



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



EMC

Měření elektromagnetických emisí

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239

EMI

Elektromagnetická interference (EMI - Electromagnetic Interference): neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů. EMI se tedy zabývá především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest. Kompatibility celého systému se dosahuje technickými opatřeními především na straně zdrojů rušení a jejich přenosových cest. EMI se tak týká hlavně **příčin rušení a jejich odstraňování.**

Zdroje rušení

Přírodní (přirozené) x Umělé (technické)

Funkční x Nefunkční (parazitní)

Spojité x Impulzní

Úzkopásmové x Širokopásmové

Nízkofrekvenční (energetické) x Vysokofrekvenční (radiové)

Šířené vedením x Šířené vyzařováním

Zdroje rušení

Z hlediska zamezení rušení jsou v centru naší pozornosti především umělé či uměle vytvořené interferenční zdroje, tj. zdroje vzniklé lidskou technickou činností (man made noise). Přírodní (přirozené) zdroje rušivých signálů musíme brát jako fakt, jehož vzniku většinou nemůžeme zabránit; zbývá tedy jen předcházet jejich následkům. Takové interferenční zdroje, které jsou základem funkce jednoho systému (např. sdělovací signály vysílačů) a přitom mohou ovlivnit základní funkce jiného systému a být tedy vůči němu rušivé, nazýváme funkční či užitečné. Ostatní zdroje, které při svém provozu produkují parazitní (nežádoucí) rušivá napětí či pole, označujeme jako parazitní či nefunkční. Interferenční zdroje lze rovněž členit podle časového průběhu rušivého signálu. Impulzní rušení má charakter časové posloupnosti jednotlivých impulzů nebo přechodných jevů či dějů. Opakem je tzv. spojitě rušení, které nemůže být považováno za posloupnost oddělených jevů a působí kontinuálně (nepřetržitě) na rušené zařízení. Kombinací spojitého a impulzního rušení je kvazi-impulzní rušení.

Zdroje rušení

- Šum (angl. "noise" N) jsou rušivé signály ovlivňující především tvar užitečného signálu, např. napájecího napětí. Název "šum" používaný v oblasti EMC ve smyslu rušivého signálu má jiný význam než obvykle užívaný pojem šumu, jakožto náhodný signál provázející činnost elektrických a elektronických součástek a obvodů (např. tepelný či výstřelový šum apod.). Šum jakožto rušivý signál má obvykle periodický charakter.
- Impulzy (angl. "spikes" S) jsou rušivé signály impulzního charakteru s velkým poměrem velikosti impulzů k době jejich trvání. Na užitečný signál se tyto impulzy superponují jako kladné či záporné "špičky". Typickou příčinou jejich vzniku jsou zejména spínací pochody při kontaktním spínání elektrických či energetických obvodů a soustav.
- Přechodné jevy (angl. "transients" T) jsou náhodné jednorázové rušivé signály s dobou trvání od několika ms do několika sekund. Typickými příčinami jejich vzniku např. v energetické síti jsou náhlé změny jejího zatížení při zapínání a vypínání spotřebičů velkých výkonů.

Zdroje rušení

Akustické nízkofrekvenční rušení působí v pásmu do 10 kHz, kde negativně ovlivňuje funkci přenosových informačních systémů, jako jsou telefony, rozhlas, měřicí a řídicí zařízení, komunikační a informační soustavy apod. Toto rušení generují prakticky všechny energetické zdroje, dále systémy číslicového přenosu dat, radary apod.

Vysokofrekvenční neboli rádiové rušení leží podle Radiokomunikačního řádu v pásmu od 10 kHz do 400 GHz. Ke zdrojům rádiového rušení patří prakticky všechny existující interferenční zdroje, neboť jejich rušivé signály sahají prakticky vždy až do těchto kmitočtových oblastí.

Šíření EMI

- Vedením – galvanická vazba mezi obvody

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.

- Vazbou – L, C vazba mezi obvody (blízké pole) $l \prec \frac{\lambda}{2\pi}$

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 .

- Vyzařováním – šíření signálu prostorem

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 EMI

Nahrazení obecné vazby v prostředí pomocí přesně definované vazby se známými parametry a přenosovými vlastnostmi

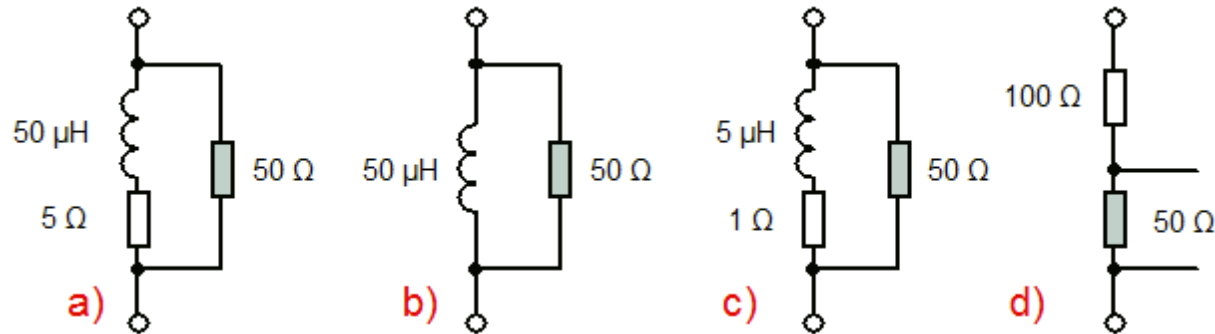
- Umělá síť (LISN) – 9 kHz až 30 MHz
- Napěťová sonda – 9 kHz až 30 MHz
- Proudová sonda – 9 kHz až 100 MHz (1 GHz)
- Absorpční kleště – 30 MHz až 1 GHz
- Sonda blízkého pole – 100 kHz až 500 kHz
- Anténa – 9 kHz až 40 GHz

Umělá síť

(Line Impedance Stabilizing Network)

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

Impedance umělé sítě

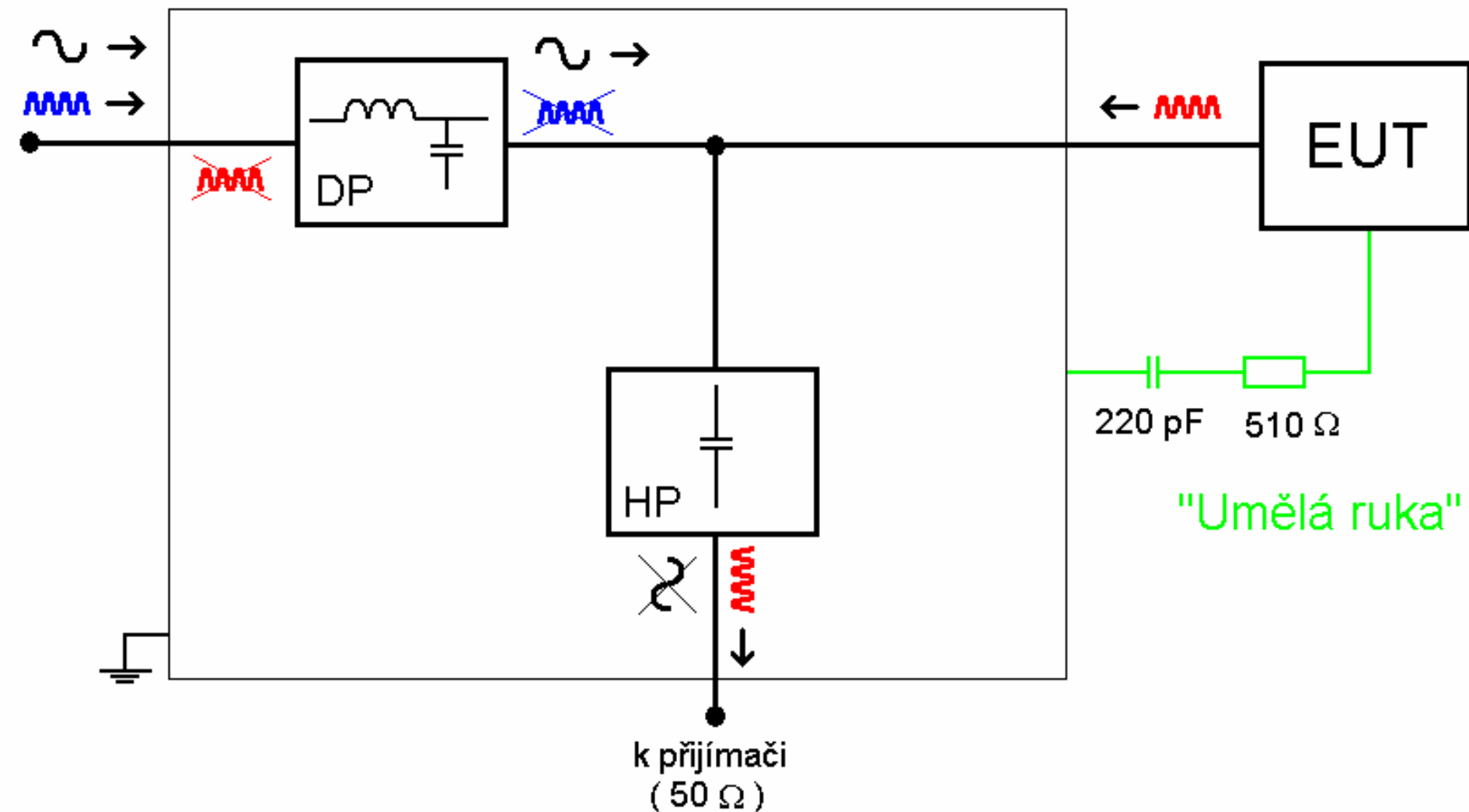


Impedance umělých sítí dle ČSN EN 55016-1-2:

- 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) $150\ \Omega$ pro 150 kHz až 30 MHz (**klasické napájecí sítě**).

LISN

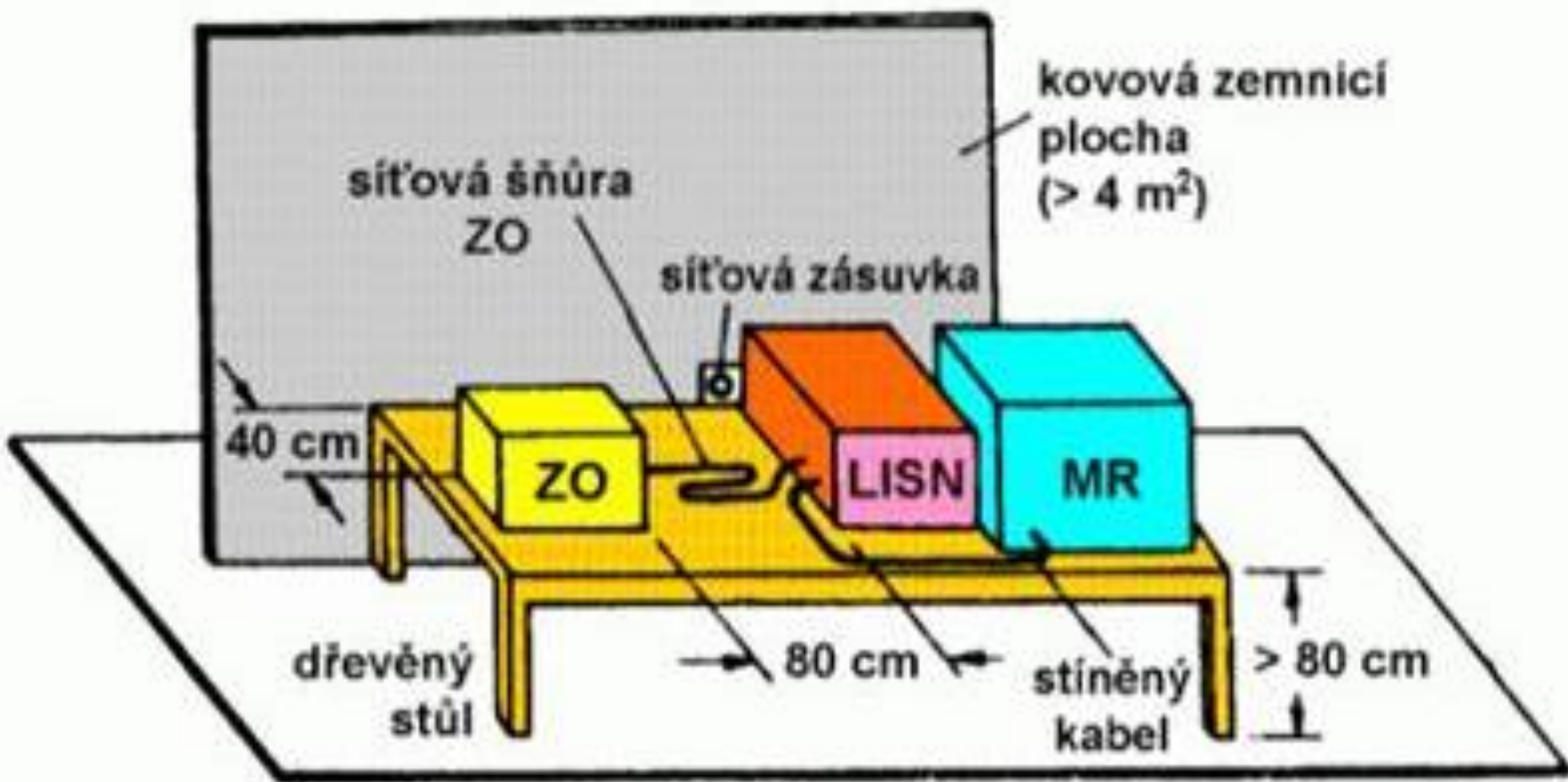
~ 50 Hz
~ ~ ~ vf ze sítě
~ ~ ~ vf z EUT



Obvod umělé ruky

- Obvod, který při měření s umělou sítí simuluje vliv ruky uživatele
- 510 Ω a 220 pF – odpor a kapacita lidského těla
- Pro zkoušená zařízení, která nemají zemněné kovové pouzdro a která jsou při obvyklém použití držena v ruce (nástroje, domácí zařízení, telefonní sluchátka, joysticky, klávesnice)
- Kovová folie obalená okolo držadel, plech položený na klávesnici
- 150 kHz až 30 MHz

