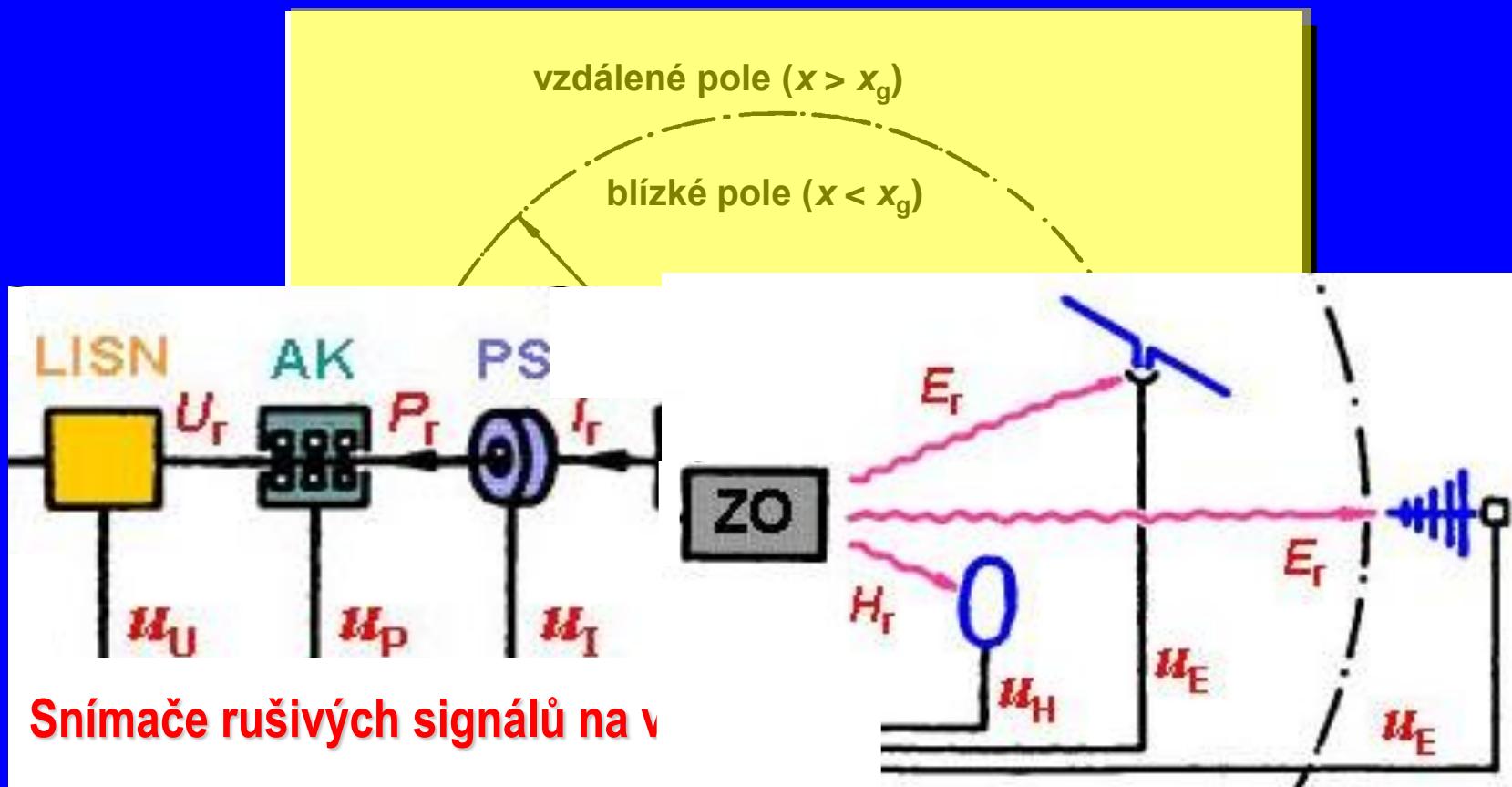


# MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

## 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).





### Snímače rušivých signálů na v

- Snímače vyzařovaných rušivých signálů
- měřicí anténa pro blízké elektrické pole  $E_r$  (prutová, dipólová)
- měřicí anténa pro blízké magnetické pole  $H_r$  (feritová, rámová)
- měřicí anténa pro vzdálené elektromagnetické pole  $E_r$  (bikónická, logaritmicko-periodická, Bilog)

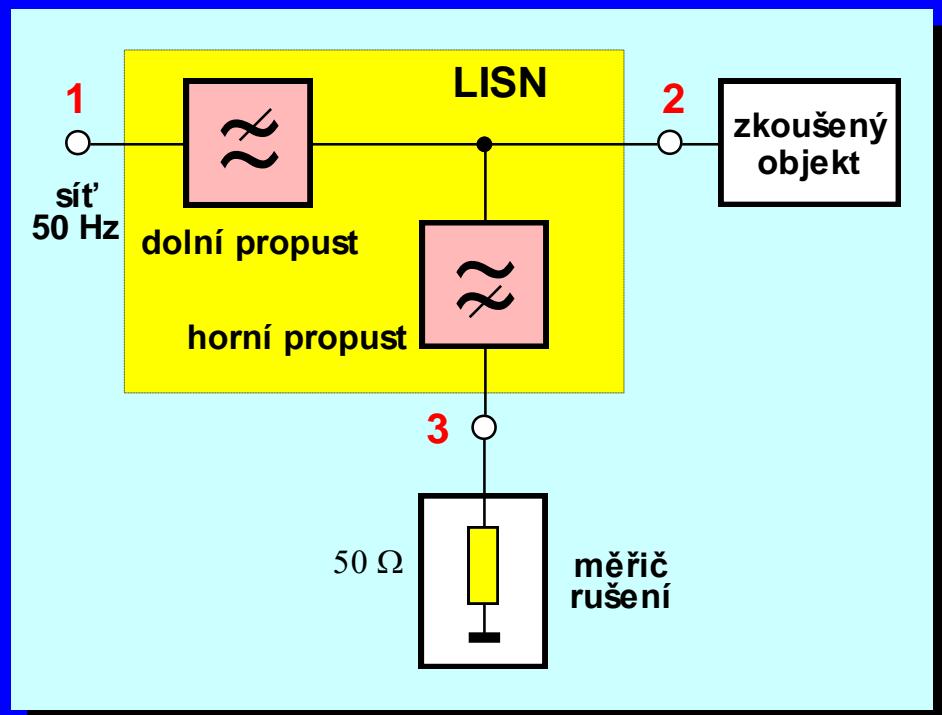
# Měření s umělou sítí

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.

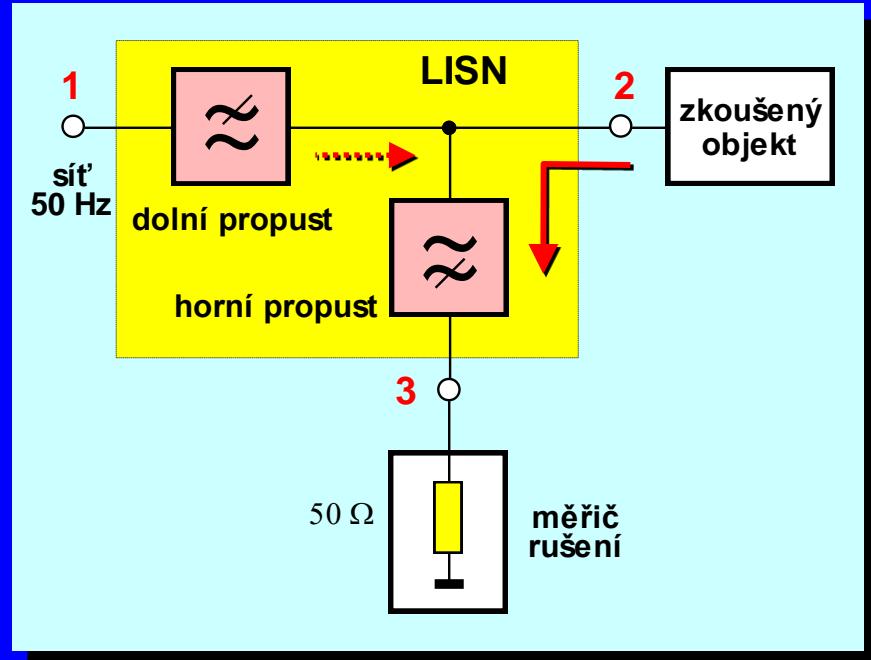


Blokové schéma umělé sítě LISN

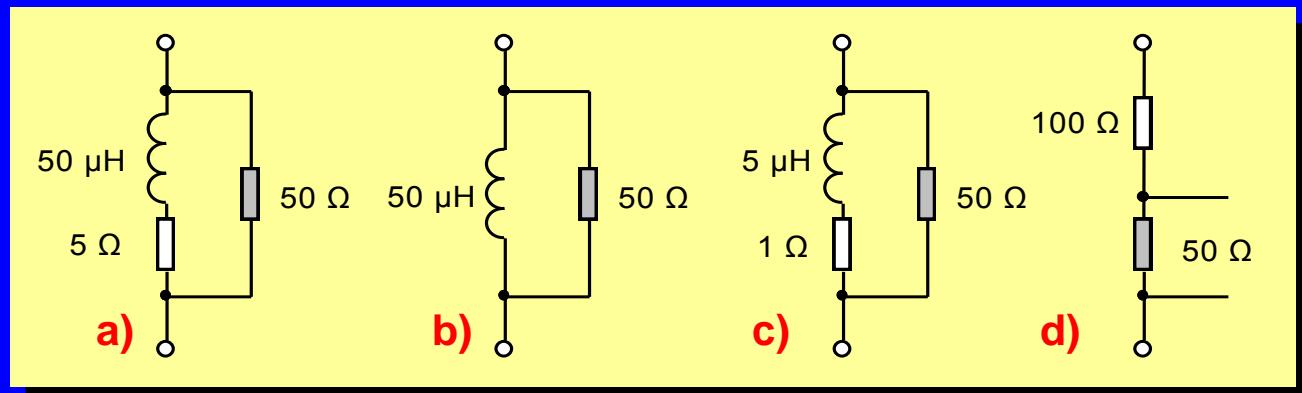
## Umělá síť LISN

plní při měření tři funkce:

- Zajišťuje připojení měřicího zařízení (měřiče rušení) k proměřovanému (zkoušenému) objektu pro celý rozsah měřených 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  $\Gamma$ .



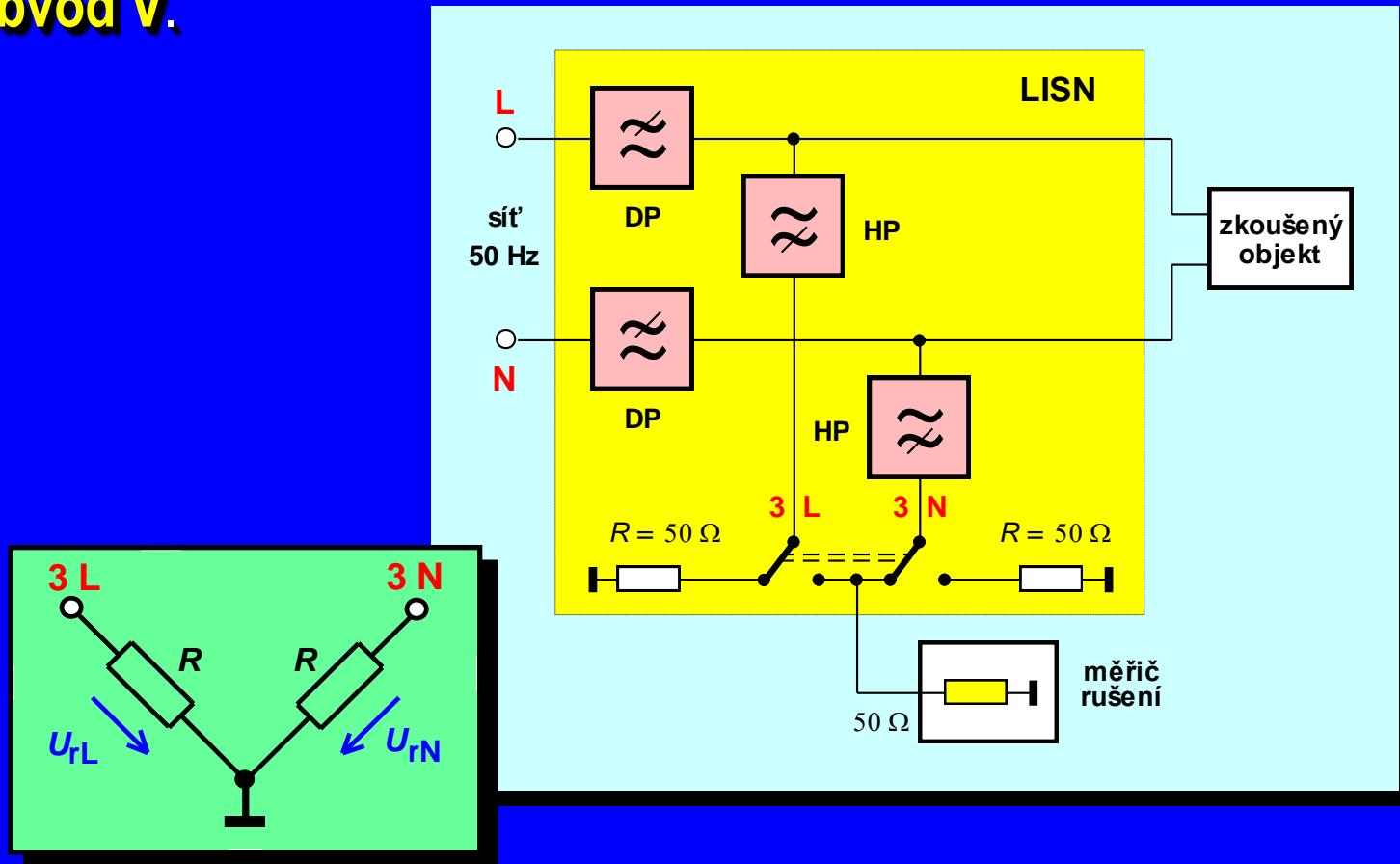
- Zajišťuje přizpůsobení měřiče rušení k výstupním přístrojovým svorkám **3** LISN a zajišťuje definovanou hodnotu impedance na výstupních síťových svorkách **2**. Impedance LISN na přístrojových výstupních svorkách **3** je v celém pásmu rovna vstupní impedance měřiče rušení ( $50 \Omega$ ), impedance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



