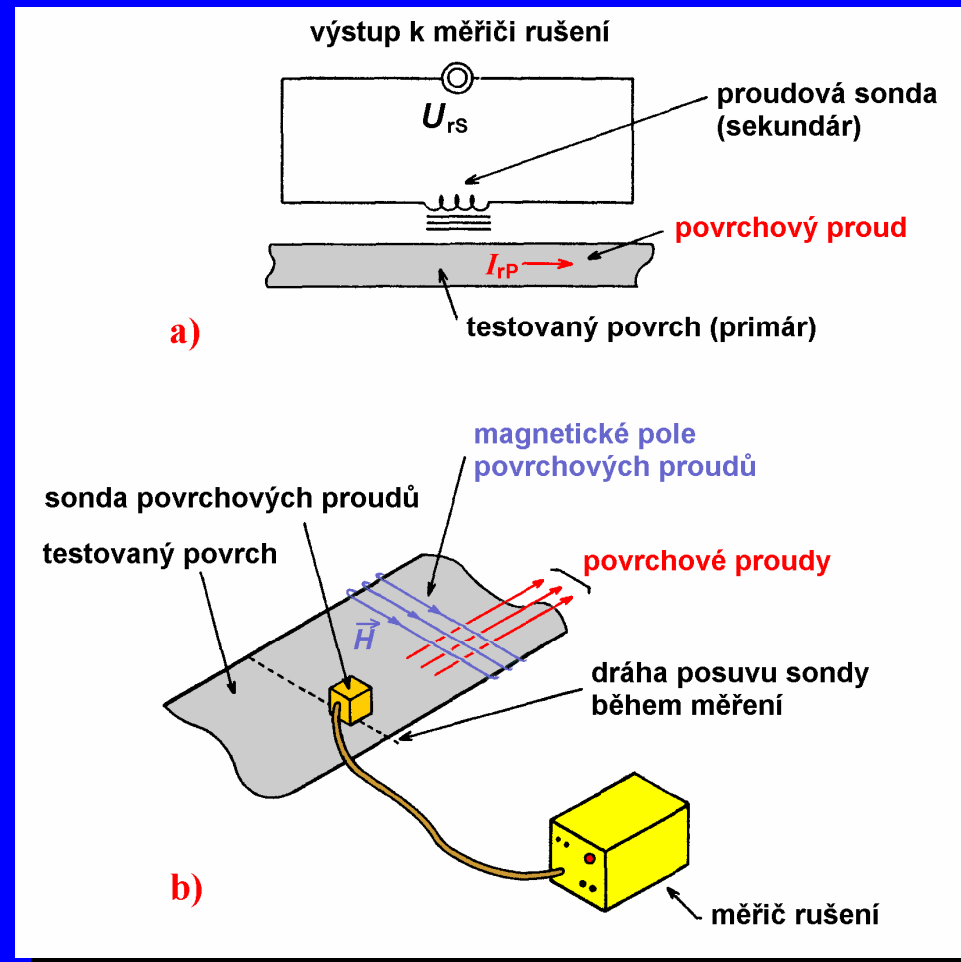
Proudové kleště užívané v běžné měřicí technice k měření pracovních proudů na napájecích vedeních nelze užít pro potřeby EMC, neboť tyto sondy jsou navrženy pro kmitočty 50 ÷ 60 Hz, nikoli pro měření vysokofrekvenčních signálů.

Sonda povrchových proudů

(*Surface Current Probe*) pro měření vysokofrekvenčních rušivých proudů protékajících po kovovém povrchu např. stínicích krytů či karosérií.

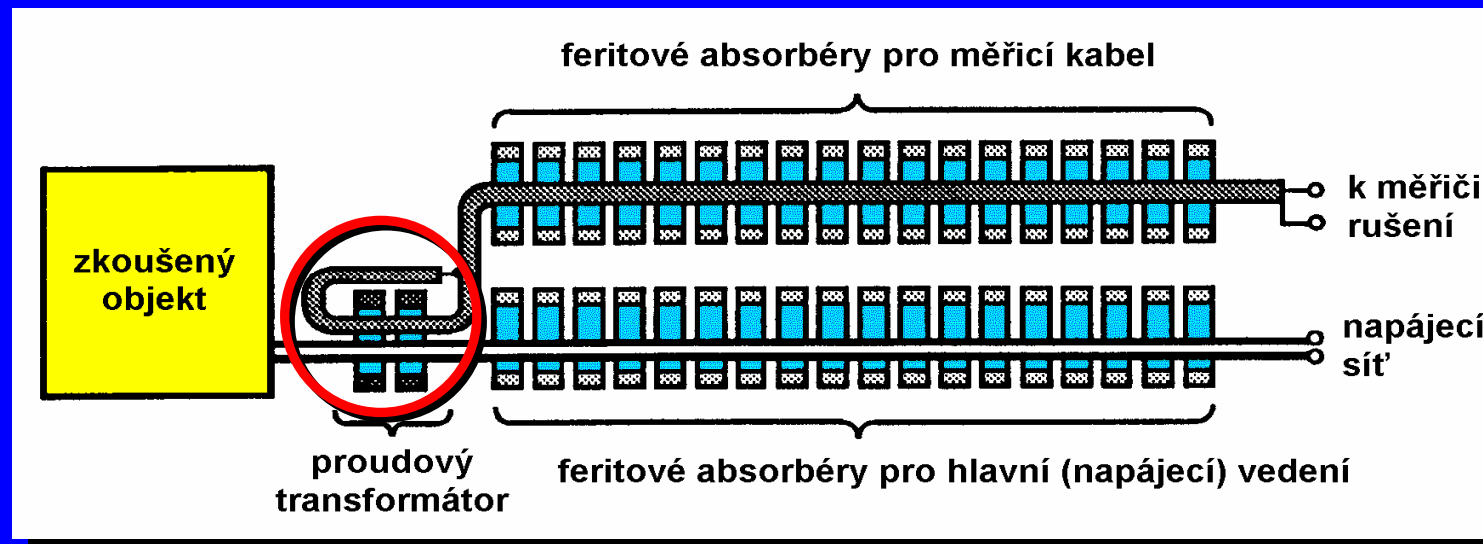
- a) Princip činnosti
- b) Praktické užití sondy povrchových rušivých proudů

Sondy pro měření povrchových proudů se v technice EMC používají v kmitočtovém pásmu 100 kHz až 100 MHz.



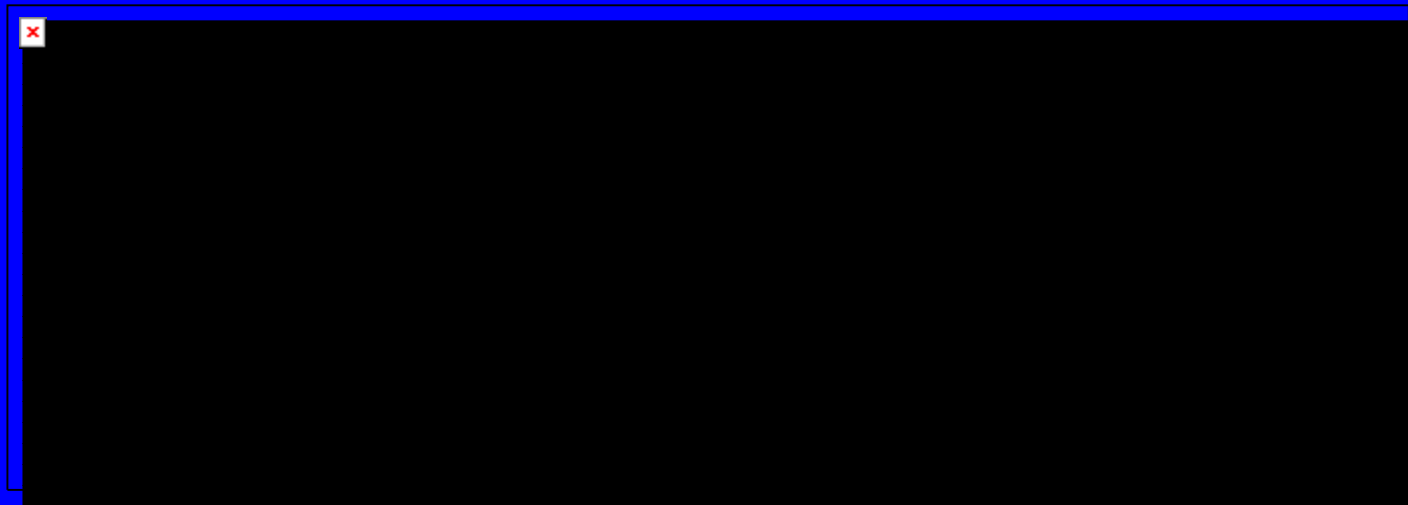
Měření s absorpčními kleštěmi

Absorpční kleště (absorpční transformátor, absorpční odbočnice) jsou kombinací širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy (proudového transformátoru) a feritového absorbéru. Pracují v kmitočtovém pásmu $30 \div 1000$ MHz a měří výkon rušivého signálu, který se šíří ze zkoušeného objektu připojenými kabely a vedením (např. napájecím).



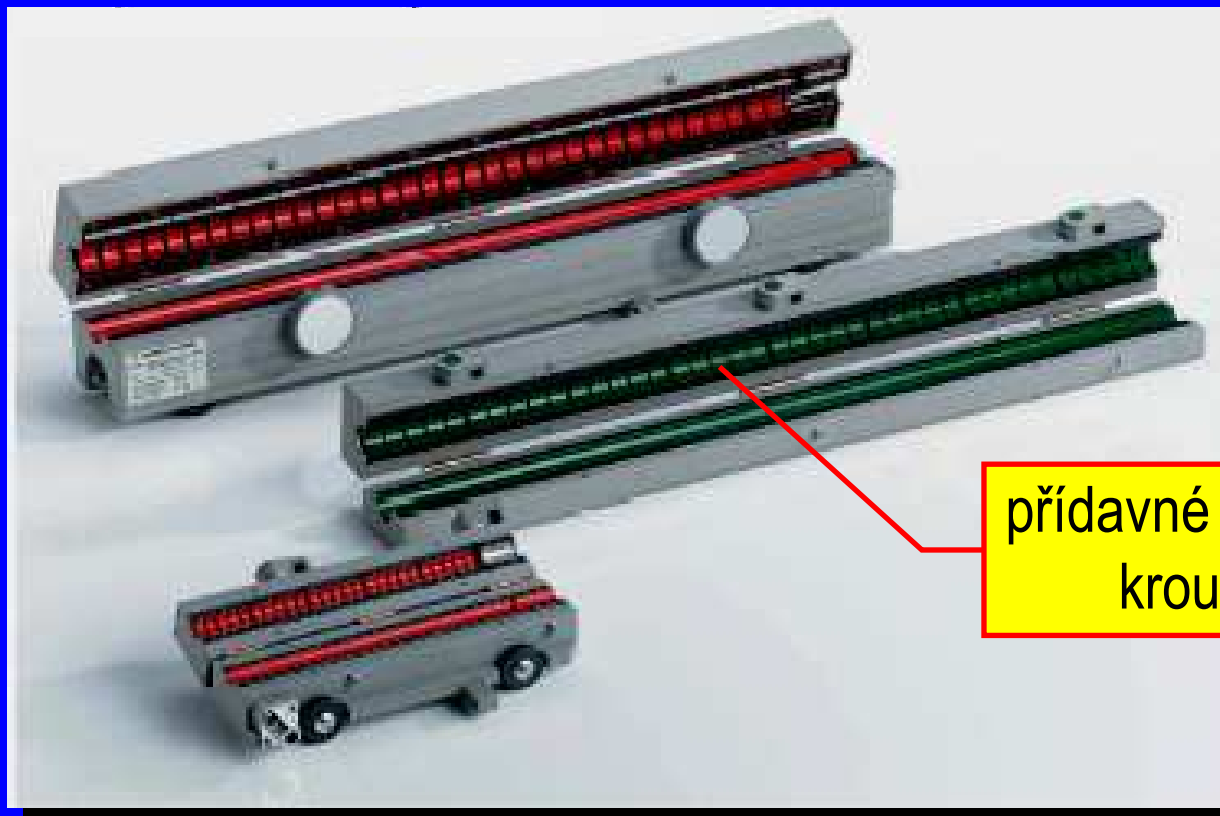
Konstrukce absorpčních kleští

Uspořádání pracoviště pro měření s absorpčními kleštěmi



Rušivý signál ze zkoušeného objektu v jeho napájecím vedení **2** indukuje v proudové smyčce **3** absorpčních kleští **4** napětí, které je úměrné vř. rušivému proudu ve vedení **2** a je měřeno měřičem rušení **5**. Feritové kroužky přizpůsobují bezodrazově napájecí vedení pro rušivý signál a současně potlačují pronikání rušivých signálů z „vnějšku“ po napájecím vedení k proudové smyčce **3**. Někdy je toto potlačení nutno zlepšit použitím další absorpční vložky **6** umístěné na vedení za absorpčními kleštěmi. Proudová smyčka **3** pak reaguje jen na rušivý signál postupující po vedení **2** směrem od zkoušeného objektu **1**.

Vnější vzhled absorpčních kleští Rohde & Schwarz MDS-21, MDS-22



přídavné absorpční
kroužky 6

Měření pomocí antén

Měření rušivého elektromagnetického pole přístrojem pro měření rušení (měřicím přijímačem) doplněným vhodnou měřicí anténou.

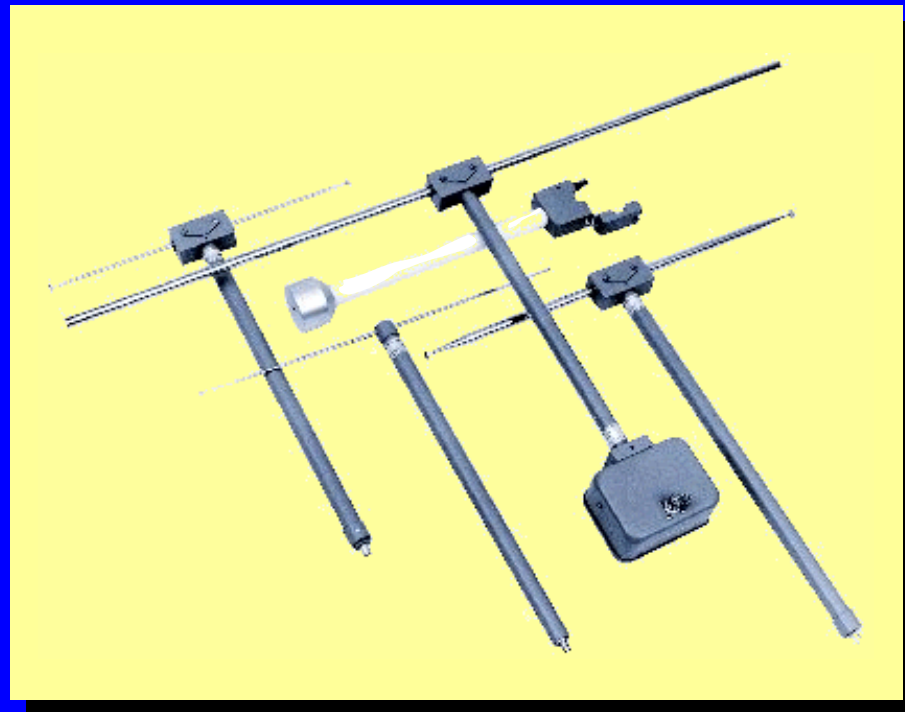
- **Rámové (smyčkové) antény** nebo **feritové antény** pro měření magnetického rušivého pole v nejnižších kmitočtových pásmech **9 až 150 kHz**, příp. **150 kHz až 30 MHz**. Cívka antény o max. velikosti 60 x 60 cm je umístěna do kovového stínění pro vyloučení parazitního vlivu elektrické složky pole. Antény mohou být pasivní nebo aktivní, vybavené měřicími zesilovači pro dané pásmo kmitočtů.



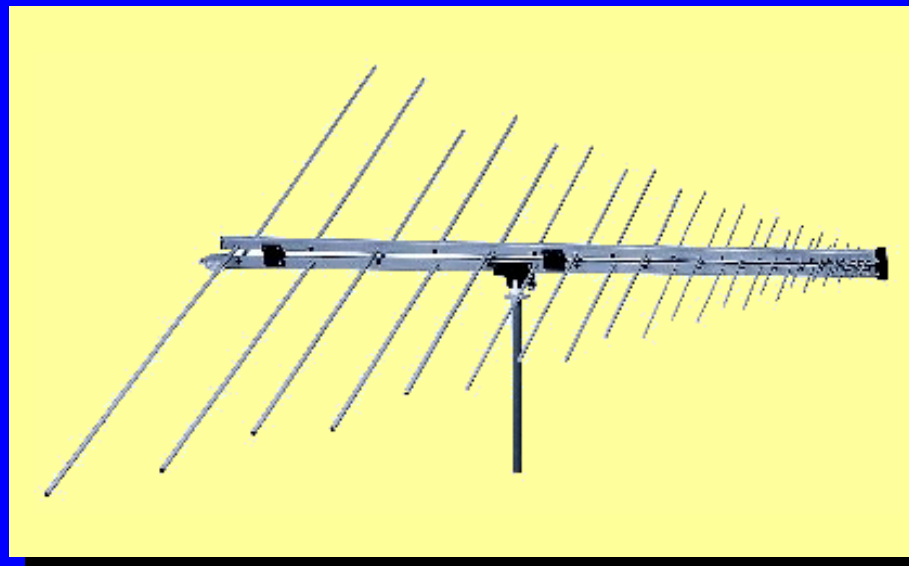
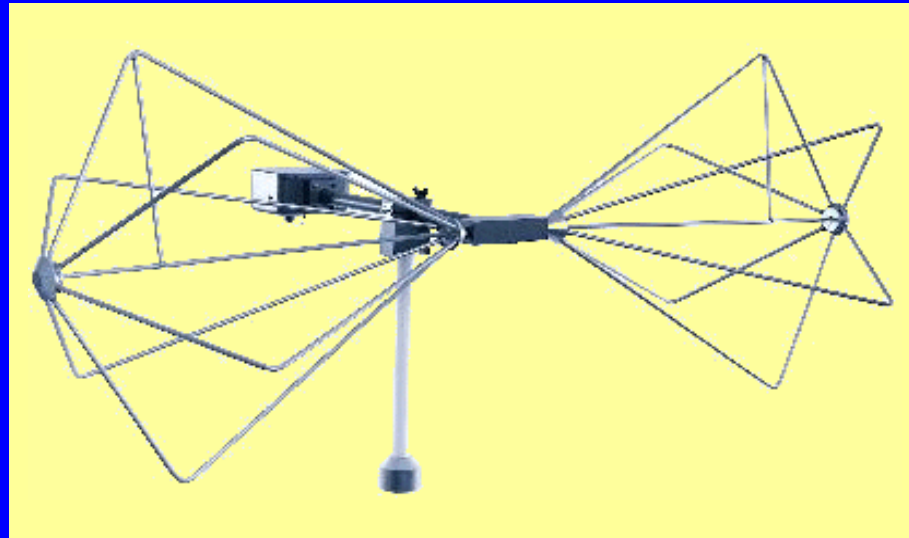
- **Nesymetrická vertikální prutová (tyčová) anténa (monopól)** o doporučené celkové délce 1 m pro měření rušivého elektrického pole E_r v pásmu **150 kHz až 30 MHz**. Při měření v tzv. **blízkém poli** rušivého zdroje je měření elektrické intenzity E_r pomocí této antény nepřesné, neboť kromě vazby vf. polem se zde uplatňuje i přímá kapacitní vazba mezi anténou a zdrojem rušení. Přesto se i zde měření pomocí prutových antén provádí, neboť při přesně stanovených podmínkách je **spolehlivě reprodukovatelné**.



- **Laděný symetrický půlvlnný dipól** se jako měřicí anténa používá v kmitočtovém pásmu **30 až 80 MHz**. Dipól je vždy nastaven (naladěn) na rezonanční délku odpovídající kmitočtu 80 MHz. Ve vyšších pásmech **až do 1000 MHz** slouží rezonanční půlvlnné dipóly jako **kalibrační antény**, pro běžná provozní měření však nejsou příliš vhodné z důvodu jejich pracnějšího nastavení: délka ramen dipólu musí být nastavena (naladěna) vždy na příslušný měřicí kmitočet, dipól musí být připojen ke vstupu měřiče rušení prostřednictvím symetrizačního obvodu (balunu).



- **Bikónická anténa** je typickou měřicí anténou v pásmu **20 ÷ 300 MHz**.
- **Logaritmicko-periodická anténa** je nejrozšířenější měřicí anténou v pásmu **od 200 do cca 3000 MHz**. Tvoří ji unipóly, jejichž délky a vzájemné vzdálenosti jsou v poměru logaritmu jejich rezonančních kmitočtů ➔ tvar vyzařovacího diagramu a vstupní impedance antény jsou prakticky konstantní.



- **Kónicko-logaritmická,**

příp. **spirálová anténa**

je speciálním typem širokopásmové antény až **do**

oblasti GHz kmitočtů. Na

rozdíl od ostatních typů

měřicích antén je určena

pro příjem (či vysílání) kru-

hově polarizovaného elek-

tromagnetického pole. Kón-

ická anténa se proto ne-

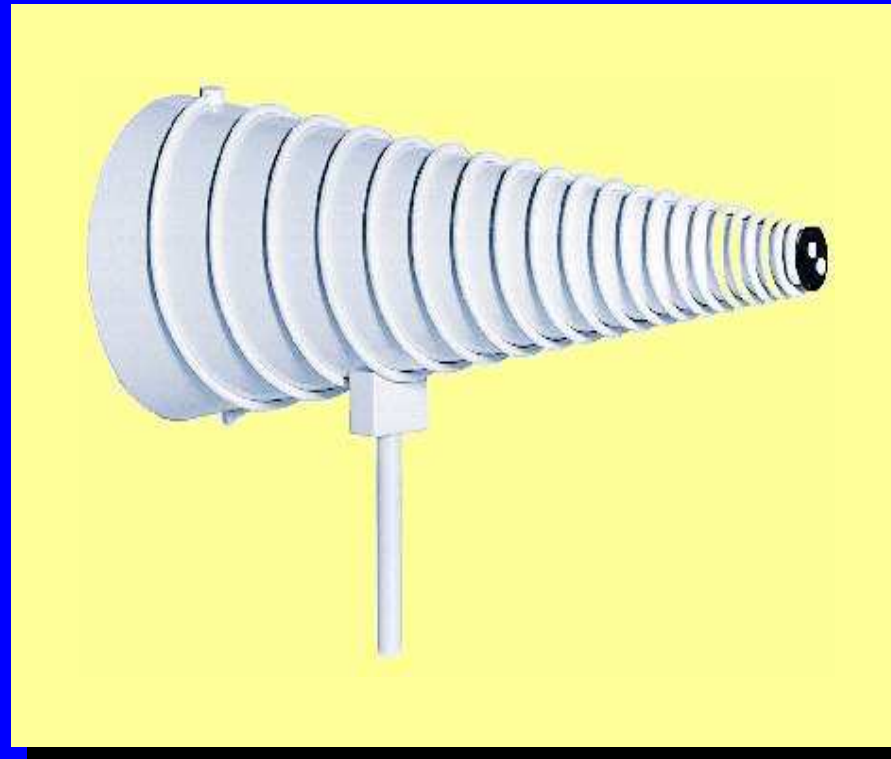
pužívá pro testy EMC dle

civilních norem, neboť všechny tyto normy předepisují testy s lineární

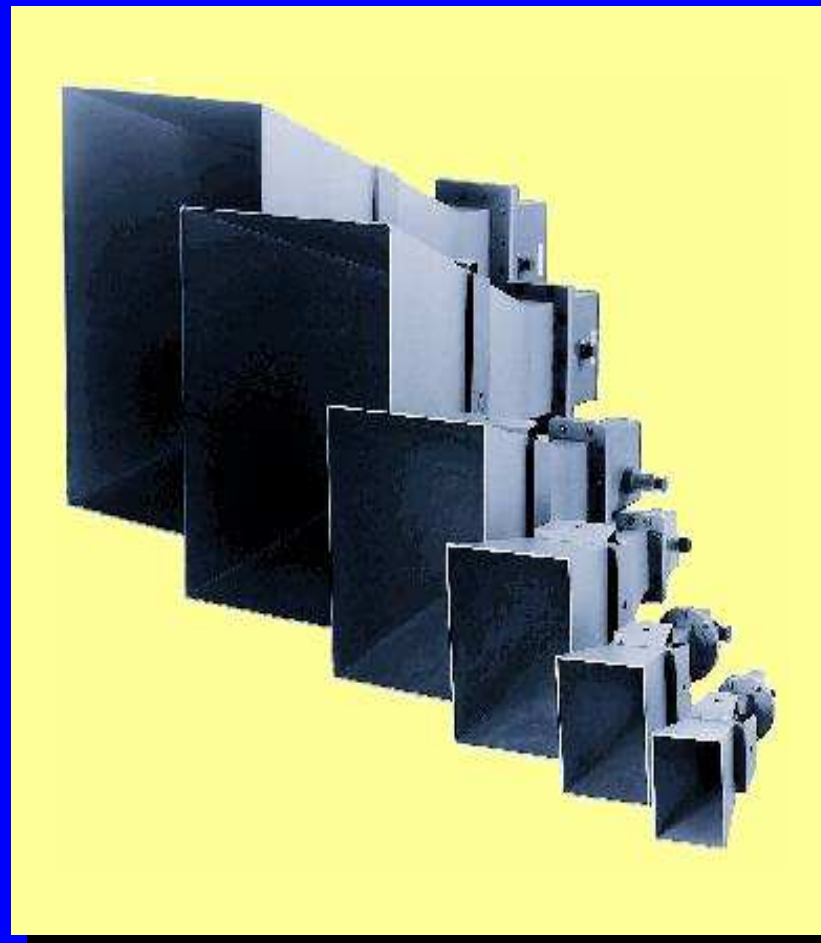
polarizací vln. Řada testů ve vojenství (např. dle amerických vojens-

ských norem **MIL-STD**) je však založena na použití kruhově polarizo-

vaných vln a pro jejich provedení jsou právě kónické antény typické.