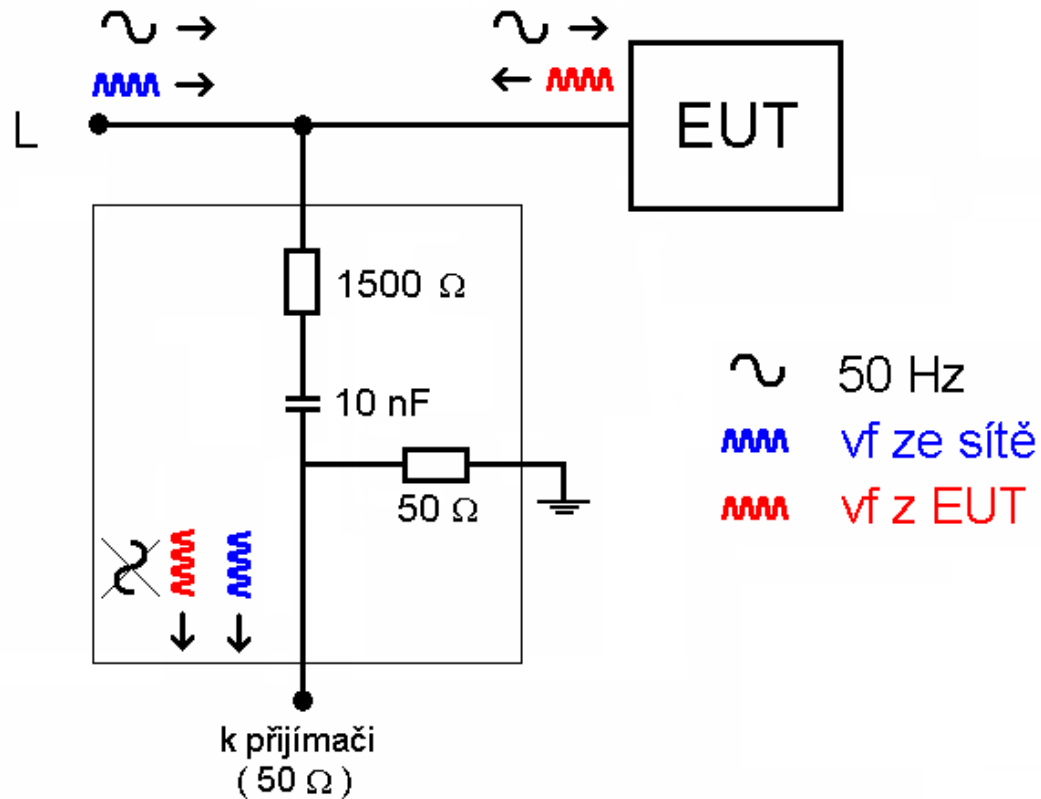
Uspořádání měřicího pracoviště



Uspořádání měřicího pracoviště

- 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.
- 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 zemnímu 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.
- Obdobné zásady platí i pro jiná měření vedených rušivých signálů, např. pomocí napěťových a proudových sond.

Napět'ová sonda



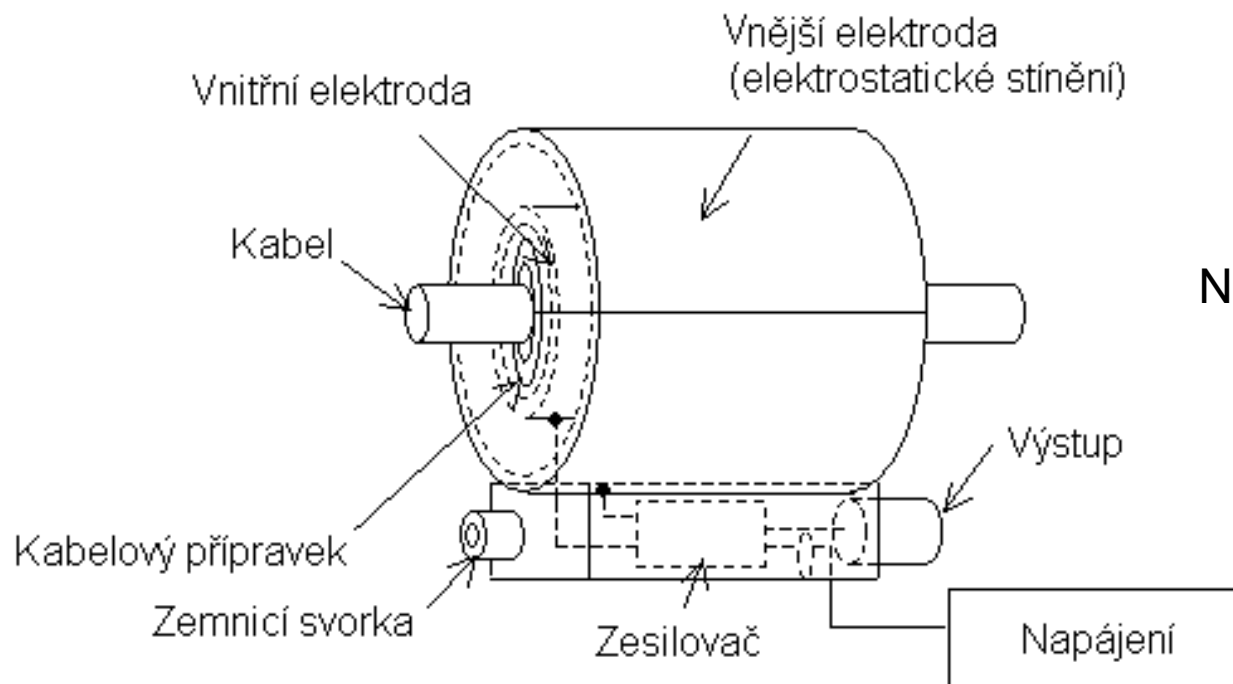
- + vyšší napětí, nezávislá na odběru EUT
- + nezatěžuje obvody
- měření ovlivněno pozadím
- vyšší útlum ($> 40 \text{ dB}_{\mu\text{V}}$)

Napět'ová sonda

Pro měření rušivých napětí na jiných místech než na napájecích svorkách zkoušeného objektu, příp. všude tam, kde nelze k měření použít umělou síť LISN, lze měřit rušivá napětí pomocí napět'ové sondy. Napět'ová sonda umožňuje přímé "připojení" měřicího přijímače (měřiče rušení) do zadaného bodu (místa) zkoumaného zařízení, takže je velmi vhodná zejména při diagnostických měřeních EMC ve stádiu vývoje daného zařízení. Díky své relativně vysoké vstupní impedanci je napět'ová sonda nepostradatelná při měření rušivých napětí v nízkoimpedančních obvodech, které by umělá síť svou příliš nízkou impedancí nepřípustně zatěžovala.

Vzhledem ke značnému zeslabení a ne příliš velkému vstupnímu odporu je sonda na použitelná pro měření rušivých napětí větších než asi 60 dB μ V, a to v obvodech s relativně nízkou impedancí. Pro měření malých rušivých napětí ve vysokoimpedančních obvodech je požadována vstupní kapacita sondy menší než 5 pF a vstupní odpor větší než 1 M Ω . K dosažení těchto parametrů je obvykle nutno užít aktivní napět'ovou sondu osazenou na vstupu tranzistorem FET. Aktivní sondy mají napět'ový zisk nebo jen malé zeslabení, šířku kmitočtového pásma 300 MHz i více, vstupní kapacitu 3 ÷ 5 pF a velký vstupní odpor řádu 10 M Ω .

Kapacitní napěťová sonda



Není nutné přepojování EUT

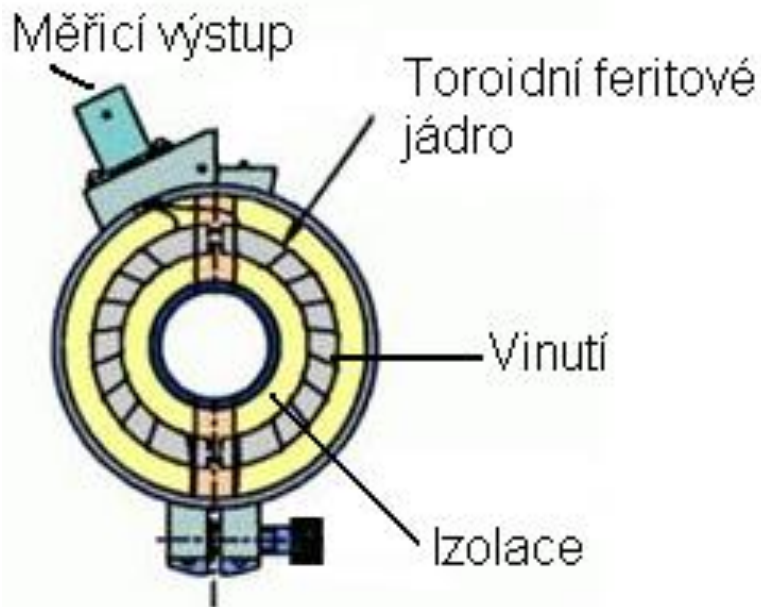
10 kHz až 100 MHz



Proudová sonda

(*proudový transformátor*)

- Měření rušivého elektrického proudu protékajícího vodičem bez nutnosti přerušení.



Pod 100 kHz – jádro z ocelových plechů

100 kHz až 400 MHz – feritové jádro

200 MHz až 1 GHz – vzduchové jádro

Vliv vnějšího H – pokles měřené hodnoty o 40 dB při vyndání vodiče

Vliv vnějšího E – necitlivost na pole <10 V/m

Přenosová impedance – poměr sekundárního napětí ku primárnímu proudu

(přenosová impedance $10\ \Omega$, přijímač s citlivostí $1\ \mu\text{V}$ ->
minimální měřitelný rušivý proud je $0,1\ \mu\text{A}$)

Proudová sonda

(proudový transformátor)

Proudová sonda je zhotovena tak, že obepíná vodič, jehož rušivý proud chceme měřit. Tento vodič představuje (jednozávitové) primární vinutí transformátoru sondy, sekundární vinutí, tj. vlastní proudová sonda, má tvar toroidního transformátoru. Toroid je rozdělen na dvě rozevíratelné poloviny pro možnost vložení zkoumaného vedení (kabelu). Po uzavření kleští sondy (uzavření obou polovin toroidu) kolem měřeného vodiče je jím protékající rušivý (primární) proud převeden na napětí na výstupu sekundárního vinutí sondy. To se měří připojeným měřicím přijímačem (měřičem rušení).

Měření s proudovou sondou

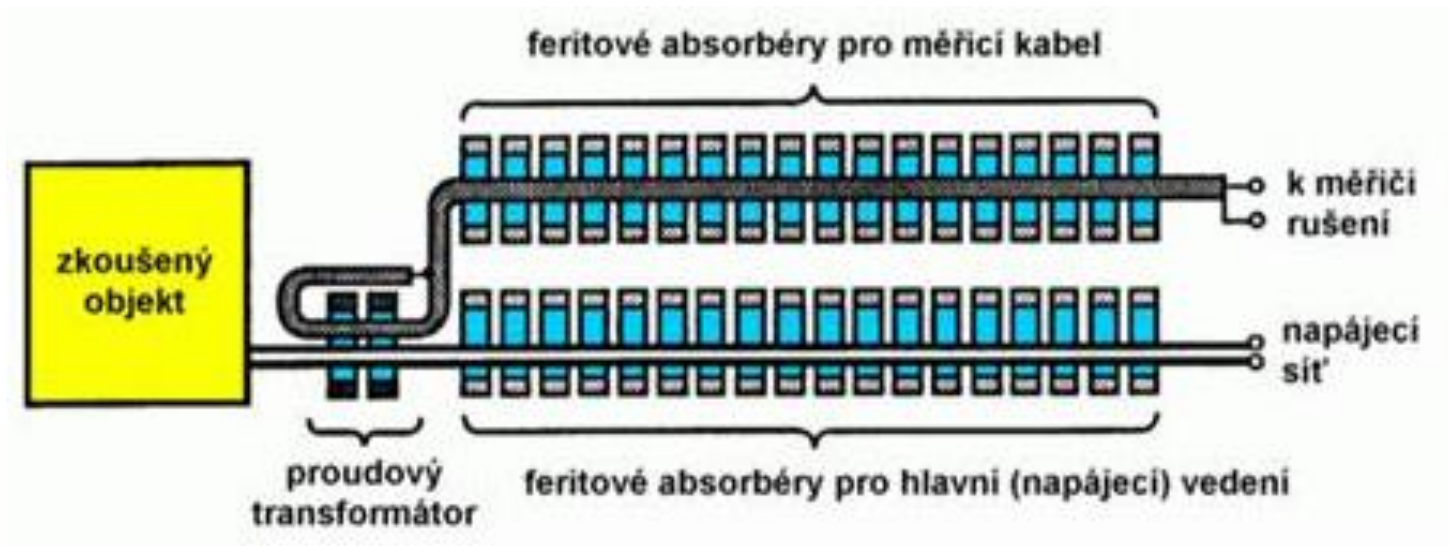
Dalšími charakteristickými parametry proudové sondy jsou zejména:

- 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 měřicímu 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.

Absorpční kleště

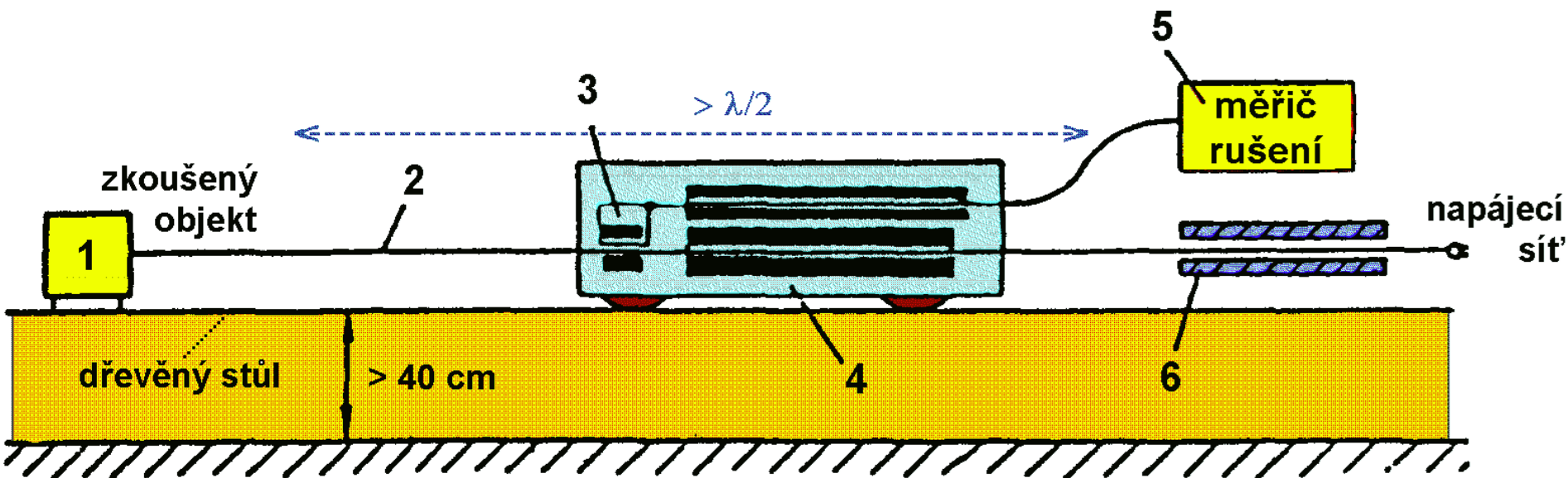
Kombinace širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy (proudového transformátoru) a feritového absorbéru (přízpusobené zátěže)



stabilizátor vysokofrekvenční impedance kabelu

omezení nežádoucího vysokofrekvenčního proudu tekoucího po povrchu kabelu do měřiče rušení

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 dalších absorpčních 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.