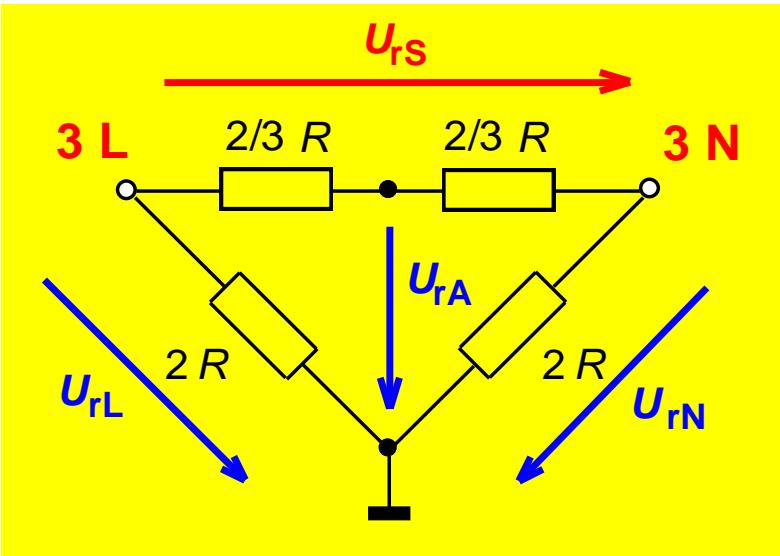
### Impedance umělých sítí dle ČSN EN 55016-1-2:

- 50 Ω/50 μH + 5 Ω pro 9 kHz až 30 MHz (**nízkonapěťové napájecí sítě**);
- 50 Ω/50 μH pro 0,15 MHz až 30 MHz (**průmyslové napájecí sítě**);
- 50 Ω/5 μH + 1 Ω pro 0,15 MHz až 100 MHz (**palubní napájecí sítě**);
- 150 Ω 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 tzw. **obvod V**.



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

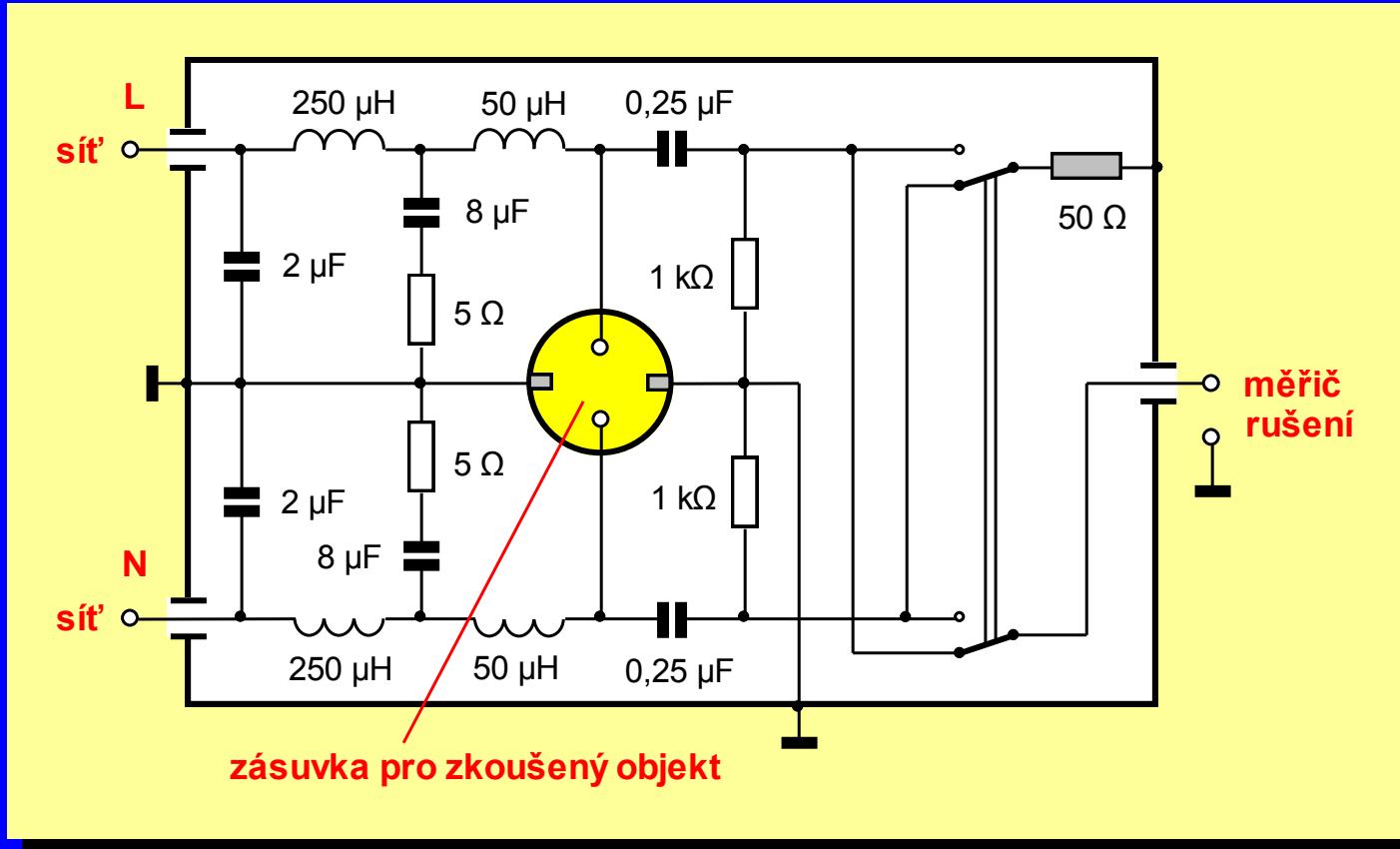


$$R_S = R$$

$$R_A = R$$

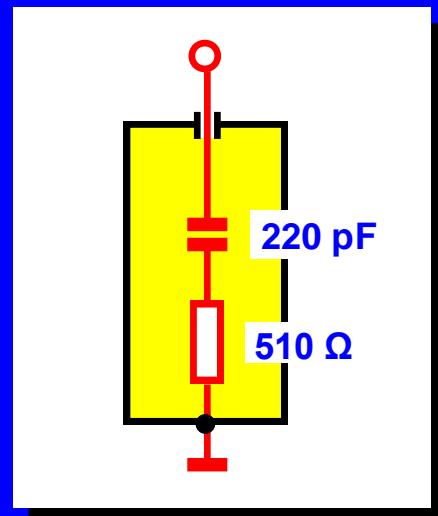
$$R_L = R_N = 5/4 \cdot R$$

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



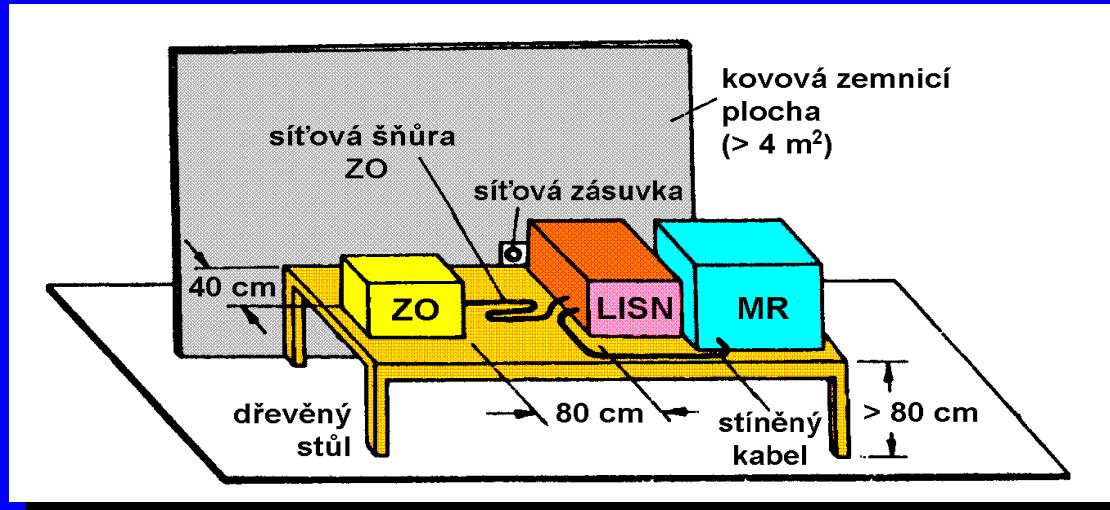
Zapojení jednofázové umělé sítě typu V  
pro kmitočtový rozsah 10 kHz až 30 MHz

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 náradí, holící 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  $220\text{ pF}$  a odporu  $510\text{ }\Omega$ .



# 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.



- Zkoušený objekt **ZO** s umělou sítí **LISN** a měřičem rušení **MR** je umístěn na dřevěném stole tak, aby jeho vzdálenost od **LISN** byla 80 cm.
- Je-li síťová šňůra **ZO** delší než 1 m, musí být meandrovitě složena, přičemž délka svazku nesmí být větší než 40 cm.

## Měření s napěťovou 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.

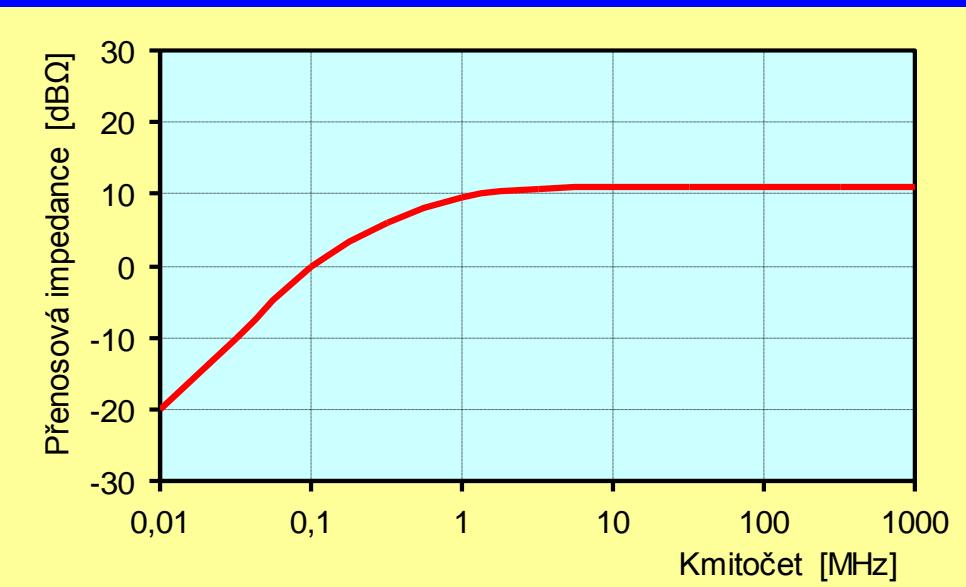


Vnější vzhled proudové sondy

# Přenosová impedance proudové sondy

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

vyjadřovaná obvykle v [ $\text{dB}\Omega$ ].



Kmitočtový průběh přenosové impedance proudové sondy

## Dalšími charakteristickými parametry proudové sondy jsou zejména:

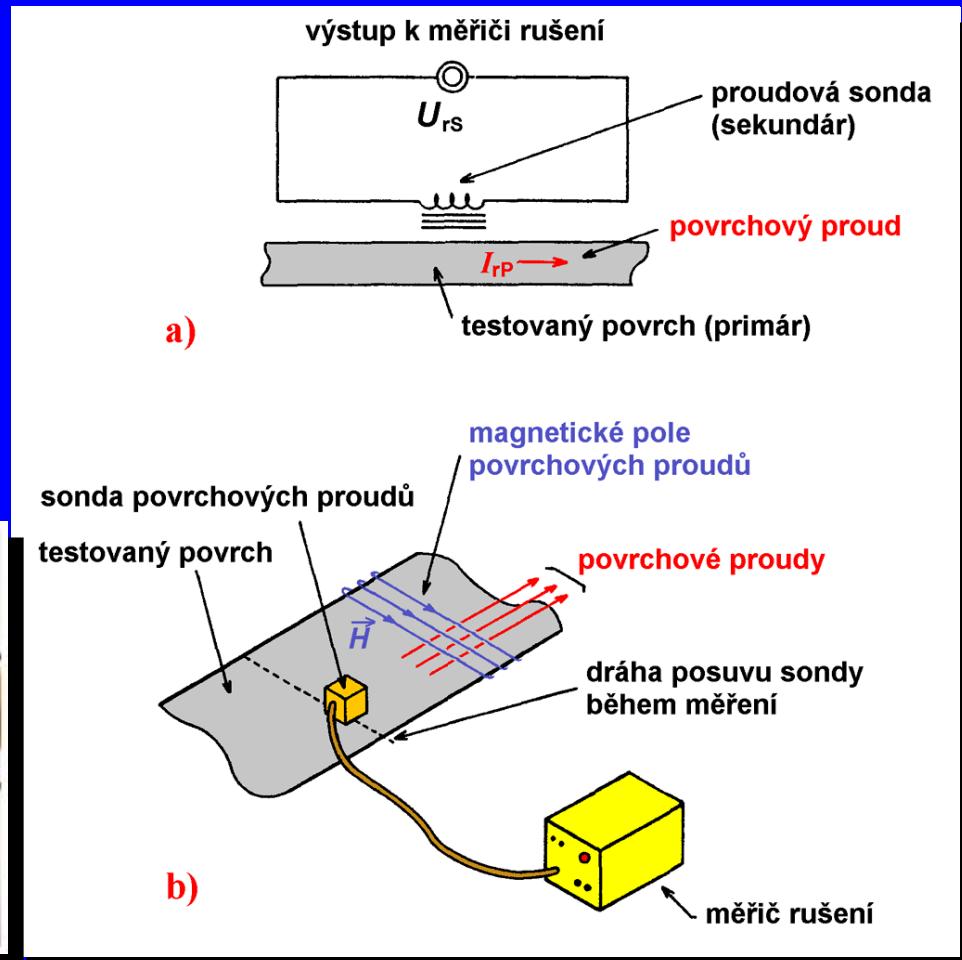
- maximální stejnosměrný a nízkofrekvenční primární proud,
- minimální měřitelná a maximální přípustná velikost primárního rušivého proudu  $I_{rP}$  v pracovním kmitočtovém pásmu,
- impedance sekundárního obvodu sondy (k dosažení impedančního přizpůsobení k měřící rušení),
- rozměrové údaje, např. největší 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  $50 \div 60$  Hz, nikoli pro měření vysokofrekvenčních signálů.