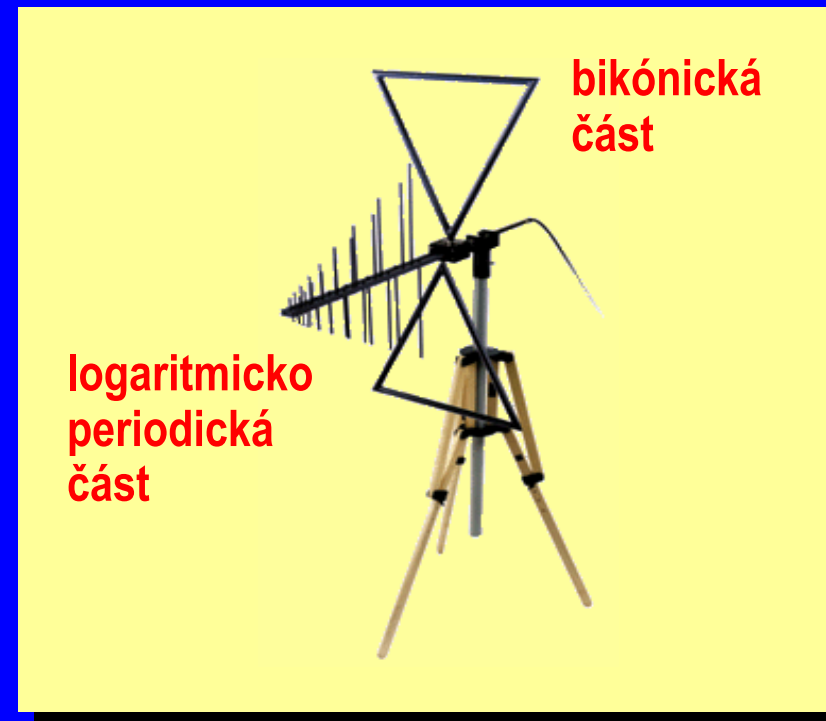
- **Pyramidální kovové vlnovody** – tzv. **trychtýřové antény** se jako měřicí antény užívají především v **GHz kmitočtových pásmech**. Vlnododové trychtýřové antény jsou svou podstatou relativně úzkopásmové. K pokrytí kmitočtů od jednotek do několika desítek GHz je proto třeba sada několika (8 ÷ 10) těchto antén pro jednotlivé dílčí kmitočtové rozsahy.



Složené širokopásmové antény

jsou novým druhem měřicích antén, které sdružují vlastnosti bikónické antény (na nízkých kmitočtech) a logaritmicko-periodické antény (na vysokých kmitočtech) a pokrývají tak celé obvyklé měřicí pásmo vyzařovaného rušení **od 30 MHz do 1000 až 2000 MHz**.

- **BiLog** je první taková anténa vytvořená anglickou firmou CHASE v kooperaci s University of York. Postupně vznikaly další modifikace s různým obchodním označením, např. **BiConiLog** apod.



Konstrukční úpravy složených širokopásmových antén

mají dále zvětšit jejich širokopásmovost a zlepšit některé jejich elektrické vlastnosti (tvar vyzařovacího diagramu, impedanční přizpůsobení apod.), hlavně v oblasti nízkých měřicích kmitočtů.



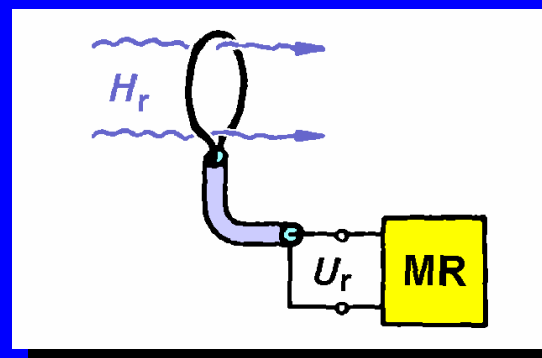
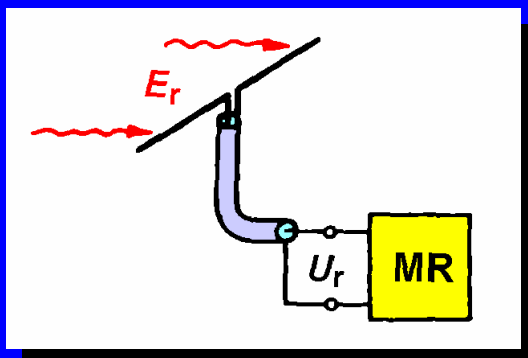
Speciální měřicí sondy (antény) blízkého elektrického či magnetického pole

jsou malé ruční („očíhávací“) antény užívané zejména při vývoji a diagnostice elektronických zařízení pro sledování vyzařování součástek a bloků přímo uvnitř vyvíjeného zařízení a pro co nejpřesnější dislokování zdroje rušivého signálu.



Parametry měřicích antén

Anténní faktor (činitel) AF

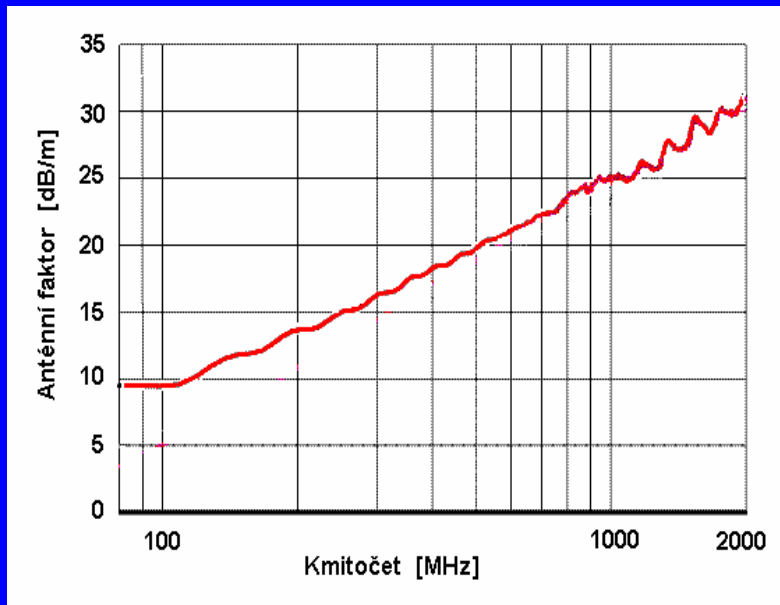


$$E_r [\text{dBV/m}] = U_r [\text{dBV}] + \text{AF} [\text{dB/m}]$$

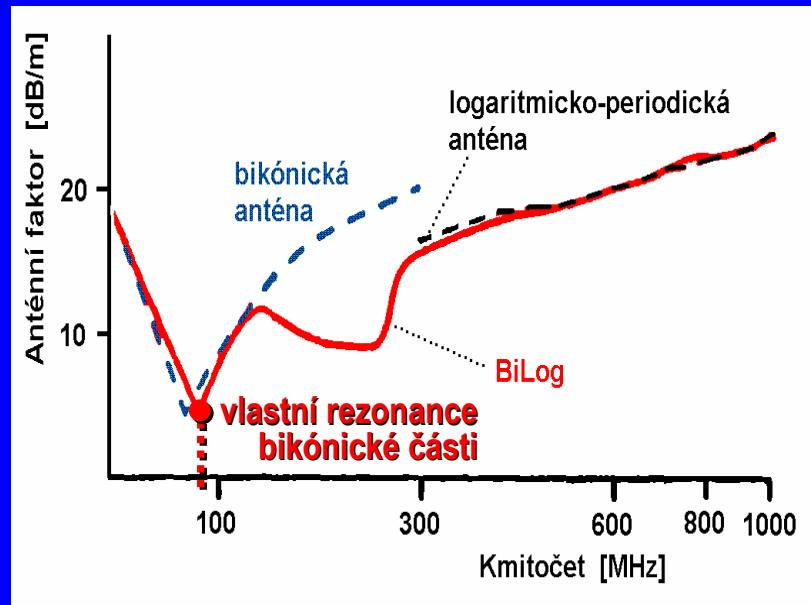
Teoretický výpočet anténního faktoru

$$AF [dB/m] = 20 \cdot \log f [MHz] - 29,8 - G_{MA} [dB]$$

pro měřicí anténu se ziskem G_{MA} zakončenou na svém výstupu přizpůsobenou impedancí $Z_0 = 50 \Omega$.



Logaritmicko-periodická anténa



Složená širokopásmová anténa BiLog

Skutečná hodnota anténního činitele AF

- závisí na podmínkách měření a uspořádání měřicího pracoviště (např. výšce antény nad zemí, vodivosti a tedy odrazivosti země, přítomnosti jiných odražených signálů, polarizaci pole, vzdálenosti antény od zdroje rušení apod.),
- je ovlivněna i přítomností samého testovaného zařízení (zkoušeného objektu),
- závisí rovněž na impedančním přizpůsobení antény, napáječe a měřiče rušení.

Do hodnoty **AF** je některými výrobci zahrnován i útlum L napájecího kabelu mezi anténou a měřičem rušení

$$AF \text{ [dB/m]} = 20 \cdot \log f \text{ [MHz]} - 29,8 - G_{MA} \text{ [dB]} + L \text{ [dB]}$$

- **Polární vyzařovací diagram.** Hodnota anténního činitele **AF** měřících antén pro EMI je udávána pro takový směr antény, kdy její hlavní lalok je směřován k měřenému (zkoumanému) zdroji (rušení). Při jiném nasměrování měřicí antény je její zisk v daném směru menší a specifikovaná hodnota **AF** není platná.
- **Lineární polarizace** je požadována u všech měřících antén EMI. Horizontální a vertikální rovina polarizace měřicí antény je přitom posuzována vůči rovině zemní plochy měřicího pracoviště. Norma požaduje, aby úroveň signálu přijatého anténou ve směru kolmém na rovinu polarizace vlny byla alespoň o 20 dB nižší než úroveň přijatého signálu ve směru rovnoběžném s rovinou polarizace.

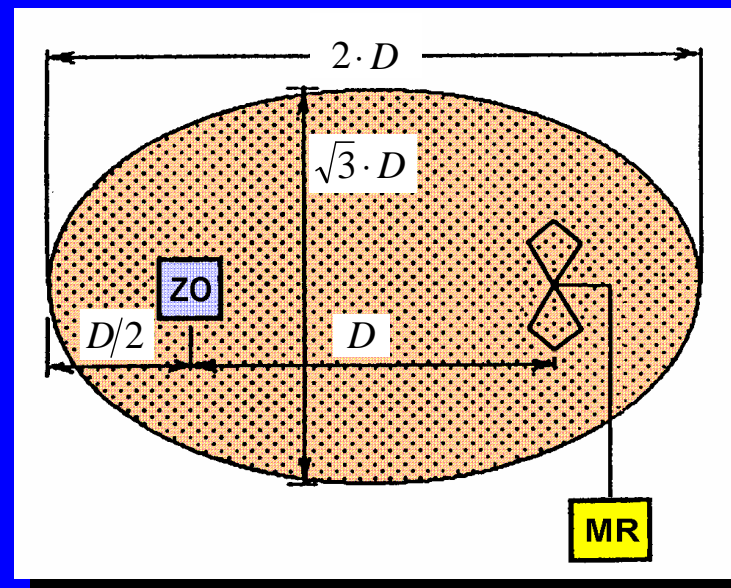
Neurčitost měření klesá s rostoucí vzdáleností mezi měřicí anténou a zkoušeným objektem. Klesá vzájemné ovlivňování antény a zkoušeného objektu, klesá nehomogenita měřeného pole, kolísání jeho polarizace i vliv směrovosti použité antény.

Anténní měření na volném prostranství

Open Field Test Site – OFTS

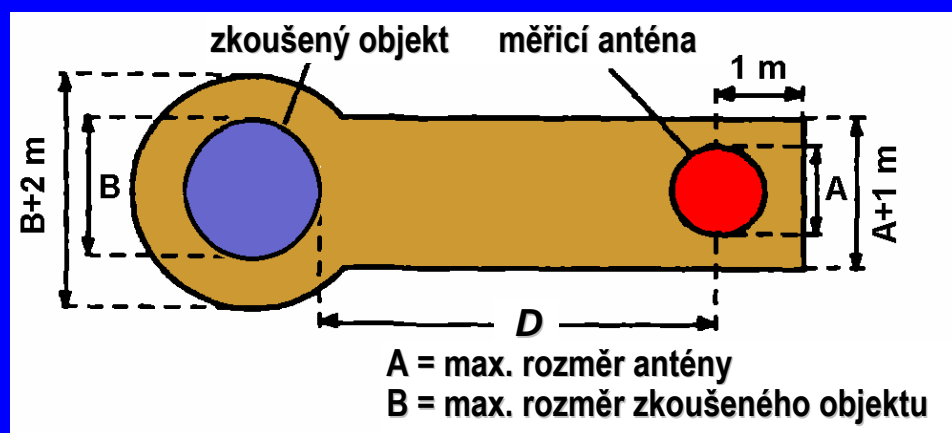
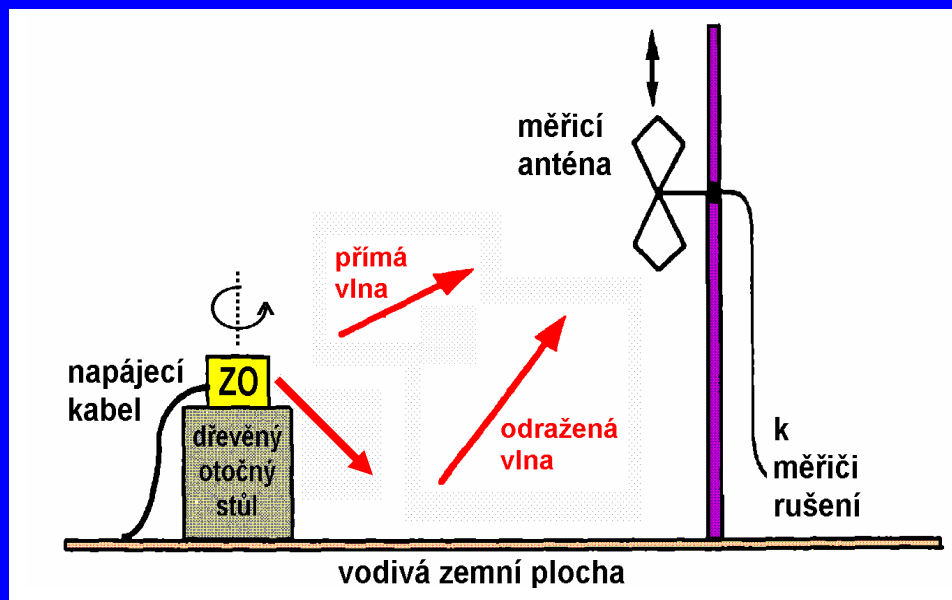
Open Area Test Site – OATS

má mít půdorysný tvar **elipsy**. Její hlavní osa je rovna dvojnásobku vzdálenosti mezi zkoušeným objektem **ZO** a měřicí anténou, které se nacházejí v jejích ohniscích. Tato **měřicí vzdálenost D** je normou předepsána na hodnoty **3 m, 10 m, 30 m** či **100 m**. Zkušební stanoviště musí být vytvořeno na plochem a rovném terénu bez budov, elektrických vedení, stromů, keřů, plotů či jiných odrazných ploch kromě nezbytných přívodů napájení a provozu zkoušeného zařízení. V místě stanoviště by se neměla vyskytovat ani jiná silná elektromagnetická pole.



Půdorys zkušebního stanoviště pro měření na volném prostranství

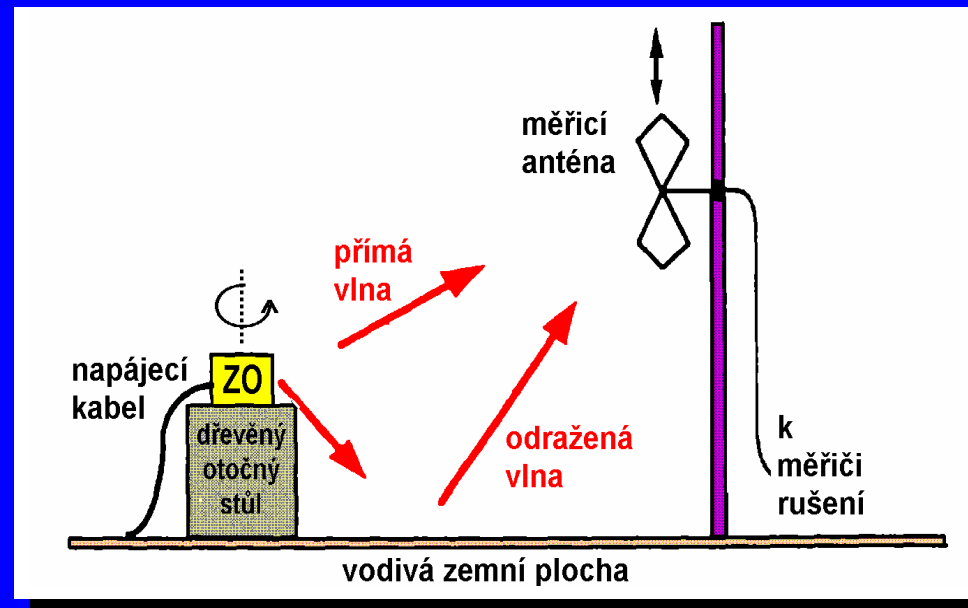
Měřicí anténa přijímá rušivé pole od zkoušeného objektu **ZO** vždy minimálně po dvou drahách: kromě **přímé vlny** je vždy přítomna i **vlna odražená od země** zkušebního stanoviště. Aby výsledky byly reprodukovatelné, je nutno zajistit stálé podmínky odrazu, a to při všech měřicích kmitočtech. Toho lze dosáhnout položením vodivé kovové plochy s dostatečnou rozlohou na zem mezi zkoušený objekt a měřicí anténu.



Doporučené minimální rozměry kovové zemní plochy zkušebního stanoviště dle ČSN EN 55022

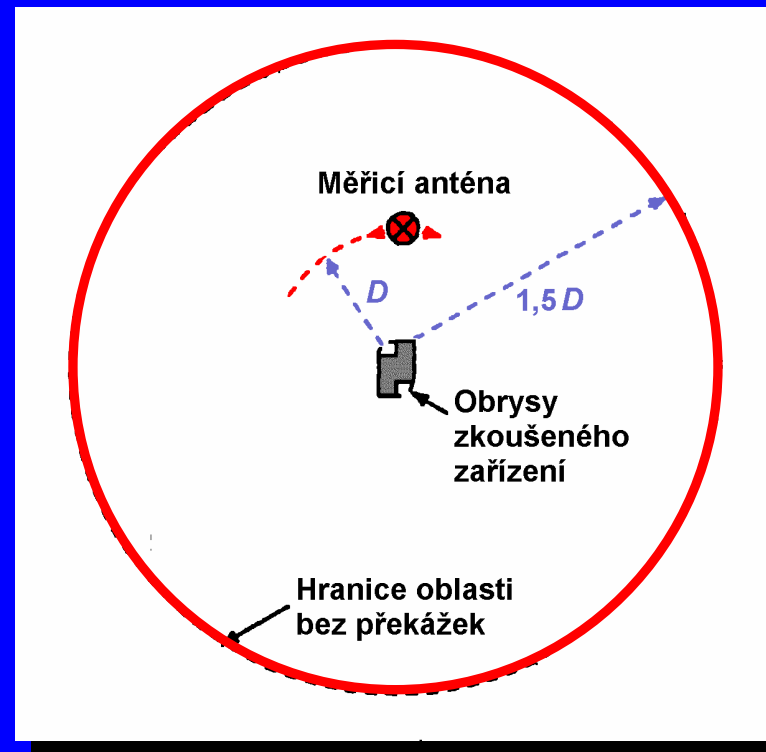
Při všech měřeních EMC se snažíme postihnout tzv. **nejhorší případ**. Měřicí anténa má nastavitelnou výšku v rozsahu **1 ÷ 4 m**, příp. **2 ÷ 6 m** při měřicích vzdálenostech $D = 30$ a 100 m. Při vlastním měření se anténa na každém měřicím kmitočtu nastaví do takové výšky, kdy je měřená hodnota **rušivého napětí maximální**.

Kompletní měření se provádí při **obou polarizacích** měřicí antény (horizontální i vertikální), příp. alespoň v té, v níž je měřená hodnota rušivého napětí větší. Při výběru měřicí antény pro dané zkušební pracoviště je třeba rovněž zajistit, aby její rozměry byly **menší než asi 10 %** její vzdálenosti od proměřovaného zařízení. Prakticky to znamená, že např. při měřicí vzdálenosti 10 m musí být rozměry použitých antén menší než 1 m.



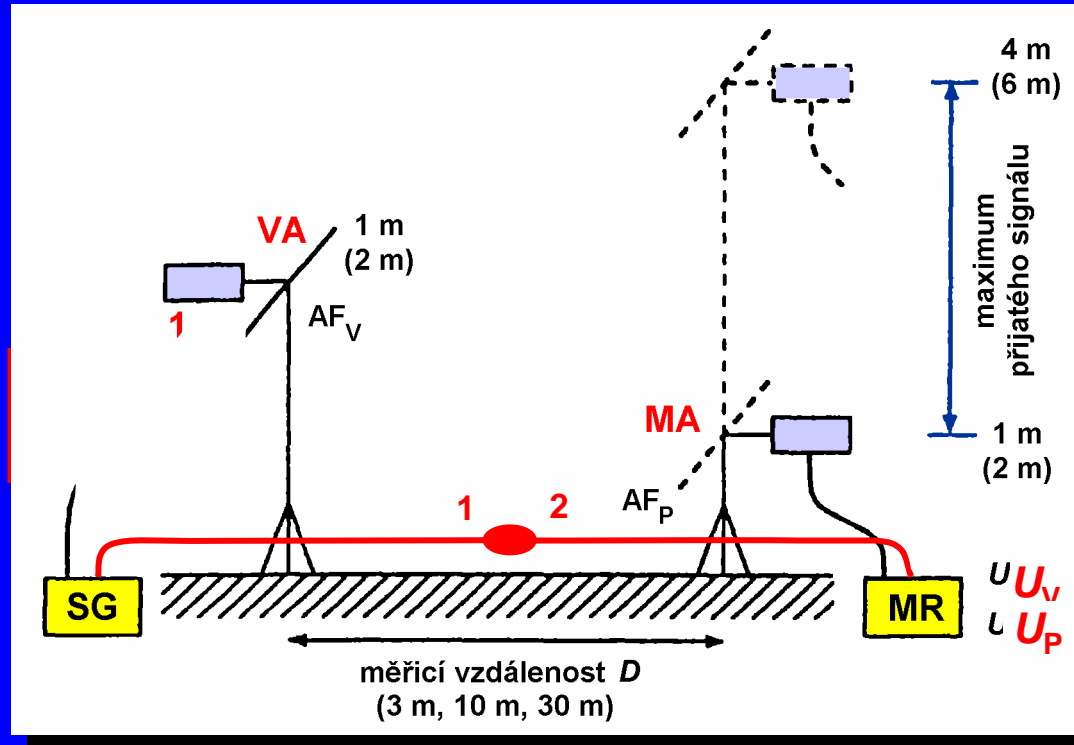
Kruhový tvar zkušebního stanoviště

je normou **ČSN CISPR 16-1** doporučen pro velké stacionární zkoušené objekty ($> 1 \text{ m}^3$), případně není-li k dispozici otočný stůl. Při měření se anténa otáčí („obíhá“) kolem zkoušeného zařízení v dané měřicí vzdálenosti až do místa, kde je měřené rušivé napětí při dané polarizaci antény maximální.



Měření :

- Napájecí koaxiální kabely v místech **1** a **2** se odpojí od obou antén a spojí se přímo. Měřič rušení **MR** udává hodnotu U_V .
- Napájecí kabely se připojí k anténám. Nalezne se taková výška **MA**, v níž je údaj U_P měřiče rušení **MR** maximální.



$$SA_m = 20 \cdot \log \frac{U_V}{U_P}$$

Teoretický výpočet :

$$SA_t [\text{dB}] = 20 \cdot \log D [\text{m}] + 20 \cdot \log f [\text{MHz}] - G_{VA} [\text{dB}] - G_{MA} [\text{dB}] - 27,6 - R [\text{dB}]$$

kde G_{VA} a G_{MA} jsou zisky vysílací a měřicí antény. Při použití laděných symetrických půlvlnných dipólů s délkou ramen nastavovanou do rezonance pro každý měřicí kmitočet jsou jejich zisky $G_{VA} = G_{MA} = 2,15 \text{ dB}$.



$$SA_t [\text{dB}] = 20 \cdot \log D [\text{m}] + 20 \cdot \log f [\text{MHz}] - 31,9 - R [\text{dB}]$$

nebo též

$$SA_t [\text{dB}] = 20 \cdot \log D [\text{m}] - 20 \cdot \log f [\text{MHz}] + AF_{VA} + AF_{MA} + 32 - R [\text{dB}]$$

kde AF_{VA} a AF_{MA} značí anténní činitele (anténní faktory) vysílací a měřicí antény na zkušebním pracovišti.