Měření vyzařovaného rušení

- EUT vystavené rušivým signálům musí vykazovat určitou míru odolnosti
- zároveň je však potencionálním zdrojem rušivých signálů
- musí tedy také splnit limity maximálního přípustného vyzařování tohoto rušení
- základní měřicí sestava: měřicí přijímač, přijímací anténa
- vlastnosti sestavy jsou v rámci reprodukovatelnosti měření mezinárodně normalizovány
- **ČSN EN 55016-1-1** Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 1-1: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Měřicí přístroje
- **ČSN EN 55016-1-4** Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 1-4: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti – Antény a zkušební stanoviště pro měření rušení šířeného zářením
- **ČSN EN 55016-2-3** Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 2-3: Metody měření rušení a odolnosti - Měření rušení šířeného zářením
- **ČSN EN 61000-6-3** Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 6-3: Kmenové normy - Emise - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu
- **ČSN EN 61000-6-4** Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 6-4: Kmenové normy - Emise - Průmyslové prostředí

Měření vyzařovaného rušení

- Řada evropských harmonizovaných norem EN 55000
- [ČSN EN 55011](#) Průmyslová, vědecká a lékařská zařízení - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření
- [ČSN EN 55032](#) Elektromagnetická kompatibilita multimediálních zařízení - Požadavky na emise
- [ČSN EN 55014-1](#) Elektromagnetická kompatibilita - Požadavky na spotřebiče pro domácnost, elektrické nářadí a podobné přístroje - Část 1: Emise
- [ČSN EN 55015](#) Meze a metody měření charakteristik vysokofrekvenčního rušení způsobeného elektrickými svítilnami a podobným zařízením
- [ČSN EN 50121-3-1](#) Drážní zařízení - Elektromagnetická kompatibilita - Část 3-1: Drážní vozidla - Vlak a celkové vozidlo
- [ČSN EN 50121-3-2](#) Drážní zařízení - Elektromagnetická kompatibilita - Část 3-2: Drážní vozidla - Zařízení

Měření vyzařovaného rušení

- **Meze pro rušení šířené zářením** podle ČSN EN 55032:

Meze rušení šířeného zářením pro zařízení třídy A ITE v měřicí vzdálenosti 3 m	
Kmitočtový rozsah MHz	Kvazivrcholové meze dB(μV/m)
30 až 230	50
230 až 1000	57

Meze rušení šířeného zářením pro zařízení třídy B ITE v měřicí vzdálenosti 3 m	
Kmitočtový rozsah MHz	Kvazivrcholové meze dB(μV/m)
30 až 230	40
230 až 1000	47

- Třída B je určena především pro prostředí domácnosti a může zahrnovat zařízení bez pevného místa použití (například přenosné zařízení napájené z vestavěných baterií), telekomunikační koncové zařízení napájené z telekomunikační sítě, osobní počítače a připojená pomocná zařízení.
- Třída A je kategorie všech ostatních ITE. V návodu k použití musí být uvedeno upozornění: Toto je výrobek třídy A. V domácím prostředí může tento výrobek způsobovat vysokofrekvenční interferenci. V takovém případě se může vyžadovat, aby uživatel přijal příslušná opatření.

Měření vyzařovaného rušení

- **Meze pro rušení šířené zářením** podle ČSN EN 55032:

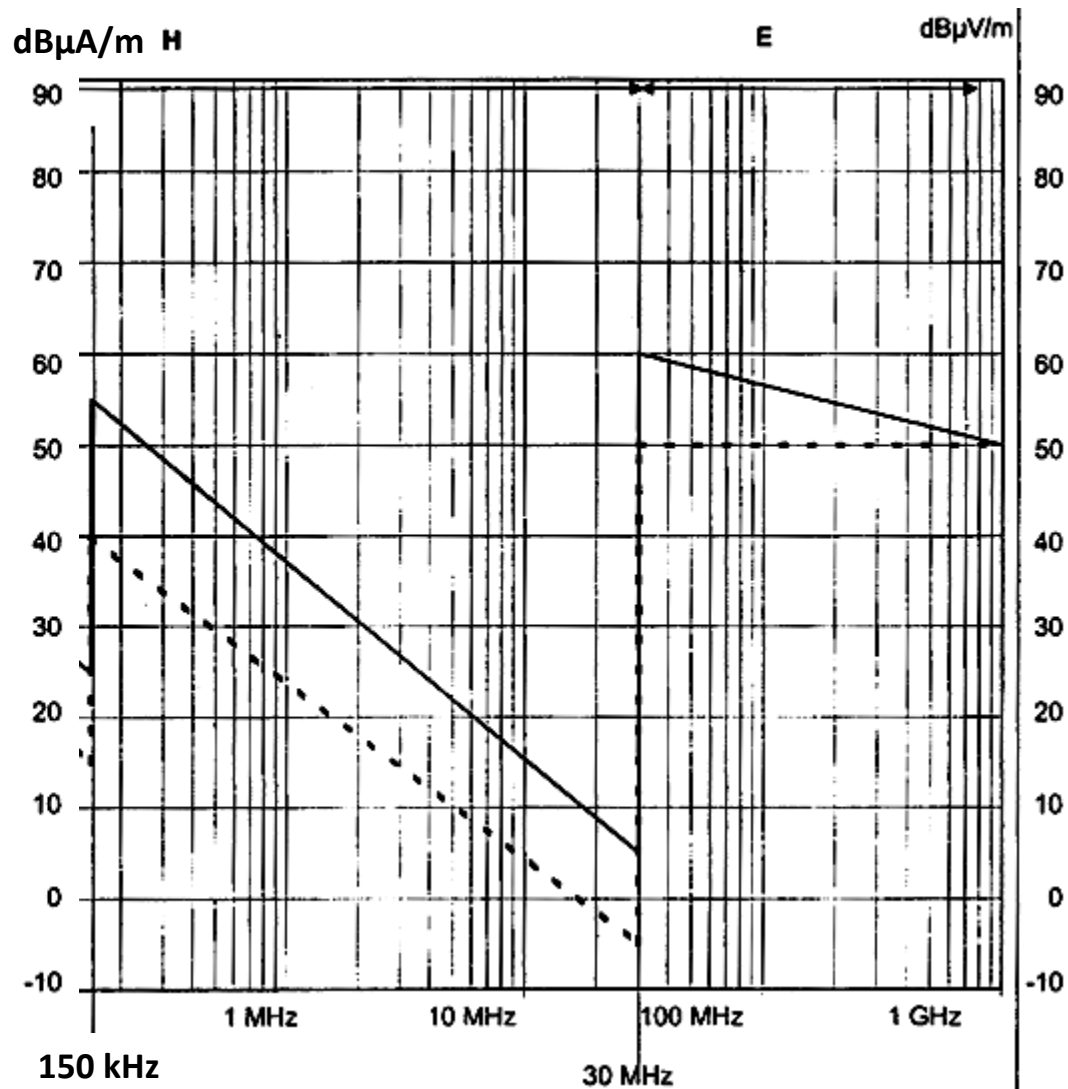
Meze rušení šířeného zářením pro zařízení třídy A ITE v měřicí vzdálenosti 3 m		
Kmitočtový rozsah GHz	Střední hodnota dB(μV/m)	Vrcholová hodnota dB(μV/m)
1 až 3	56	76
3 až 6	60	80

Meze rušení šířeného zářením pro zařízení třídy B ITE v měřicí vzdálenosti 3 m		
Kmitočtový rozsah GHz	Střední hodnota dB(μV/m)	Vrcholová hodnota dB(μV/m)
1 až 3	50	70
3 až 6	54	74

- Nejvyšší kmitočet interního zdroje EUT < 108 MHz – měří se do 1 GHz
- Nejvyšší kmitočet interního zdroje EUT > 108 MHz a < 500 MHz – měří se do 2 GHz
- Nejvyšší kmitočet interního zdroje EUT > 500 MHz a < 1 GHz – měří se do 5 GHz
- Nejvyšší kmitočet interního zdroje EUT > 1 GHz – měří se do pětinasobku tohoto kmitočtu nebo maximálně do 6 GHz

Měření vyzařovaného rušení

- mezní hodnoty emise pro stacionární zkoušku (kvazivrcholové hodnoty, měřicí vzdálenost 10 m) podle ČSN EN 50121-3-1



---- tramvaje, trolejbusy

___ jiná drážní vozidla

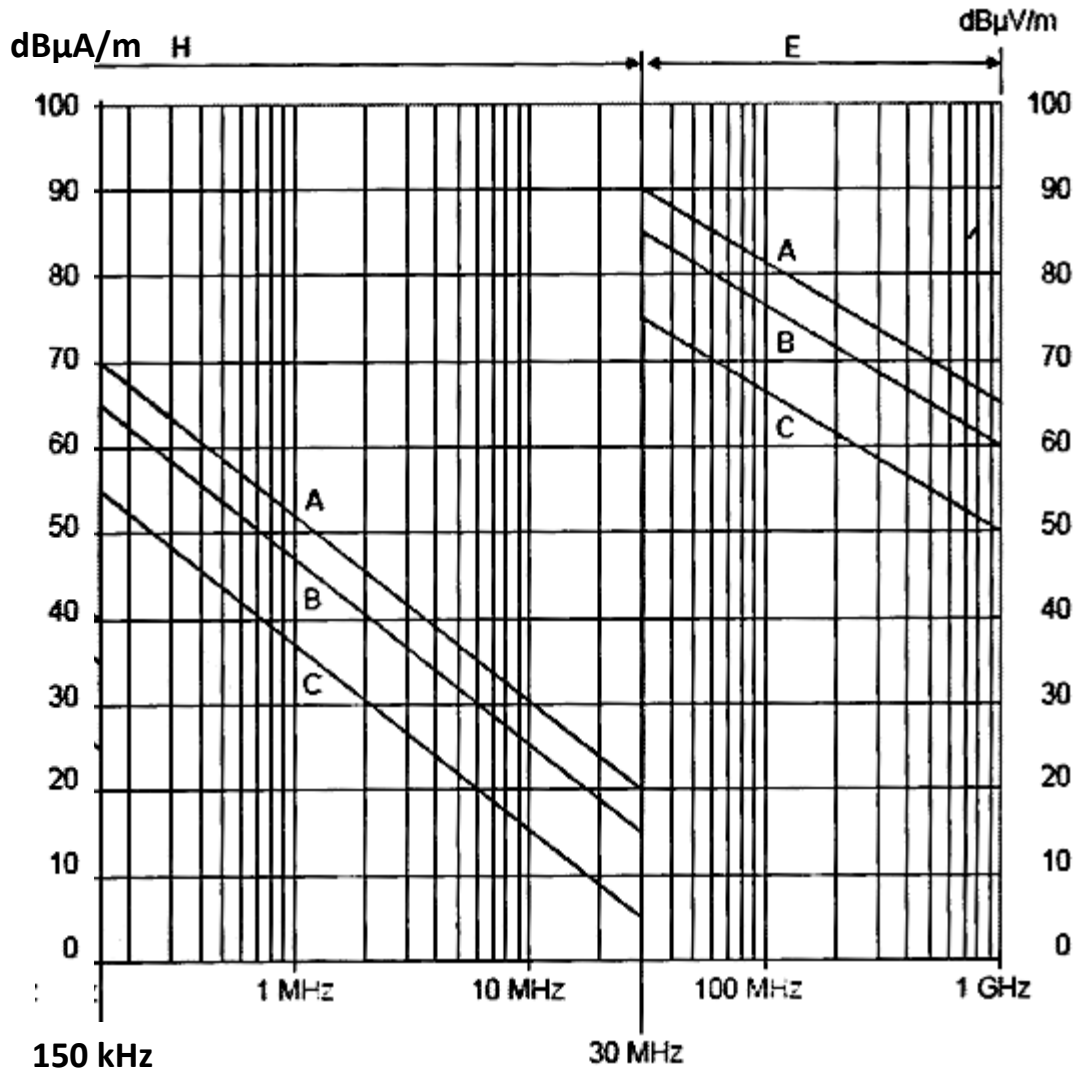
Šířky mezifrekvenčního pásma:

150 kHz až 30 MHz...9 kHz

nad 30 MHz.....120 kHz

Měření vyzařovaného rušení

- mezní hodnoty emise pro zkoušky při pomalé jízdě (vrcholové hodnoty, měřicí vzdálenost 10 m) podle ČSN EN 50121-3-1



A...25 kV AC

B...15 kV AC, 3 kV DC a 1,5 kV DC

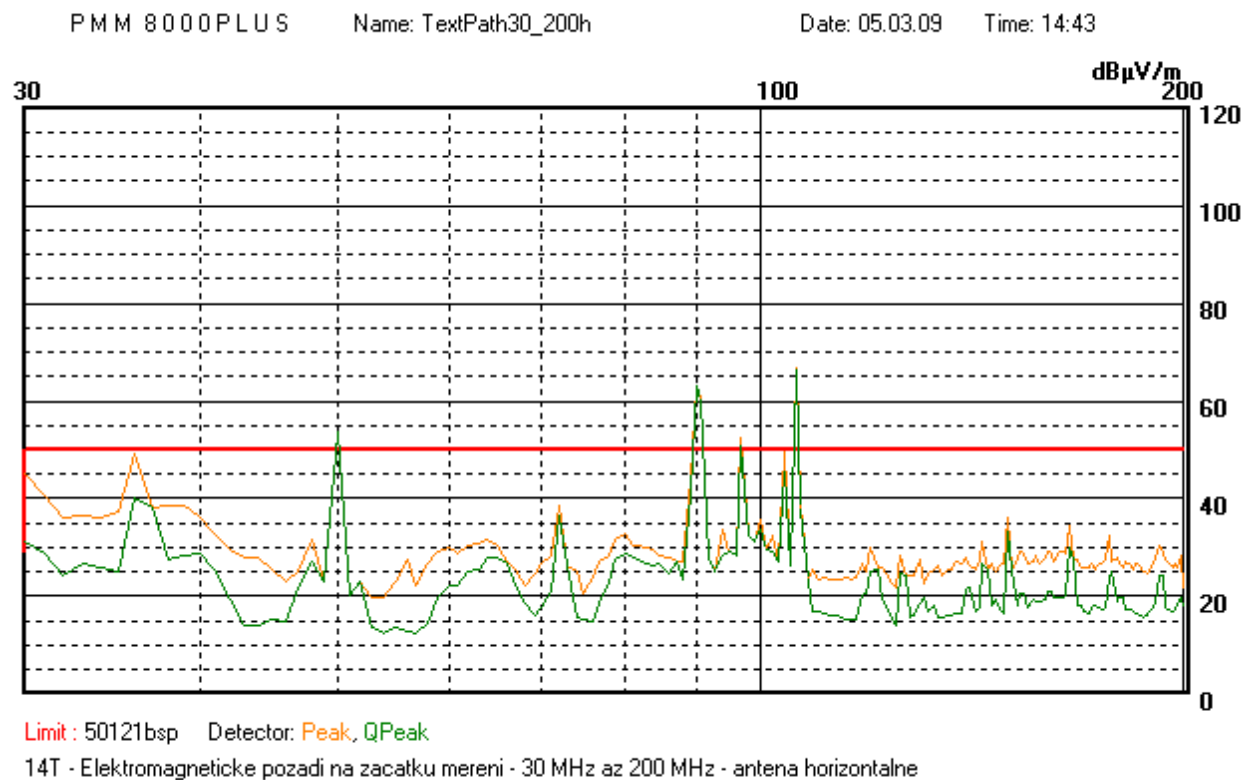
C...750 V a 600 V DC včetně tramvají a trolejbusů používaných v městských drahách

Pro lokomotivy se vznětovým motorem, diesel-elektrické lokomotivy a vícevozové jednotky platí C.