# Sonda povrchových proudů

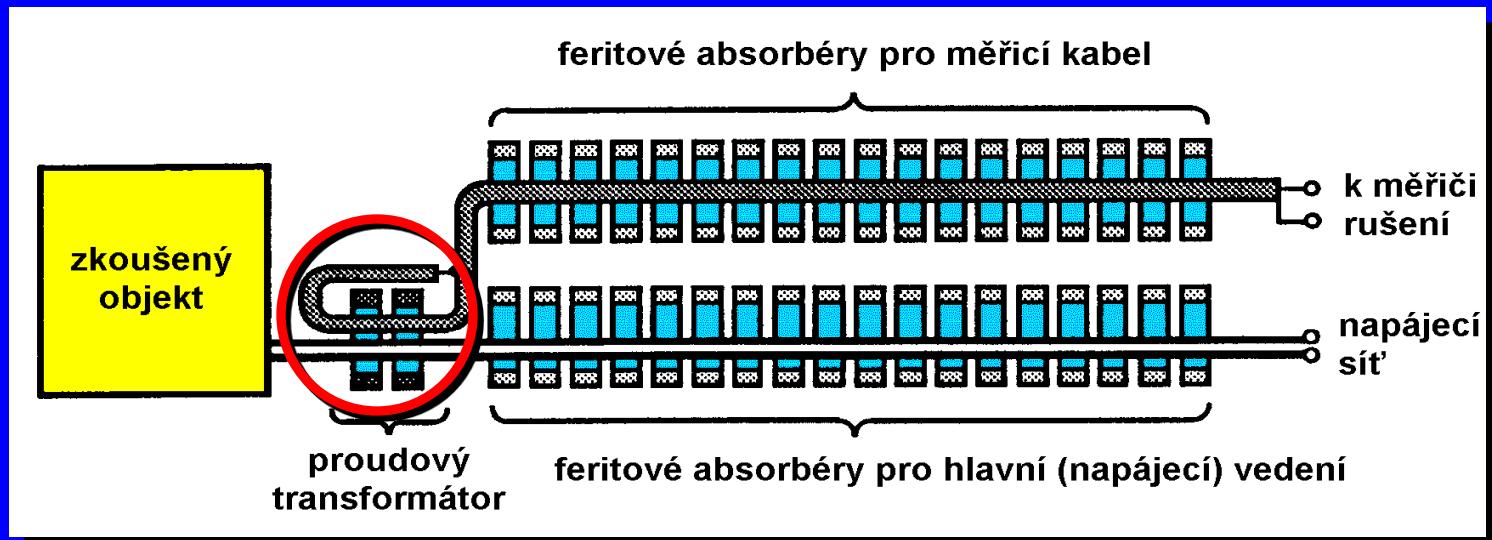
(*Surface Current Probe*) pro měření vysokofrekvenčních rušivých proudů protékajících po kovovém povrchu např. stínicích krytů či karosérií.

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



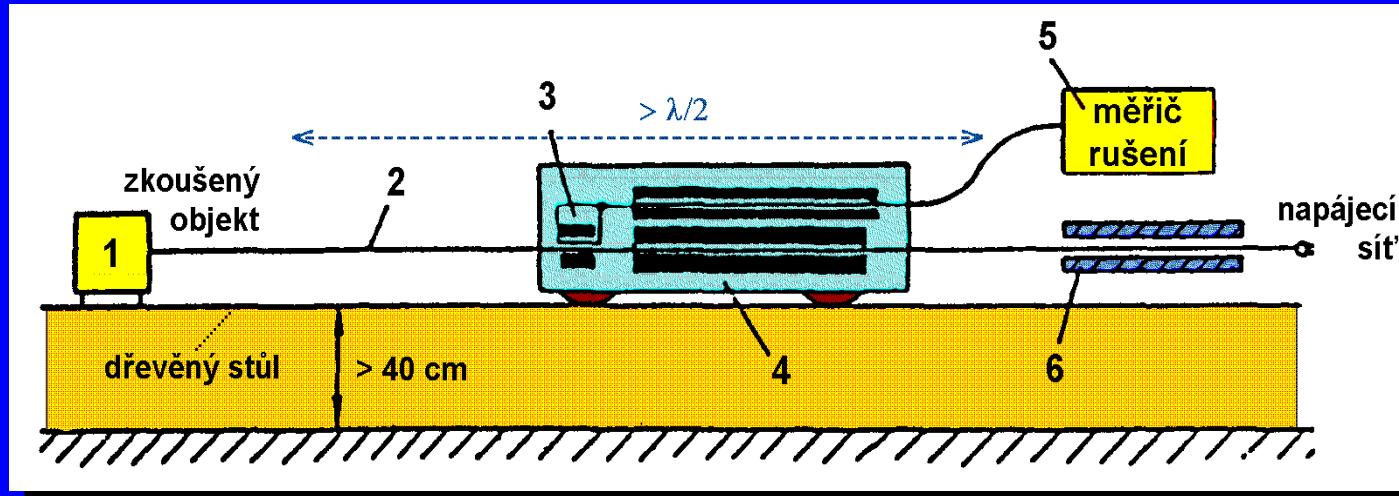
# Měření s absorpcními kleštěmi

**Absorpční kleště** (absorpční transformátor, absorpcní 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 kably a vedením (např. napájecím).



Konstrukce absorpcních kleští

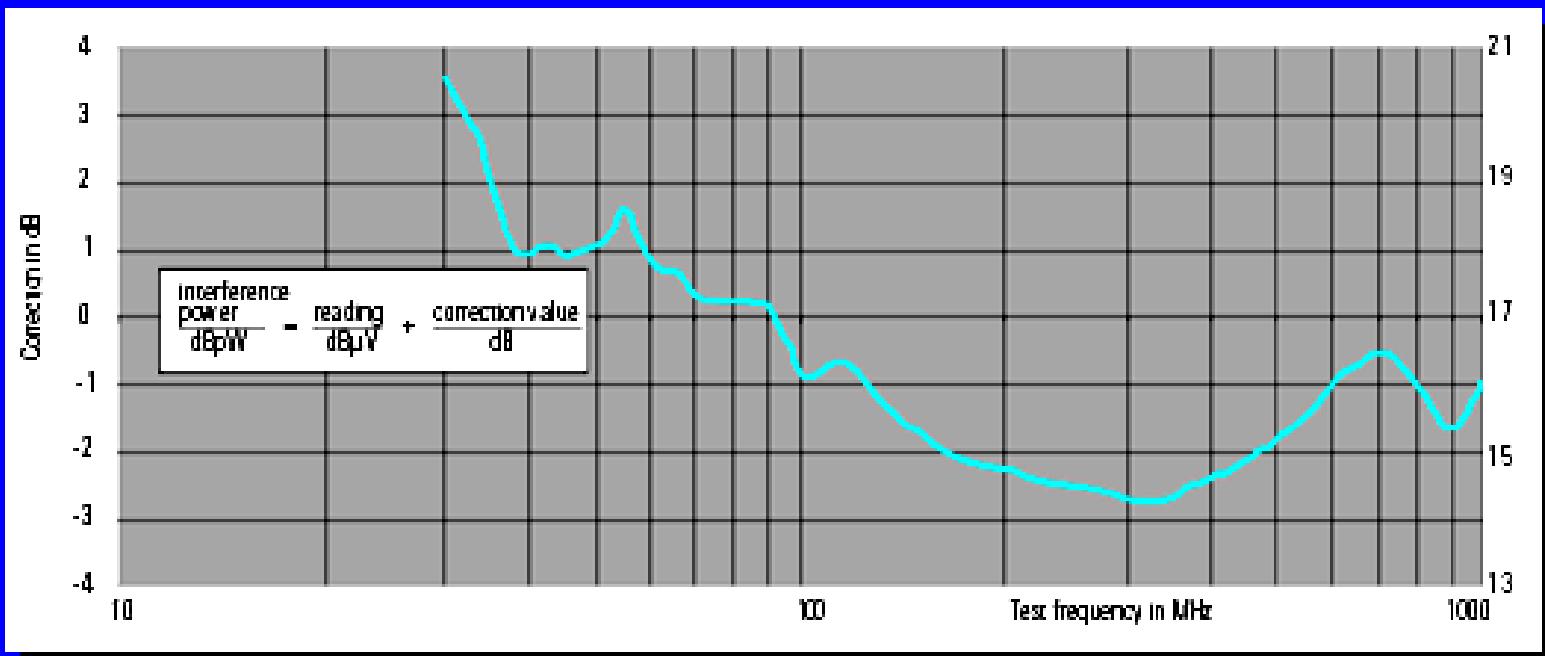
# Uspořádání pracoviště pro měření s absorpčními kleštěmi



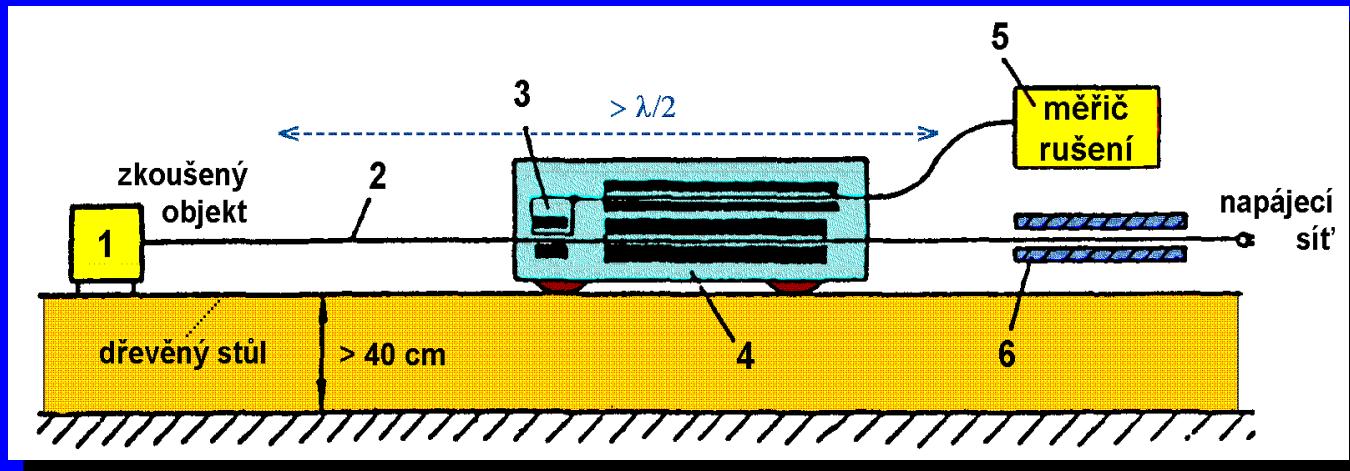
Rušivý signál ze zkoušeného objektu v jeho napájecím vedení **2** indukuje v proudové smyčce **3** absorpčních kleští **4** napětí, které je úměrné vf. rušivému proudu ve vedení **2** a je měřeno měřičem rušení **5**. Feritové kroužky přizpůsobují bezodrazově napájecí vedení pro rušivý signál a současně 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**.