Korekční činitel R [dB] vyjadřuje vliv odražené elektromagnetické vlny od zemní roviny stanoviště na zjišťovanou hodnotu útlumu SA_t . Jeho hodnota je dána velikostí měřicí vzdálenosti stanoviště D a celkovou dráhou D_R odražené vlny:

$$R = 10 \cdot \log \left(1 - \frac{D}{D_R} \right)$$

Pro různou výšku měřicí antény **MA** během měření v intervalu $1 \div 4$ m (příp. $2 \div 6$ m) může korekční činitel **R** nabývat následujících hodnot:

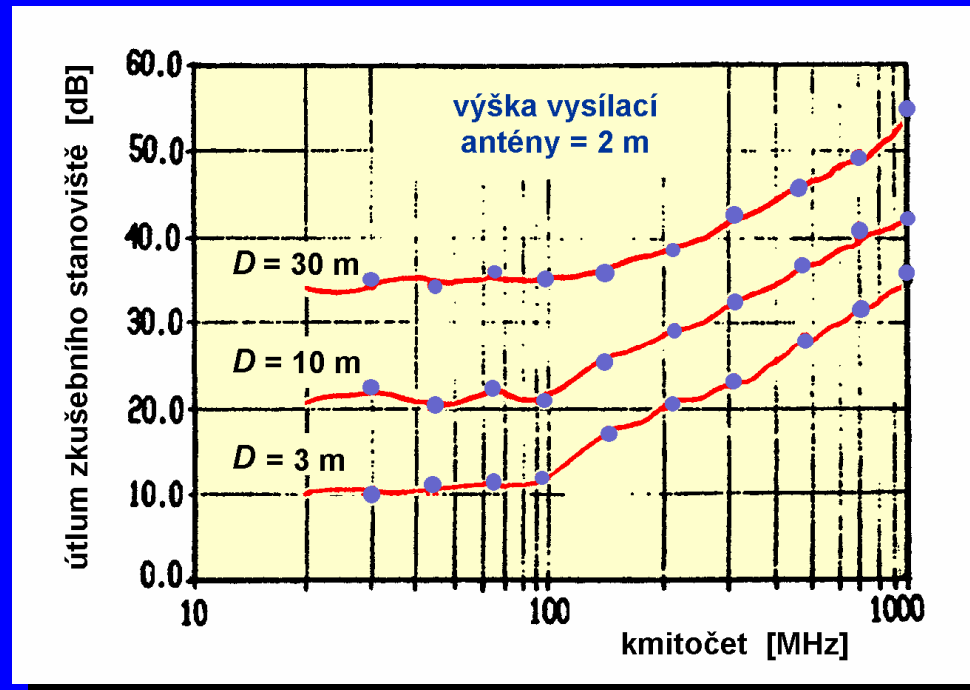
$D = 3$ m \rightarrow $R = 3,74 \div 4,84$ dB střední hodnota **R = 4,3 dB**

$D = 10$ m \rightarrow $R = 5,46 \div 5,86$ dB střední hodnota **R = 5,7 dB**

$D = 30$ m \rightarrow $R = 5,81 \div 5,98$ dB střední hodnota **R = 5,9 dB**

Ve výpočtu se používá střední hodnota korekčního činitele **R** pro danou měřicí vzdálenost D .

$$SA_t \text{ [dB]} = 20 \cdot \log D \text{ [m]} + 20 \cdot \log f \text{ [MHz]} - 31,9 - R \text{ [dB]}$$



Příklad změřených hodnot SA_m (●) a vypočteného teoretického průběhu SA_t (—) útlumu měřicího pracoviště na volném prostranství pro tři obvyklé měřicí vzdálenosti D a výšku vysílací antény 2 m

Měření v elektromagnetických stíněných prostorech

zajistí, aby měření nebylo ovlivňováno (zkreslováno) **vnějšími rušivými signály**, tedy aby měřicí anténa přijímala jen rušivé signály pocházející od zkoušeného zařízení. **Stíněná komora** je vytvořena jako uzavřený prostor nejčastěji z desek ocelových plechů, který zajišťuje dostatečnou elektromagnetickou těsnost, a to včetně dveří, větracích a přívodních otvorů apod. Elektromagneticky stíněné pracoviště pro zajištění své kompletní funkce **musí** být vybaveno řadou nezbytných prvků (dveře, okna, větrací průchody apod.), které však výrazně snižují výslednou účinnost stínění.

Kvalitní stíněná komora musí zajišťovat útlum pro vnější signály na úrovni **100 ÷ 120 dB**. Tuto hodnotu lze zajistit v kmitočtovém rozsahu cca pěti dekád, tedy např. **od 10 kHz do 1 GHz** nebo **od 100 kHz do 10 GHz**.

Dva základní problémy provozu stíněných komor:

- **vlastní rezonance komory,**
- **vnitřní odrazy v komoře.**

Bezodrazové (absorpční) stíněné prostory

představují **ideální** prostorové řešení pro anténní měření EMC. Bezodrazový (absorpční) prostor je **elektromagneticky stíněný prostor** potřebných rozměrů (půdorysně je opět třeba zajistit eliptickou měřicí plochu pro měřicí vzdálenost $D = 3, 10$ nebo 30 m), jehož vnitřní stěny (včetně stropu a mnohdy i podlahy) jsou navíc **obloženy elektromagneticky absorpčním (pohlcujícím) materiálem**, který značně omezuje vnitřní odrazy v komoře v širokém pásmu kmitočtů. Komora tedy musí být

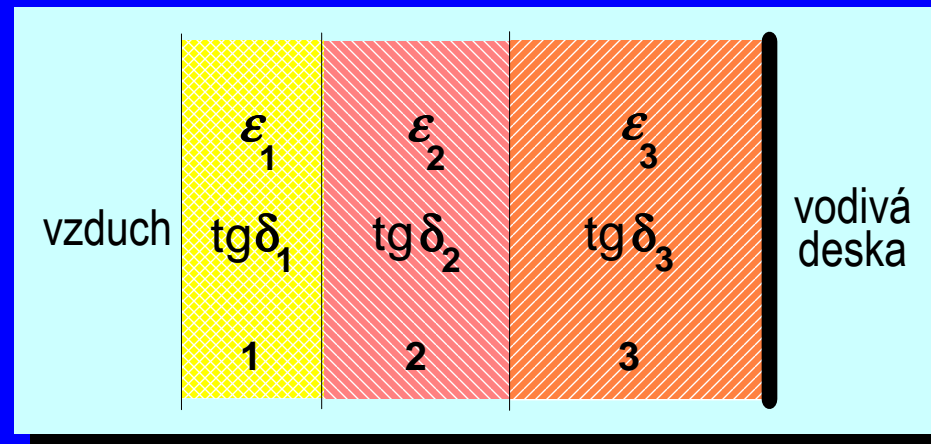
- **elektromagneticky stíněná** pro účinné potlačení (zeslabení) vnějších rušivých signálů,
- **bezodrazová** pro zajištění měřicích podmínek stejných jako v neomezeném prostoru, tedy pro zamezení vzniku vnitřních odrazů elektromagnetických vln a vlastní rezonanci stíněného prostoru.

Absorpční materiály pro obložení stěn bezodrazových komor mění energii dopadající vlny na teplo s využitím buď **dielektrických nebo magnetických ztrát**. Většinou se dává přednost dielektrickým ztrátovým materiálům, neboť magnetické materiály jsou příliš těžké a také drahé.

Použitá ztrátová dielektrika mají nízké hodnoty relativní permitivity ϵ_r , aby se svými dielektrickými (**nikoli ztrátovými !**) vlastnostmi blížila vlastnostem vzduchu. Používají se proto různé **tvrzené pěnové materiály** z polystyrénu, polypropylénu či polyuretanu, které se sytí elektrovedivými či grafitovými plnidly. Stupněm tohoto syčení lze účinně regulovat ztrátové parametry výsledného materiálu.

Dalšími výhodami těchto materiálů je nízká hmotnost, snadná mechanická opracovatelnost a snadné spojování lepením. Materiály lze obvykle použít do poměrně vysokých teplot (**90 ÷ 160 °C**), a tím pro ohlcování vysokých intenzit elektrického pole (**až 200 V/m**), příp. vysokých hustot výkonu (**až 100 W/m²**). Materiály jsou většinou nevznětlivé, tj. v případě požáru jen doutnají, ale nehoří plamenem.

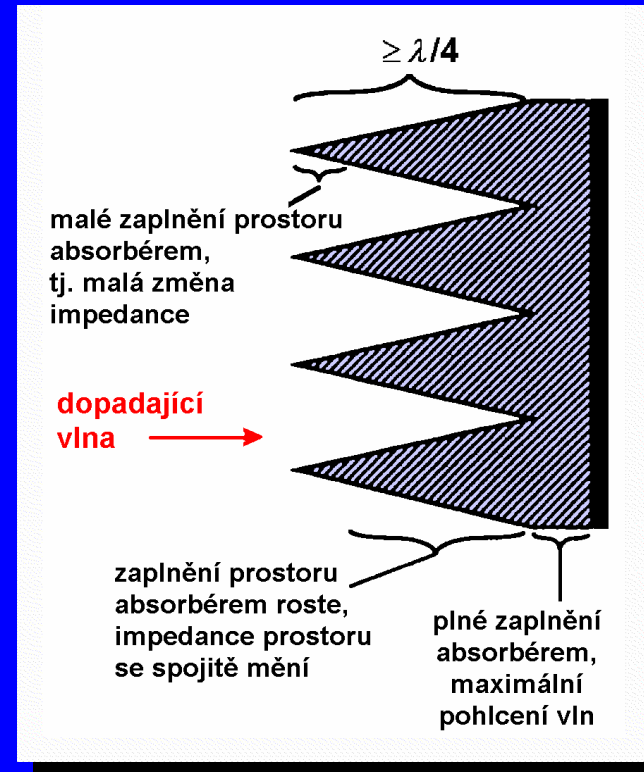
Absorbér s plochou vrstevnatou strukturou



- Stejně se realizují i absorbéry využívající **magnetických ztrát**. Vrstvy jsou zhotoveny z **feritu**, který představuje pro vf. elektromagnetické pole vysoce ztrátový materiál. Relativní permitivita feritu je poměrně vysoká ($10 \div 20$), díky vysoké permeabilitě může být charakteristická impedance feritového prostředí $Z_{0V} = (\mu/\varepsilon)^{1/2}$ srovnatelná s impedancí volného prostoru $Z_{0V} = 377 \Omega$. Feritové absorpční vrstvy mohou proto mít podstatně menší tloušťku, než „klasické“ dielektrické absorbéry. **Nevýhodami feritových absorpčních desek je vysoká hmotnost a velmi vysoká cena, která činí až 1200 dolarů za 1 m².**

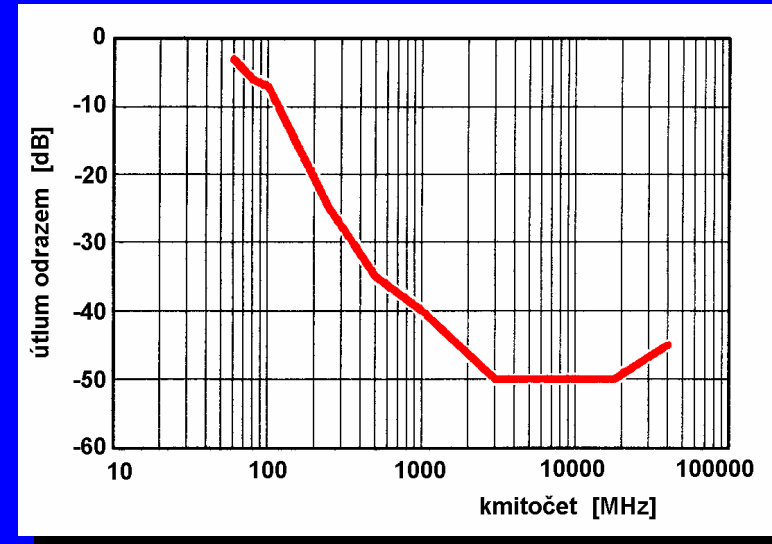
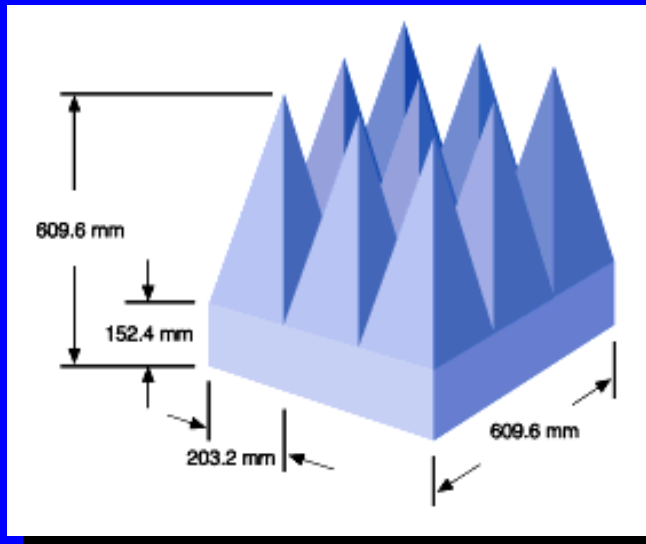
Pyramidální absorbéry

- Obkladové absorpční prvky mají tvar **jehlanů** či **kuželů** zhotovených z polystyrenu či polyuretanu s grafitovou impregnací. **Dnes nepoužívanější.**
- Rozšiřující se průřez jehlanů realizuje **impedanční transformátor**, který převádí impedanci vzduchu na „špičkách“ jehlanů na nízkou impedanci prostoru zaplněného absorbérem v zadní části jehlanů. Rovněž se postupně zvyšují ztráty absorpčního obkladu, takže největší pohlcení energie dopadající vlny nastává až v zadní části absorbéro.
- Výška jehlanů má být **minimálně $\lambda/4$** na nejnižším pracovním kmitočtu. Pro kmitočty 30 MHz tento požadavek znamená výšku **2,5 m**, pro minimální kmitočty 100 MHz je potřebná výška jehlanů stále značná **75 cm**.

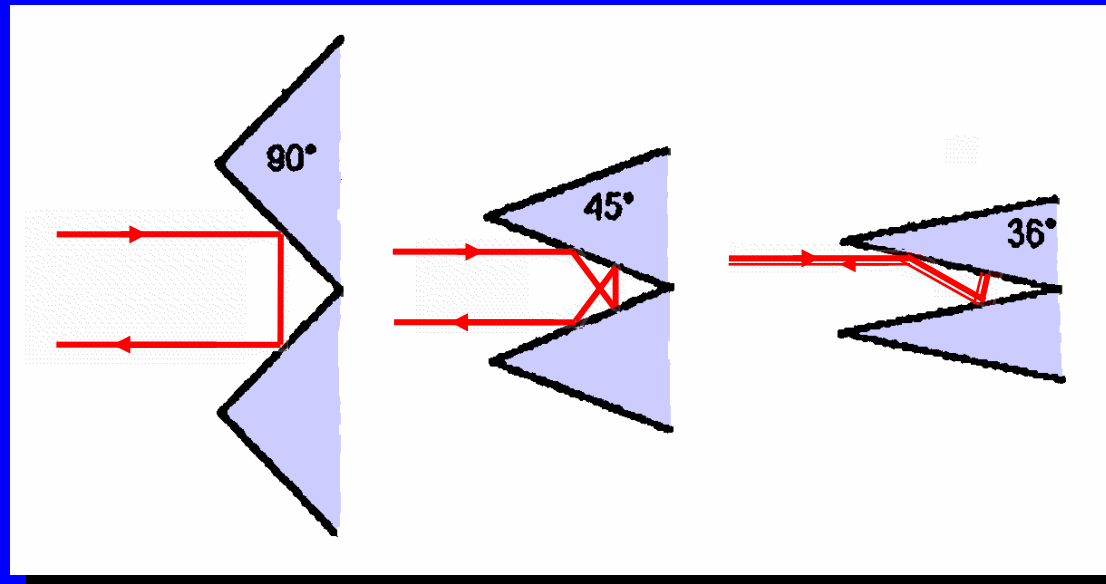


Útlum odrazem RL [dB] (Return Loss) kvantitativně charakterizuje bezodrazovost absorbérů (ať již plošného či pyramidálního). RL je někdy označován jako **reflektivita**.

$$RL = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{odražený}}}{P_{\text{dopadající}}} = 10 \cdot \log |\rho_{\text{vst}}|^2 = 20 \cdot \log |\rho_{\text{vst}}|$$



Konstrukce, rozměry a absorpční vlastnosti širokopásmového pyramidálního absorbérů pro kmitočtové pásmo 80 MHz až 40 GHz



Vlna odražená od povrchu absorbérů se vrací zpět do vnitřního prostoru komory až po několika dalších částečných odrazech. Protože při každém odrazu se část energie vlny absorbuje a jen část se odrazí, je celková energie odražené vlny po vícenásobném odrazu výrazně menší. **Počet dílčích odrazů závisí na vrcholovém úhlu jehlanů, který se obvykle pohybuje kolem 25°.** Tímto mechanismem se tak dále zlepšují bezodrazové vlastnosti celého absorbéru.

Bezodrazové absorpční komory (haly)



Interiér plně bezodrazové komory Elliott Labs (UK)



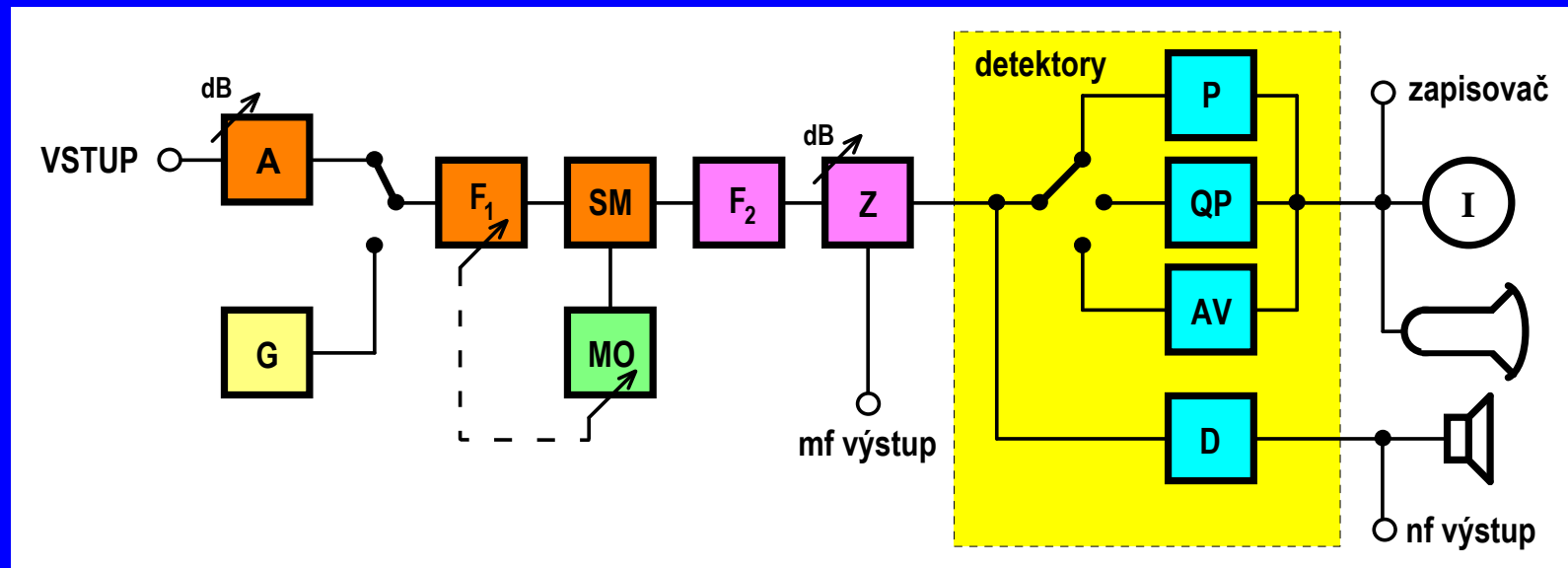
Interiér částečně bezodrazové komory ve VTÚPV ve Vyškově

Přístroje pro měření rušení

Měřič rušení (měřicí přijímač, RFI Meter) je koncipován jako speciální selektivní mikrovoltmetr pracující na superheterodynním principu. Jeho základní vlastnosti jsou určeny normou **ČSN CISPR 16-1**:

- možnost spojitého přeladování v širokém kmitočtovém rozsahu minimálně **9 kHz až 1000 MHz**, s budoucím výhledem k vyšším pásmům;
- vysoká citlivost a nízký vlastní šum pro možnost měřit i nízké úrovně rušivých napětí;
- velký dynamický rozsah (**větší než 40 dB**) a vysoká přebuditelnost umožňující v lineárním režimu měřit i vysoké úrovně rušivých napětí;
- různé typy detektorů pro různé způsoby vyhodnocení rušivých napětí v souladu s normami EMC;
- výstupy, příp. obvody pro zvukovou a obrazovou analýzu a monitorování měřených signálů;
- kvalitní elmag. stínění celého měřiče i jeho dílčích bloků pro dosažení jeho vysoké elmag. odolnosti vůči vlastnímu i vnějšímu rušení.

Blokové schéma moderního měřiče rušení



A vf. dělič napětí (atenuátor)

SM směšovač

F₂ mf. pásmový filtr

D AM/FM demodulátor

G kalibrační generátor

F₁ vf. preselektor

MO místní oscilátor

Z vícestupňový mf. zesilovač

I indikátor (μ V-metr)

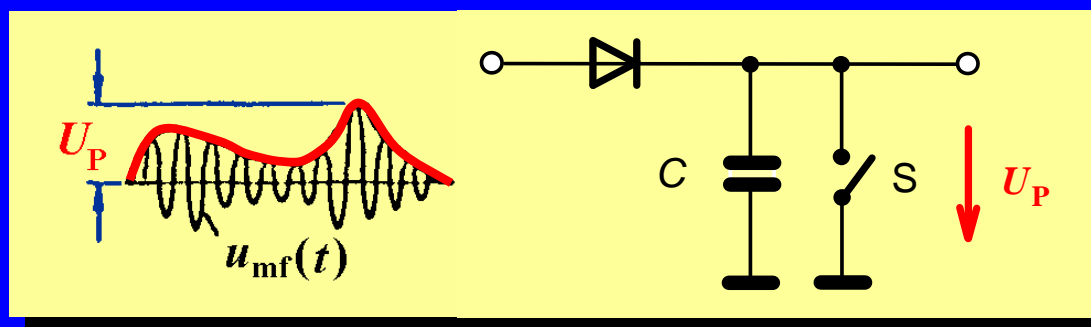
Úzkopásmové a širokopásmové rušivé signály

jsou vymezeny vůči šířce mezifrekvenčního propustného pásma měřiče rušení.

Pásmo	Rozsah kmitočtů	Šířka propustného pásma měřiče rušení
A	9 ÷ 150 kHz	200 Hz
B	150 kHz ÷ 30 MHz	9 kHz
C	30 ÷ 300 MHz	120 kHz
D	300 ÷ 1000 MHz	120 kHz

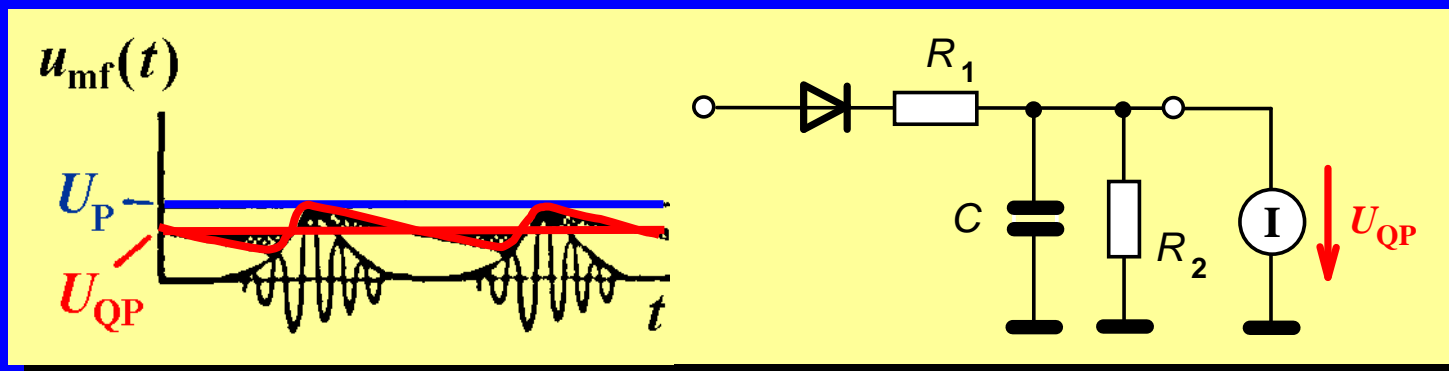
Šířka pásma měřičů rušení předepsaná normou ČSN-CISPR 16-1

Špičkový detektor P (detektor vrcholové hodnoty, **Peak detector**):
výstupní napětí je rovno maximální velikosti vstupního napětí (maximální hodnotě obálky napětí na mezifrekvenčním výstupu měřiče rušení).



Špičkový detektor má velmi krátkou (nulovou) nabíjecí časovou konstantu a velmi dlouhou (nekonečnou) vybíjecí konstantu. Detektor reaguje rychle na růst velikosti obálky mf. signálu a udržuje na výstupu její maximální dosaženou hodnotu. Výstupní napětí špičkového detektoru závisí jen na velikosti vstupního napětí a není ovlivněno opakovacím kmitočtem rušivých impulzů. Měření se špičkovým detektorem se používá jako **rychlé počáteční přehledové měření** rušivých signálů v pásmu kmitočtů.

Kvazi-špičkový detektor QP (Quasi-Peak detector): výstupní napětí je úměrné napětově-časové ploše obálky vstupního signálu a je určeno jak velikostí, tak i opakovacím kmitočtem vstupních impulzů rušivého napětí.