Šířky mezifrekvenčního pásma:

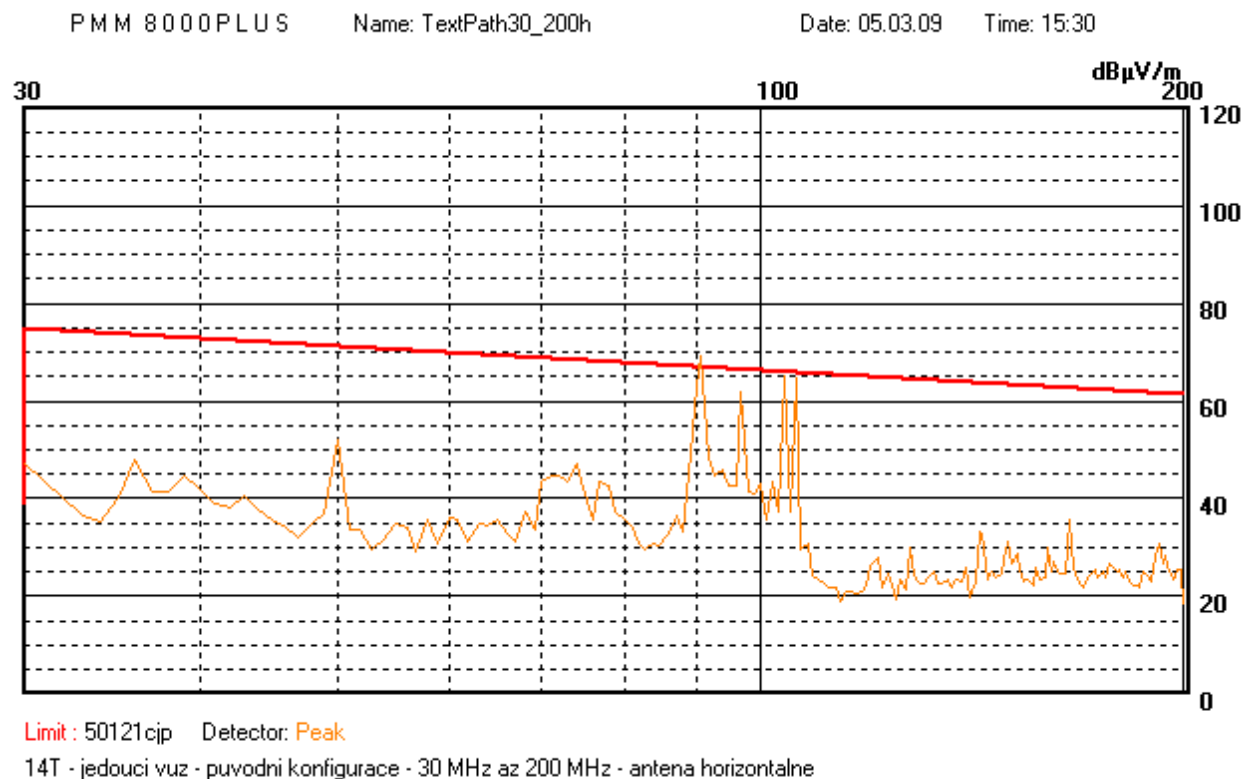
150 kHz až 30 MHz...9 nebo 10 kHz
nad 30 MHz.....100 nebo 120 kHz

Měření vyzařovaného rušení



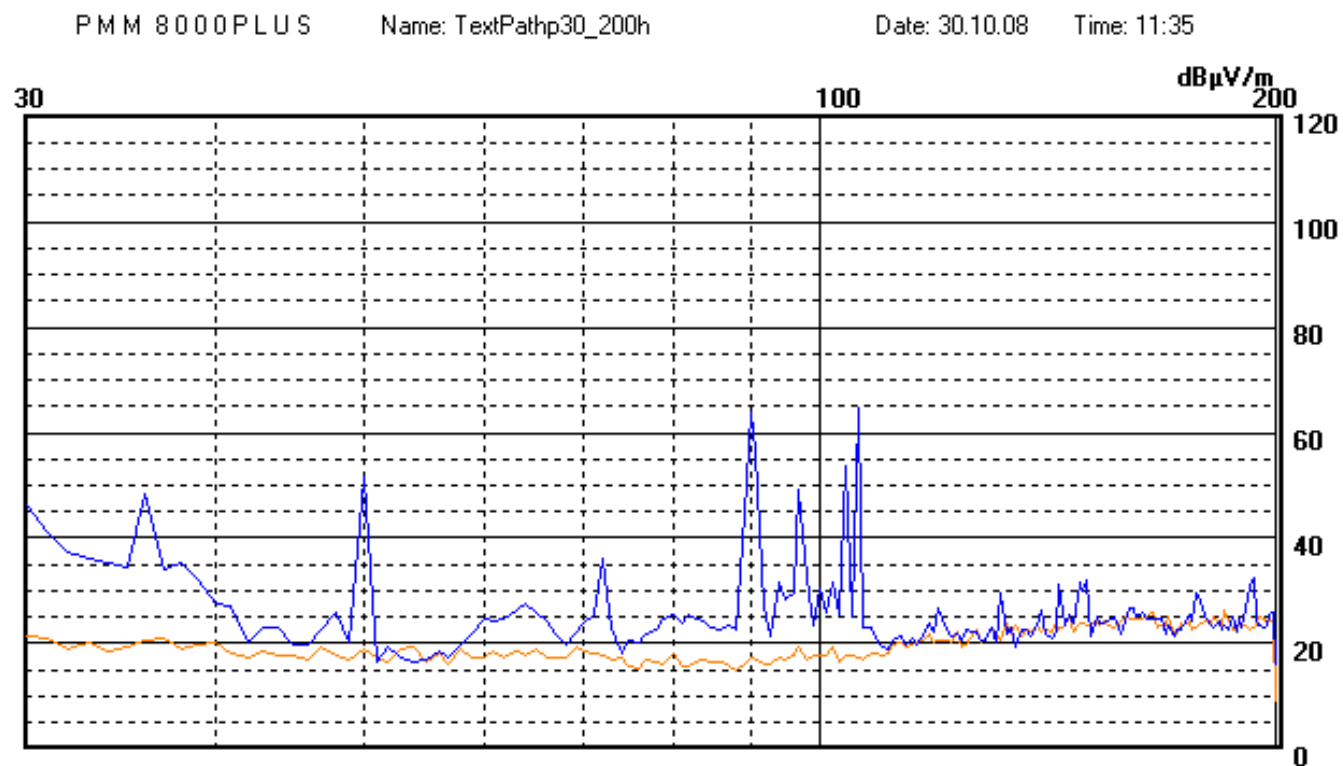
Elektromagnetické pozadí volného prostřanství, vrcholový a kvazivrcholový detektor.

Měření vyzařovaného rušení



Vysokofrekvenční rušivý signál v režimu jízda, vrcholový detektor.

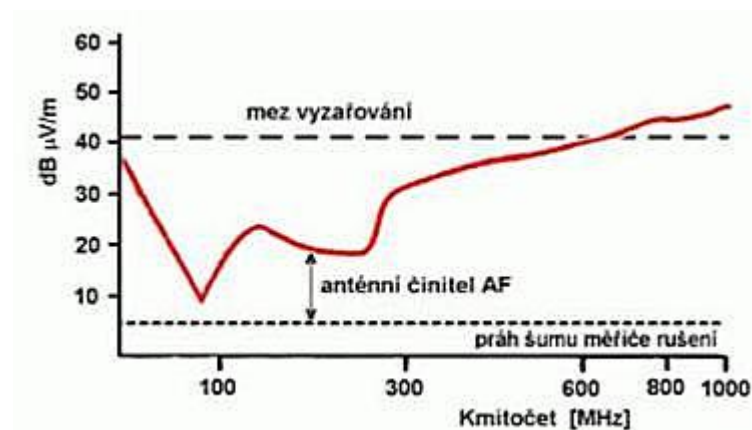
Měření vyzařovaného rušení



Porovnání pozadí v bezodrazové komoře (oranžový průběh) a ve volném prostoru (modrý průběh)

Měření vyzařovaného rušení

- **Citlivost měření konduktivních rušivých signálů** závisí na citlivosti měřicího přijímače a na útlumových parametrech vstupní (snímací) sondy připojené k jeho vstupu (vložený útlum umělé sítě LISN, napěťové sondy, absorpčních kleští, přenosová admitance proudové sondy).
- **Při měřeních vyzařovaných emisí** má stejný význam anténní činitel **AF** použité antény, kterým se měřené napětí převádí na hodnoty intenzity rušivého elektrického či magnetického pole.
- Při měření je velikost anténního faktoru automaticky připočítávána (charakteristika antény je zadána do softwaru) k měřenému napětí, takže měřič rušení udává na svém výstupu přímo měřenou veličinu rušivého signálu (intenzitu elektrického pole v dB μ V/m).
- Velikost anténního faktoru měřicí antény tak přímo limituje minimálně měřitelnou velikost signálu.



Měření vyzařovaného rušení

- **Měřicí anténa:**
- přehled měřicích antén pro systémy EMI

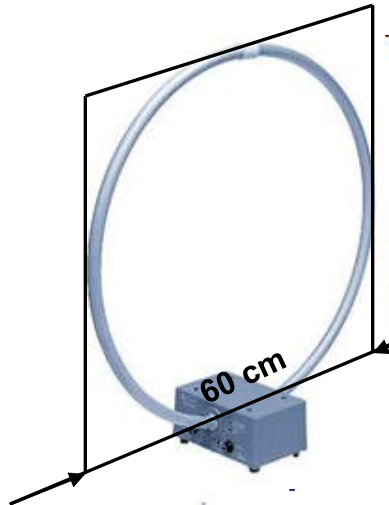
www.ets-lindgren.com

www.frankonia-emc.com

Typ antény	Rozsah kmitočtů	Měřená složka pole
aktivní elektricky stíněná smyčková anténa	9 kHz – 30 MHz	H
aktivní prutová anténa (monopól)	9 kHz – 30 MHz	E
laděné symetrické dipóly	30 MHz – 1000 MHz	E
bikónická anténa	20 MHz – 300 MHz	E
logaritmicko – periodická anténa	200 MHz – 3000 MHz	E
kónická logaritmická anténa	200 MHz – 3000 MHz	E
složená širokopásmová anténa	30 MHz – 2000 MHz	E
trychtýřové antény	1 GHz – 40 GHz	E, H