Měřičem 5 měřené výstupní rušivé napětí  $U_r$  v [ $\mu\text{V}$ ] je číselně rovno vstupnímu rušivému výkonu  $P_r$  signálu absorpčních kleští v napájecím vedení v [ $\text{pW}$ ]. Cejchování měřiče rušení v [ $\text{dB}\mu\text{V}$ ] pak přímo odpovídá měřenému výkonu rušivého signálu  $P_r$  v [ $\text{dBpW}$ ]. Při přesných měřeních je nutno mezi obě veličiny vnést doplňující **korekční činitel C [dB]**

$$P_r \text{ [dBpW]} = U_r \text{ [dB}\mu\text{V}] + C \text{ [dB]}$$

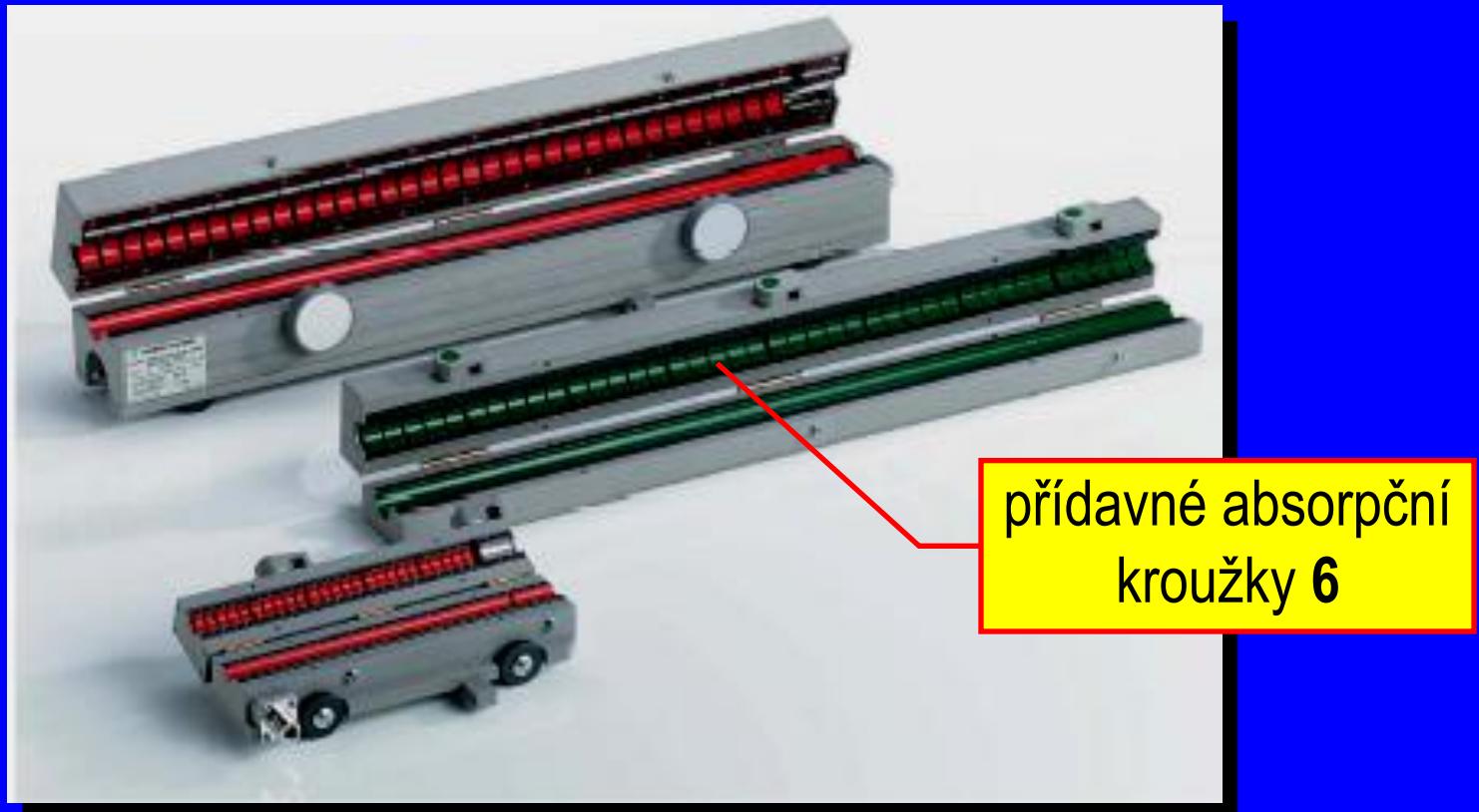


## Při praktických měřeních je třeba dodržet následující pravidla:



- Vnějšírušivé signál říčnisejpo napájecím vedení (2) souběhem měření (pohyb, pohyby) v jedinak absorpčním krúžky a lástnich kleští (4). Jednak připadnou dálší absorpční vložkou (6). Uvedeny těchto vnitřních měřicích výkonech signálů může být násobek 10 dB pod měřenými vnitřními, kteří měřivého signálu ze zařízení (1). Není-li tento odstup dosažen ani při použití přidatné absorpční vložky (6), je nutno celé měřicí zařízení (vyjma měřiče rušení, 5) umístit do elektromagneticky těsněného prostoru (komory) příslušných rozměrů: délky absorpčních kleští. Pro kmitočet 30 MHz je délka napájecího vedení až 6 m.

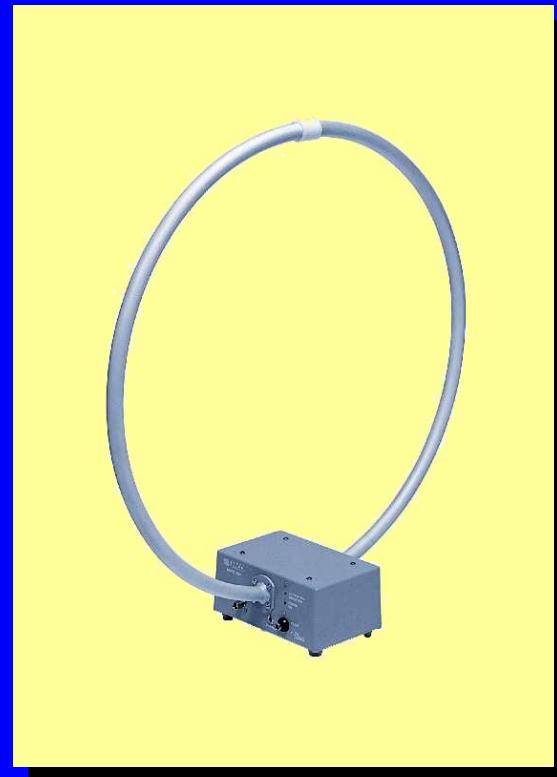
# Vnější vzhled absorpčních kleští Rohde & Schwarz MDS-21, MDS-22



# Měření pomocí antén

Měření rušivého elektromagnetické pole přístrojem pro měření rušení (měřicím přijímačem) doplněným vhodnou měřicí anténnou.

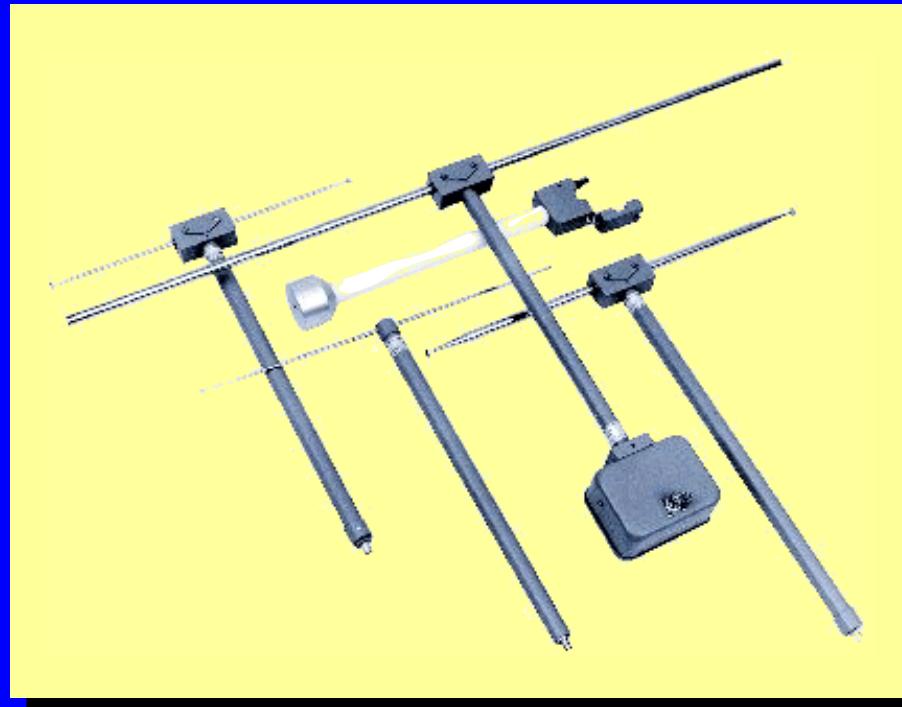
- **Rámové (smyčkové) antény** nebo **feritové antény** pro měření magnetického rušivého pole v nejnižších kmitočtových pásmech **9 až 150 kHz**, příp. **150 kHz až 30 MHz**. Cívka antény o max. velikosti  $60 \times 60$  cm je umístěna do kovového stínění pro vyloučení parazitního vlivu elektrické složky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



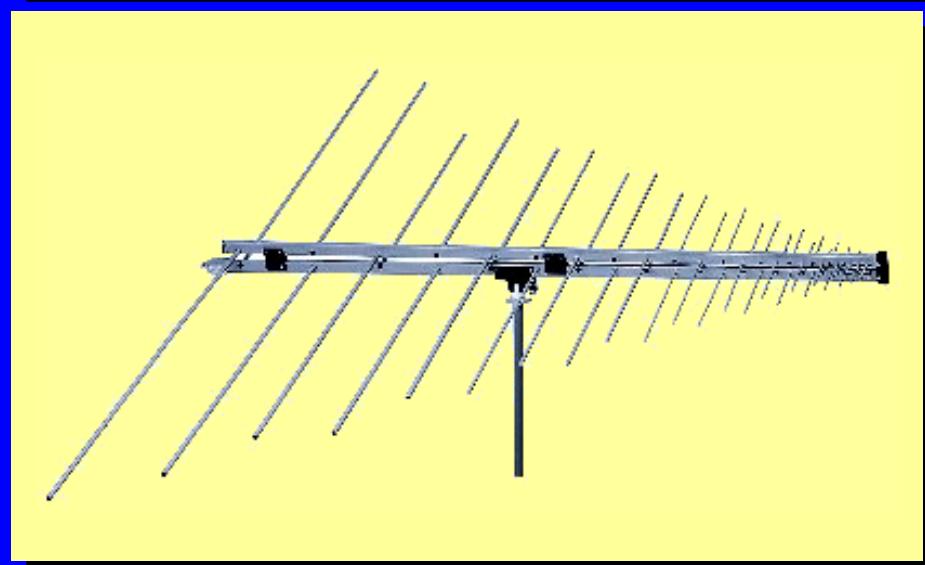
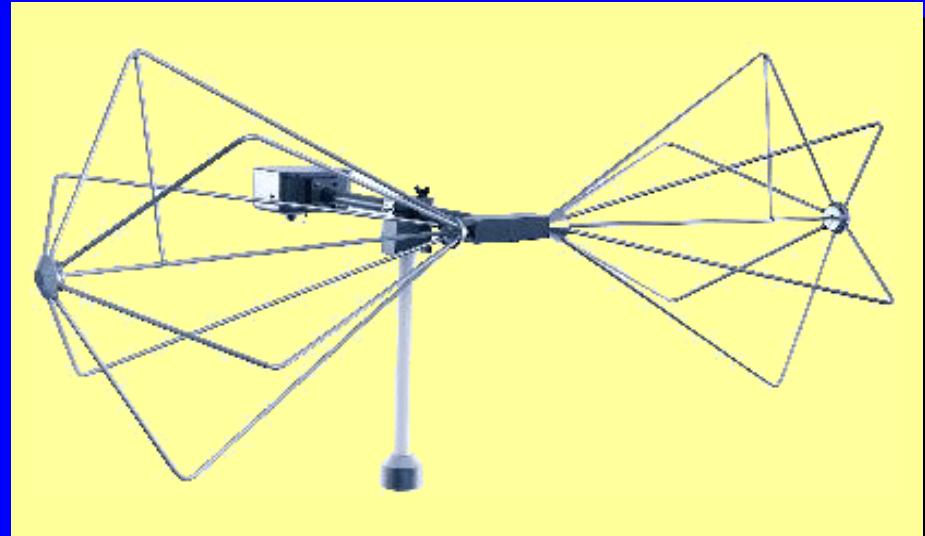
- **Nesymetrická vertikální prutová (tyčová) anténa (monopól)** o doporučené celkové délce 1 m pro měření rušivého elektrického pole  $E_r$  v pásmu **150 kHz až 30 MHz**. Při měření v tzv. blízkém poli rušivého zdroje je měření elektrické intenzity  $E_r$  pomocí této antény nepřesné, neboť kromě vazby 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**.



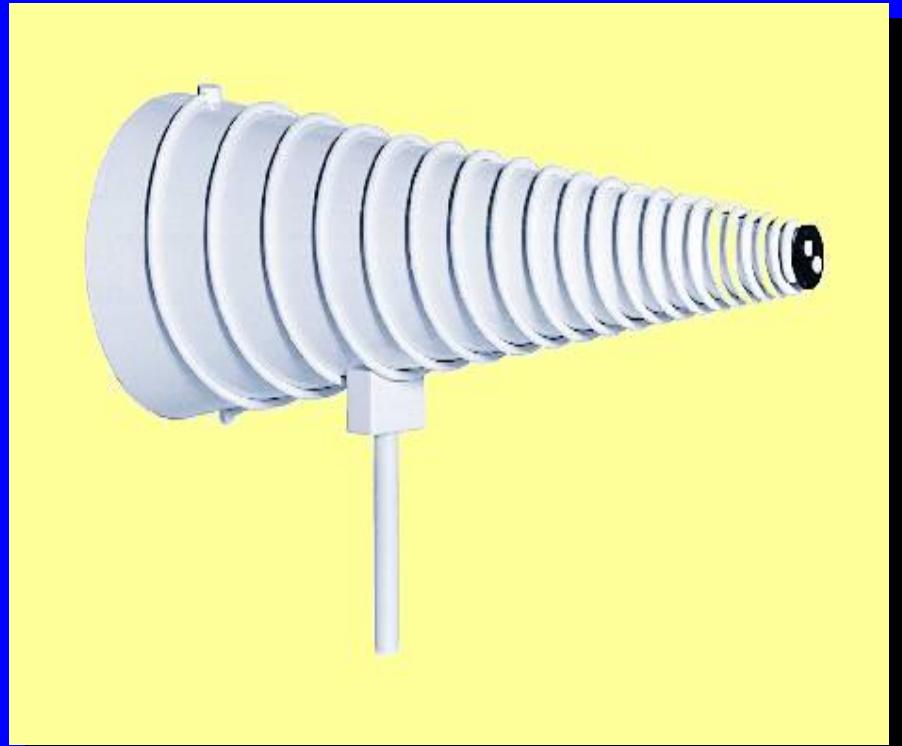
- **Laděný symetrický půlvlnný dipól** se jako měřicí anténa používá v kmitočtovém pásmu **30 až 80 MHz**. Dipól je vždy nastaven (naladěn) na rezonanční délku odpovídající kmitočtu 80 MHz. Ve vyšších pásmech **až do 1000 MHz** slouží rezonanční půlvlnné dipóly jako **kalibrační antény**, pro běžná provozní 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).