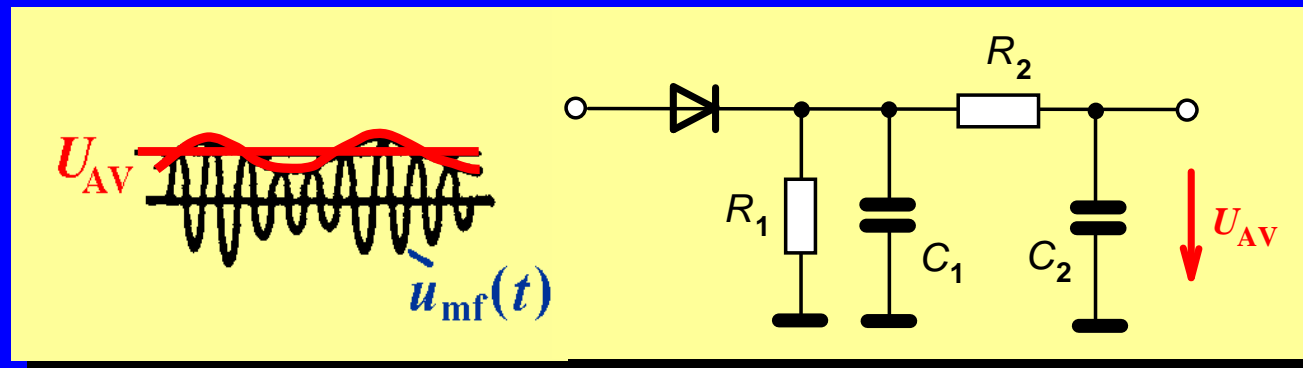


Hodnota kvazi-špičkově detekovaného napětí simuluje vnímání lidským sluchem akustických efektů při impulzním rušení např. rozhlasového přijímače. Velikost výstupního napětí U_{QP} kvazi-špičkového detektoru je vždy menší než špičková (vrcholová) hodnota U_P a měření s QP detektorem je „pomalejší“ (musí trvat delší dobu) než měření se špičkovým detektorem.

Časové konstanty kvazi-špičkového detektoru dle ČSN CISPR 16

Kmitočet	10 ÷ 150 kHz	0,15 ÷ 30 MHz	30 ÷ 1000 MHz
Šířka mf. pásma	200 Hz	9 kHz	120 kHz
Nabíjecí časová konstanta R_1C	45 ms	1 ms	1 ms
Vybíjecí časová konstanta R_2C	500 ms	160 ms	550 ms
Časová konstanta mechanismu měřidla	160 ms	160 ms	100 ms

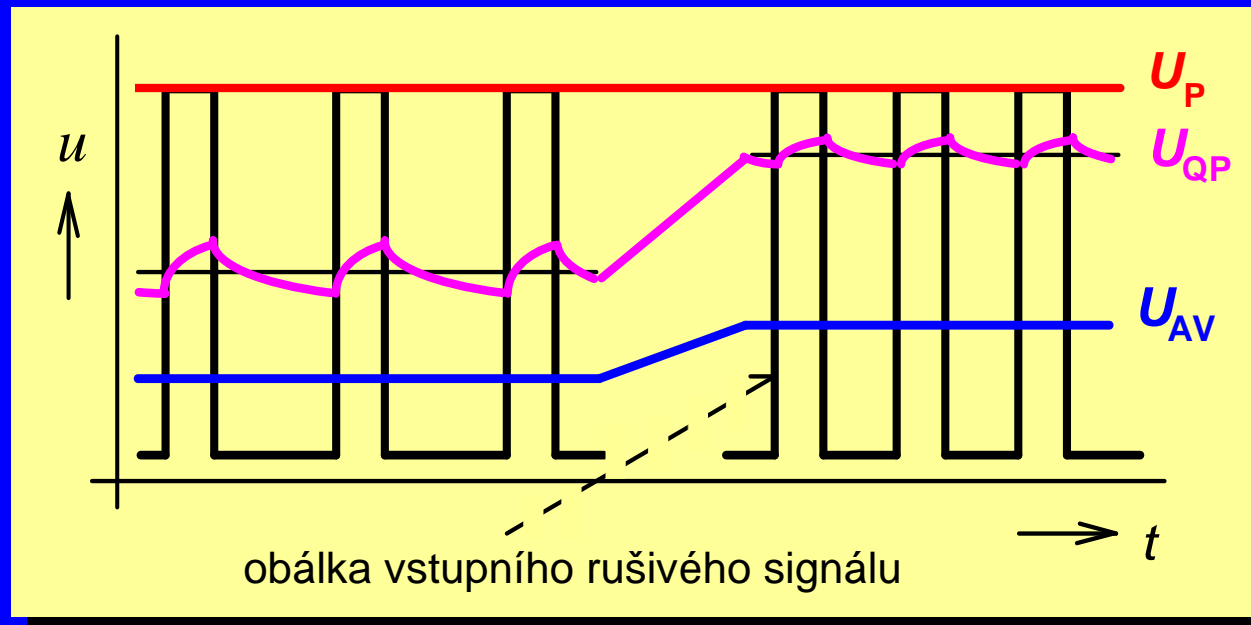
Detektor střední hodnoty AV (průměrující detektor, **Average detector**): výstupní napětí je rovno aritmetické střední hodnotě obálky vstupního (rušivého) mezifrekvenčního napětí $u_{mf}(t)$.



Napětí na kondenzátoru C_1 sleduje velikost obálky vstupního signálu. Toto napětí je dále „vyhlazeno“ filtračním členem R_2C_2 a výstupní napětí detektoru na kondenzátoru C_2 se ustálí na aritmetické střední hodnotě obálky vstupního signálu. Detektor střední hodnoty se užívá především k **měření úzkopásmových rušivých signálů** a není příliš vhodný pro měření impulzního širokopásmového rušení.

Detektor efektivní hodnoty (RMS detektor, **Root-Mean-Square detector**) nemá v měřicí technice EMC velký význam. Přestože norma ČSN CISPR 16 specifikuje parametry měřicího přijímače s tímto detektorem a některé měřiče rušení jej skutečně obsahují, prakticky **žádná z norem EMC nevyjadřuje povolené meze vyzařování v efektivních hodnotách rušivých signálů**. RMS detektor využívá detekční prvky s kvadratickou charakteristikou a jeho výstupní napětí je úměrné výkonu měřeného signálu.

Výstupní odezvy různých druhů detektorů na rušivé signály s impulzní obdélníkovou obálkou o různé opakovací frekvenci



- Odezva **P detektoru** je na opakovacím kmitočtu nezávislá a je určena výhradně velikostí impulzní obálky rušivého signálu.
- Odezva **AV detektoru** roste lineárně s rostoucí opakovací frekvencí impulzů.
- Odezva **QP detektoru** neroste lineárně s rostoucím opakovacím kmitočtem, ale podle tzv. **váhové funkce QP** detektoru, tj. podle „nastavení“ jeho nabíjecích a vybíjecích časových konstant v souladu s příslušnou normou.

Civilní normy EMC předepisují meze vyzařování, příp. rušení v kvazi-špičkových nebo středních hodnotách rušivých signálů. Měření se špičkovým detektorem používají zejména **vojenské normy EMC**, které se snaží zachytit absolutně nejvyšší hodnoty vyzařovaných rušivých signálů.

Vzhledem k tomu, že $U_p > U_{QP} > U_{AV}$ a že odezva špičkového detektoru je vždy časově nejrychlejší, doporučuje se i při měření podle civilních norem EMC provést **první měření s detektorem vrcholové hodnoty**. Jsou-li změřené hodnoty U_p menší než povolené meze vyzařování (udané v kvazi-špičkových či středních hodnotách), není nutno měření s dalšími typy detektorů již provádět. Naměřené hodnoty U_{QP} , příp. U_{AV} by těmto mezím totiž rovněž určitě vyhověly.

Přesáhnou-li na některých kmitočtech naměřené hodnoty U_p povolené kvazi-špičkové či střední meze vyzařování, je nutno použít kvazi-špičkový detektor, příp. detektor střední hodnoty k posouzení, zda hodnoty U_{QP} , příp. U_{AV} rušivého signálu vyhoví těmto mezím. **Tato měření jsou však časově náročná a jejich provedení může trvat až několik desítek minut.**

Celková elektromagnetická odolnost

interní EM odolnost

odolnost systému vůči rušivým zdrojům nacházejícím se **uvnitř** vlastního systému

externí EM odolnost

odolnost systému vůči **vnějším** zdrojům elektromagnetického rušení

-
- **Rozlehlé (distribuované) systémy** – jednotlivé části systému jsou od sebe navzájem geograficky vzdálené.
 - **Lokální (místní) systémy** – jednotlivé části systému jsou dislokovány v rámci jednoho místního areálu, budovy či místnosti.
 - **Systémy přístrojového typu** – individuální kompaktní celky.

Externí elektromagnetická odolnost (imunita):

- velké množství potenciálně možných zdrojů rušení,
 - uvažují se jen nejpravděpodobnější a potenciálně nejnebezpečnější zdroje rušení,
 - mez externí odolnosti se stanovuje pro každý vybraný typ rušení zvlášť.
-

Interní elektromagnetická odolnost přístroje závisí na:

- obvodovém řešení a rozložení elektronických prvků;
- návrhu desek plošných spojů, uspořádání spojů a kabeláži;
- typu napájení, rozložení napájecích a signálových bloků přístroje;
- návrhu a provedení vnitřního stínění a zemnění;
- volbě a konstrukci stykových prvků k vnějším systémům.

Celková elektromagnetická odolnost

externí interní

- Interní elektromagnetická odolnost **systemu** je závislá na interní odolnosti jeho dílčích **subsystémů**.
- Výsledná interní elektromagnetická odolnost systému je určena elektromagnetickou odolností jeho „**nejslabšího článku**“, tj. subsystému s nejnižší vlastní elektromagnetickou odolností.
- Výsledná **externí** elektromagnetická odolnost systému může záviset na jeho **interní** elektromagnetické odolnosti, neboť zde může docházet k negativnímu skládání různých rušivých vlivů, a tím ke snižování celkové odolnosti systému.

Kritéria elektromagnetické odolnosti

jakožto definované meze narušení funkcí technického zařízení či systému.

- **Kvantitativní mez odolnosti** – dosažení určité hodnoty (určitých hodnot) vybrané měřené veličiny (veličin).
- **Kvalitativní (funkční) kritérium EM odolnosti** – posouzení změny provozního stavu či ovlivnění funkčnosti zařízení.

Tři základní funkční kritéria:

- **Funkční kritérium A** – není dovoleno žádné zhoršení činnosti zařízení či ztráta jeho funkce **během** zkoušky ani po ukončení zkoušky.
- **Funkční kritérium B** – je dovoleno zhoršení činnosti zařízení **během** zkoušky, ne však změna provozního stavu zařízení ani změna dat v paměti. **Po skončení** zkoušky není dovoleno žádné zhoršení činnosti zařízení či ztráta jeho funkce.
- **Funkční kritérium C** – je dovolena **dočasná** ztráta funkce zařízení, pokud se po skončení zkoušky odolnosti obnoví sama nebo může být obnovena řídicím systémem či zásahem operátora dle návodu k použití zařízení.

Metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti

- Stanovení rušivých elektromagnetických vlivů, které mohou vyšetřované zařízení v daných pracovních podmínkách ovlivňovat.
- Určení možných bran vstupu rušivých signálů do zařízení.
- Stanovení kategorie požadované odolnosti zkoušeného zařízení.
- Definice přípustných rušivých účinků pro zkoušené zařízení.



Simulace rušivých signálů, vazba do zkoušenému objektu.

Provedení vlastních zkoušek a testů dle specifikace.

Dílčí vyhodnocení po každé zkoušce.

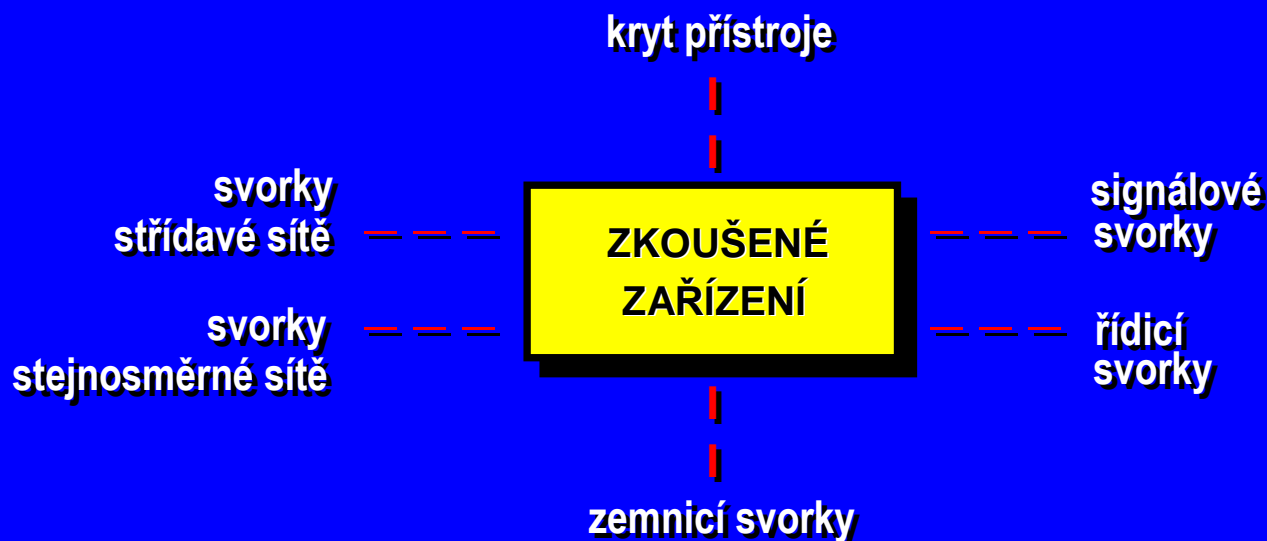
Vypracování dokumentace o provedených zkouškách.

Základní druhy rušivých elmag. vlivů

jsou odvozeny ze skutečných elektromagnetických jevů v prostředí, v němž je dané zařízení provozováno

- nízkofrekvenční rušení v napájecí rozvodné síti nízkého napětí,
- přechodné (transientní) jevy a vysokofrekvenční rušení,
- elektrostatické výboje (nízkoenergetické a vysokoenergetické),
- magnetická rušení,
- rušení vyzařovaným elektromagnetickým polem.

Vstupy rušivých signálů do zkoušeného zařízení



- zkoušky jsou předepsány pro **každý** zjištěný **vstup** zařízení;
- zkoušky se provádějí na těch vstupech, které jsou během normální činnosti zařízení **přístupné**;
- zkoušky na jednotlivých vstupech se provádějí v libovolném pořadí a vždy jako **samostatné**.

Kategorie požadované odolnosti

jsou mezinárodně standardizovány normami řady IEC 1000-4, příp. ČSN EN 61000-4 pro typická elektrotechnická prostředí:

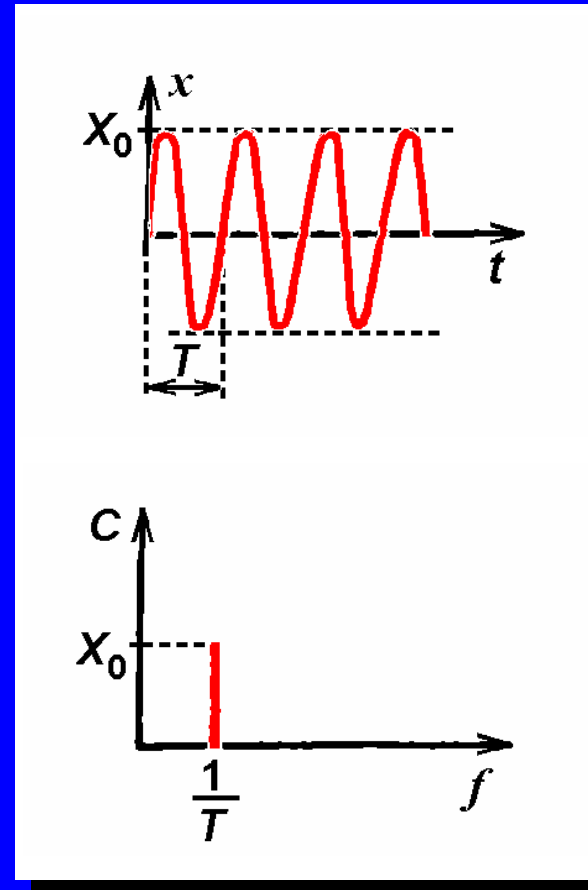
- **Úroveň odolnosti 1:** běžné prostředí s nízkou úrovní rušení, příp. dobře chráněné prostředí, v němž lze užívat citlivé přístroje;
- **Úroveň odolnosti 2:** prostředí s mírnou úrovní rušení, příp. částečně chráněné prostředí (domácnosti, obchody, kanceláře);
- **Úroveň odolnosti 3:** náročné prostředí s vysokou úrovní rušení, tj. typické průmyslové prostředí;
- **Úroveň odolnosti 4:** speciální prostředí s velmi vysokou úrovní rušení, příp. nechráněné průmyslové prostředí (těžký průmysl, elektrárny, rozvody).

Zkušební signály pro zkoušky elektromagnetické odolnosti

Úzkopásmový periodický zkušební signál

$$x = X_0 \cdot \sin \omega_0 t$$

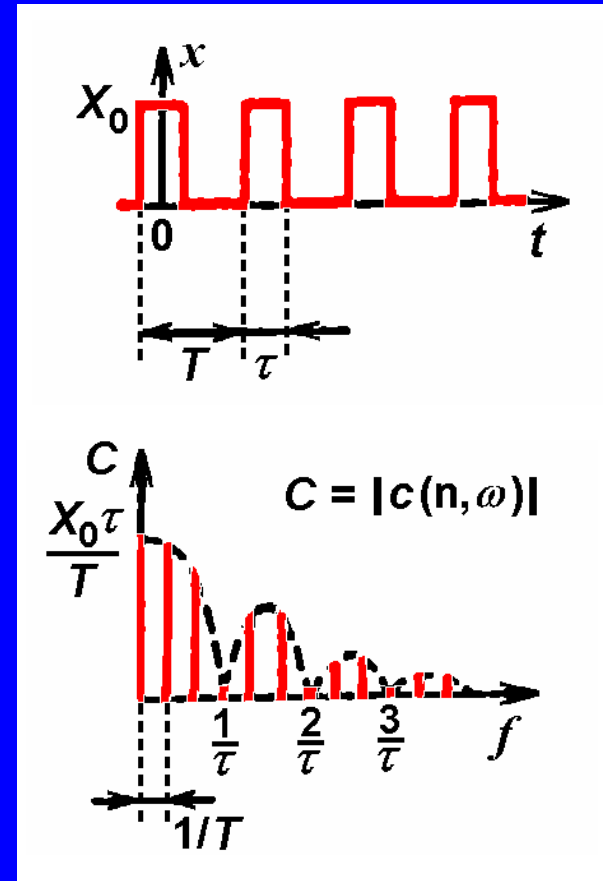
$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$



Širokopásmový periodický zkušební signál

$$x = \frac{X_0 \tau}{T} + \sum_{n=1}^{\infty} c(n, \omega_0) \cdot \cos(n \omega_0 t)$$

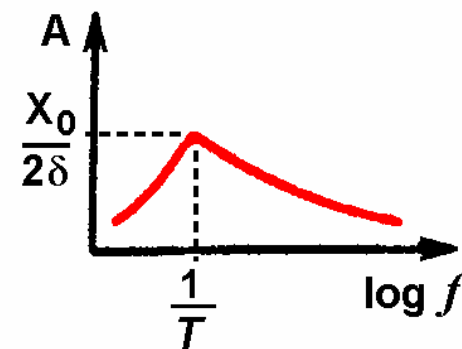
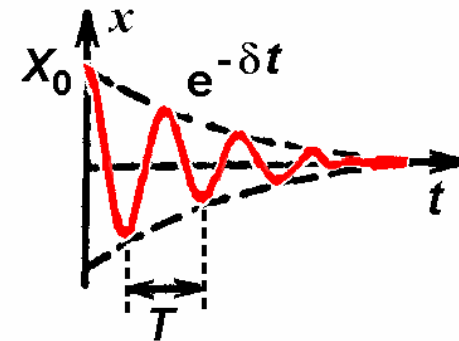
$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$



Úzkopásmový neperiodický zkušební signál

$$x = X_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \cos \omega_0 t$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$



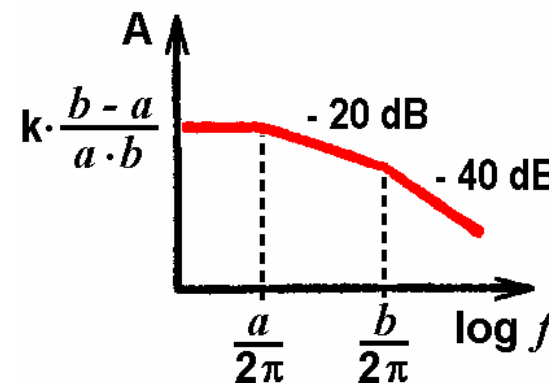
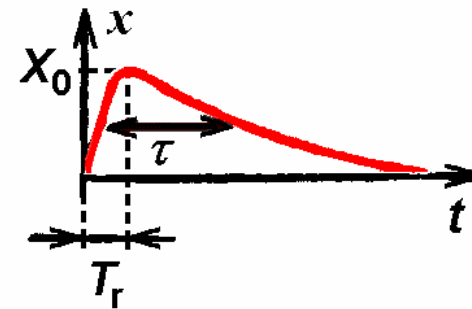
Širokopásmový neperiodický zkušební signál

$$x = k \cdot (e^{-at} - e^{-bt})$$

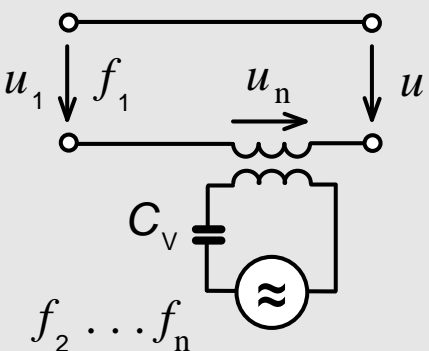
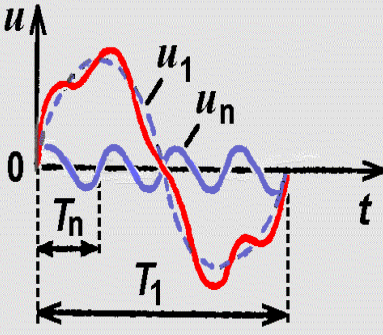
$$k = f_1(X_0, T_r, \tau)$$

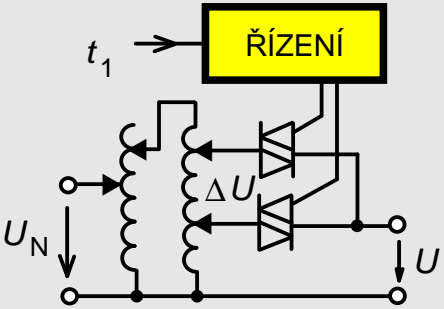
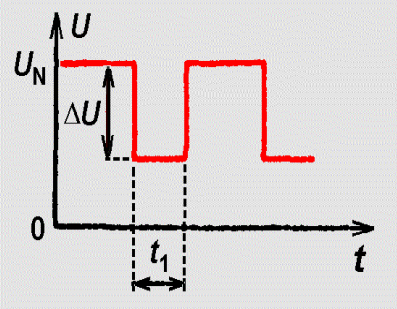
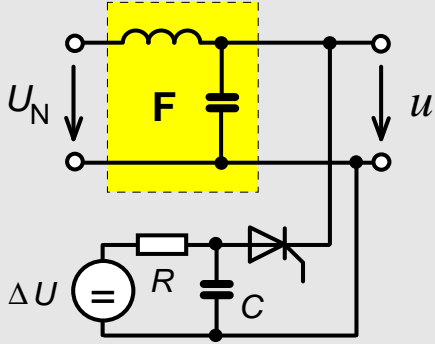
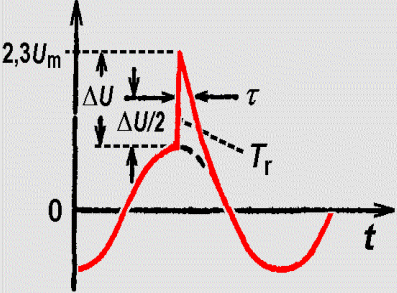
$$a = f_2(T_r, \tau)$$

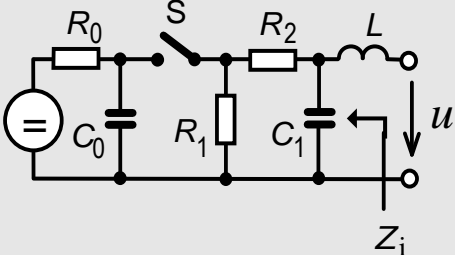
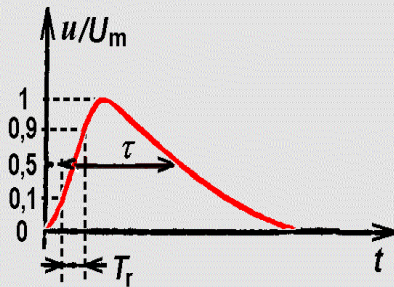
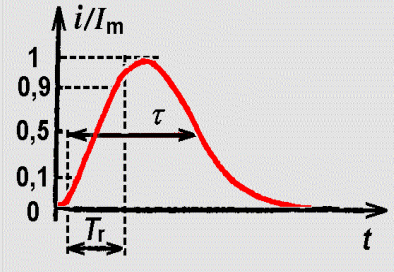
$$b = f_3(T_r, \tau)$$

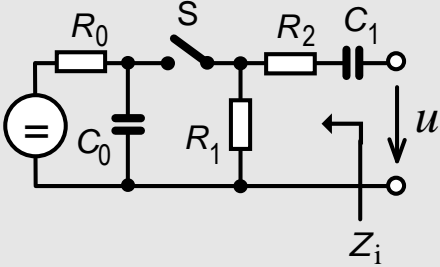
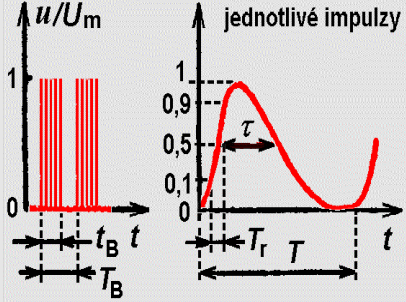
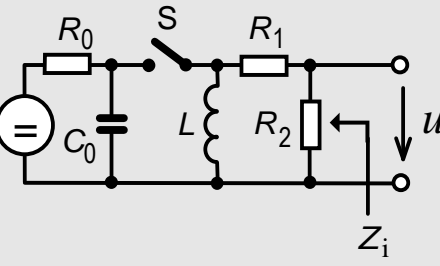
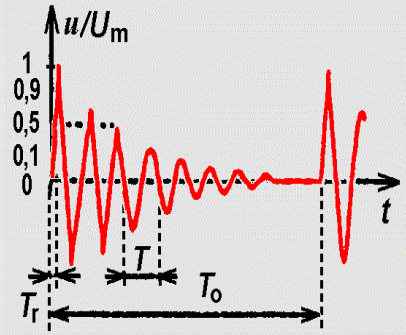