Měření vyzařovaného rušení

▪ aktivní elektricky stíněná smyčková anténa



Ve frekvenčním rozsahu 9 kHz až 150 kHz je většina rušení způsobena magnetickou složkou pole → v podmínkách vzdáleného pole (vzdálenost antény od zdroje rušení je $> \lambda/2\pi$) je poměr E a H dán impedancí **volného prostoru**

$$Z_0 = 120\pi \text{ (377 } \Omega\text{):}$$

$$E = \mu \mu_0 H v, H = \varepsilon \varepsilon_0 E v$$

$$\varepsilon = 1, \mu = 1$$

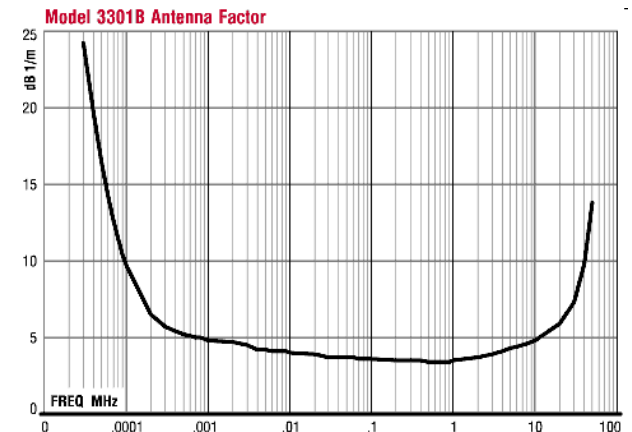
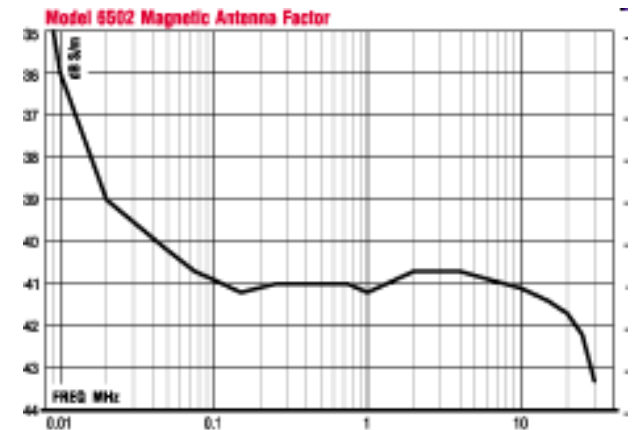
$$c = 1/\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}, E = \mu_0 H c$$

$$Z_0 = E / H = c \mu_0 = 3 \cdot 10^8 \times 4\pi \cdot 10^{-7} = 120\pi$$

$$H \text{ (}\mu\text{A/m)} = E \text{ (}\mu\text{V/m)} / 377 \Omega$$

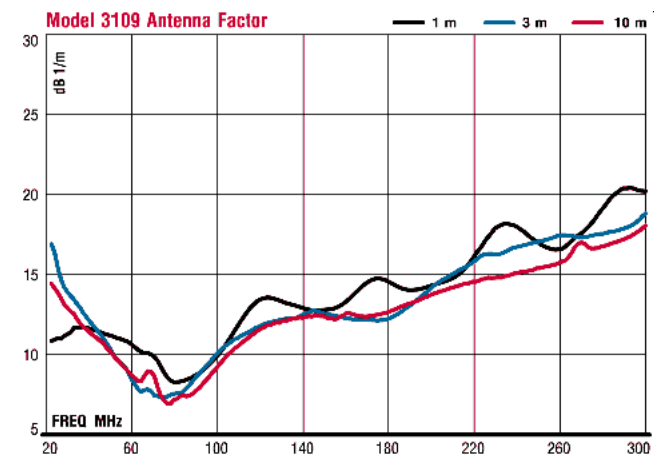
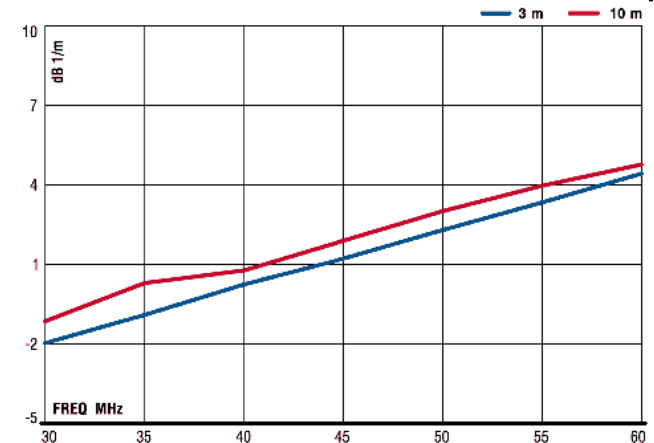
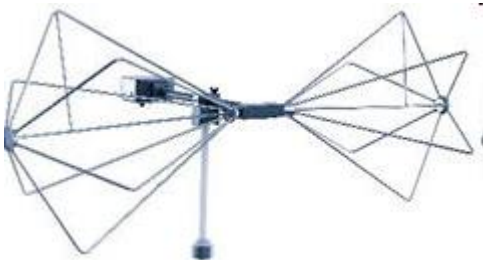
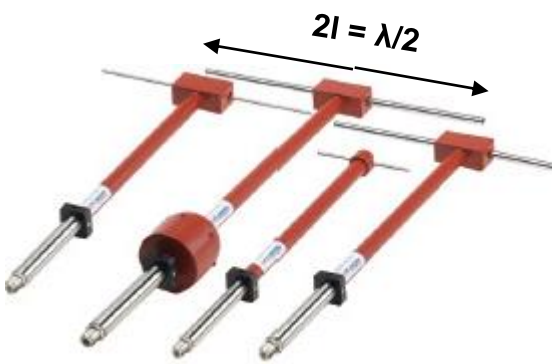
$$H \text{ dB}(\mu\text{A/m)} = E \text{ dB}(\mu\text{V/m)} - 51,5 \text{ dB}(\Omega)$$

▪ aktivní prutová anténa



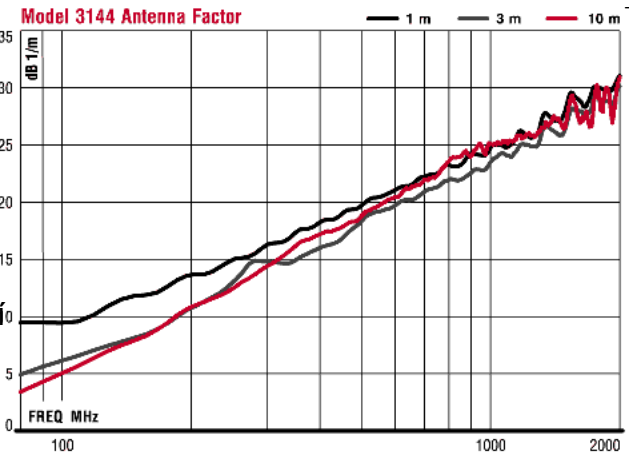
Měření vyzařovaného rušení

- laděné symetrické dipóly (v pásmu 30 - 80 MHz) nastavené na rezonanční délku odpovídající kmitočtu 80 MHz. Ve vyšších pásmech až do 1000 MHz slouží rezonanční půlvlnné dipóly jako přesné referenční, příp. kalibrační antény, pro běžná provozní měření však nejsou příliš vhodné z důvodu jejich pracnějšího nastavení, délka ramen dipólu musí být naladěna vždy na příslušný měřicí kmitočet, dipól musí být přizpůsoben k napáječi pomocí vhodného přizpůsobovacího obvodu a jeho připojení ke vstupu měřiče rušení musí být provedeno prostřednictvím symetrizačního obvodu (balunu). V důsledku nepřizpůsobení přechodu mezi symetrickou anténou a jejím kabelem vznikají v kabelu přijímací antény nesymetrické proudy, které vytvářejí elektromagnetické pole a ovlivňují měření. Symetrie se kontroluje u dipólů a bikónických antén.
- bikónická anténa (širokopásmový dipól, $l \ll \lambda$)

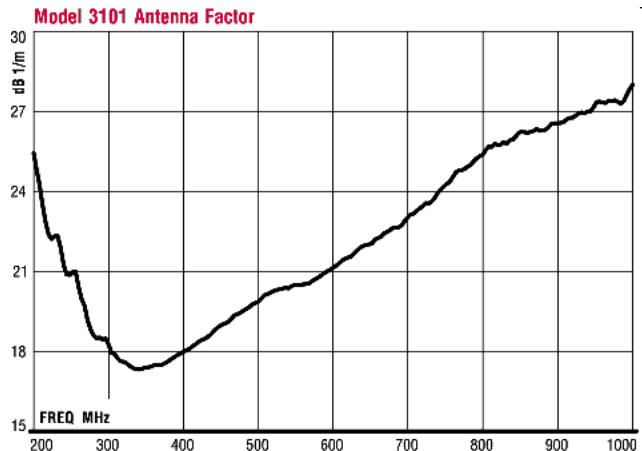


Měření vyzařovaného rušení

- **logaritmicko – periodická anténa** je tvořena řadou protifázově napájených rezonančních monopólů, jejichž délky a vzájemné vzdálenosti jsou pro sousední prvky v pevném poměru daném podílem logaritmů jejich rezonančních kmitočtů → tvar vyzařovacího diagramu a hodnota vstupní impedance je ve většině pracovního pásma konstantní, reagují na elektrickou složku rušivého elektromagnetického pole s lineární polarizací (horizontální nebo vertikální).

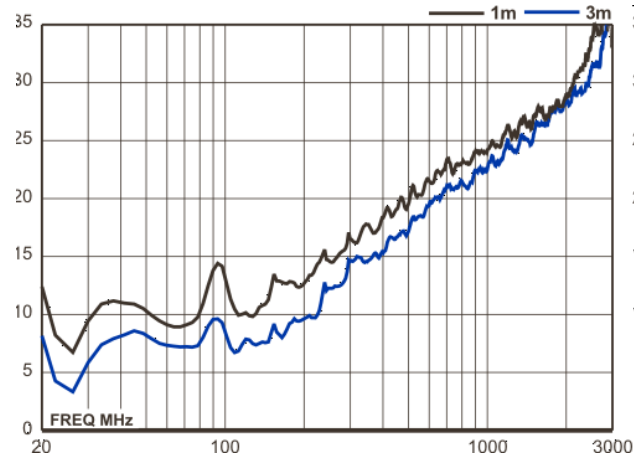


- **kónická logaritmická anténa** je speciální typ širokopásmové antény. Na rozdíl od všech ostatních typů měřicích antén je určena pro příjem kruhově polarizovaného elektromagnetického pole → není vhodná pro testy EMC dle civilních norem IEC (předepisují testy s lineární polarizací). Řada testů EMC v oblasti vojenství (např. testy imunity dle amerických norem MIL-STD) je však založena na aplikaci kruhově polarizovaných vln.



Měření vyzařovaného rušení

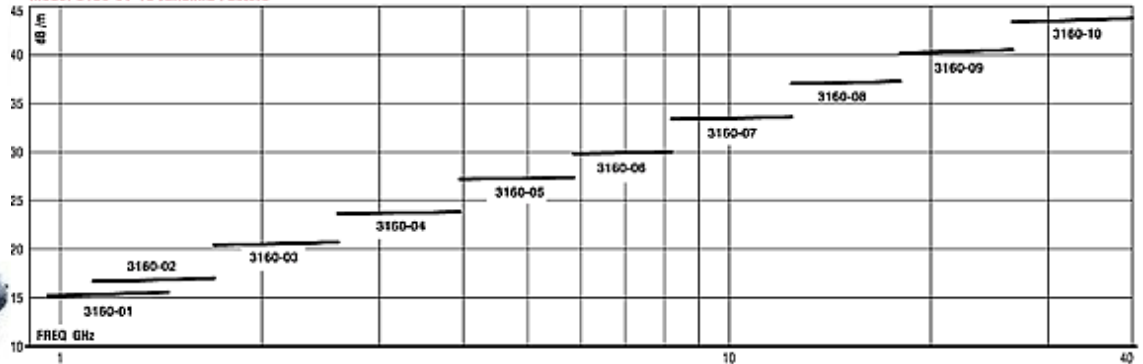
- složená širokopásmová anténa



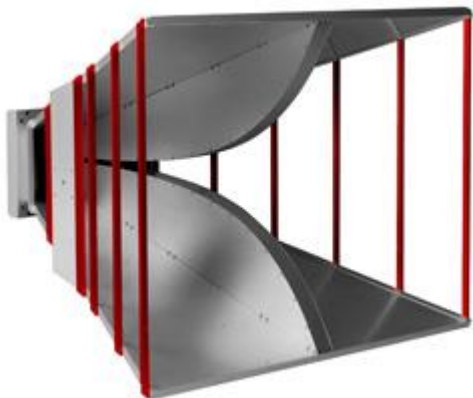
- trychtýřové antény (pyramidální kovové vlnovody) se využívají v GHz kmitočtových pásmech. Přestože lze některými konstrukčními úpravami rozšířit jejich pracovní kmitočtové pásmo, jsou trychtýřové antény svou podstatou relativně úzkopásmové. K pokrytí kmitočtů od jednotek do několika desítek GHz je proto třeba sada 8 až 10 antén.



Model 3160 01-10 Antenna Factors

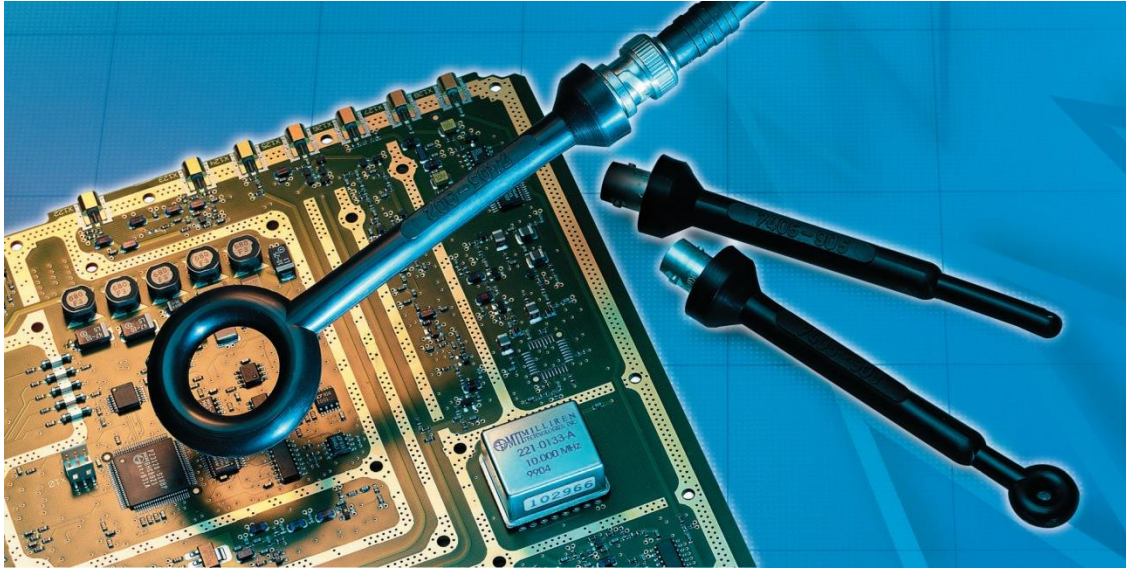


Měření vyzařovaného rušení

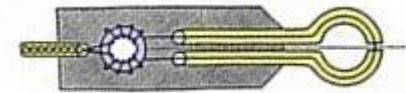


- nebo širokopásmová varianta hřebenová (ploutvová) trychtýřová anténa (Double-Ridged Horn Antenna) v rozsahu frekvencí například:
200 MHz – 2 GHz
1 GHz – 18 GHz
18 GHz – 40 GHz

Měření rušení v blízkém poli



- **sondy blízkého pole** s frekvenčním rozsahem 100 kHz až 2 GHz jsou malé ruční antény užívané při vývoji a diagnostice elektronických zařízení, kdy je důležité sledovat nežádoucí vyzařování jednotlivých součástek a bloků přímo uvnitř vyvíjeného zařízení, a při kontrole elektromagnetické těsnosti stínících krytů. Měřicí sonda blízkého magnetického pole je obvykle tvořena malou smyčkou o průměru několika cm.