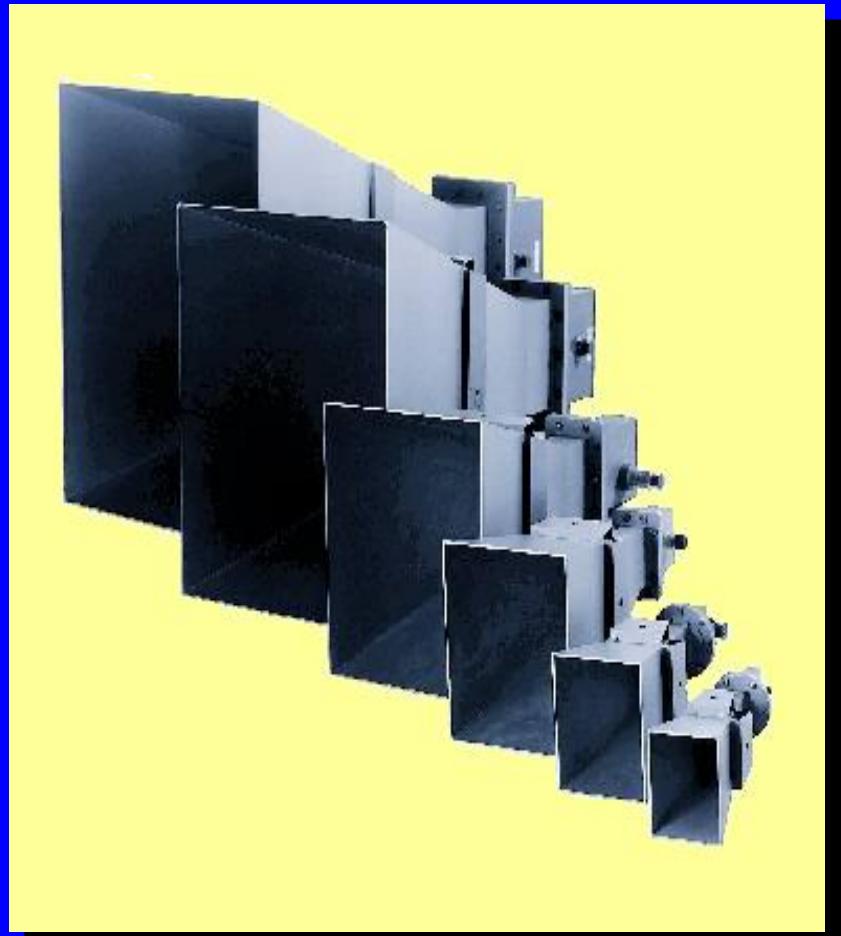
- **Bikónická anténa** je typickou měřicí anténou v pásmu **20 ÷ 300 MHz**.
- **Logaritmicko-periodická anténa** je nejrozšířenější měřicí anténou v pásmu **od 200 do cca 3000 MHz**. Tvoří ji unipóly, jejichž délky a vzájemné vzdálenosti jsou v poměru logaritmů jejich rezonančních kmitočtů ➡ tvar vyzařovacího 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) kruhově polarizovaného elektromagnetického pole. Kónická anténa se proto ne-používá pro testy EMC dle civilních norem, neboť všechny tyto normy předepisují testy s lineární polarizací vln. Řada testů ve vojenství (např. dle amerických vojenských norem **MIL-STD**) je však založena na použití kruhově polarizovaných vln a pro jejich provedení jsou právě kónické antény typické.



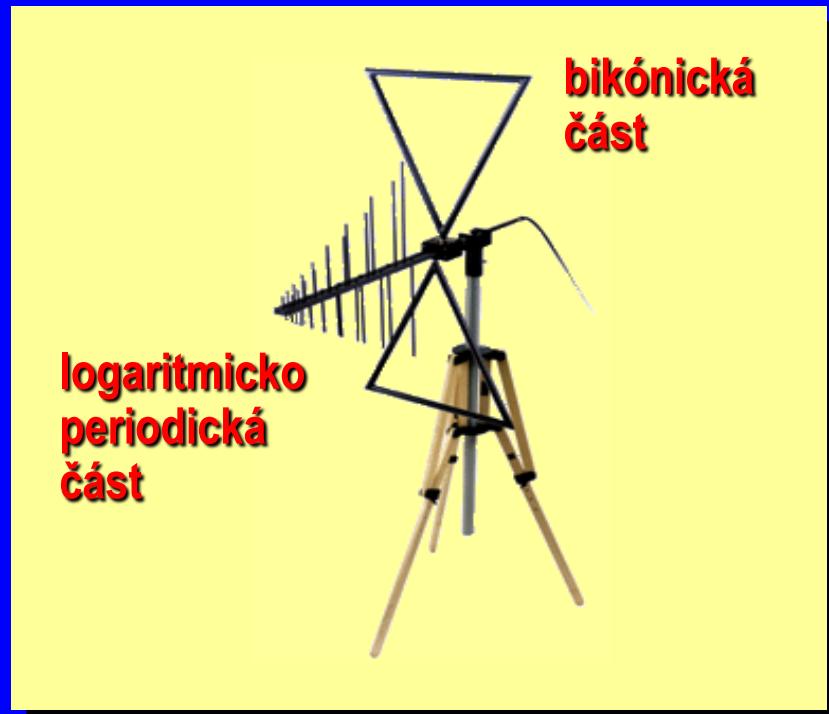
- **Pyramidální kovové vlnovody – tzv. trychtýřové antény** se jako měřicí antény užívají především v **GHz kmitočtových pásmech**. Vlnovodové trychtýřové antény jsou svou podstatou relativně úzkopásmové. K pokrytí kmitočtů od jednotek do několika desítek GHz je proto třeba sada několika (8 ÷ 10) těchto 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 6000 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.



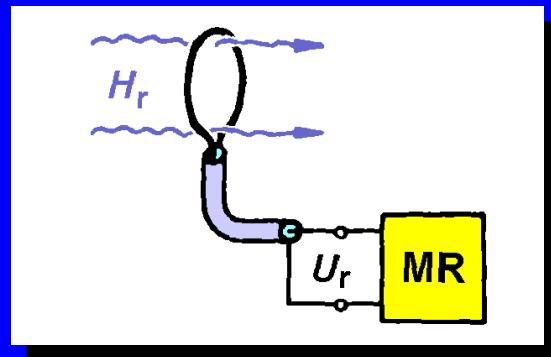
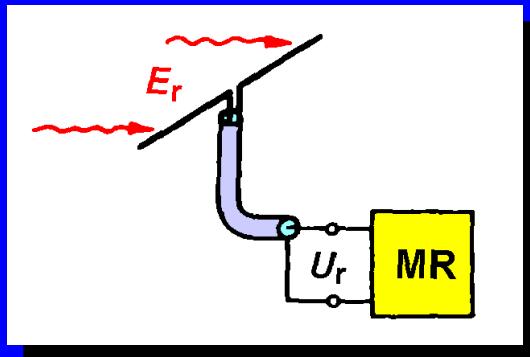
## Speciální měřicí sondy (antény) blízkého elektrického či magnetického pole

jsou malé ruční („**očichávací**“) 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



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

## 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

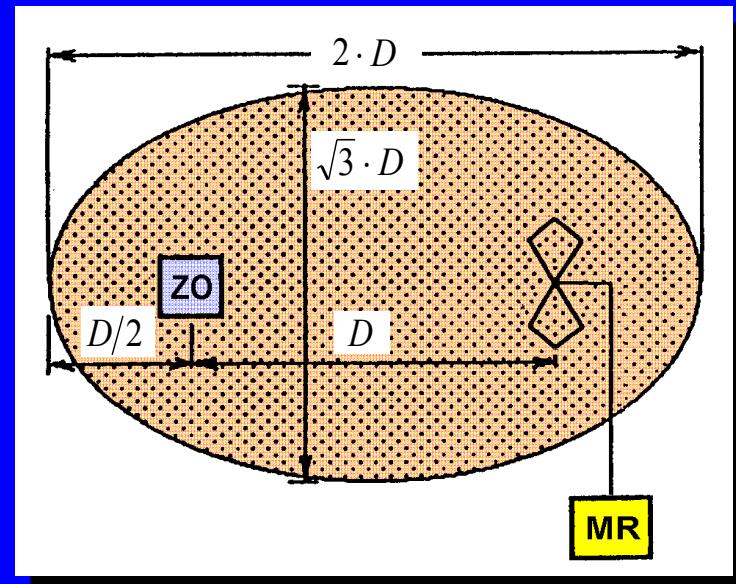
$$AF \text{ [dB/m]} = 20 \cdot \log f \text{ [MHz]} - 29,8 - G_{MA} \text{ [dB]} + L \text{ [dB]}$$

# Anténní měření na volném prostranství

Open Field Test Site – OFTS

Open Area Test Site – OATS

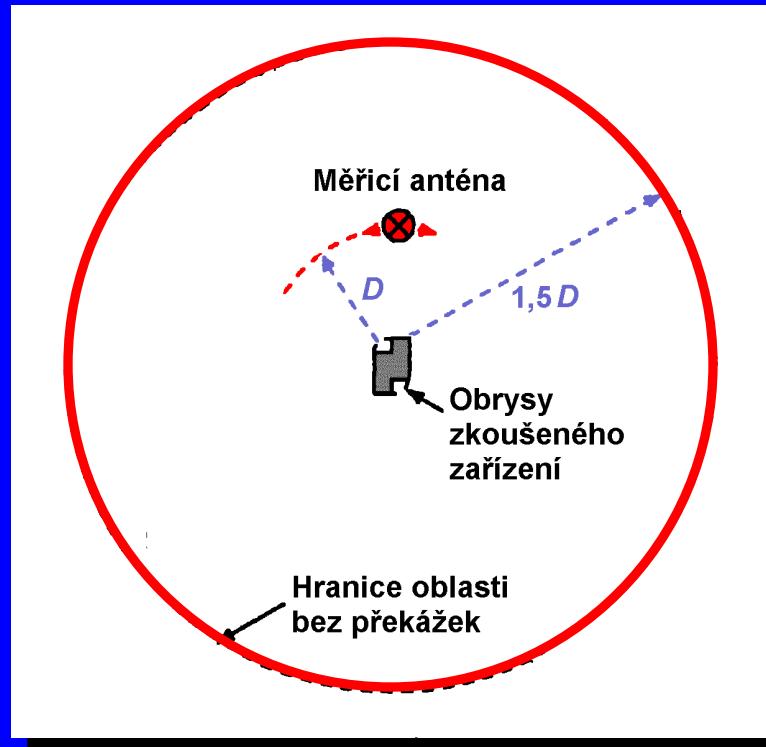
má mít půdorysný tvar elipsy. Její hlavní osa je rovna dvojnásobku vzdálenosti mezi zkoušeným objektem ZO a měřicí anténou, které se nacházejí v jejích ohniscích. Tato **měřicí vzdálenost D** je normou předepsána na hodnoty **3 m, 10 m, 30 m či 100 m**. Zkušební stanoviště musí být vytvořeno na plochém 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

## Kruhový tvar zkušebního stanoviště

je normou **ČSN EN 55016-1-5** doporučen pro velké stacionární zkouše-né 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 polari-zaci antény maximální.



# Měření v elektromagnetických stíněných prostorech

zajistí, aby měření nebylo ovlivněno (zkresleno) **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.**

## Vlastní rezonance stíněné komory

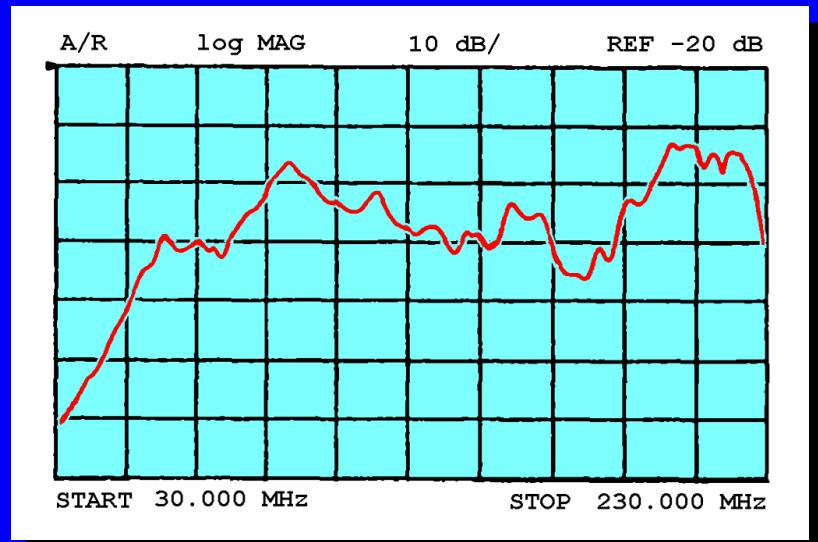
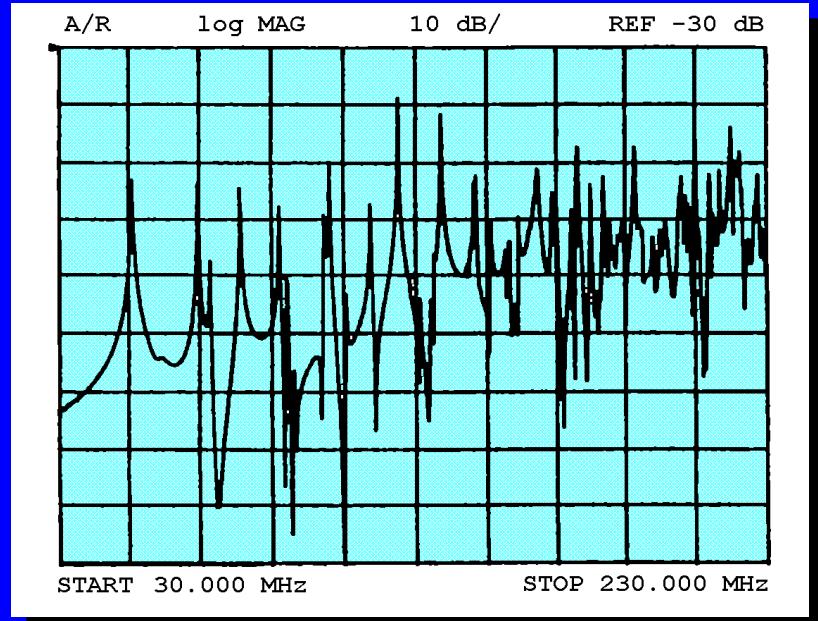
Elektromagneticky stíněná komora tvoří „uzavřený“ dutý kovový kvádr a představuje tzv. **dutinový rezonátor** známý z klasické mikrovlnné techniky. Dutina (komora) se chová jako **rezonanční obvod** s vysokou hodnotou vlastního činitele jakosti a může obecně rezonovat na nekonečně mnoha diskrétních kmitočtech

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \cdot \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{c}\right)^2}$$

Např. ve stíněné hale s rozměry **7 x 6,7 x 17 m** nastává první, tj. nejnižší rezonance na kmitočtu 23,2 MHz s tzv. příčně elektrickým videm  $TE_{101}$  ( $m = 1, n = 0, p = 1$ ). Od tohoto nejnižšího rezonančního kmitočtu až do kmitočtu cca 81,5 MHz pro vid  $TE_{226}$  rezonuje tato hala s dalšími **80** vidy, tj. **na dalších 80 rezonančních kmitočtech**.