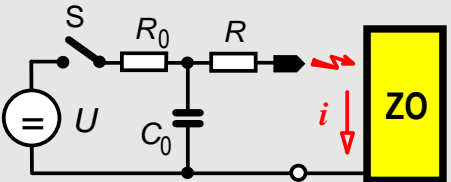
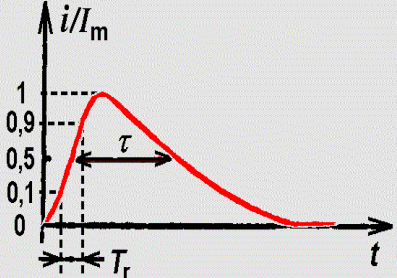
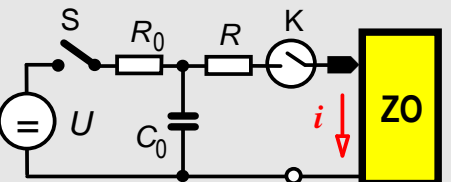
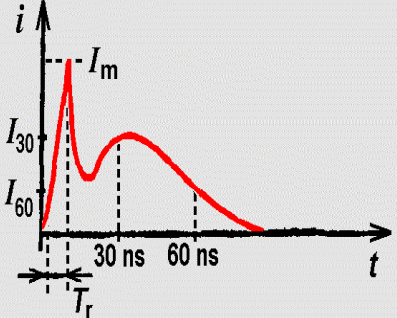
Přehled zkoušek elektromagnetické odolnosti

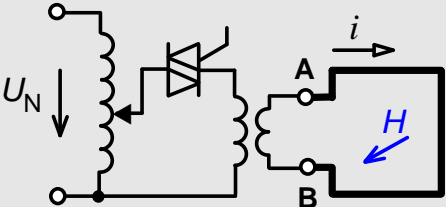
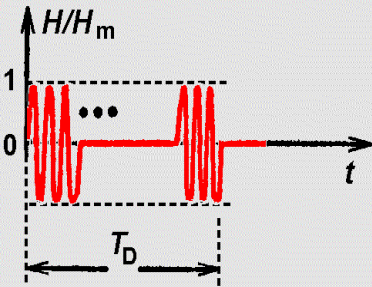
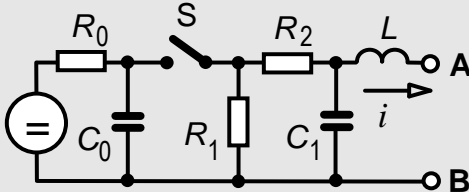
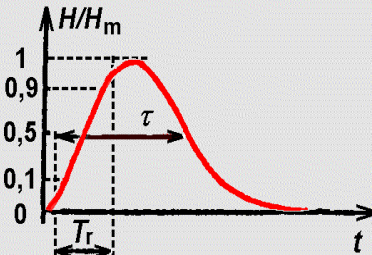
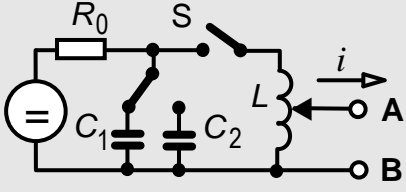
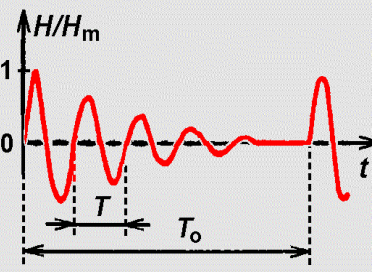
Zkušební signál podle normy	Principiální zapojení	Časový průběh zkušebního signálu	Parametry zkušebního signálu
<p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold; font-size: 2em;">1</p> <p style="color: red; font-weight: bold;">Harmonické a meziharmonické síťového napětí energetické sítě</p> <p>ČSN EN 61000-4-7</p>			<p>$f_1 = 1/T_1 = 50$ Hz kmitočet sítě</p> <p>$f_n = 1/T_n$ kmitočet n-té harmonické složky $n = 2, 3, 4, \dots, 40$</p>

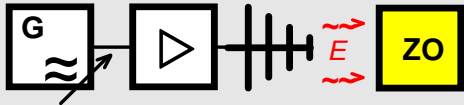
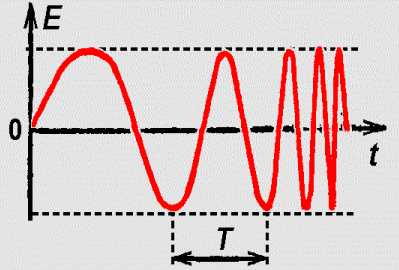
Zkušební signál podle normy	Principiální zapojení	Časový průběh zkušebního signálu	Parametry zkušebního signálu
<p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">Krátkodobé poklesy, krátká přerušení síťového napětí</p> <p style="text-align: center;">ČSN EN 61000-4-11</p>			<p>Pokles napětí $\Delta U = 30 \%, 60 \% \cdot U_N$ $\Delta U = 100 \% \cdot U_N$</p> <p>Doba trvání (počet period) 0,5, 1, 5, 10, 25, 50</p>
<p style="text-align: center;">3</p> <p style="text-align: center;">Rázový impulz napětí / proudu 100 / 1300 μs</p> <p style="text-align: center;">IEC 1000-4</p>			<p>$T_r = 100 \mu s$ $\tau = 1300 \mu s$ $\Delta U = 1,3 \cdot U_m$</p>

Zkušební signál podle normy	Principiální zapojení	Časový průběh zkušebního signálu	Parametry zkušebního signálu
<p style="text-align: center;">4</p> <p>Vysokoenergetický rázový impulz napětí 1,2/50 μs a proudu 8/20 μs</p> <p>ČSN EN 61000-4-5</p>	 <p style="text-align: center;">$Z_i = 2 \Omega$ při nesymetrickém výstupu</p> <p style="text-align: center;">$Z_i = 50 \Omega$ při symetrickém výstupu</p>	 <p style="text-align: center;">provoz naprázdno</p>  <p style="text-align: center;">provoz nakrátko</p>	<p>$U_m = 0,25 \dots 4 \text{ kV}$</p> <p>$T_r = 1,2 \mu\text{s}$</p> <p>$\tau = 50 \mu\text{s}$</p> <p>$I_m = 10 \dots 80 \text{ A}$ (nesymetrický výstup)</p> <p>$I_m = 0,25 \dots 2 \text{ kA}$ (symetrický výstup)</p> <p>$T_r = 8 \mu\text{s}$</p> <p>$\tau = 20 \mu\text{s}$</p>

Zkušební signál podle normy	Principiální zapojení	Časový průběh zkušebního signálu	Parametry zkušebního signálu
<p style="text-align: center;">5</p> <p>Skupiny rychlých přechodných jevů (tzv. rychlé transienty – burst)</p> <p>ČSN EN 61000-4-4</p>	 <p style="text-align: center;">$Z_i = 200 \Omega$</p>		<p>$U_m = 0,25 \dots 4 \text{ kV}$ $T_r = 5 \text{ ns}$ $\tau = 50 \text{ ns}$ $f = 1/T = 2,5 \text{ kHz}$, příp. 5 kHz $t_B = 15 \text{ ms}$ $T_B = 300 \text{ ms}$</p>
<p style="text-align: center;">6</p> <p>Tlumené oscilační vlny 0,1/1 MHz</p> <p>ČSN EN 61000-4-12</p>			<p>$U_m = 0,25 \dots 4 \text{ kV}$ $f = 1/T = 0,1/1 \text{ MHz}$ $T_r = 75 \text{ ns}$ $U = 0,5 \cdot U_m$ po 3 až 6 periodách $f_o = 1/T_o = 40/400 \text{ Hz}$</p>

Zkušební signál podle normy	Principiální zapojení	Časový průběh zkušebního signálu	Parametry zkušebního signálu
<p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold; font-size: 2em;">7</p> <p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">Elektrostatické výboje</p> <p style="color: blue; font-weight: bold;">ČSN EN 61000-4-2</p>	 <p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">Výboj vzduchovou mezerou</p>		<p>$U = 2 \dots 15 \text{ kV}$ $I_m = 5 \dots 70 \text{ A}$ $T_r = 5 \text{ ns}$ $\tau = 30 \text{ ns}$</p>
	 <p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">Kontaktní výboj</p>		<p>$U = 2 - 4 - 6 - 8 \text{ kV}$ $I_m = 7,5 - 15 - 22,5 - 30 \text{ A}$ $T_r = 0,7 \dots 1 \text{ ns}$</p>

Zkušební signál podle normy	Principiální zapojení	Časový průběh zkušebního signálu	Parametry zkušebního signálu
<p style="text-align: center;">8</p> <p>Magnetická pole</p> <p>ČSN EN 61000-4-8 ČSN EN 61000-4-9 ČSN EN 61000-4-10</p>	<p>nf. síťového kmitočtu</p> 		<p>Ustálený provoz $H_m = 1 \dots 100 \text{ A/m}$ $T_D = \text{doba zkoušky}$</p> <p>Krátkodobý provoz $H_m = \dots 1000 \text{ A/m}$ $T_D = 1 \dots 3 \text{ s}$</p>
	<p>pulzní</p> 		<p>$H_m = \dots 1000 \text{ A/m}$ $T_r = 6,4 \mu\text{s}$ $\tau = 16 \mu\text{s}$</p>
	<p>tlumené kmity</p> 		<p>$H_m = \dots 100 \text{ A/m}$ $H = 0,5 \cdot H_m$ po 3 až 6 periodách $f = 1/T = 0,1/1 \text{ MHz}$ $f_o = 1/T_o = 40/400 \text{ Hz}$</p>

Zkušební signál podle normy	Principiální zapojení	Časový průběh zkušebního signálu	Parametry zkušebního signálu
<p style="text-align: center;">9</p> <p style="text-align: center;">Vysokofrekvenční elektromagnetická pole</p> <p style="text-align: center;">ČSN EN 61000-4-3</p>			<p>$E = 1 \dots 30 \text{ V/m}$</p> <p>$f = 1/T =$ $= 80 \text{ MHz} \dots 1 \text{ GHz}$</p> <p>80 % AM 1 kHz</p>

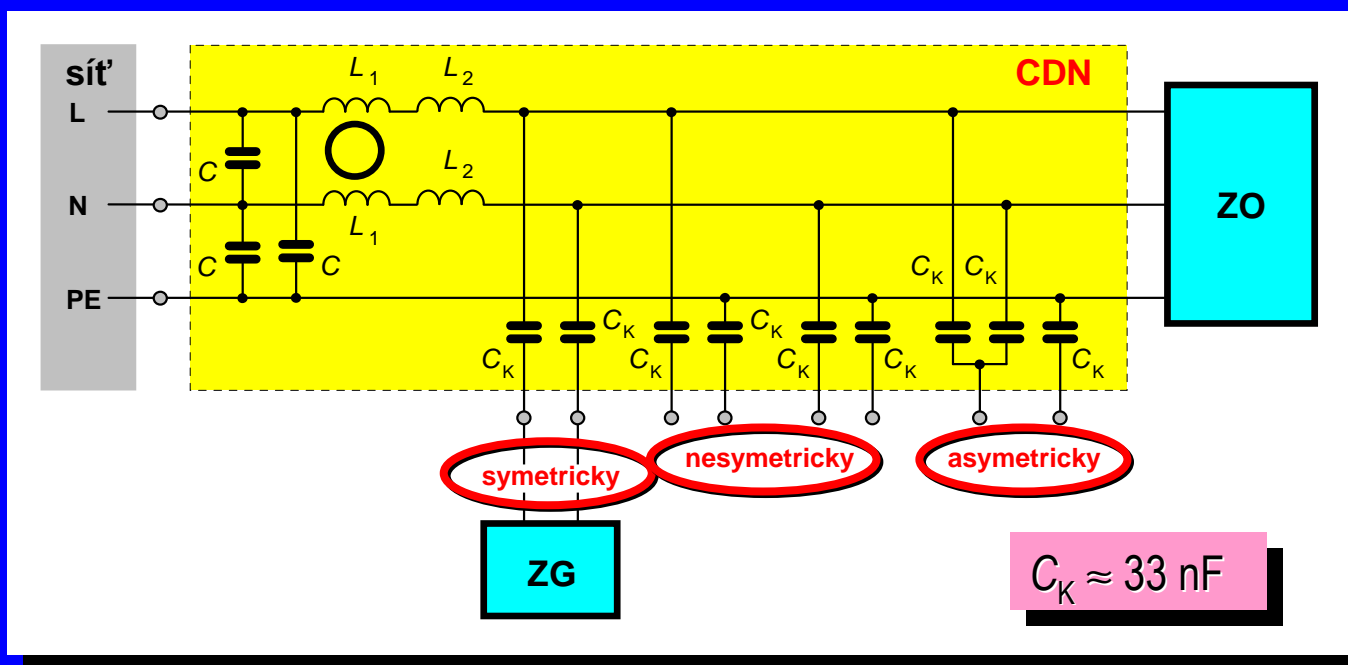
Vazební a oddělovací obvod – obvod CDN (Coupling-Decoupling Network)

plní při zkouškách elektromagnetické odolnosti dvě základní funkce:

- **Funkce vazební** umožňuje přenos zkušebního (rušivého) signálu z generátoru do „vstupů“ zkoušeného zařízení v požadovaném kmitočtovém pásmu a současně blokovat zpětný vliv síťového nebo signálního napětí zařízení na generátor.
- **Funkce oddělovací** zabraňuje šíření zkušebního signálu do vnější napájecí, signálové či datové sítě připojené ke zkoušenému zařízení. Tak je zajištěno, že působení zkušebního signálu se omezí jen na testované zařízení a jiná zařízení připojená k téže síti budou chráněna. Současně tak bude vyloučen i vliv impedance vnější sítě na tvar či velikost zkušebního signálu.

Kapacitní vazební a oddělovací obvod

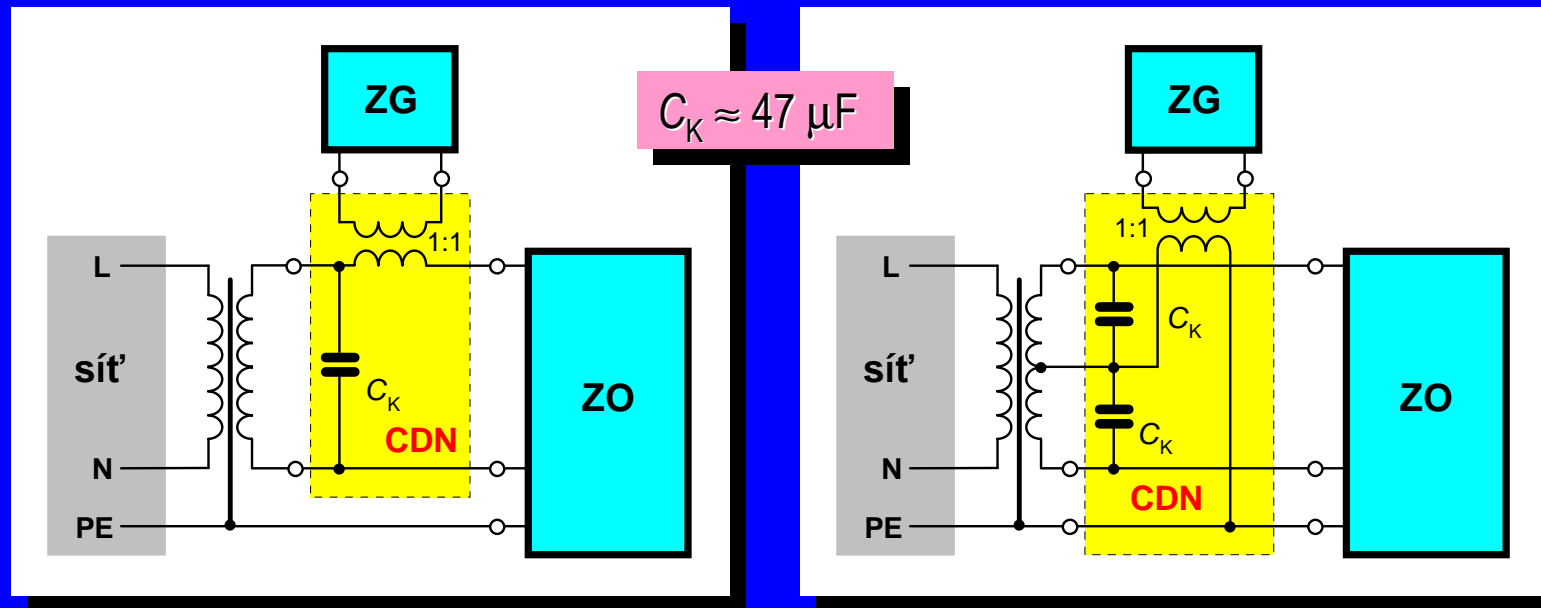
se vstupy pro symetrické, nesymetrické a asymetrické navázání rušivého zkušebního signálu do napájecího vedení



ZG – zkušební generátor; **ZO** – zkoušený objekt,
CDN – vazební a oddělovací obvod

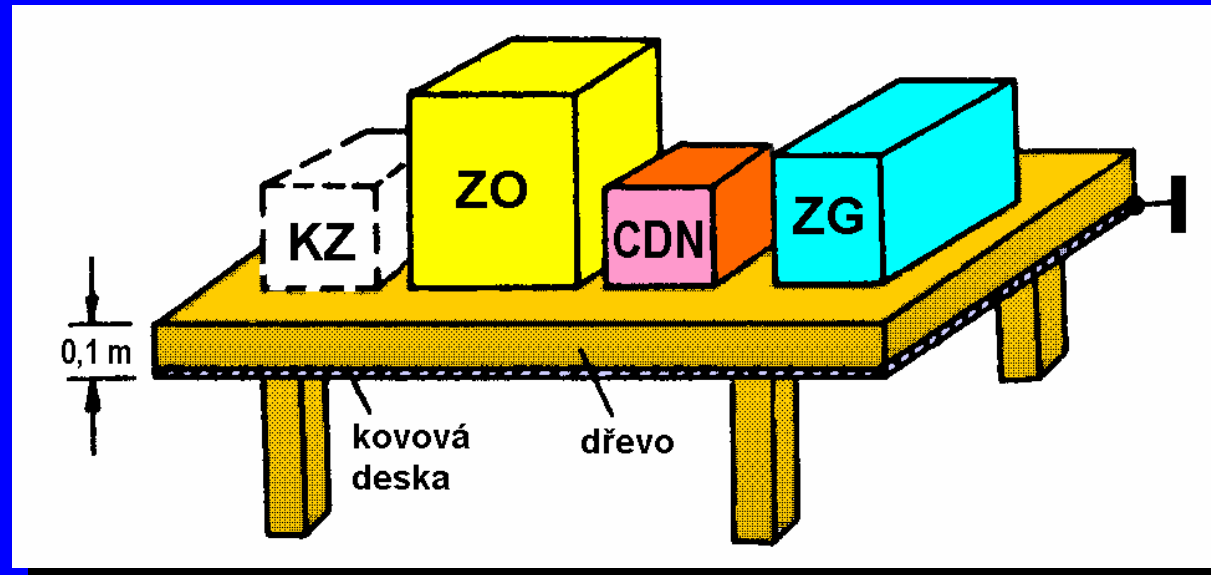
Induktivní vazební a oddělovací obvody

pro navázání protifázového a soufázového rušivého zkušebního signálu do napájecího vedení



ZG – zkušební generátor; **ZO** – zkoušený objekt,
CDN – vazební a oddělovací obvod

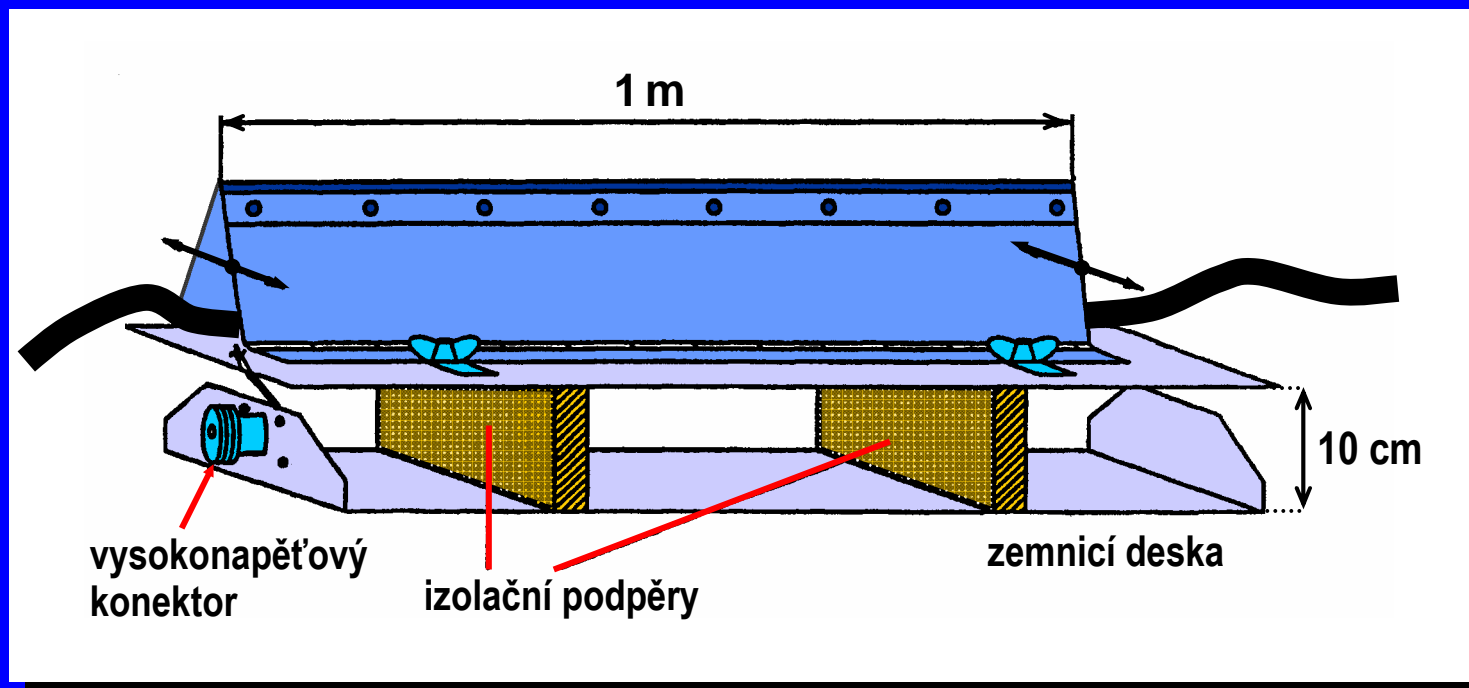
Uspořádání zkušebního pracoviště EMS

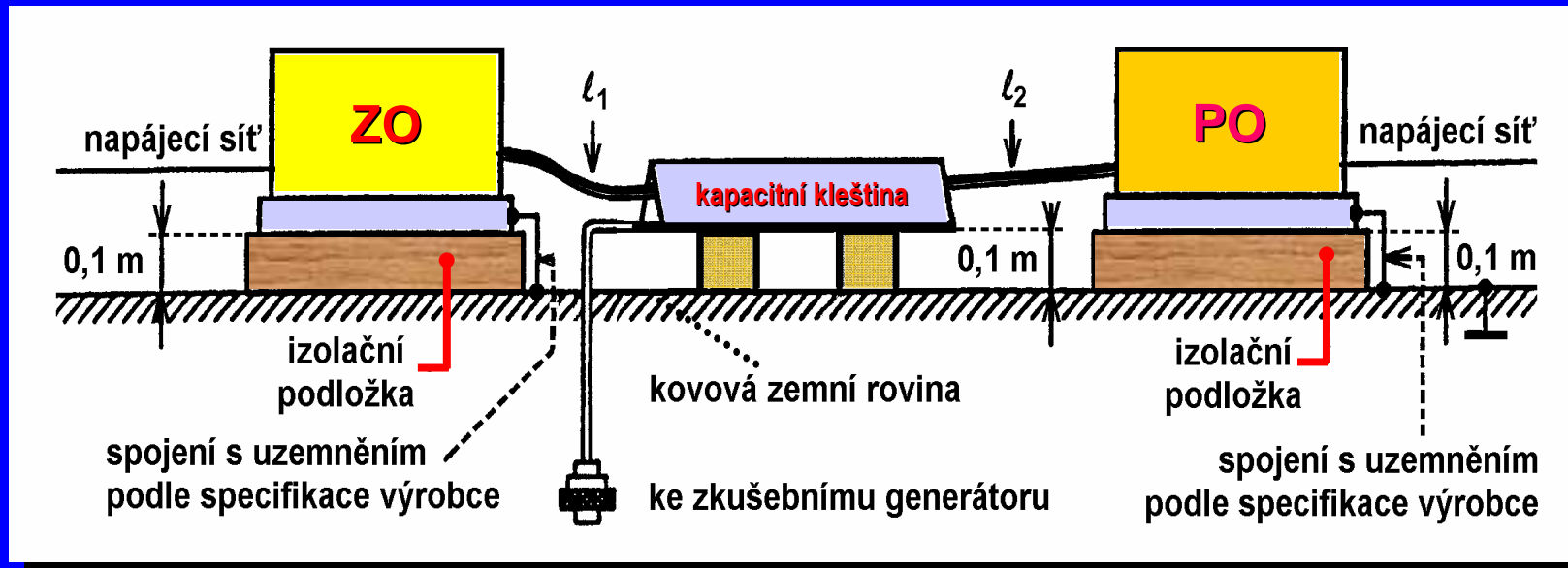


- Zkušební generátor **ZG** je s vazebním-oddělovacím obvodem **CDN** spojen kabelem kratším než 1 m, síťový přívod od zkoušeného objektu **ZO** k **CDN** nesmí být delší než 1 m. Při větších délkách musí být přívodní kabely meandrovitě složeny a délka meandru nesmí přesáhnout 0,4 m.
- Případné kontrolní zařízení **KZ** sleduje zvolené funkční parametry zkoušeného objektu **ZO** v průběhu a po ukončení zkoušky.