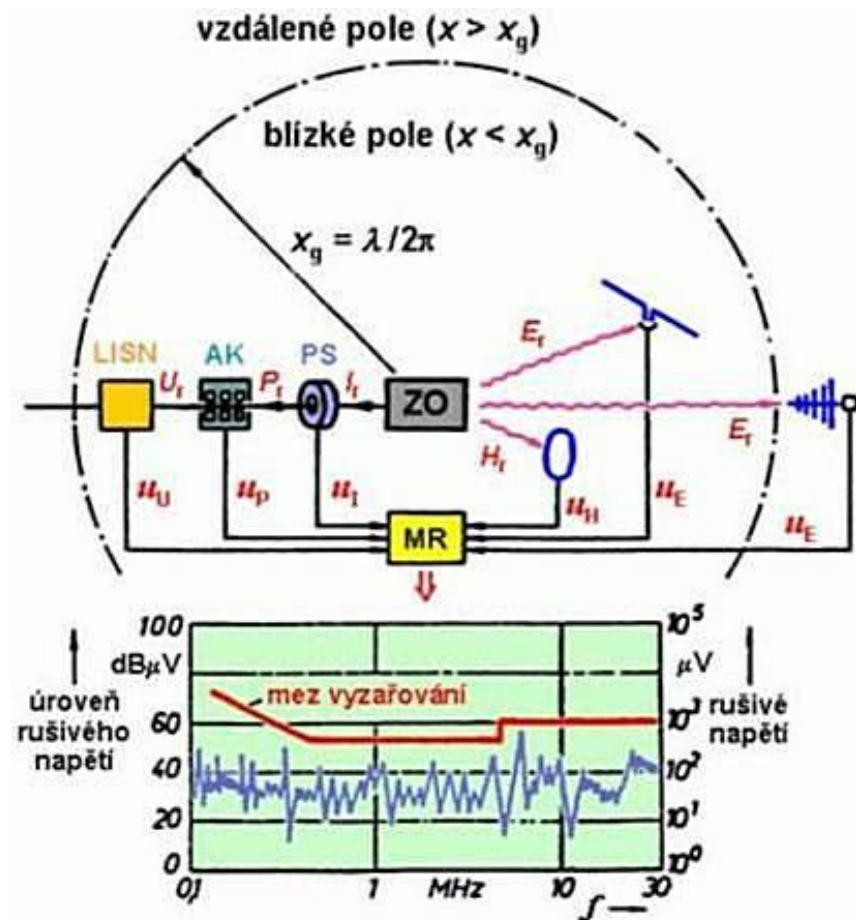


Základem měřicí sondy elektrického pole je volný konec středního vodiče koaxiálního kabelu o délce $6 \div 10$ mm.



Měření pomocí měřicích sond blízkého pole není reprodukovatelné, výsledek závisí na mnoha neurčitých faktorech (míra přiblížení a úhel či natočení sondy vůči zdroji rušení apod.). Tato měření proto nejsou regulována žádnými normami.

Měření rušivých signálů



LISN...umělá síť

AK...absorpční kleště

PS...proudová sonda

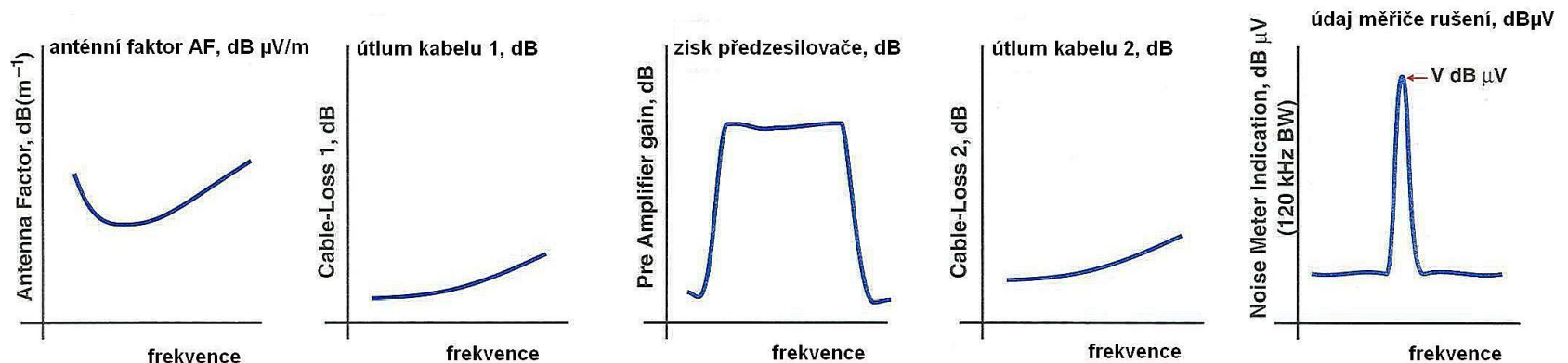
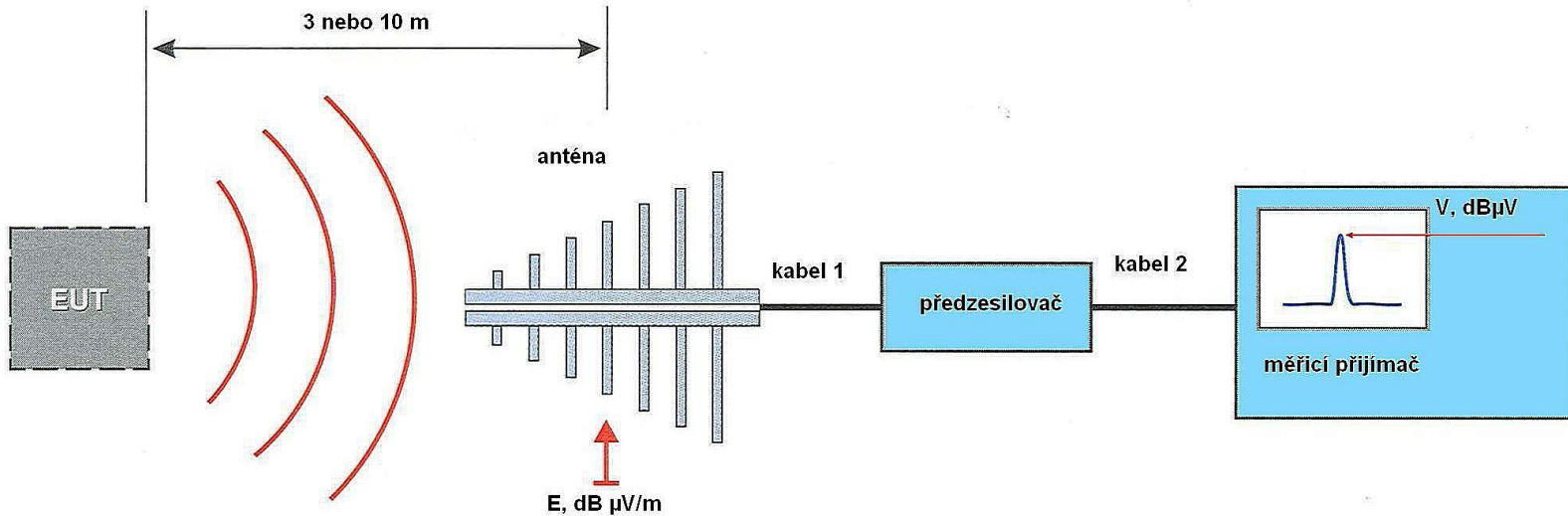
Měření rušení anténami v blízkém poli je ovlivněno přímou kapacitní vazbou mezi anténou a zdrojem rušení (viz měření prutovou anténou v blízkém poli), pro přesná měření se používá symetrický dipól.

Měření rušivých signálů

Základním přístrojem, kterým jsou měřeny a hodnoceny všechny druhy elektromagnetických rušivých signálů, je měřič rušení MR, což je selektivní μV -metr, spektrální analyzátor či speciální měřicí přijímač pro požadovaný rozsah měřicích kmitočetů. Měřená rušivá veličina (napětí U_r , proud I_r či výkon rušivého signálu P_r , případně intenzity rušivých polí E_r a H_r) je snímána vhodným snímačem – senzorem, jímž je převedena na napětí. Toto napětí je pak měřeno měřičem rušení MR. Obvyklými druhy snímačů v technice EMC jsou: umělá síť (umělá zátěž vedení LISN, napěťová sonda NS, proudová sonda (proudový transformátor) PS a absorpční kleště AK pro měření vedených rušivých signálů a různé typy měřicích antén pro měření vyzařovaných rušivých signálů. Základním předpokladem správného měření u všech těchto způsobů je to, aby měřicí zařízení reagovalo jen na rušivé signály pocházející z vyšetřovaného zařízení (zkoušeného objektu ZO) a nebylo ovlivněno dalšími rušivými zdroji, ať již přírodními či umělými. Rovněž rušivé signály ze samotného měřicího, příp. vyhodnocovacího zařízení musí být účinně potlačeny či jinak respektovány, aby neovlivňovaly správnost a reprodukovatelnost měřených údajů. Pro správné měření rušivých signálů je proto kromě kvalitního přístrojového vybavení nezbytně nutné zajistit i správné uspořádání a prostorové řešení měřicího pracoviště a jeho nejbližšího okolí.

Antény v EMC

- Parametry měřicích antén:

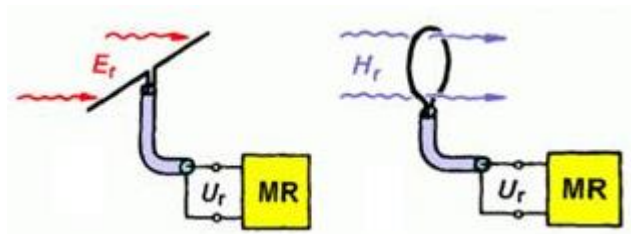


$$E \text{ (dB } \mu\text{V/m)} = U \text{ (dB}\mu\text{V)} + \text{CL2 (dB)} - \text{PAG (dB)} + \text{CL1 (dB)} + \text{AF (dBm}^{-1}\text{)}$$

Antény v EMC

Anténní faktor - vztah mezi **velikostí vstupní intenzity pole** a **velikostí výstupního napětí antény**

$$AF_E = E_r / U_r \quad \text{nebo v logaritmické míře} \quad AF_E \text{ (dBm}^{-1}\text{)} = E_r \text{ (dBV/m)} - U_r \text{ (dBV)}$$



Pro antény měřící magnetické pole (rámová nebo feritová anténa) je obdobně definován jejich anténní faktor pro magnetické pole

$$AF_H = H_r / U_r \quad \text{nebo v logaritmické míře} \quad AF_H \text{ (dBS/m)} = H_r \text{ (dBA/m)} - U_r \text{ (dBV)}$$

Pokud je magnetická anténa kalibrována pomocí ekvivalentního elektrického pole a protože ve vzduchovém prostředí jsou elektrická a magnetická složka rovinné vlny ve vzdáleném poli vázány charakteristickou impedancí Z_0 , pak

$$AF_E \text{ (dBm}^{-1}\text{)} = AF_H \text{ (dBS/m)} + 20 \log Z_0 = AF_H \text{ (dBS/m)} + 51,5 \text{ dB}$$

Výhoda zavedení anténního činitele AF je jeho jednoduché použití při vyhodnocování velikosti rušivého pole

$$E_r \text{ (dBV/m)} = U_r \text{ (dBV)} + AF \text{ (dBm}^{-1}\text{)}$$

Anténní faktor AF (někdy označovaný jako **přijímací** anténní faktor, viz TAF pro ČSN EN 61000-4-3) je základním parametrem každé antény pro EMC a jeho kmitočtový průběh základním údajem dodávaným výrobcem antény.

Antény v EMC

Odvození AF:

Poměr mezi výkonem absorbovaným anténou a výkonovou hustotou dopadající vlny je účinný průřez antény:

$$A_e(m^2) = \frac{P_r}{P_d} \frac{(W)}{(W/m^2)}, \text{ tedy } P_r = P_d \cdot A_e \quad (1)$$

Vztah mezi A_e a ziskem přijímací antény:
$$A_e = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad (2)$$

Výstupní napětí přijímací antény a výstupní výkon jsou vázány vztahem:
$$P_r(W) = \frac{U_r^2(V)}{Z(\Omega)} \quad (3)$$

a v decibelech pro 50Ω systém
$$U_r(dB\mu V) = P_r(dBmW) + 107$$

Vztah mezi výkonovou hustotou dopadající vlny a intenzitou el. pole ve volném prostoru:

$$P_d(W/m^2) = \frac{E_r^2(V/m)}{120\pi(\Omega)} \quad (4)$$

Antény v EMC

Dosazením vztahů (1), (2) a (3) do (4) dostaneme

$$\frac{U_r^2}{Z} = \frac{E_r^2}{120\pi} \times \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$$

tedy

$$AF = \frac{E_r}{U_r} = \sqrt{\frac{480\pi^2}{Z G_r \lambda^2}} = \frac{9,73}{\lambda \sqrt{G_r}} \quad \text{pro } 50\Omega \text{ systém}$$

nebo v logaritmickém měřítku:

$$AF \text{ (dBm}^{-1}\text{)} = 19,8 - 20\log \lambda \text{ (m)} - 10\log G_r = 20\log f \text{ (MHz)} - G_r \text{ (dB)} - 29,79$$

kde G_r je zisk přijímací antény a f je frekvence měřeného signálu.

Poznámka: Při výpočtu je nutné zohlednit jednotku frekvence (MHz), tedy $f \cdot 10^6$. V logaritmické míře se exponent promítne do velikosti výsledné konstanty (- 29,79).

Teoretická **hodnota anténního faktoru** tedy vzrůstá s rostoucím kmitočtem za předpokladu konstantního zisku a vstupní impedance antény. To je přibližně splněno např. u logaritmicko-periodické antény.

Antény v EMC

Odvození TAF: vztah mezi velikostí intenzity pole generovaného anténou a velikostí vstupního napětí antény $TAF = E_t / U_t$ nebo v logaritmické míře $TAF \text{ (dBm}^{-1}\text{)} = E_t \text{ (dBV/m)} - U_t \text{ (dBV)}$

Odvození vychází z Frissovy přenosové rovnice:
$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

Kde index r (receive) označuje parametry přijímací antény (zisk a přijímaný výkon) a index t (transmit) parametry vysílací antény (zisk a vysílaný výkon).