Kolísání intenzity pole v daném místě komory je v důsledku vlastních rezonancí komory tak velké, že by znemožnilo objektivní vyhodnocení jakéhokoli měření.

Rezonance lze potlačit snížením činitele jakosti Q stíněné komory. Do místa maxim elektrického pole těchto vidů v komoře umístíme desku či kvádr z absorpcního ztrátového materiálu. Tím se výrazně zvýší ztráty komory pro daný vid na daném rezonančním kmitočtu, takže příslušná rezonance prakticky nevznikne.



# 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 ve volném prostoru, tedy pro zamezení vzniku vnitřních odrazů elektromagnetických vln a vlastní rezonanci stíněného prostoru.

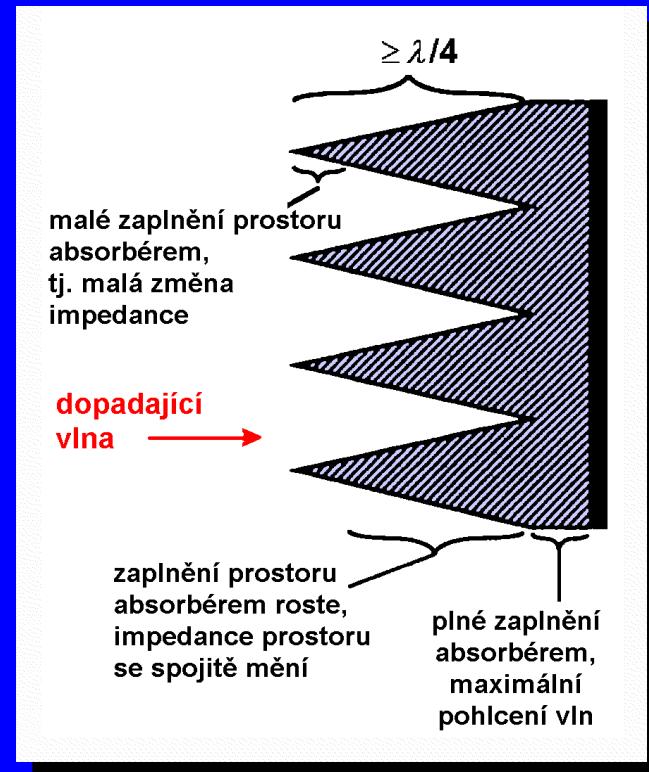
Absorpční materiály pro obložení stěn bezodrazových komor mění energii dopadající vlny na teplo s využitím buď **dielektrických nebo magnetických ztrát**. Většinou se dává přednost dielektrickým ztrátovým materiálům, neboť magnetické materiály jsou příliš těžké a také drahé.

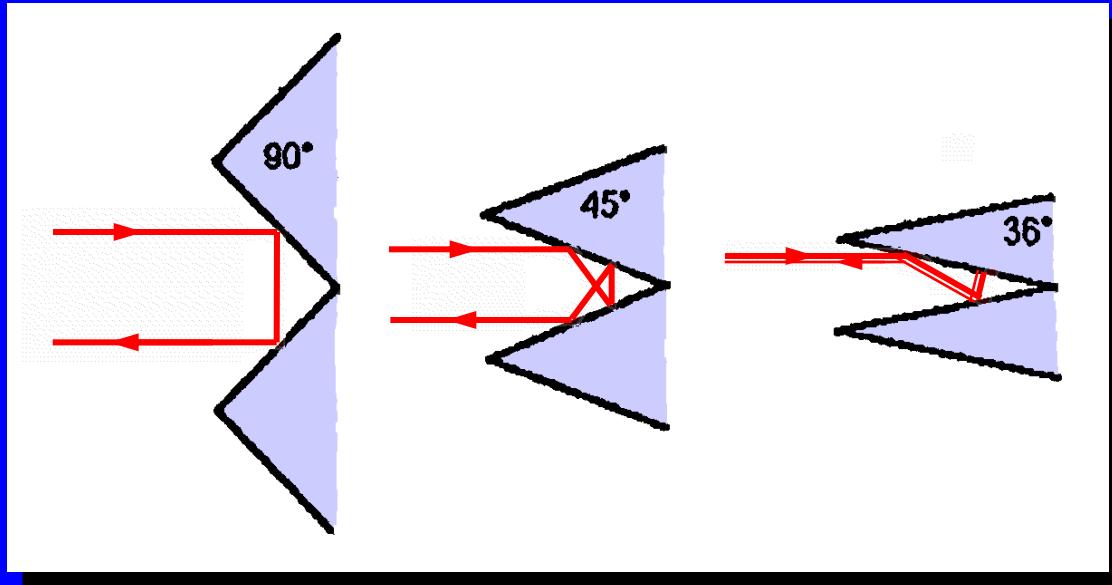
Použitá ztrátová dielektrika mají nízké hodnoty relativní permitivity  $\epsilon_r$ , aby se svými dielektrickými (**nikoli ztrátovými !**) vlastnostmi blížila vlastnostem vzduchu. Používají se proto různé **tvrzené pěnové materiály** z polystyrénu, polypropylénu či polyuretanu, které se sytí elektrovodivými či grafitovými plnidly. Stupněm tohoto sycení 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 pochlcování vysokých intenzit elektrického pole (**až 200 V/m**), příp. vysokých hustot výkonu (**až 100 W/m<sup>2</sup>**). Materiály jsou většinou nevznětlivé, tj. v případě požáru jen doutnají, ale nehoří plamenem.

# Pyramidální absorbéry

- Obkladové absorpční prvky mají tvar **jehlanů** či **kuželů** zhotovených z polystyrenu či polyuretanu s grafitovou impregnací. **Dnes nejpoužívanější.**
- 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 absorbéru.
- Výška jehlanů má být **minimálně  $\lambda/4$**  na nejnižším pracovním kmitočtu. Pro kmitočet 30 MHz tento požadavek znamená výšku **2,5 m**, pro minimální kmitočet 100 MHz je potřebná výška jehlanů stále značná **75 cm**.



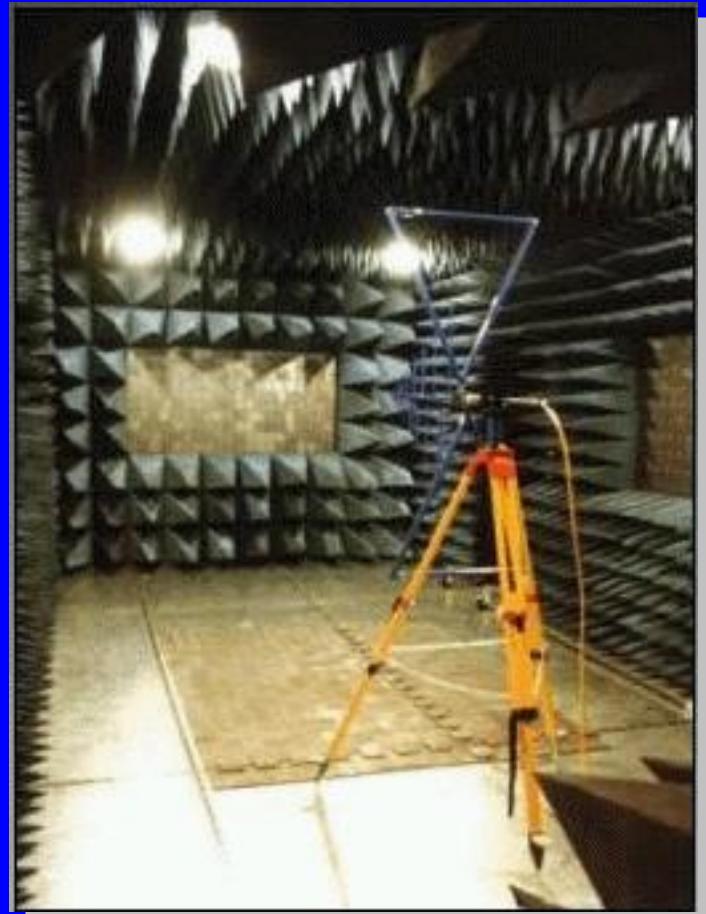


Vlna odražená od povrchu absorbérů se vrací zpět do vnitřního prostoru komory až po několika dalších částečných odrazech. Protože při každém odrazu se část energie vlny absorbuje a jen část se odrazí, je celková energie odražené vlny po vícenásobném odrazu výrazně menší. **Počet dílčích odrazů závisí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

# Bezodrazové absorpční komory (haly)

## Nevýhody absorpčních hal:

- **Velmi vysoká cena** daná zejména pořizovací cenou absorpčních obkladů: cena 1 m<sup>2</sup> širokopásmového pyramidálního obkladového absorpčního materiálu činí **30 ÷ 350 dolarů** podle velikosti jehlanů.
- **Velký potřebný objem** (velké rozlohy) ve srovnání s objemem „pouhých“ stíněných komor či volných prostranství. To je dáno především potřebnou výškou absorpčních jehlanů pro požadované kmitočtové pásmo měření v komoře.

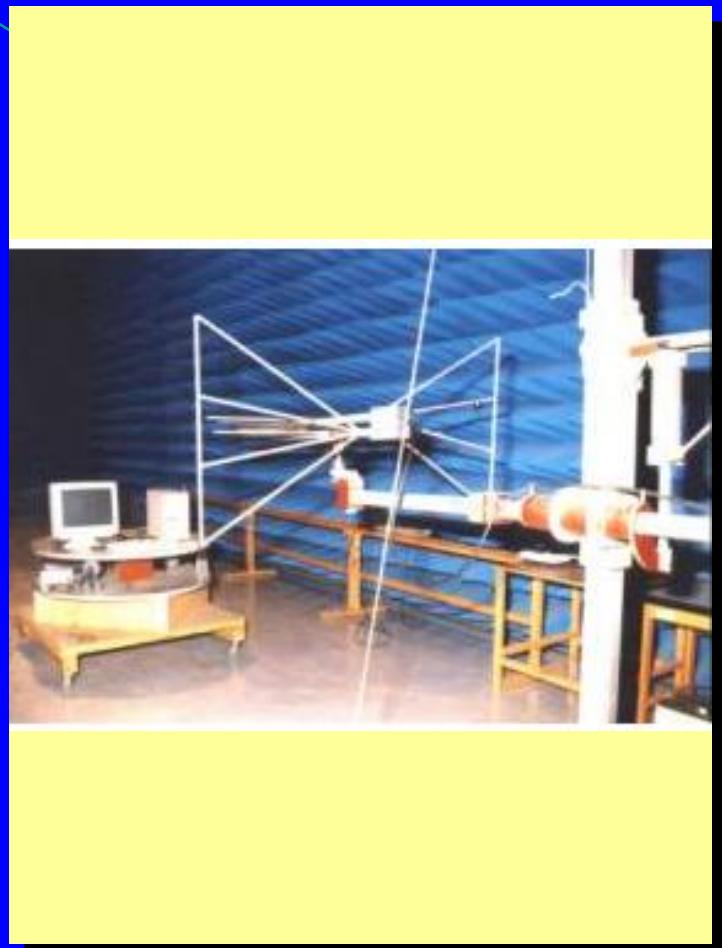


Interiér částečně bezodrazové komory ve VUT v Vyškově

# **Bezodrazové absorpční komory (haly)**



Interiér plně bezodrazové komory Elliott Labs (UK)



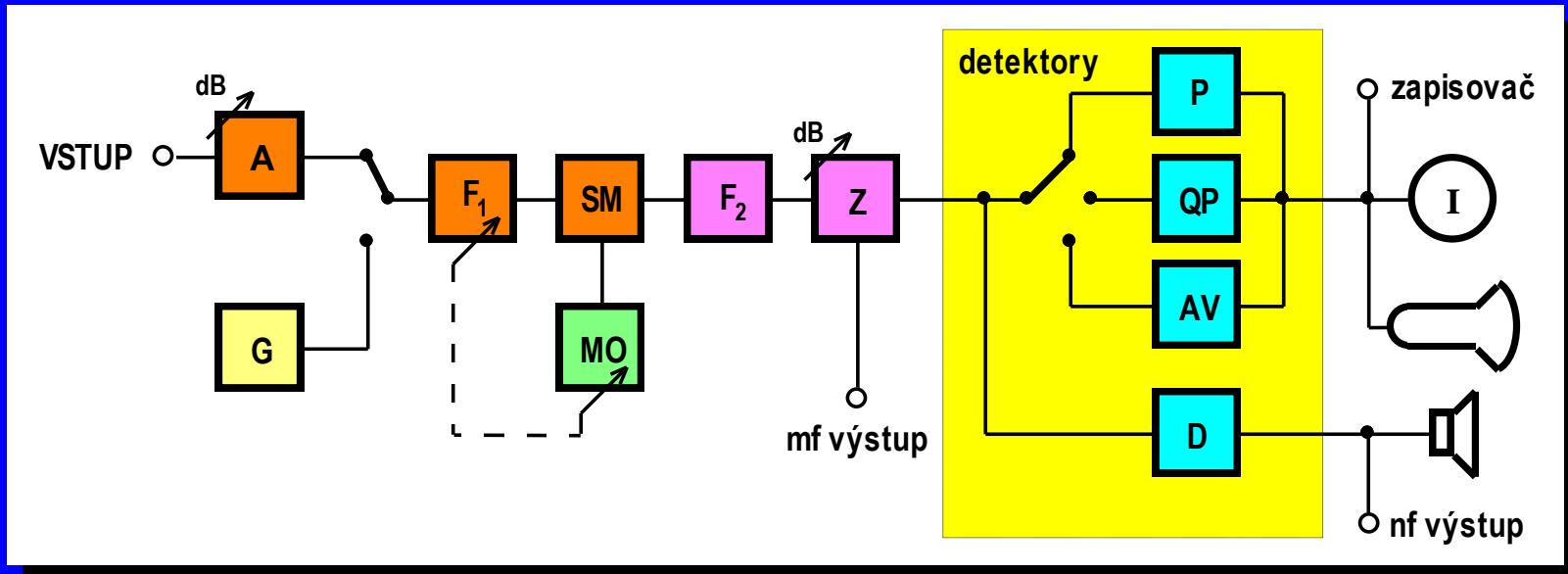
Interiér částečně bezodrazové komory ve VTÚPV ve Vyškově