Kapacitní kleština (kapacitní vazební kleště)

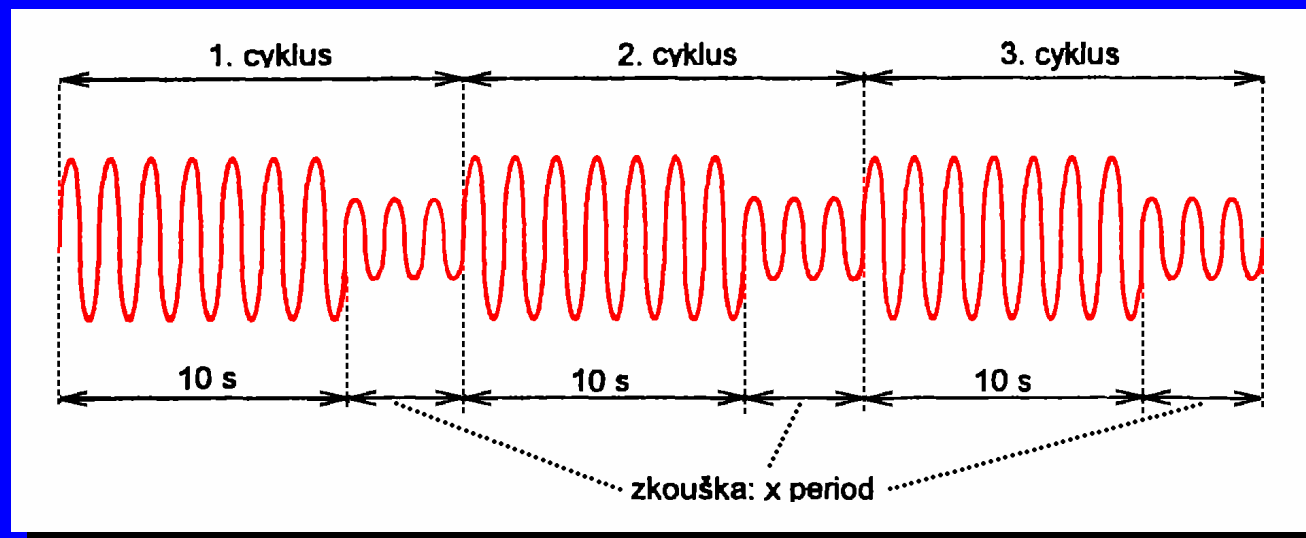
pro vazbu rušivého zkušebního signálu do zkoušeného zařízení
bez galvanického spojení se svorkami jeho vstupů



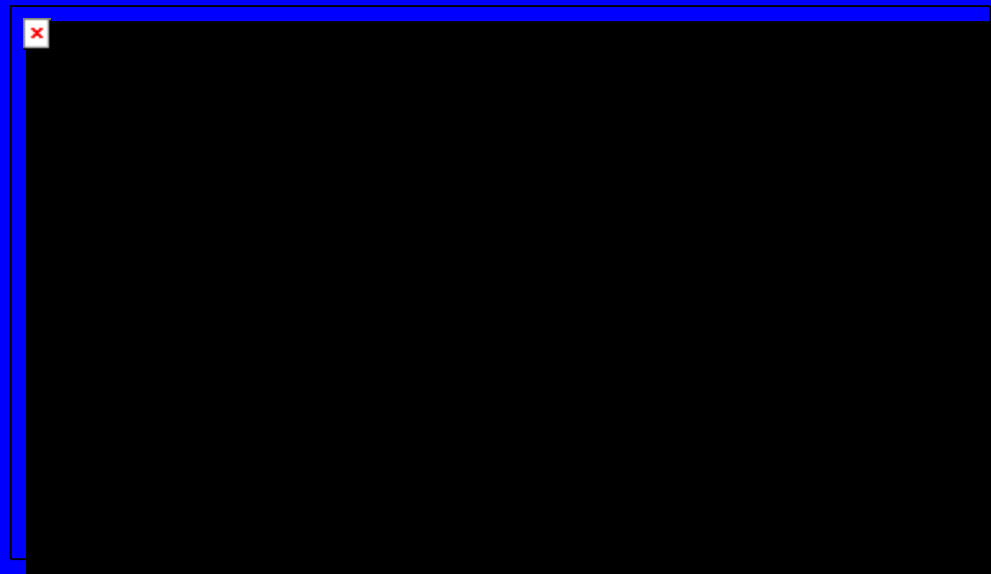


Kleština je umístěna na zemní kovové rovině o ploše alespoň 1 m². Délka vazebního kabelu l_1 mezi kleštěmi a zkoušeným objektem **ZO** musí být kratší než 1m, délka l_2 kabelu mezi kleštěmi a dalším připojeným, avšak nezkoušeným zařízením **PO** musí být větší než $5 \cdot l_1$. Tím se zajistí, že zkušební signál bude působit jen na zkoušený objekt **ZO** a ne na nezkoušené zařízení **PO**. Je-li však i zařízení **PO** předmětem zkoušky odolnosti, musí být $l_1 = l_2 \leq 1$ m.

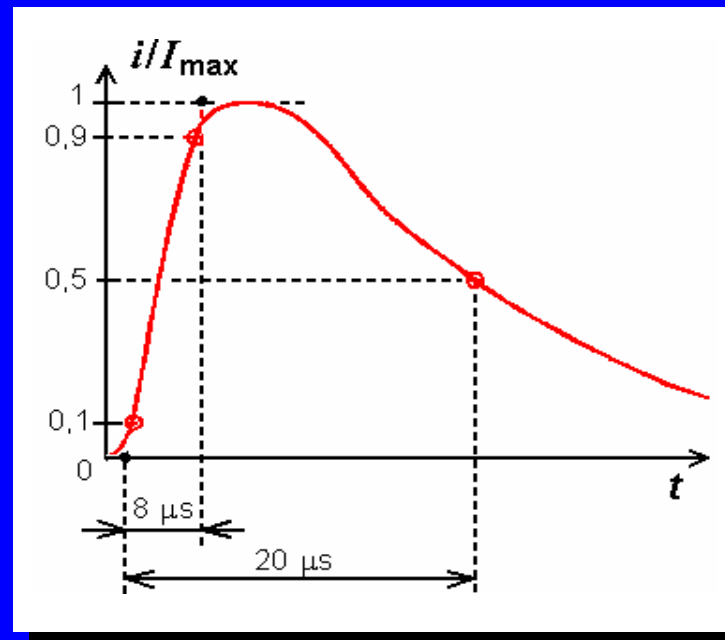
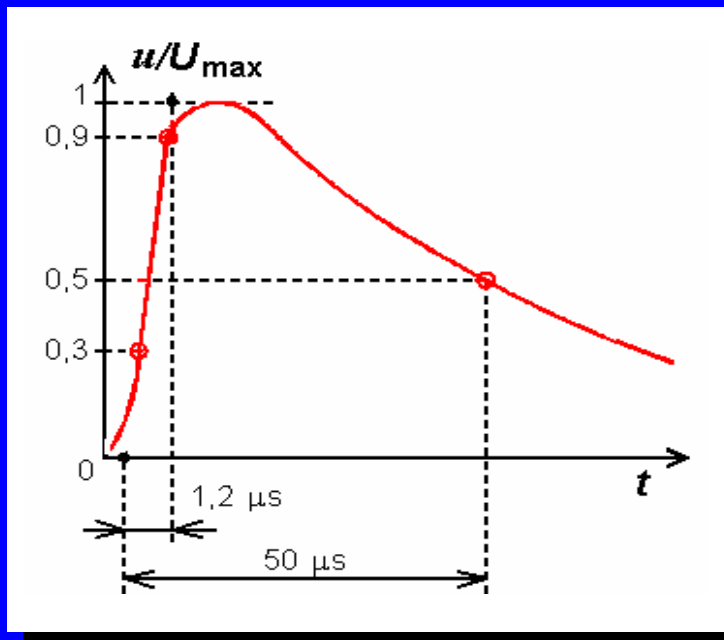
- **Zkouška krátkodobými poklesy napájecího napětí (ČSN EN 61000-4-11)** – skokové poklesy napětí na hodnotu 40 % a 70 % nominální velikosti s dobou trvání 0,5 - 1 - 5 - 10 - 25 - 50 period síťového napětí 50 Hz.
- **Zkouška krátkým přerušením napájecího napětí (ČSN EN 61000-4-11)** – skokové snížení napětí o 100 % nominální velikosti po dobu 0,5 - 1 - 5 - 10 - 25 - 50 period síťového napětí 50 Hz.



- **Zkouška rázovým impulzem napětí/proudu 100/1300 μ s (IEC 1000-4)** ověřuje odolnost přístroje vůči přechodovým jevům vznikajícím v napájecí síti okamžitým přerušením proudu, např. při přepálení výkonových pojistek. Zkouška se provede třikrát za sebou, časový interval mezi jednotlivými zkouškami musí být dostatečný pro obnovu funkce proudových ochran zkoušeného zařízení; obvyklá doba je cca 1 minuta.



Zkoušky odolnosti vůči vysokoenergetickým širokopásmovým impulzům

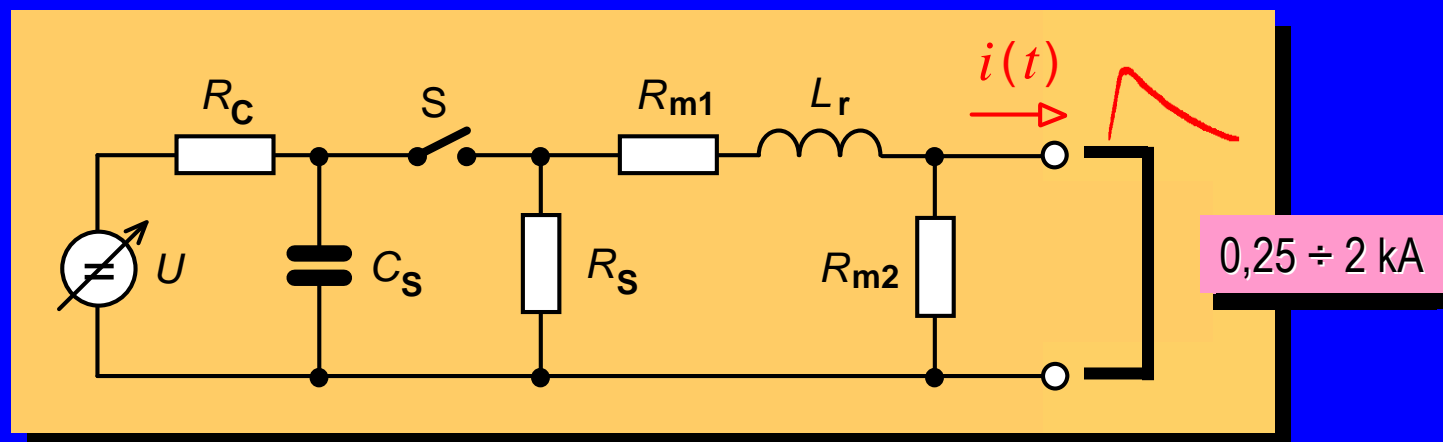


Zkušební signál rázové vlny napětí naprázdno
a rázové vlny proudu nakrátko
dle **ČSN EN 61000-4-5**

Generátory kombinované vlny (hybridní generátory)

CWG (Combination Wave Generator)

vytváří oba druhy zkušebních signálů: napěťový rázový impulz 1,2/50 μs ve stavu naprázdno a proudový rázový impulz 8/20 μs ve stavu nakrátko.



- **Proudový průběh**
při výstupu nakrátko:

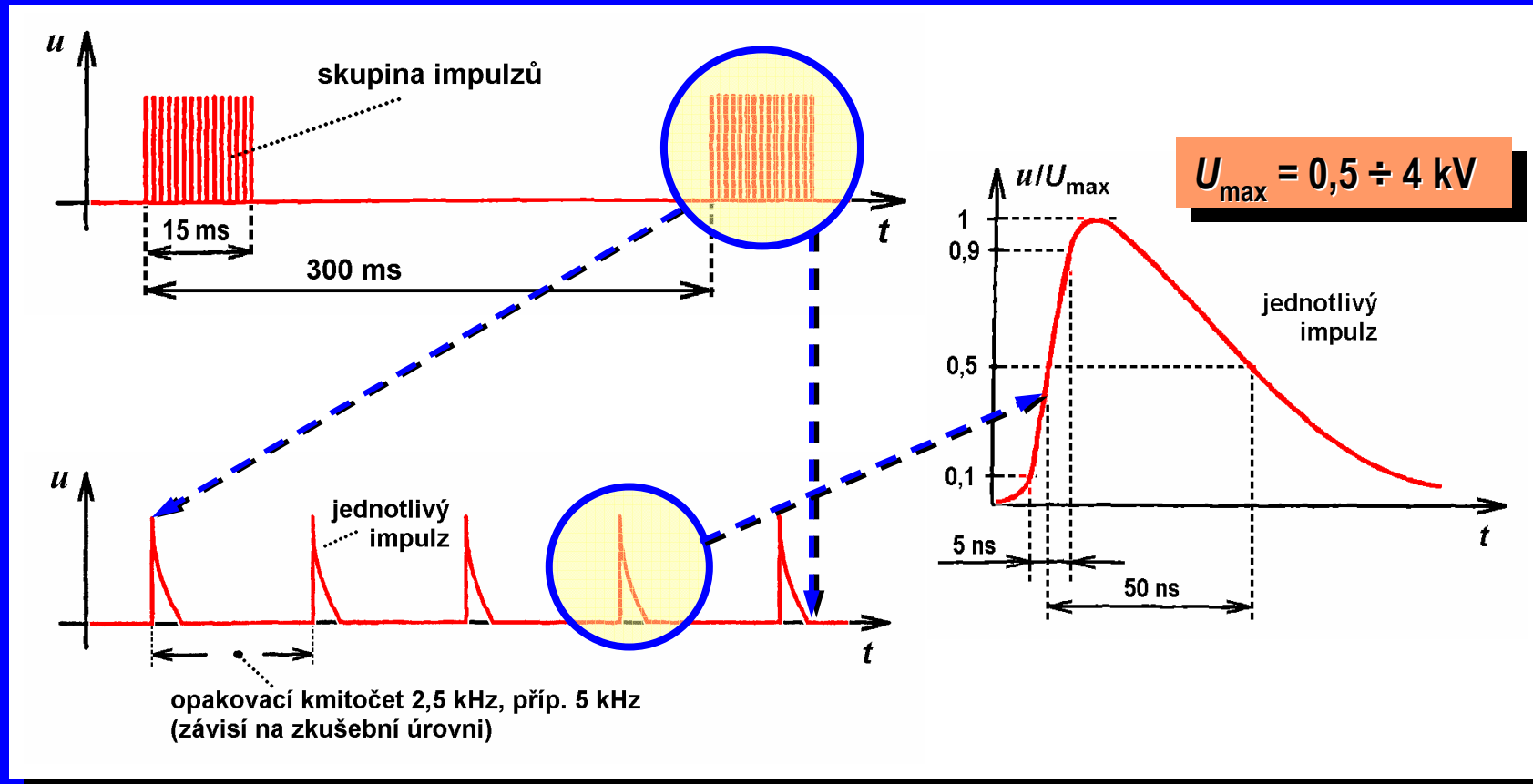
$$T_r \approx 2,2 \cdot \frac{L_r}{R_{m1}}$$

doba nárůstu impulzu

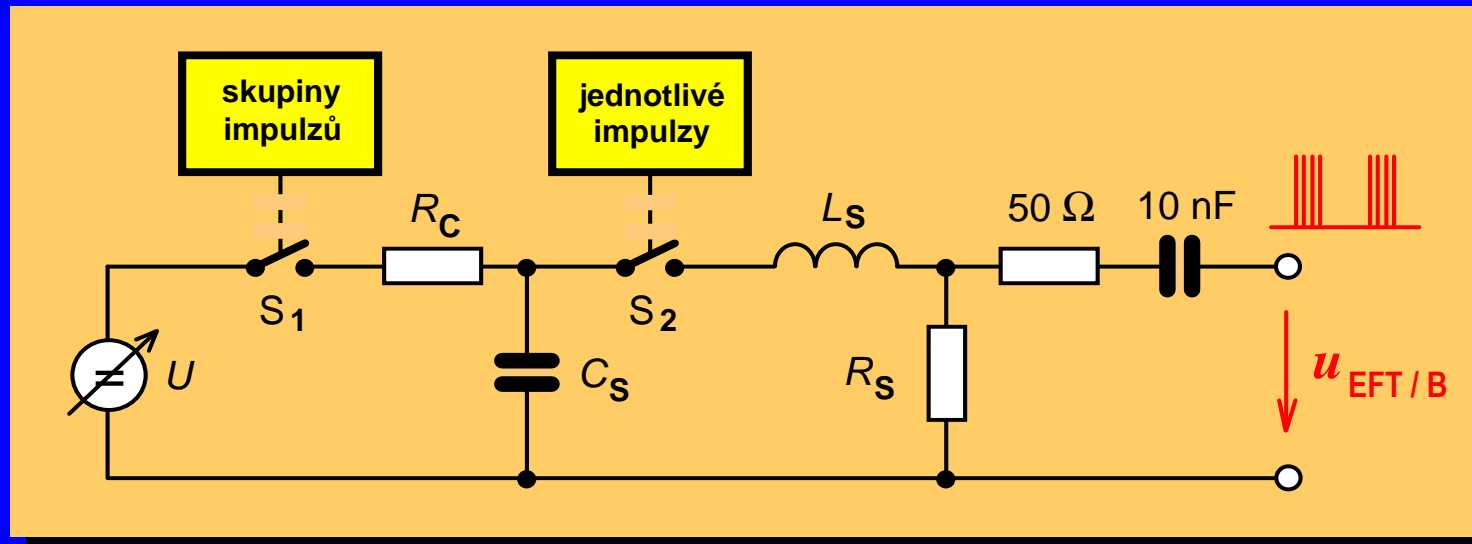
$$\tau \approx C_S \cdot \frac{R_S \cdot R_{m1}}{R_S + R_{m1}}$$

doba trvání impulzu

Zkoušky odolnosti vůči nízkoenergetickým širokopásmovým impulzům

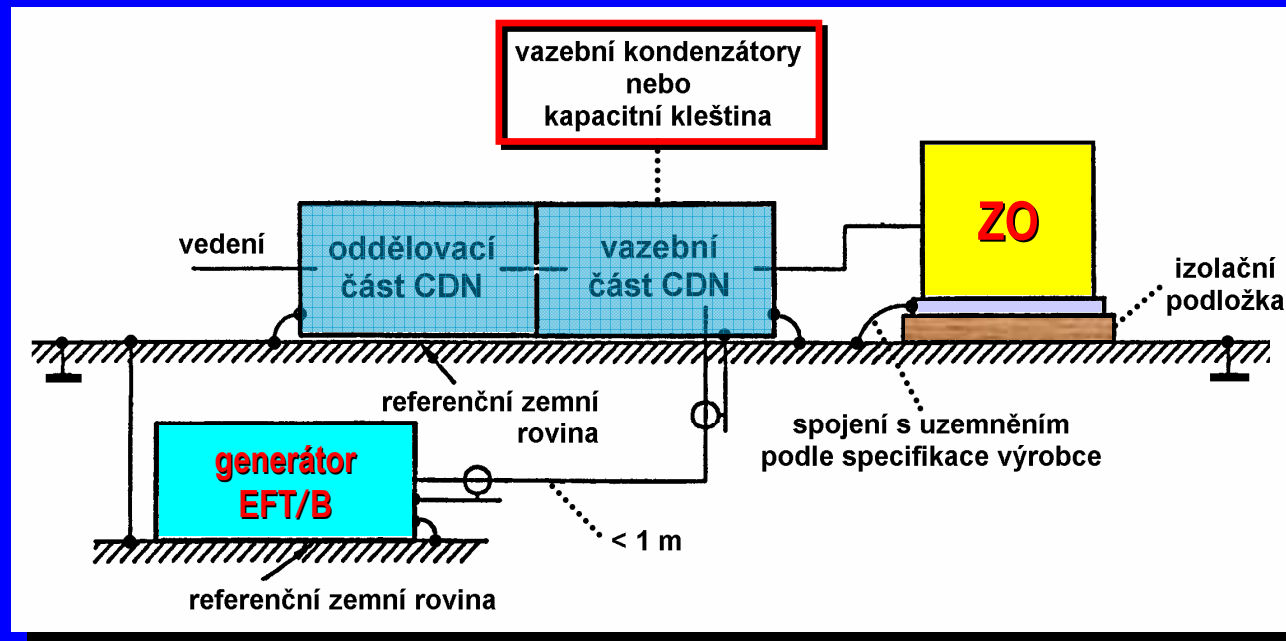


Generátor skupin impulzů (generátor EFT/B)



Náběžná hrana každého impulzu je dána především časovou konstantou L_S/R_S , zatímco **sestupná strana** impulzu je určena vybíjením kapacitoru s časovou konstantou $C_S R_S$.

Uspořádání zkušebního pracoviště při zkouškách odolnosti vůči rychlým přechodným jevům

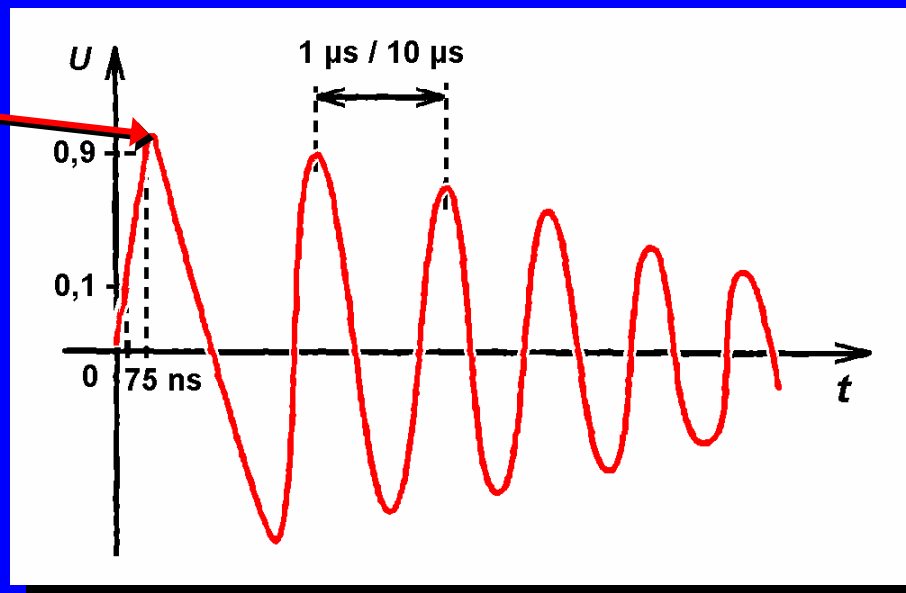


- Minimální doba trvání vlastní zkoušky je 1 minuta, po níž se vyhodnocuje změna funkčnosti zkoušeného zařízení.

Zkoušky odolnosti vůči tlumeným oscilačním vlnám

Podle **ČSN EN 61000-4-12** je zkušební napětí tvořeno exponenciálně tlumenými kmity o kmitočtu mezi 3 kHz a 10 MHz ; preferovanými hodnotami jsou 0,1 MHz a 1 MHz. Tyto kmity jsou při zkoušce použity s opakovacím kmitočtem 40 Hz, příp. 400 Hz.

$$U_{\max} = 0,25 \div 2 \text{ kV}$$



Zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům

Simulace elektrostatických výbojů podle **ČSN-EN 61000-4-2** se provádí pomocí zkušebního zařízení (tzv. **simulátoru ESD**), jehož koncová část má obvykle vnější podobu „pistole“ s výměnným vybíjecím hrotem.



$$C_0 = 150 \text{ pF}$$

$$U = 2 \div 15 \text{ kV}$$

$$R_0 = 50 \div 100 \text{ M}\Omega$$

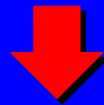
$$R = 330 \text{ }\Omega$$



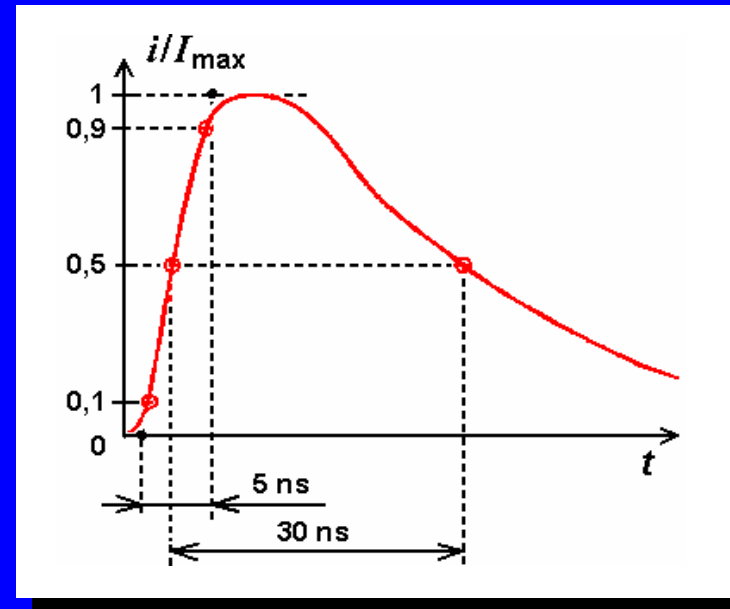
Zkouška přímým vybitím vzduchovým výbojem

se uskutečňuje přiblížením hrotu vybíjecí „pistole“ **P** (při sepnutém spínači **S**) ke zkoušenému objektu **ZO**, až se nabitý kondenzátor C_0 vybijí přeskokem jiskry do daného objektu.