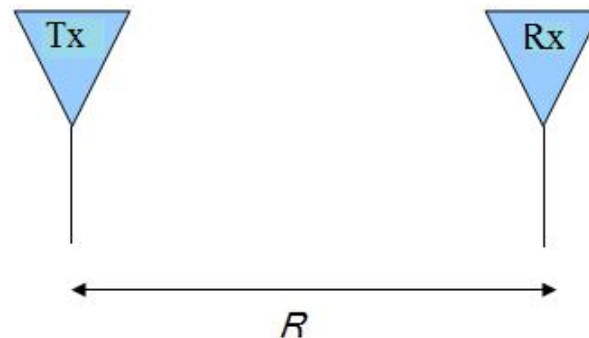
V případě zkoušky odolnosti není cílem vysílaného signálu přijímací anténa, ale místo v prostoru, kde je umístěno EUT.

Ve vztahu tedy neuvažujeme efektivní aperturu přijímací antény:

$$A_{er} = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi}$$

Přenosová rovnice pak má tvar: $P_d = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2}$, kde (1)

$P_d \text{ (W/m}^2\text{)}$ je vyzářená výkonová hustota ve vzdálenosti R od vysílací antény.



Antény v EMC

Odvození TAF:

Výkon ztracený na zatížení a napětí na ztrátovém prvku jsou vázány vztahem:

$$P_t = \frac{U_t^2}{Z} \quad (2)$$

Vztah mezi výkonovou hustotou dopadající vlny a intenzitou el. pole ve volném prostoru:

$$P_d = \frac{E_t^2}{120\pi} \quad (3)$$

Dosazením vztahu (1) do vztahu (3) a dosazením vztahu (2) za P_t dostaneme:

$$TAF = \frac{E_t}{U_t} = \frac{1}{R} \frac{\sqrt{30G_t}}{\sqrt{Z}} = \frac{1}{R} \sqrt{0,6G_t} \quad \text{pro } Z = 50 \, \Omega.$$

V decibelech

$$TAF \left(dBm^{-1} \right) = 10 \log G_t - 2,22 - 20 \log R(m)$$

$$TAF \left(dBm^{-1} \right) = G_t(dB) - 2,22 - 20 \log R$$

$$AF \left(dBm^{-1} \right) = 19,8 - 20 \log \lambda \, (m) - 10 \log G_r = 20 \log f \, (MHz) - G_r \, (dB) - 29,79$$

Pak:

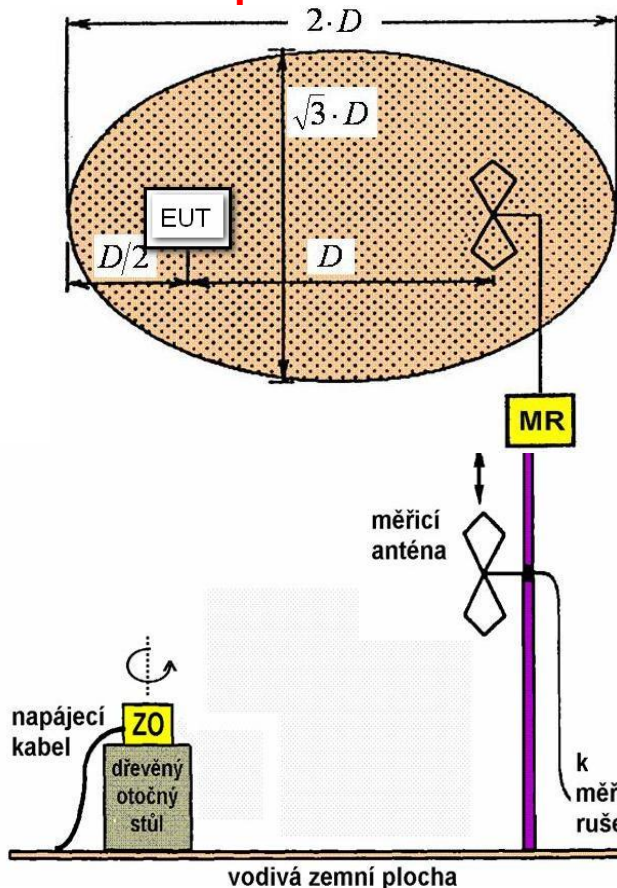
$$TAF \, (dB) = 20 \log f \, (MHz) - AF \, (dBm^{-1}) - 32,0 - 20 \log R \, (m)$$

Měření vyzařovaného rušení

- **Měřicí stanoviště:**

- výsledky všech anténních měření závisí velmi podstatně na místě vlastního měření
- anténní měření rušivých elektromagnetických polí se provádí na volném prostranství, ve stíněných prostorách nebo bezodrazových prostorách

- **Volné prostranství:**



Volné zkušební stanoviště (**OATS** - Open Area Test Site) má půdorys elipsy pro zařízení na otočném stole (ČSN EN 55016-1-4). Hlavní osa je rovna dvojnásobku vzdálenosti mezi EUT a měřicí anténou, které se nacházejí v jejich ohniscích. **Měřicí vzdálenost D** je určena normou 3 m, 10 m, 30 m nebo 100 m.

Zkušební stanoviště musí být na plochem a rovném terénu, nesmí na něm být budovy, elektrická vedení, stromy, keře, ploty či jiné elektromagneticky odrazivé plochy ani podzemní kabely či potrubí kromě nutných přívodů k napájení a provozu zkoušeného zařízení.

V místě stanoviště by se neměla vyskytovat jiná silná elektromagnetická pole, okolní emise by měly ležet minimálně 6 dB pod měřenými úrovněmi (doporučuje se 20 dB).

Vysokofrekvenční prostředí stanoviště je třeba změřit pro korekce naměřených výsledků rušení.

Poznámka: Geometrické vlastnosti elipsy → vlna vyslaná EUT a přijatá měřicí anténou po odrazu od místa ležícího na okraji eliptické plochy urazí **dvojnásobnou dráhu** než vlna směřující k anténě přímo od EUT. Intenzita vzdáleného pole je nepřímo úměrná dráze vlny od jejího zdroje → dokonalá odrazná plocha za okrajem elipsy způsobí v místě měřicí antény vlnu s poloviční intenzitou vůči vlně přímé, tj. útlum minimálně 6 dB.

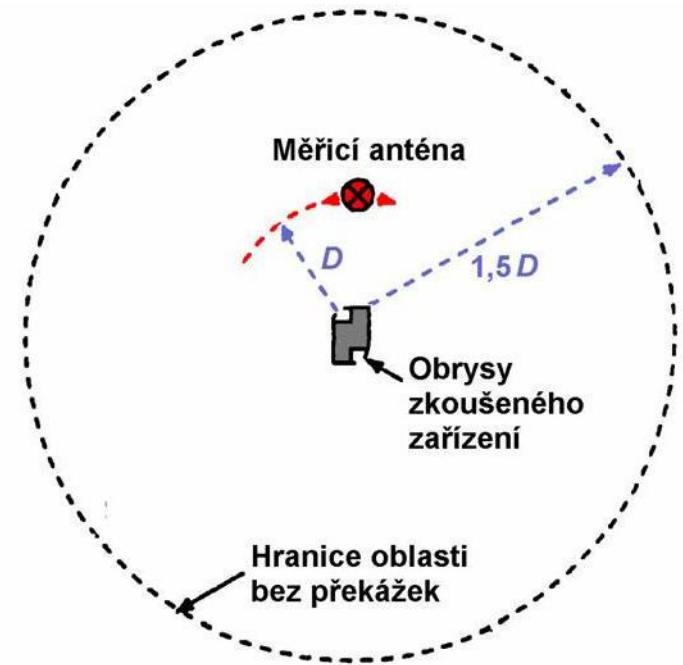
Měření vyzařovaného rušení

- **Měřicí stanoviště:**

Pro velké EUT je normou doporučen kruhový tvar zkušebního stanoviště, radiální vzdálenost okraje EUT od okraje oblasti je 1,5 násobek měřicí vzdálenosti D . Při měření se anténa otáčí kolem EUT až do místa, kde je měřené rušivé napětí při dané polarizaci antény maximální.

Na zkušebním stanovišti přijímá měřicí anténa pole od EUT vždy minimálně po dvou drahách, přímá vlna a vlna odražená od země stanoviště. Aby výsledky měření byly reprodukovatelné, je nutno pro tuto odraženou vlnu vytvořit stálé podmínky odrazu, tedy zejména konstantní hodnotu činitele odrazu vlny od země při všech měřicích kmitočtech.

To lze nejlépe zajistit vytvořením umělé **zemní roviny** položením vodivé kovové plochy na zem mezi zkoušený objekt a měřicí anténu. Nepoužije-li se pro zemní plochu kovový materiál, je nutno zajistit, aby se odrazové vlastnosti zemního povrchu zkušebního stanoviště neměnily s časem, s povětrnostními podmínkami či s měnícími se vlastnostmi půdy. Taková měřicí stanoviště vykazují proměnné hodnoty útlumu, což zmenšuje reprodukovatelnost prováděných měření.

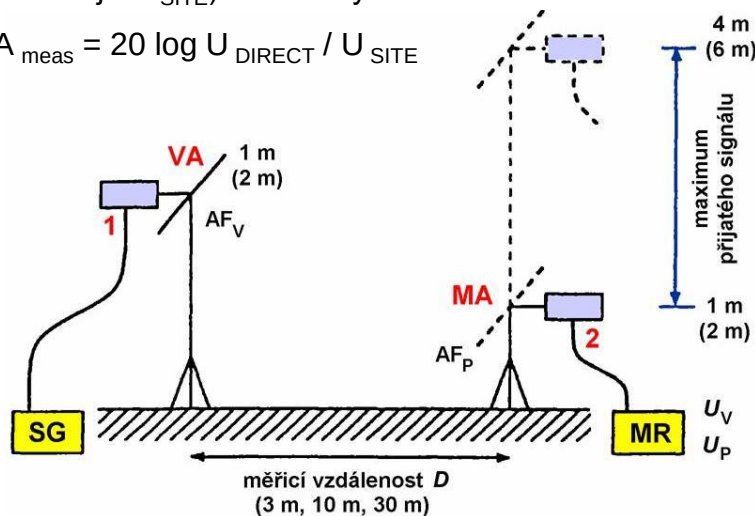


Měření vyzařovaného rušení

Způsobilost zkušebního stanoviště ve volném prostoru k měření elektromagnetického rušení se ověřuje pomocí tzv. útlumu stanoviště SA (Site Attenuation) v dB. Tato hodnota se určuje jednak měřením na daném stanovišti, jednak teoretickým výpočtem pro ideální zkušební stanoviště. Zkušební stanoviště je vyhovující, je-li rozdíl obou těchto hodnot v pásmu pracovních kmitočtů ≤ 4 dB.

Při prvním měření se napájecí koaxiální kabely v místech **1** a **2** odpojí od obou antén a spojí přímo. Příslušný údaj měřiče rušení v tomto režimu je U_{DIRECT} . Při druhém měření se napájecí kabely opět připojí k anténám. Výškovým posuvem přijímací antény se nalezne taková její poloha, v níž je údaj měřený přijímačem rušení maximální (údaj měřiče je U_{SITE}). Příslušný útlum daného zkušebního stanoviště je

$$A_{\text{meas}} = 20 \log U_{\text{DIRECT}} / U_{\text{SITE}}$$



Norma zavádí NSA, **normalizovaný útlum stanoviště**:

$A_{N \text{ meas}} \text{ (dB)} = A_{\text{meas}} \text{ (dB)} - AF_T \text{ (dB)} - AF_R \text{ (dB)}$, který nezávisí na druhu použitých antén.

Změřená hodnota NSA se porovnává s útlumem ideálního zkušebního stanoviště A_N , který je uveden v normě ČSN EN 55016-1-4. Konkrétní hodnota je závislá na frekvenci, měřicí vzdálenosti, typu antény a její polarizaci (viz tabulky v normě, příloha E).

Pozn.: V praxi často měření přímo **na provozním pracovišti** (na místě nasazení) rušivého zdroje (výkonová energetická zařízení a rozměrné elektrotechnické systémy). Při měření je třeba zajistit takovou konfiguraci a pracovní režim měřeného zařízení, které jsou typické pro jeho běžný provoz a v nichž je potenciálně generováno maximální rušení. Během měření je vhodné co nejvíce omezit provoz všech okolních zařízení.

Před vlastním měřením je třeba proměřit celkové rušivé elektromagnetické pozadí v dané lokalitě, a to při vypnutém zkoušeném zařízení. Měření rušivého vyzařování se pak obvykle provádí ve vzdálenosti 30 m od zkoušeného zařízení, příp. od zdi budovy, v níž je umístěno. Nejprve je nutno určit přibližný tvar horizontálního vyzařovacího diagramu zkoušeného objektu. Vlastní měření se potom realizuje minimálně ve čtyřech ortogonálních směrech a dále případně v těch směrech, na nichž byla zjištěna největší intenzita generovaného pole.

Měření vyzařovaného rušení

Elektromagneticky stíněné prostory:

Kvalitní stíněná komora musí zajišťovat útlum pro vnější signály na úrovni $100 \div 120$ dB.