# Přístroje pro měření rušení

**Měřič rušení** (měřicí přijímač, RFI Meter) je koncipován jako speciální selektivní mikrovoltmetr pracující na superheterodyném principu. Jeho základní vlastnosti jsou určeny normou **ČSN EN 55016-1-1**:

- možnost spojitého přelaďování v širokém kmitočtovém rozsahu minimálně **9 kHz až 1000 MHz (18 GHz)**, 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  
**F<sub>2</sub>** mf. pásmový filtr  
**D** AM/FM demodulátor  
**G** kalibrační generátor

**F<sub>1</sub>** vf. preselektor  
**MO** místní oscilátor  
**Z** vícestupňový mf. zesilovač  
**I** indikátor ( $\mu$ V-metr)

## Druhy měřičů rušení

- Speciální měřicí přijímače
- Spektrální analyzátory



**kombinace obou**

- měřicí přijímač s rozmitáním kmitočtu a přesným zobrazením kmitočtového spektra,
- spektrální analyzátor vybavený vstupním vf. preselektorem pro práci na diskrétních kmitočtech s parametry plnohodnotného měřicího přijímače.



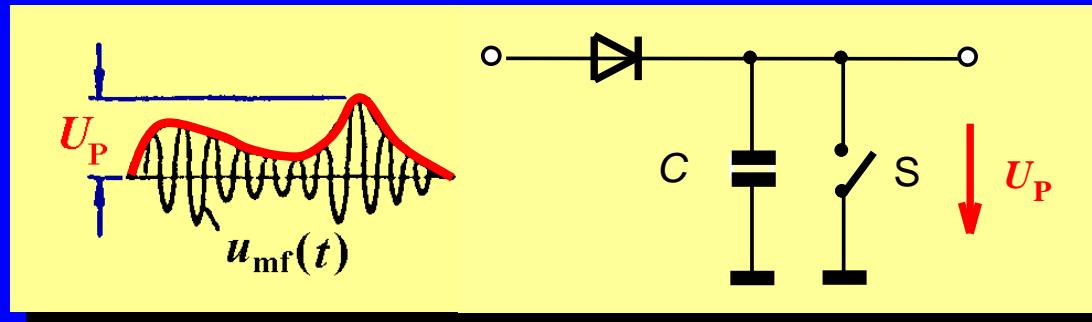
# **Úzkopásmové a širokopásmové rušivé signály**

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

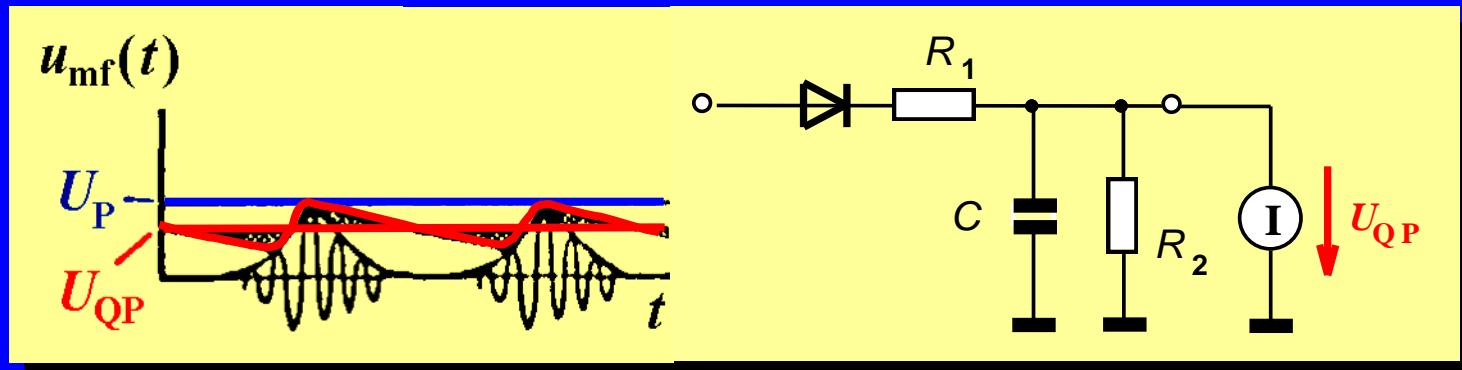
**Šířka pásma měřičů rušení předepsaná normou ČSN EN 55016-1-1**

**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 napěťově-časové ploše obálky vstupního signálu a je určeno jak velikostí, tak i opakovacím kmitočtem vstupních impulzů rušivého napětí.

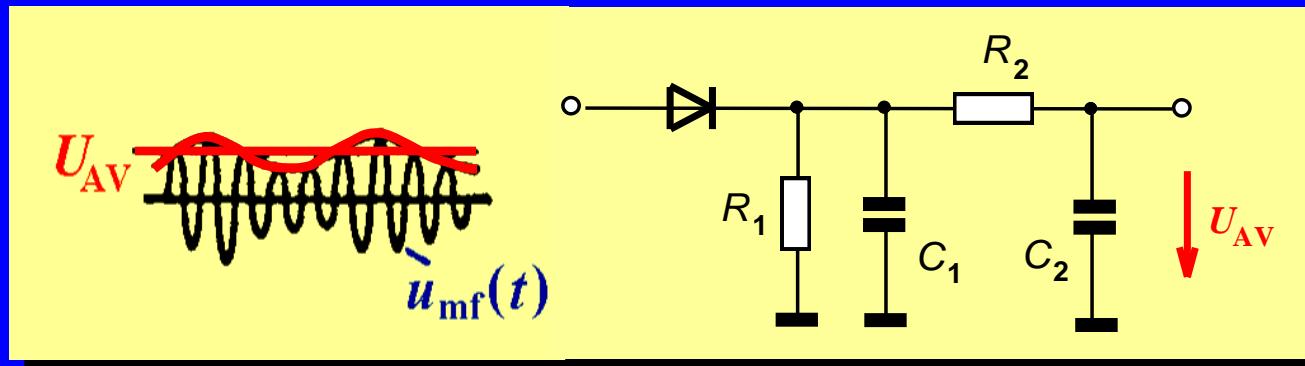


Hodnota kvazi-špičkově detekovaného napětí simuluje vnímání lidským sluchem akustických efektů při impulzním rušení např. rozhlasového přijímače. Velikost výstupního napětí  $U_{QP}$  kvazi-špičkového detektoru je vždy menší než špičková (vrcholová) hodnota  $U_P$  a měření s QP detektorem je „pomalejší“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

## Časové konstanty kvazi-špičkového detektoru dle ČSN EN 55016-1-1

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

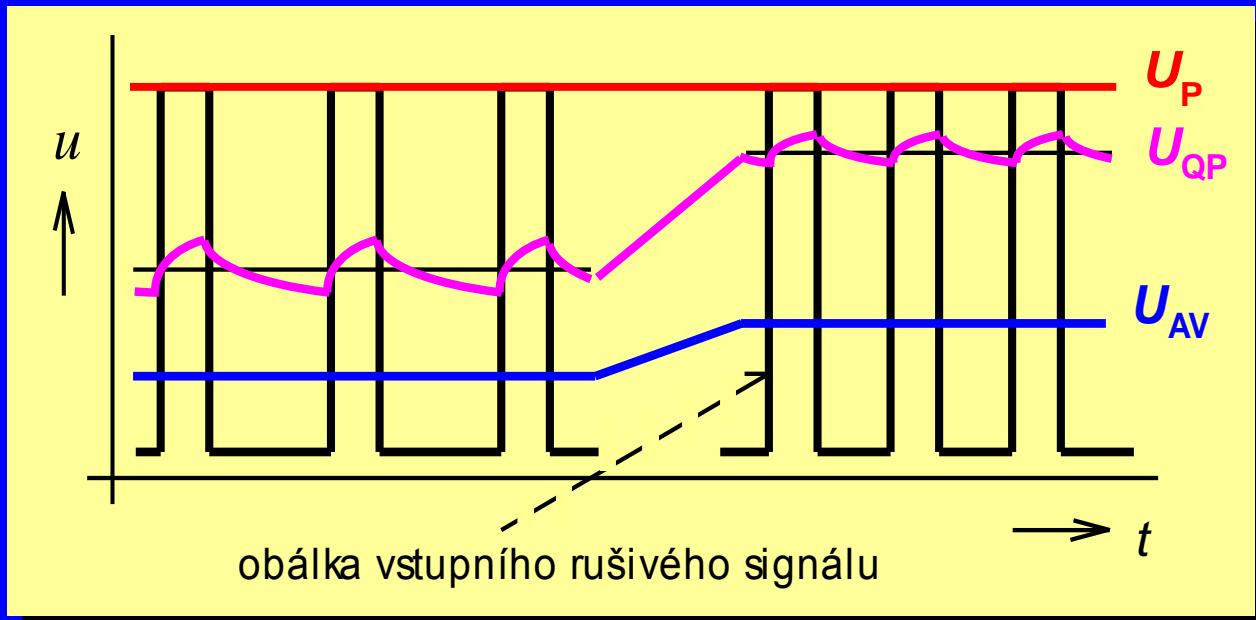
**Detektor střední hodnoty AV** (průměrující detektor, Average detector): výstupní napětí je rovno aritmetické střední hodnotě obálky vstupního (rušivého) mezifrekvenčního napětí  $u_{\text{mf}}(t)$ .



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 EN 55016-1-1 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.**