Výboj ve vzduchové mezeře je značně závislý na rychlosti přibližování hrotu pistole, na vlhkosti, teplotě a tlaku vzduchu a na konstrukci zkoušeného zařízení



**nízká reprodukovatelnost
výsledků zkoušek**



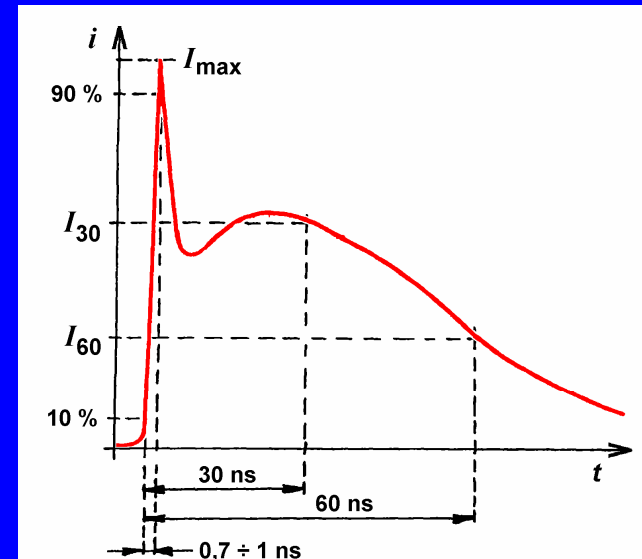
Teoretický průběh vybíjecího proudu
při výboji vzduchovou mezerou
100 pA, 100 nF, indukční filtr
kouškový přístroj, V/T, kontrolní zařízení

Zkouška přímým vybitím kontaktním výbojem

se uskutečňuje pevným přiložením hrotu simulátoru ESD na zkoušený objekt a vysoké napětí nabitého kondenzátoru C_0 se připojí (tj. výboj se „odpálí“) sepnutím kontaktu **K** v simulátoru.

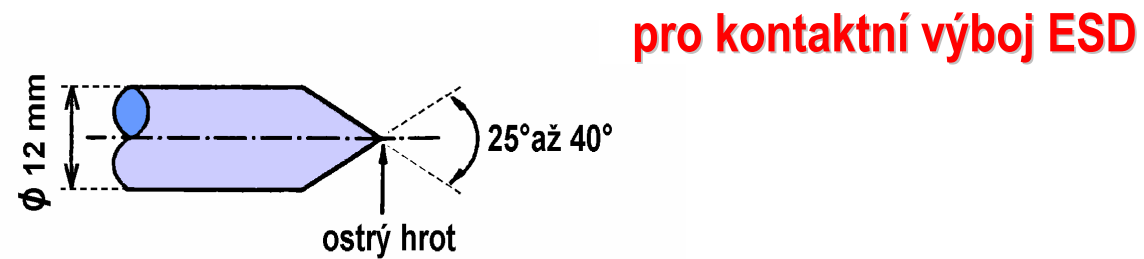
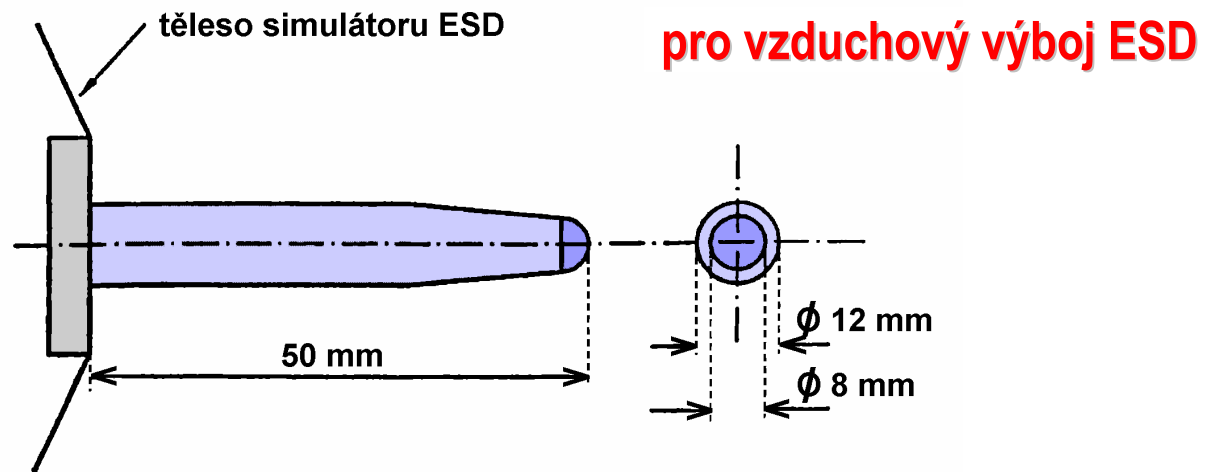
Parametry proudového impulsu ESD

Výstupní napětí [kV]	I_{\max} [A]	I_{30} [A]	I_{60} [A]
2	7,5	4	2
4	15	8	4
6	22,5	12	6
8	30	16	8



NZ – napájecí zdroj vysokého napětí, **IP** – impulzní výstupní proud
P – pistole simulátoru ESD, **ZO** – zkoušený objekt, **ESD** – přímý kontaktní výboj

Zkušební hroty simulátoru ESD



Zkušební výboje statické elektřiny se provádějí do těch míst a povrchů zkoušeného zařízení, která jsou přístupná obsluze při užívání zařízení. Jde např. o

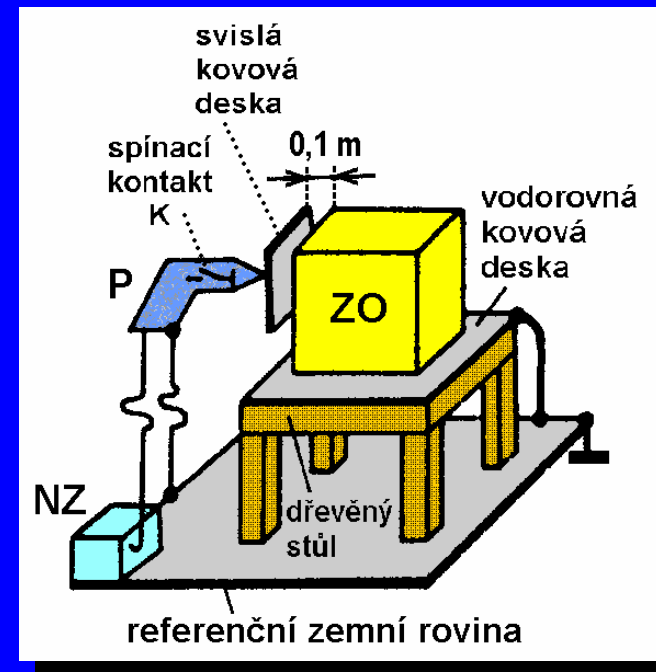
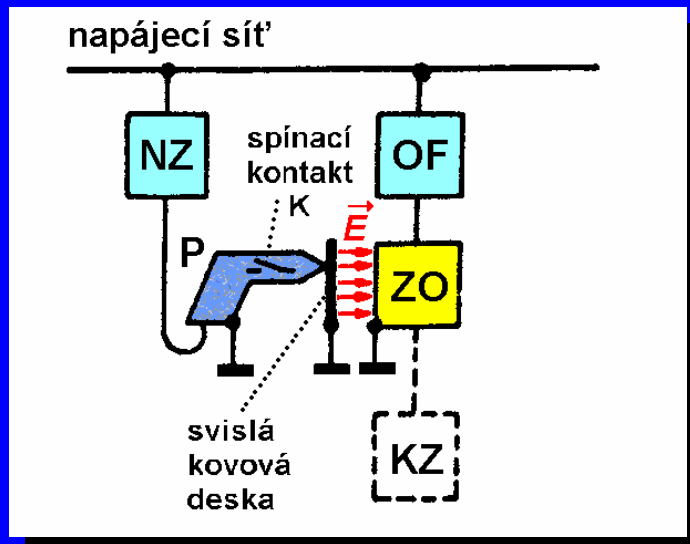
- všechna místa na ovládacím panelu či klávesnici, příp. jiná místa styku člověka se zařízením (vypínače, knoflíky, tlačítka, ovládací elementy), která jsou přístupná operátorovi zařízení;
- všechny kovové části skříně zařízení elektricky izolované od země;
- všechny indikační a jiné z vnějšku přístupné elementy (ukazatele, světelné diody, mřížky, kryty konektorů apod.).

Do každého místa se provede **nejméně deset jednotlivých výbojů**, a to v polaritě, na kterou je zařízení citlivější. Interval mezi po sobě jdoucími výboji je **minimálně 1 s**. Zkušební napětí výboje se zvyšuje od nejmenší předepsané hodnoty, až po úroveň specifikovanou výrobcem zkoušeného zařízení pro požadovaný stupeň odolnosti.



Zkouška nepřímým výbojem

se uskutečňuje vybitím simulátoru ESD kontaktním výbojem do kovové vazební desky v blízkosti zkoušeného zařízení, přičemž vazební deska může být situována svisle či vodorovně.

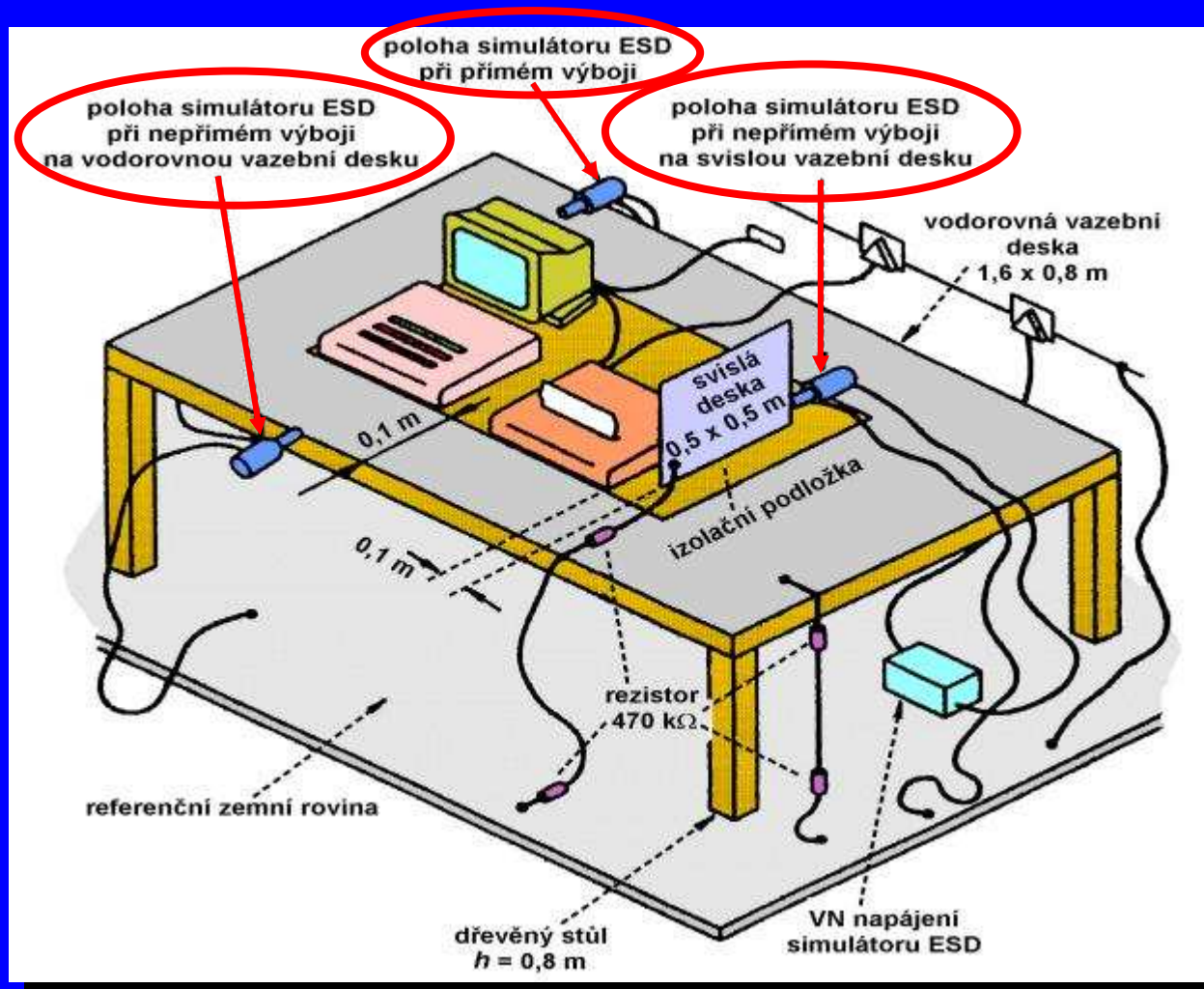


NZ – napájecí zdroj vysokého napětí,

OF – oddělovací filtr,

P – pistole simulátoru ESD, **ZO** – zkoušený objekt, **KZ** – kontrolní zařízení

Laboratorní zkušební pracoviště pro zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům ESD



Zkoušky odolnosti vůči magnetickým polím

se provádějí dle českých norem

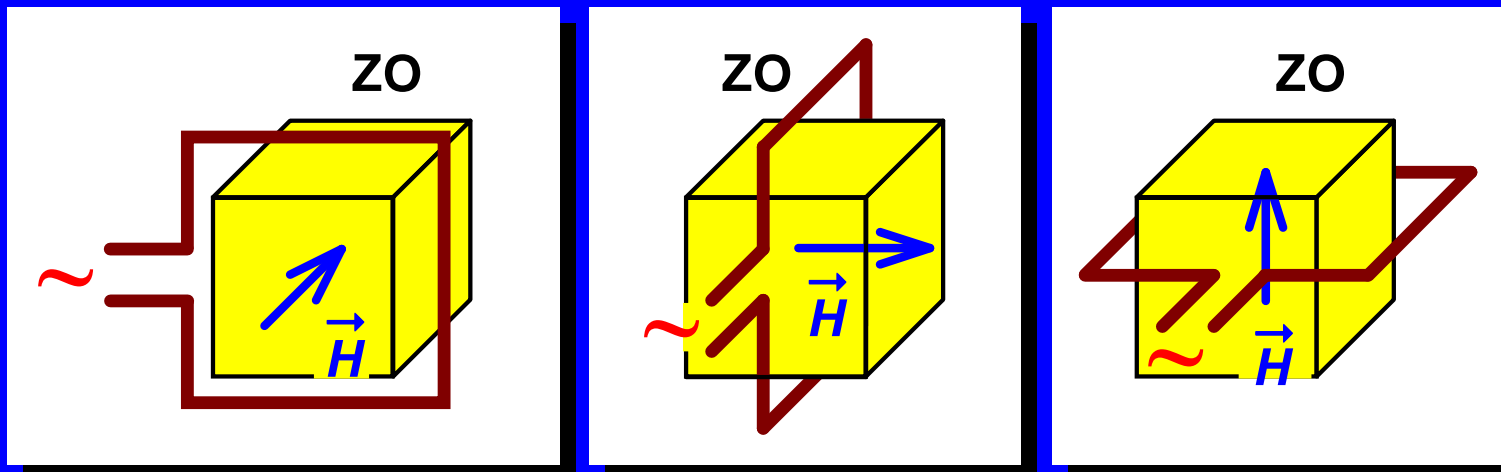
ČSN EN 61000-4-8 pro magnetická pole síťového kmitočtu,

ČSN EN 61000-4-9 pro pulzní magnetická pole a

ČSN EN 61000-4-10 pro tlumená vysokofrekvenční magnetická pole.

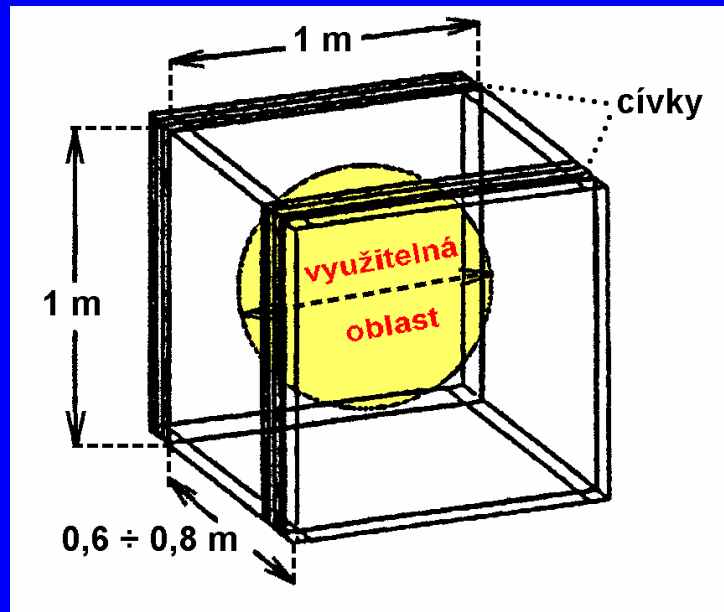
Výstupní proud budicího generátoru je veden do speciální indukční cívky ve tvaru **rámové antény**, kterou je vytvářeno zkušební magnetické pole příslušného časového průběhu a prostorového rozložení. Základním požadavkem je přitom dostatečná prostorová homogennost generovaného magnetického pole v co největším prostoru, příp. v co největší ploše uvnitř indukční cívky.

- **Jednoduchá jednozávitová**, při. vícezávitová **indukční cívka** čtvercového tvaru o normalizované délce strany 1 m. Magnetické pole s intenzitou až 100 A/m pro dlouhodobé zkoušky a až 1000 A/m pro zkoušky krátkodobé. Využitelný prostor má rozměry jen cca 60 x 60 x 50 cm.



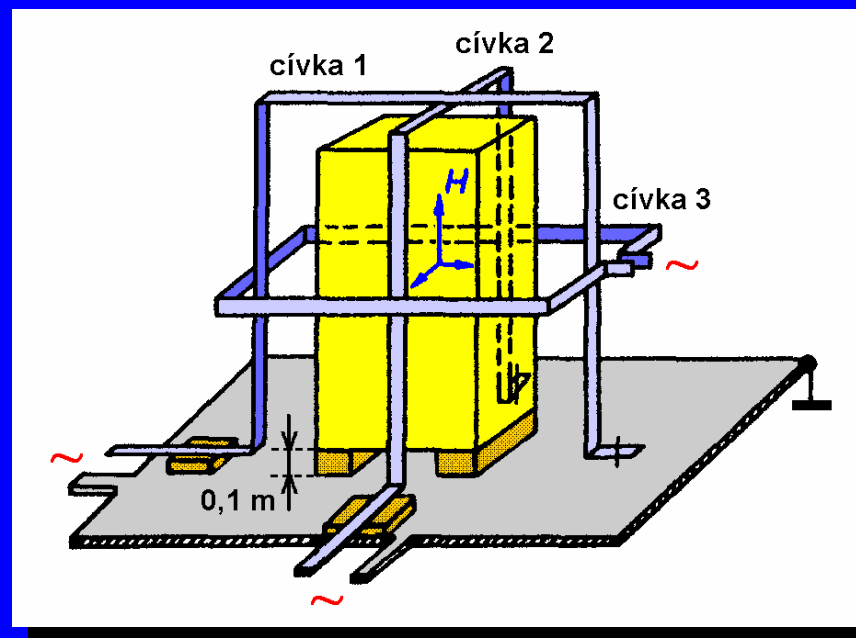
Při zkoušce se testuje odolnost zařízení při všech třech prostorových orientacích magnetického pole, tj. rámová anténa mění vůči zkoušenému objektu **ZO** postupně svou prostorovou orientaci.

- **Dvojitá indukční cívka (Helmholtzova cívka)** má čtvercový, příp. kruhový tvar o délce strany 1 m. Cívka je rozdělena na dvě poloviny, jejichž vzájemná vzdálenost je 0,6 m, příp. 0,8 m. Mezi oběma polovinami cívky vzniká přibližně kulová oblast využitelného prostoru s velikostí přibližně 60 x 60 x 100 cm nebo 60 x 60 x 120 cm.



Helmholtzovy cívky čtvercového a kruhového tvaru

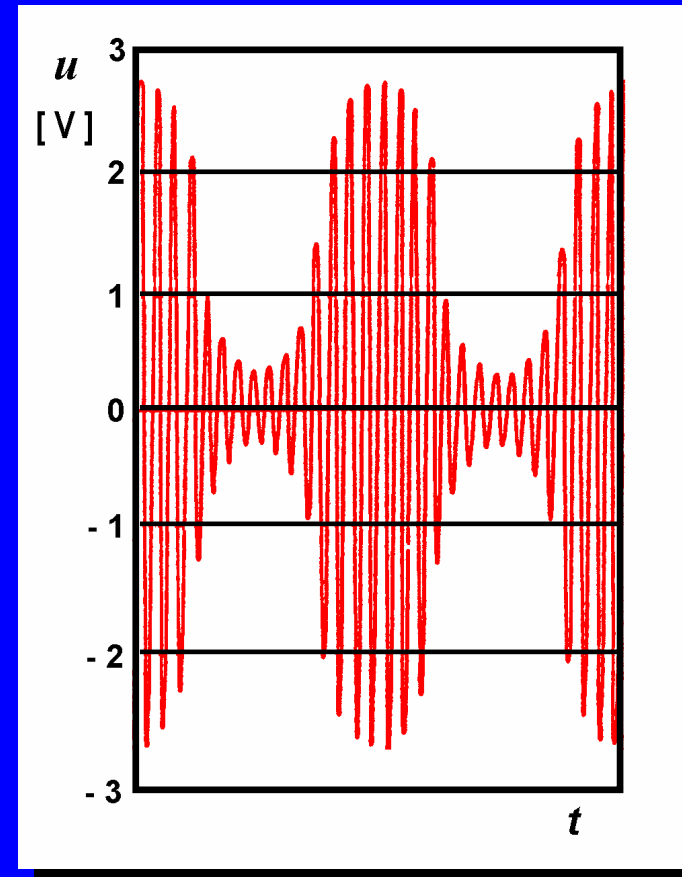
- **Velká jednoúčelová indukční cívka** pro velká zkoušená zařízení, např. skříňového typu. Zařízení (skříň) je umístěno na izolační podložce 10 cm vysoké na kovové rovině spojené se zemnicím systémem. Zařízení je obklopeno třemi jednovrstvými indukčními cívkami, jejichž magnetická pole jsou vzájemně ortogonální.



Zkušební generátor budicího proudu se postupně připojuje k jednotlivým indukčním cívkám, tj. mezi „živé“ vodiče cívky a kovovou zemní plochu.

Zkoušky odolnosti vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím

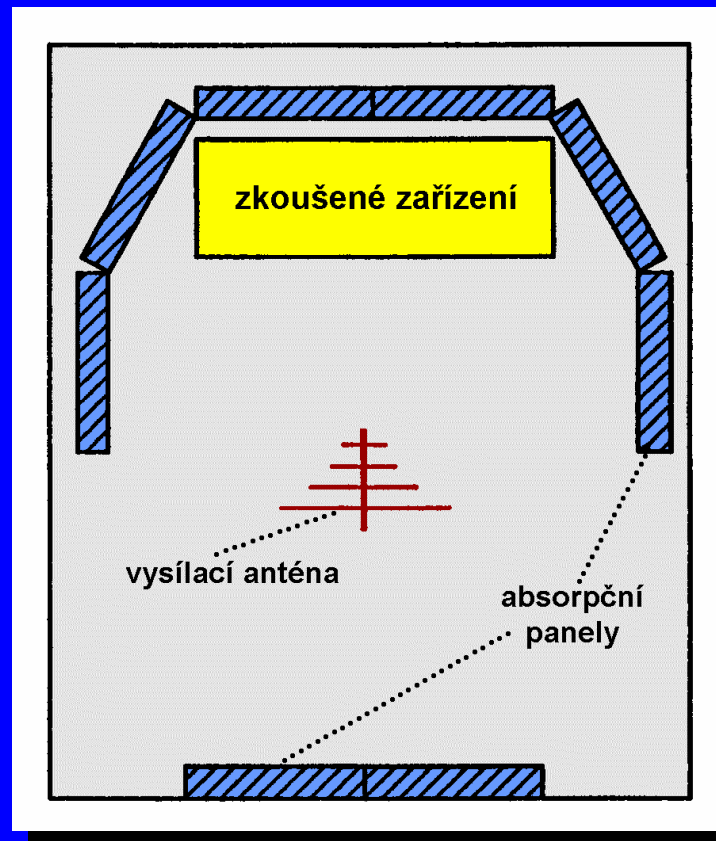
se provádějí dle normy **ČSN EN 61000-4-3** v pásmu **80 ÷ 1000 MHz** pro zkušební úrovně intenzity elektrického pole o hodnotách **1, 3, 10 a 30 V/m**, příp. i vyšší dle požadavků výrobce. Úrovně odpovídají efektivním hodnotám intenzity pole harmonického nemodulovaného signálu. Pro vlastní zkoušku odolnosti je signál **amplitudově modulován do hloubky 80 % nízkofrekvenčním harmonickým napětím 1 kHz**.



Základní technické a přístrojové vybavení pro zkoušky odolnosti vůči vysokofrekvenčním polím

- **Vf. signální generátor** pro požadované pásmo kmitočtů s možností amplitudové modulace sinusovou vlnou 1 kHz do hloubky 80 %.
- **Širokopásmový výkonový zesilovač** k dosažení patřičného výkonu zkušebního signálu, a to jak nedomulovaného, tak i modulovaného.
- **Vysílací směrová anténa** (antény) pro daný rozsah kmitočtů a schopností vyzářit potřebný vysoký výkon. Obvyklými typy jsou **bikónická anténa** a **logaritmicko-periodická anténa**.
- **Elektrické filtry** zapojené ve všech vstupech a výstupech kabelů a vedení do zkušební komory.
- **Pomocná elektronická zařízení** ke kontrole a vyhodnocování funkčnosti zkoušeného zařízení, příp. k zajištění dalších funkcí během zkoušky.