PMM 8000 PLUS

Name: TextPathpoz\_plus

Date: 11.09.07

Time: 10:18

dB $\mu$ V

30

120

100

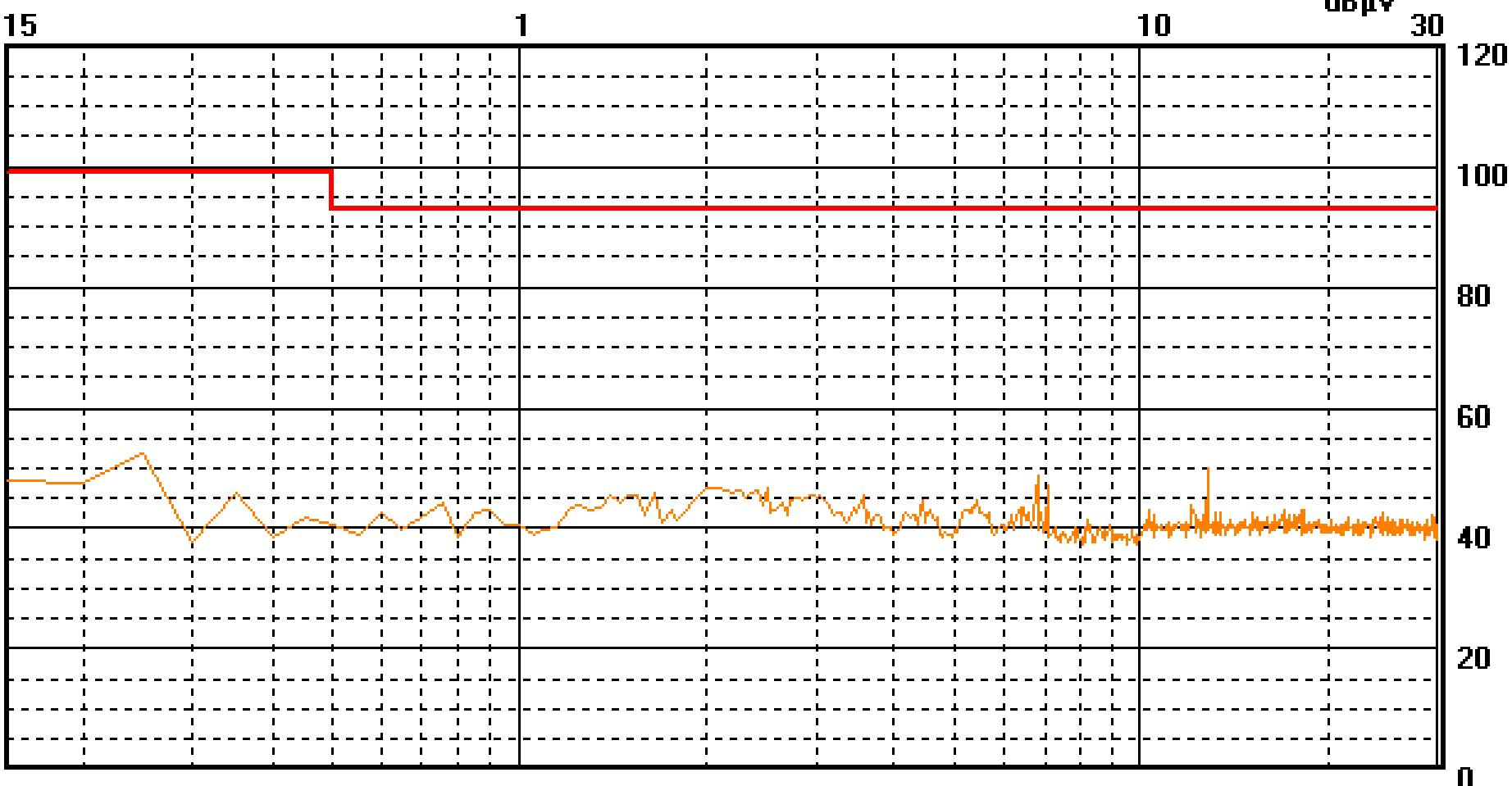
80

60

40

20

0



Limit : 50121-32   Detector: Peak, QPeak

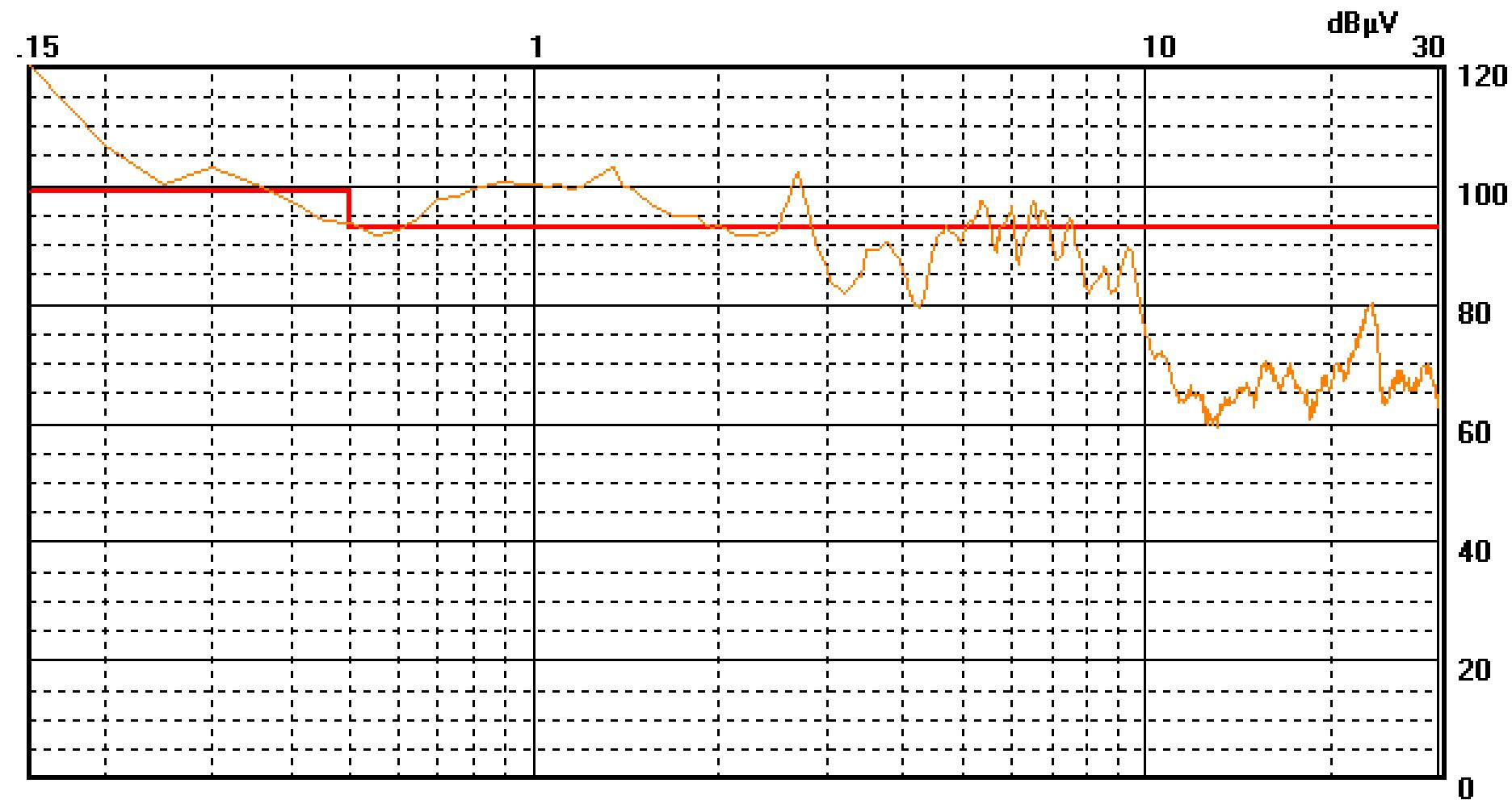
TM 1.1 Elektromagneticke pozadi - plus

PMM 8000 PLUS

Name: TextPathrus\_plus

Date: 11.09.07

Time: 10:34



Limit : 50121-32   Detector: Peak, QPeak

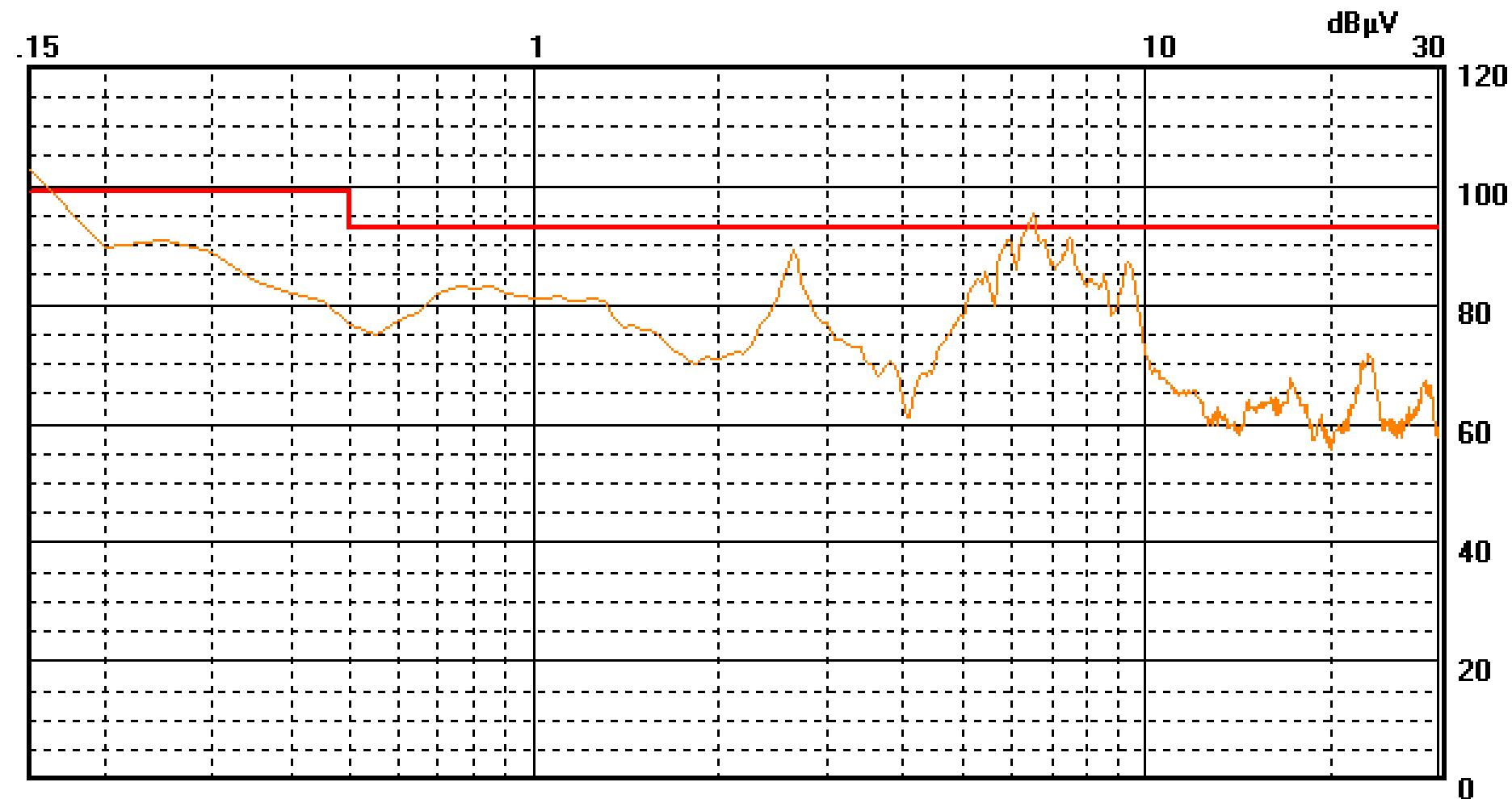
TM 1.1 Elektromagneticke ruseni pri jmenovitem chodu - plus

PMM 8000 PLUS

Name: TextPathplus\_2k

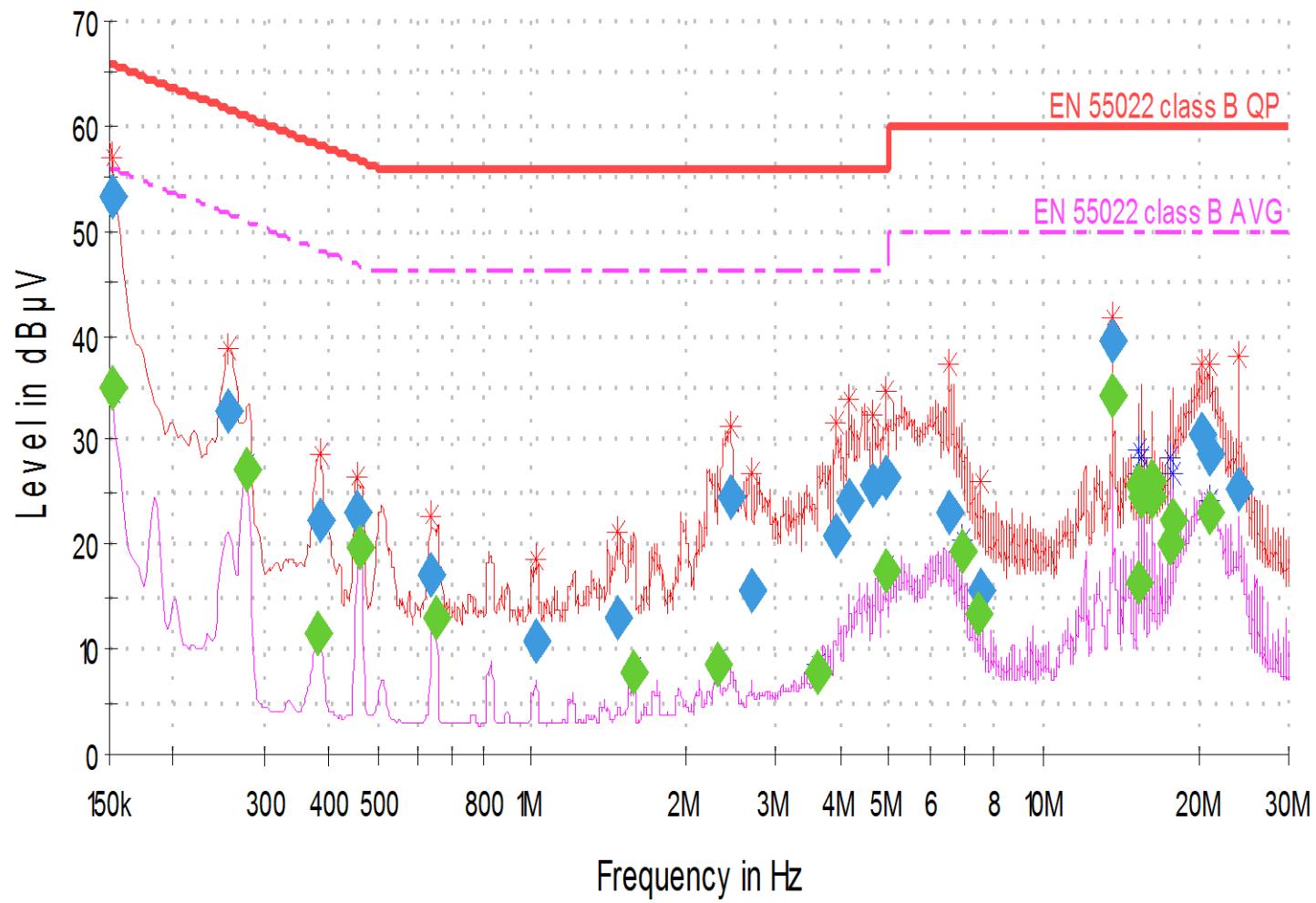
Date: 11.09.07

Time: 12:44



Limit : 50121-32   Detector: Peak, QPeak

TM 1.1 Elektromagneticke ruseni na plus polarite pri dvou kondenzatorech 800 nF.



Frequency	Process State	QuasiPeak	Average	Limit	Margin	Meas. Time	Bandwidth	Line	PE	Corr.
MHz		dBµV	dBµV	dBµV	dB	ms	kHz			dB
0,152249	FINAL	---	34,90	55,88	20,98	1000,0	9,000	L1	GND	10,0
0,152249	FINAL	53,34	---	65,88	12,54	1000,0	9,000	L1	GND	10,0
0,255749	FINAL	32,81	---	61,57	28,76	1000,0	9,000	N	GND	10,0
0,275999	FINAL	---	27,29	50,94	23,65	1000,0	9,000	L1	GND	10,0
0,383999	FINAL	---	11,50	48,19	36,69	1000,0	9,000	N	GND	10,0
0,386249	FINAL	22,44	---	58,14	35,70	1000,0	9,000	N	GND	10,0
0,453749	FINAL	22,90	---	56,81	33,91	1000,0	9,000	L1	GND	10,0
0,460499	FINAL	---	19,59	46,68	27,09	1000,0	9,000	L1	GND	10,0
0,633749	FINAL	17,00	---	56,00	39,00	1000,0	9,000	L1	GND	10,0