Zkušební pracoviště pro zkoušky odolnosti vůči vyzařovanému vysokofrekvenčnímu poli



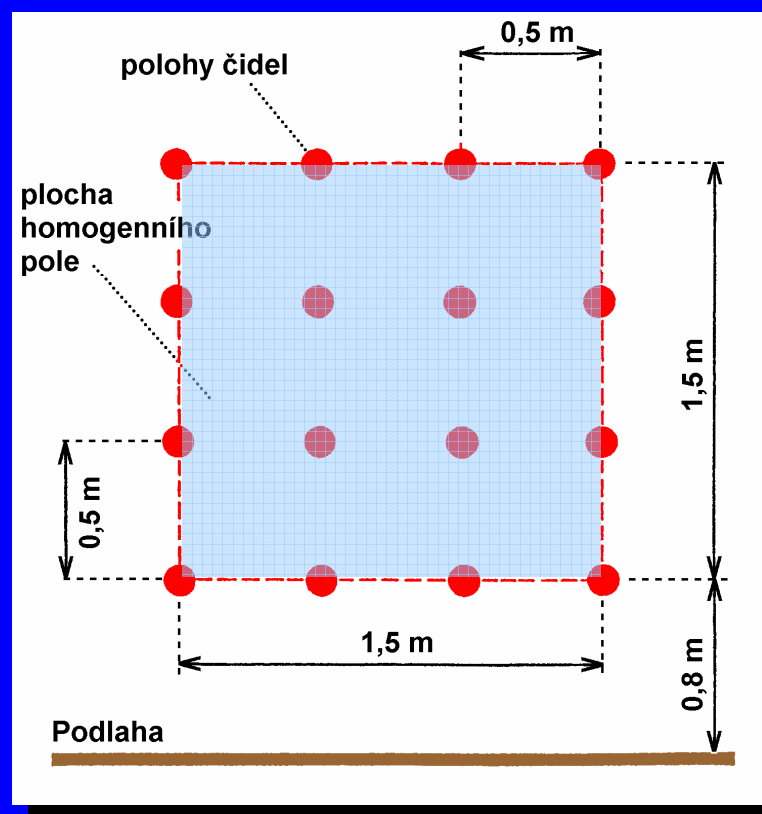
Provizorní zajištění bezodrazovosti zkušebního prostoru absorpčními panely

Kalibrace zkušebního pole

se provádí podle **ČSN EN 61000-4-3** nemodulovaným harmonickým signálem měřením velikosti generovaného pole v tzv. **ploše homogenního pole**. Je to pomyslná vertikální plocha o velikosti 1,5 x 1,5 m ve výšce 0,8 m nad podlahou.

Pole v uvedené ploše je považováno za homogenní, kolísá-li jeho měřená velikost o méně než **± 3 dB** na 75 % plochy, tj. alespoň ve 12 z celkových 16 měřících bodů.

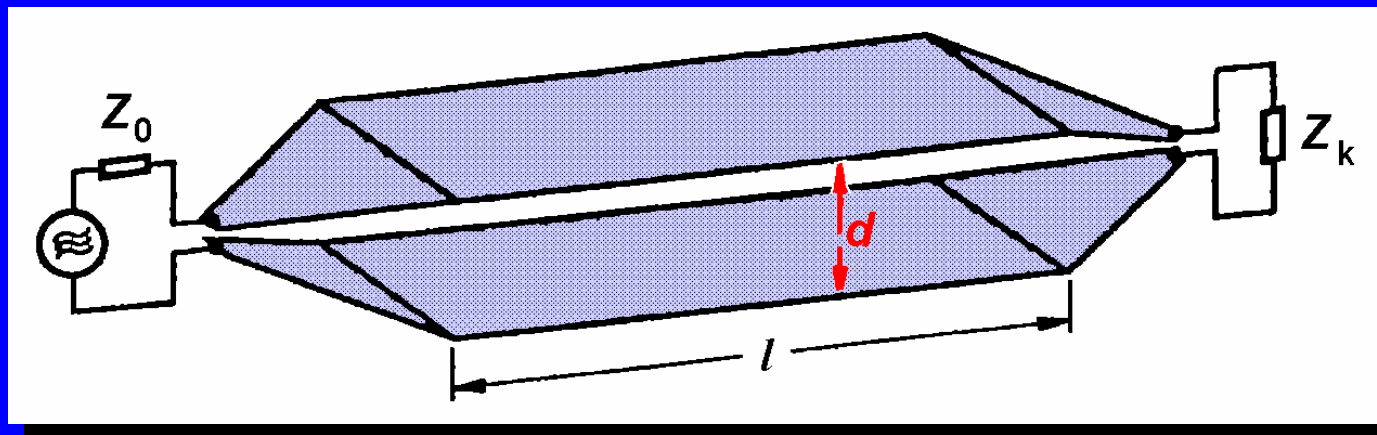
Kalibrace se provádí v celém měřicím kmitočtovém pásmu pro horizontální i vertikální polarizaci generovaného pole.



Speciální antény pro simulaci zkušebních elektromagnetických polí

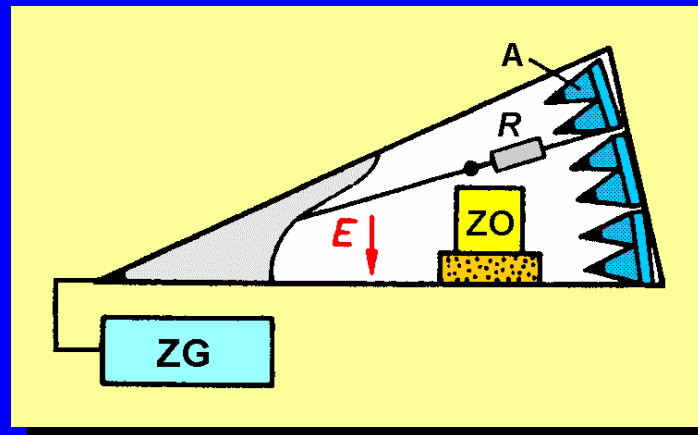
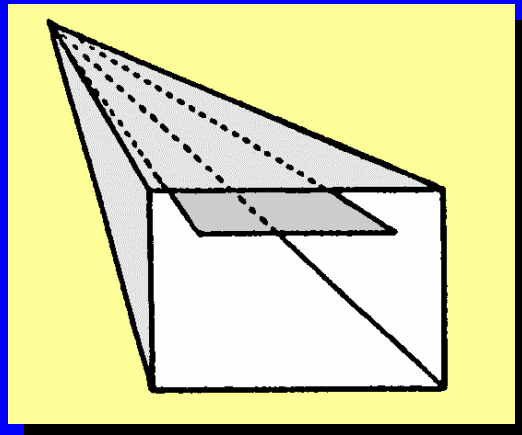
- **Páskové (deskové) vedení (*Parallel Plate Antenna*)**

Při $l \gg d$ existuje mezi oběma deskami příčné elektromagnetické pole TEM s elektrickou intenzitou $E = U/d$. Zkoušený objekt se umísťuje do pole doprostřed mezi desky na izolační podložku. Šířka desek je obvykle stejná jako jejich vzájemná vzdálenost $d = 80$ cm, takže lze testovat objekty s rozměry nejvýše cca 30 x 30 x 30 cm.



- **Komora GTEM (Gigahertz-Transversal Electromagnetic Cell)**

Komora má tvar dlouhého pyramidálně se rozšiřujícího koaxiálního vedení pravouhlého příčného průřezu s nesymetricky umístěným vnitřním páskovým vodičem. Impedanční přizpůsobení komory na vysokých kmitočtech zajišťují absorpční jehlany **A** na čelní stěně, v oblasti nižších kmitočtů vnitřní odporová síť $R = Z_0$ na konci vnitřního páskového vodiče. V komoře GTEM lze tak vytvářet pole s intenzitou **až 200 V/m** v kmitočtovém pásmu **od 0 Hz do několika GHz**.



NORMALIZACE V OBLASTI E M C

Normalizační grémia a organizace

Druhy norem EMC

Civilní normy EMC

Vojenské normy EMC

Směrnice Rady Evropské unie

České normy EMC

Všeobecné normy EMC (EMC Standards)

Normy pro vf. elektromagnetické rušení (RFI Standards)

Normy pro elektromagnetickou odolnost (Immunity Standards)

Normy EMC

**normy rušivého vyzařování
(normy pro EMI)**

nejstarší a závazné

**normy elmag. odolnosti
(normy pro EMS)**

**podstatně mladší,
rovněž závazné**

**normy pro odrušovací
prostředky**

**obvykle pouze
doporučené**

Normalizační grémia a organizace

Na celosvětové úrovni

Mezinárodní elektrotechnická komise IEC
(International **E**lectrotechnical **C**ommission)



www.iec.ch



technické komise TC
(**T**echnical **C**ommittees)



subkomise SC
(**S**ub-**C**ommittees)

Výbor pro rádiovou interferenci CISPR

(**C**omité International **S**pécial des **P**erturbations **R**adioélectriques)

Mezinárodní organizace pro normalizaci

ISO

(International Standard Organization)



www.iso.ch

Mezinárodní telekomunikační unie ITU

(International Telecommunications Union)

Poradní výbory CCIR a CCIT

se zabývají EMC v radiokomunikačních a telekomunikačních systémech a zařízeních

➔ Doporučení série K

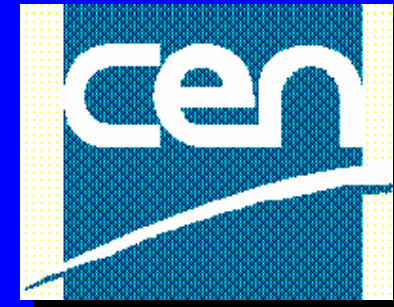


www.itu.int

Na evropské úrovni

Evropská komise pro normalizaci **CEN** (**C**omité **E**uropeen de **N**ormalisation)

je vytvořena z normalizačních organizací všech členských států Evropské unie a ze států Evropského sdružení volného obchodu EFTA.



www.cenorm.be

Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice

CENELEC

Comité **E**uropeen de **N**ormalisation
en **E**lectrotechnique)



www.cenelec.org

Evropský institut pro normalizaci v telekomunikacích ETSI

European Telecommunications Standards Institute

Normy EMC v ETSI zpracovává technická komise **TC-EE4** (*Technical Committee Equipment Engineering*) jako normy **ETS** (*European Telecommunication Standard*).



www.etsi.org

Cílem evropských normalizačních orgánů je vytvoření celoevropsky platných jednotných (tzv. **harmonizovaných**) norem.

Na národní úrovni

Český normalizační institut ČSNI

Technická normalizační komise **TNK 47**
„Elektromagnetická kompatibilita“



www.csni.cz

reviduje existující české
(československé) normy
ČSN v oblasti EMC

přebírá (překládá) svě-
tové a evropské normy
EMC



harmonizované normy ČSN

ČSN IEC

ČSN CISPR

ČSN EN

ČSN ETS

Druhy civilních norem EMC

Základní normy (*Basic Standards*) určují všeobecné podmínky pro dosažení EMC libovolného technického produktu. Tyto normy nestanovují konkrétní meze rušení či meze odolnosti, ani žádná vyhodnocovací kritéria.

Např.

- normy pro nf. rušení řady **ČSN EN 61000-2** a **ČSN EN 61000-3**,
- normy pro vf. rušení řady **ČSN CISPR 16**,
- normy pro EM odolnost řady **ČSN EN 61000-4** a další.

Kmenové normy (*Generic Standards*) určují minimální soubor požadavků a testovacích metod EMC pro všechna technická zařízení **podle typu elektromagnetického prostředí** (obytná, průmyslová, speciální prostředí apod.).

Např.

- všeobecné normy **ČSN EN 50081** a **ČSN EN 50082**,
- normy pro vf. rušení **ČSN EN 55011** a **ČSN CISPR 23** a další.

Předmětové normy (*Product Standards*) definují detailní požadavky a testovací metody EMC pro jednotlivé výrobky a skupiny podobných výrobků a zařízení (tzv. **normy výrobků**, příp. **normy skupin výrobků**). Mohou být použity na následující skupiny výrobků:

- spotřebiče pro domácnost, kancelářské stroje a přístroje, přenosné elektrické nářadí a podobné elektrické přístroje,
- průmyslová zařízení,
- zařízení informační techniky (ZIT) a telekomunikační zařízení,
- televizory a podobná zařízení,
- dopravní a přepravní zařízení,
- lékařská zařízení,
- měřicí a testovací zařízení.

Civilní normy EMC

závazné
(Mandatory Standards)

mají charakter zákona

- Směrnice Rady Evropské unie č. 89/336/EEC
- Normy z Federální komunikační komise FCC (USA)

doporučené
(Voluntary Standards)

mají charakter doporučení

- Normy profesních zájmových organizací (např. IEEE)
- Normy výrobních organizací a sdružení

Vojenské normy EMC

Military Standards

Nejpropracovanější jsou americké vojenské normy **MIL-STD** → převzaty armádami NATO

Hlavní rozdíly vůči civilním normám:

- Použití **detekce špičkových hodnot** (*peak detection*) pro měření a vyhodnocení elmag. rušení (civilní normy používající detekci kvazi-špičkových hodnot dle metodiky CISPR).
- Obvykle **nižší** povolené mezní hodnoty elmag. **vyzařování**.
- Obvykle **vyšší** požadované úrovně elmag. **odolnosti**.
- Obvykle **širší kmitočtový rozsah** měření a testování.

Směrnice Rady Evropské unie č. 89/336/EEC

European Directive 89/336/EEC

Směrnice o sblížení zákonů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility

Směrnice byla v každém státě Evropské unie přeložena do národního jazyka a schválena vládami jako **zákon platný od 1. 1. 1996**. Od toho dne musí zboží prodávané na evropských trzích tuto směrnici respektovat. To znamená, že každý výrobce, distributor či prodejce musí prokázat, že jeho výrobek je s uvedenou Směrnicí v souladu, tedy že splňuje tzv. **harmonizované evropské normy EN pro oblast EMC** vydávané Evropským výborem pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC. **Tyto normy nejsou sice závazné, ale dodržení jejich technických požadavků dává předpoklad, že příslušný výrobek či zařízení vyhovuje požadavkům Směrnice.**

Značka **CE** dokládá, že výrobek vyhovuje požadavkům podle **všech závazných předpisů, které se na něj vztahují** (bezpečnost výrobku, ochrana před nebezpečným napětím, EMC, hygiena, ochrana životního prostředí a další). Značka **CE** tedy není značkou jen pro EMC, ale vyjadřuje shodu jakéhokoli výrobku (stroje, přístroje, hračky apod.) se všemi na něj se vztahujícími harmonizovanými předpisy EU. **O které předpisy a směrnice se jedná, musí vědět nebo si zjistit sám výrobce či dovozce.**

Značku **CE** **nelze tedy nikde koupit**, značka se nepropůjčuje a nelze získat žádné „úřední“ povolení k jejímu použití. Odpovědná osoba připevňuje značku **CE** na výrobek na vlastní odpovědnost a vystavuje prohlášení o jeho shodě s požadavky všech relevantních zákonů rovněž na vlastní, tj. **osobní odpovědnost.**

Legislativa EMC v České republice

české normy EMC

- **Zákon č. 22/1997 Sb.** o technických požadavcích na výrobky (účinnost od 1. 9. 1997);
- **Zákon č. 71/2000 Sb.** (účinnost od 24. 2. 2000) – novelizace a doplnění;
- **Řada nařízení vlády o**
 - technických požadavcích na elektr. zařízení nízkého napětí;
 - vybraných výrobcích k posuzování shody;
 - grafické podobě české značky shody **CCZ**, jejím provedení a o jejím umístění na výrobku;
 - technických požadavcích na výrobky z hlediska jejich elektromagnetické kompatibility.

Evropská Směrnice ukládá, že pokud zařízení **neodpovídá** požadavkům příslušných norem či předpisů (tedy generuje vyšší než přípustnou úroveň rušení nebo nemá adekvátní úroveň elektromagnetické odolnosti), toto **zařízení stáhnout z trhu, zakázat jeho uvedení na trh, případně omezit jeho volný pohyb. Nařízení vlády č. 169/1997 Sb.** takové opatření neobsahuje a „spokojí“ se **jen s uložením finanční pokuty** do výše 20 miliónů Kč.

Stanovený výrobek je přístroj či zařízení, které potenciálně může způsobovat elektromagnetické rušení nebo jehož funkce může být podobným rušením ovlivněna. O stanoveném výrobku **musí jeho výrobce či dovozce** vydat prohlášení o shodě s příslušnými technickými předpisy a normami a o dodržení stanoveného postupu posouzení této shody.

Po úspěšné certifikaci musí být stanovený výrobek před svým uvedením na trh označen **českou značkou shody CCZ**, nebo jinou stanovenou značkou vyplývající z mezinárodní smlouvy, jíž je Česká republika vázána (po vstupu do EU značkou **CE**).

Je-li posouzení shody výrobku provedeno tzv. **autorizovanou osobou** (tedy určeným kompetentním orgánem - zkušebnou), připojuje se ke značce **CCZ** její identifikační číslo s písmeny **AO**.



Značka se umísťuje přímo na přístroj, pokud to není možné, pak na jeho obal, na pokyny k obsluze nebo na záruční list. Značka musí být viditelná, čitelná a nesmazatelná. Pokud musí přístroj vyhovovat i jiným vládním nařízením než jenom nařízením o EMC, pak značka shody znamená, že přístroj vyhovuje **všem těmto na něj aplikovatelným nařízením**.

Od roku 1997 probíhá v České republice intenzivní **harmonizace** všech národních technických norem.



ČSN IEC
ČSN CISPR
ČSN EN
ČSN ETS



Za touto skupinou písmen následuje **skupina čísel**, která je stejná, jako v příslušné výchozí mezinárodní normě.

Zařízení, která splňují ustanovení harmonizovaných českých norem, automaticky vyhovují i příslušným evropským či mezinárodním normám a lze je tedy exportovat i na tyto zahraniční trhy.

Tematicky lze normy EMC členit do čtyř oblastí:

- **Všeobecné normy EMC**
(EMC Standards)
- **Normy pro nízkofrekvenční elmag. rušení**
(Low Frequency EMC)
- **Normy pro vysokofrekvenční elmag. rušení**
(RFI Standards)
- **Normy pro elektromagnetickou odolnost**
(Immunity Standards)

Všeobecné normy EMC

(EMC Standards)

- **ČSN EN 50081** Elektromagnetická kompatibilita – všeobecná norma týkající se vyzařování
- **ČSN EN 50082** Elektromagnetická kompatibilita – všeobecná norma týkající se odolnosti

Tyto všeobecné normy lze užít jen tehdy, když pro dané zařízení neexistují jednoúčelové normy výrobků, příp. skupiny výrobků. Pokud takové normy existují, pak mají přednost před všeobecnými normami.

Všeobecné normy platí v pásmu kmitočtů 0 Hz až 400 GHz a nevztahují se na zařízení určená k vysílání elektromagnetických vln pro radiokomunikační účely.

Normy pro elektromagnetické rušení v nízkofrekvenční oblasti (Low Frequency EMC)

- ČSN IEC 1000-2-1 Popis prostředí – elmag. prostředí pro nf. rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích
- ČSN IEC 1000-2-2 Kompatibilní úrovně pro nf. rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí
- ČSN IEC 1000-2-3 Popis prostředí vyzařovaných jevů a jevů šířených vedením a nevztahujících se k síťovému kmitočtu
- ČSN EN 61000-2-4 Kompatibilní úrovně pro nf. rušení šířené vedením v průmyslových závodech

a další ...

Normy pro vysokofrekvenční rušení (RFI Standards)

- **ČSN EN 55011 (CISPR 11)** Meze a metody měření charakteristik elmag. rušení od průmyslových, vědeckých a lékařských (PVL) vysokofrekvenčních zařízení

platí pro zařízení určená ke generování či využívání vf. energie pro průmyslové, vědecké a lékařské účely.

Zařízení třídy A jsou elektrická zařízení vhodná k používání ve všech objektech kromě obytných prostorů (domácností), příp. nejsou přímo připojena na rozvodnou síť nízkého napětí obytných budov.

Zařízení třídy B jsou zařízení vhodná k použití v obytných objektech a v objektech připojených k rozvodné síti nízkého napětí napájející obytné budovy.

- **ČSN EN 55013 (CISPR 13)** Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného rozhlasovými a TV přijímači a příslušenými zařízeními

udává mezní hodnoty rušivého napětí a pole vyzařovaného rozhlasovými a TV přijímači a příslušenými zařízeními (nf. zesilovače, gramofony, CD přehrávače, magnetická záznamová a reprodukční zařízení obrazu a zvuku aj.) v pásmu 9 kHz až 18 GHz.

- **ČSN EN 55014 (CISPR 14)** Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného zařízením s elektrickým pohonem, tepelným zařízením pro domácnost a podobné účely, elektrickým nářadím a podobnými elektrickými přístroji

uvádí meze rušivých svorkových napětí a rušivého výkonu pro spojitě (trvalé) i nespojitě (mžikové) rušení v pásmu 150 kHz až 300 MHz.

- **ČSN EN 55015 (CISPR 15)** Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného elektrickými svídky apod. zařízením
-

- **ČSN EN 55022 (CISPR 22)** Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení zařízením informační techniky

specifikuje meze rušení od zařízení informační techniky (**ITE – Information Technology Equipment**) v pásmu 0,15 až 1000 MHz.

Třída B ITE je kategorie přístrojů určených pro použití ve vnitřním prostředí, tj. tam, kde lze předpokládat použití rozhlasových a TV přijímačů ve vzdálenosti do 10 m od zařízení ITE.

Třída A ITE je kategorie všech ostatních zařízení ITE.

Norma specifikuje rovněž podmínky a metody měření rušivého napětí a elektrického pole včetně uspořádání měřicích pracovišť.

- **ČSN CISPR 12** Meze a metody měření charakteristik vf. rušení motorovými vozidly, motorovými čluny a zařízeními poháněnými zážehovými motory

předepisuje mezní hodnoty rušivého pole a metody jeho měření v pásmu 30 ÷ 1000 MHz.

Meze jsou stanoveny tak, aby při jejich dodržení byla zajištěna ochrana přijímačů v budovách pro rozhlasové a TV vysílání s kmitočtovou či amplitudovou modulací.

-
- **ČSN CISPR 18** Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí

se týká vf. rušení způsobovaného venkovními vedeními VN a zařízeními VN v rozsahu kmitočtů 150 kHz až 300 MHz.

Norma zahrnuje rušení vlivem koronového výboje na povrchu vodičů a armatur VN, vlivem kapacitních výbojů a jiskření na plochách izolátorů VN a na přerušených či nedokonalých spojkách.

- **ČSN CISPR 16** Specifikace CISPR pro přístroje a měřicí metody na měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení

Část 1 specifikuje vlastnosti přístrojů pro měření napětí, proudu, výkonu a pole rušivých signálů v pásmu 9 kHz až 18 GHz. Pro rozsah **9 kHz až 1000 MHz** uvádí norma základní požadavky na přístroje pro **měření elmag. rušení** (měřicí přijímače, spektrální analyzátory) včetně příslušenství (umělé síť LISN, napěťové a proudové sondy a absorpční kleště, měřicí antény) a požadavků na zkušební stanoviště.

Norma též určuje požadavky na vazební jednotky pro **měření odolnosti** vůči vedeným rušivým signálům, požadavky na bezodrazové měřicí komory a testovací komory TEM.

Část 2 uvádí metody a postupy měření vysokofrekvenčního rušení a metody testování odolnosti proti rušení.

Normy pro elektromagnetickou odolnost (Immunity Standards)

- **ČSN EN 61000-4-1** Přehled zkoušek odolnosti

uvádí přehled existujících zkoušek odolnosti včetně jejich stručného popisu.

Norma dává doporučení pro volbu vhodné zkoušky odolnosti s ohledem na zkoušené zařízení a podmínky jeho použití (místo použití, předpokládaná úroveň rušení, požadovaný stupeň odolnosti apod.).

Z normy lze zjistit řadu základních údajů o všech zkouškách odolnosti, jejichž podrobný popis je obsahem dalších norem řady EN 61000-4.

- **ČSN EN 61000-4-2** Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti
- **ČSN EN 61000-4-3** Vyzařované vf. EM pole – zkouška odolnosti
- **ČSN EN 61000-4-4** Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – zkouška odolnosti
- **ČSN EN 61000-4-5** Rázový impulz – zkouška odolnosti
- **ČSN EN 61000-4-6** Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli
- **ČSN EN 61000-4-8** Magnetické pole síťového kmitočtu – zkouška odolnosti
- **ČSN EN 61000-4-9** Pulzy magnet. pole – zkouška odolnosti
- **ČSN EN 61000-4-10** Tlumené kmity magnetického pole – zkouška odolnosti
- **ČSN EN 61000-4-11** Krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí – zkoušky odolnosti
- **ČSN EN 61000-4-12** Oscilační vlny – zkouška odolnosti

Rozhodující pro výběr vhodné úrovně zkušební napětí, příp. zkušební intenzity elek. či mag. pole je **charakter prostředí**, v němž má být zkoušené zařízení provozováno, a to především z hlediska předpokládané úrovně elmag. rušení v něm. Jednotlivé normy kategorizují tato prostředí do následujících **tříd**, příp. **úrovní odolnosti**:

Úroveň (třída) odolnosti 1 je vyžadována u zařízení pracujících v prostředí s nízkou, příp. velmi nízkou úrovní elmag. rušení. Jde o tzv. **dobře chráněná prostředí**.

Úroveň (třída) odolnosti 2 popisuje odolnost zařízení, které má pracovat v prostředí s mírnou úrovní elmag. rušení. Jde o běžná, tj. **mírně chráněná, příp. nechráněná pracovní prostředí**.

Úroveň (třída) odolnosti 3 je požadována pro zařízení určená pro tzv. náročná prostředí s vysokou úrovní elmag. rušení. Jde o typická **průmyslová prostředí**.

Úroveň (třída) odolnosti 4, příp. X musí mít zařízení určená pro prostředí s velmi vysokou úrovní předpokládaného rušení. Jde o **nechráněná silně rušená průmyslová prostředí**.