Nevýhodou je, že elektromagneticky stíněná komora svou konstrukcí tvoří dutý kovový kvádr a představuje tak **dutinový rezonátor**. Taková dutina (komora) se chová jako rezonanční obvod, který může obecně rezonovat na nekonečně mnoha diskrétních kmitočtech. Jsou-li vnitřní rozměry komory a [m], b [m], c [m], lze tyto rezonanční kmitočty určit ze vztahu

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

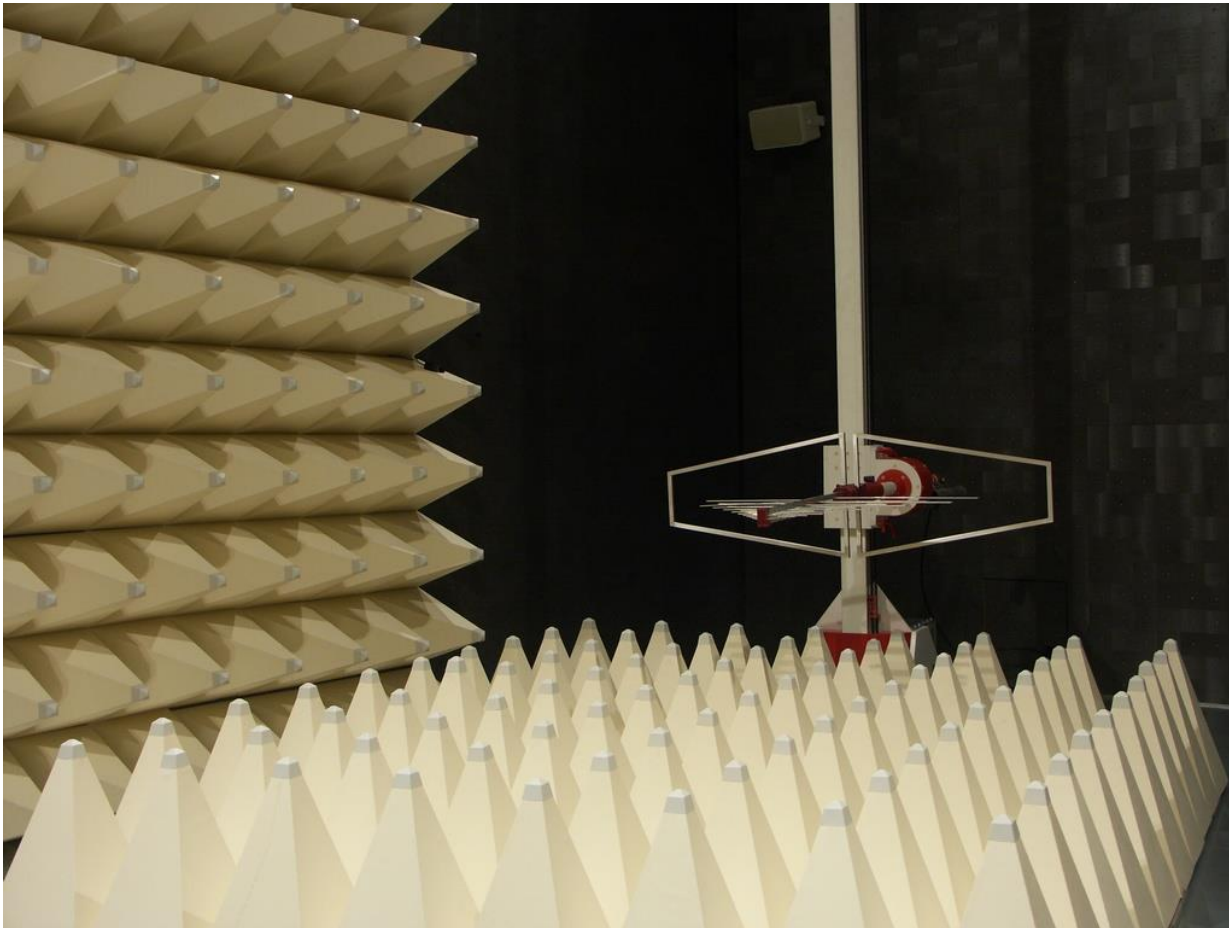
Rezonanční kmitočty i velkých stíněných komor leží přitom v rozsahu kmitočtů anténních měření.

Tak např. ve stíněné hale s rozměry $7 \times 6,7 \times 17$ m nastává nejnižší rezonance na kmitočtu 23,2 MHz s tzv. příčně elektrickým videm TE_{101} ($m = 1$, $n = 0$, $p = 1$). Od tohoto kmitočtu až do kmitočtu cca 81,5 MHz pro vid TE_{226} rezonuje hala na dalších 80 rezonančních kmitočtech.

Druhým základním problémem při anténních měřeních ve stíněné komoře jsou **mnohonásobné odrazy** signálu na jejích vnitřních stěnách. Vlivem mnohacestného příjmu odražených signálů ve stíněné komoře se neurčitost měření může teoreticky stát libovolně velká.

Měření vyzařovaného rušení

Bezodrazové prostory:



Měření vyzařovaného rušení

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

Měření vyzařovaného rušení

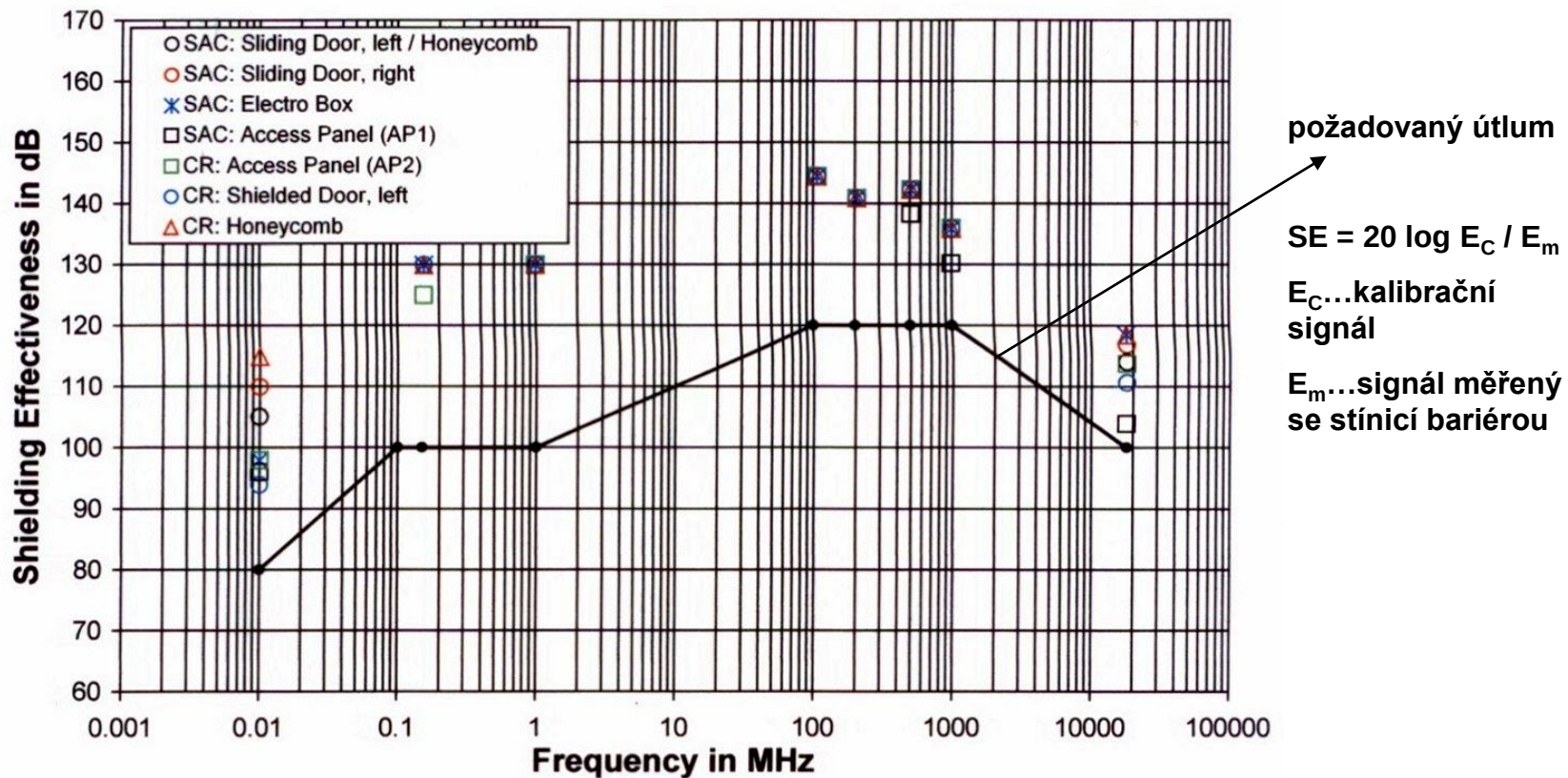
Bezodrazové prostory:

	10 kHz	156 kHz	1 MHz	107 MHz	207 MHz	507 MHz	997 MHz	18 GHz
SAC: posuvné dveře, vlevo, voštiny	105	>130	>130	>144.5	>140.9	>142.3	>135.9	114.0
SAC: posuvné dveře, vpravo	110	>130	>130	>144.5	>140.9	>142.3	>135.9	116.9
SAC: rozváděč	98	>130	>130	>144.5	>140.9	>142.3	>135.9	>118.5
SAC: přívodní panel	96	125	>130	>144.5	>140.9	138.2	130.1	103.9
CR: přívodní panel	98	125	>130	>144.5	>140.9	>142.3	>135.9	113.8
CR: stíněné dveře, vlevo	94	>130	>130	>144.5	>140.9	>142.3	>135.9	110.7
CR: voštiny	>115	>130	>130	>144.5	>140.9	>142.3	>135.9	>118.5

Účinnost stínění Shielding effectiveness (values in dB).

Měření vyzařovaného rušení

Bezodrazové prostory:



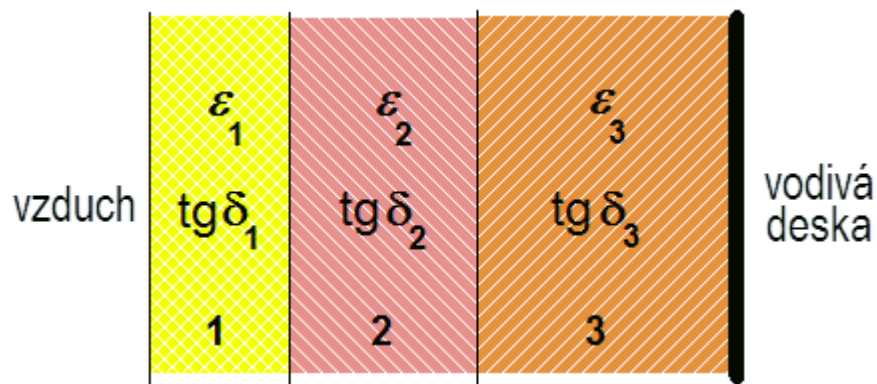
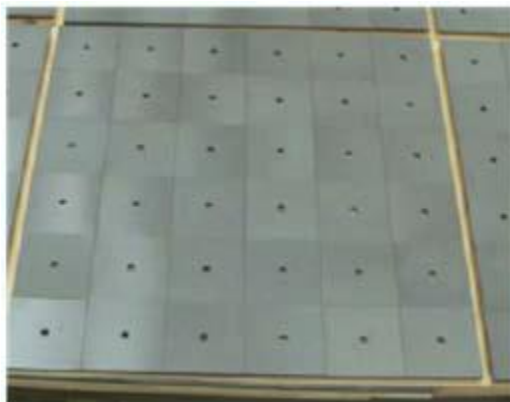
Účinnost stínění Shielding effectiveness.

Měření vyzařovaného rušení

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.

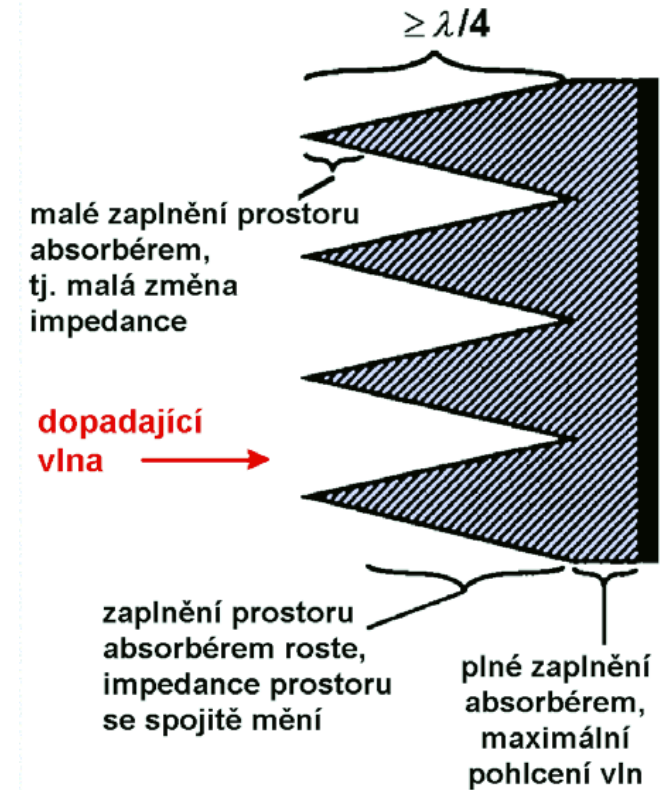
Relativní permitivita feritu je poměrně vysoká ($10 \div 20$), díky vysoké permeabilitě může být charakteristická impedance feritového prostředí $Z_{0V} = (\mu/\epsilon)^{1/2}$ srovnatelná s impedancí volného prostoru $Z_{0V} = 377 \Omega$. Feritové absorpční vrstvy mohou proto mít podstatně menší tloušťku, než „klasické“ dielektrické absorbéry. **Nevýhodami feritových absorpčních desek je vysoká hmotnost a velmi vysoká cena, která činí až 1200 dolarů za 1 m².**



Měření vyzařovaného rušení

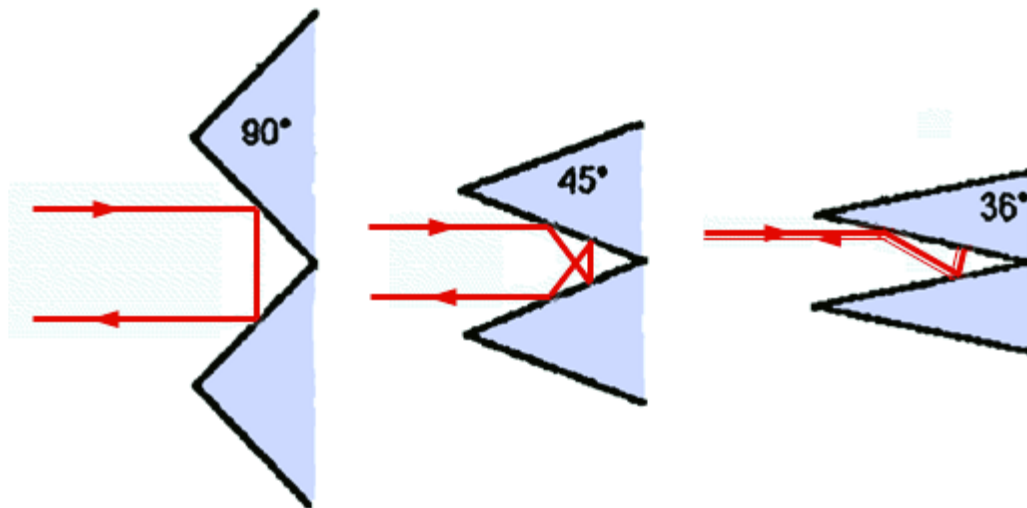
Pyramidální absorbéry

- 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 absorberu.
- 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**.



Měření vyzařovaného rušení

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.



Měření vyzařovaného rušení

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 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 (**$90 \div 160^\circ\text{C}$**), a tím pro pohlcování vysokých intenzit elektrického pole (**až 200 V/m**), příp. vysokých hustot výkonu (**až 100 W/m^2**). Materiály jsou většinou nevznětlivé, tj. v případě požáru jen doutnají, ale nehoří plamenem.

Měření vyzařovaného rušení

- **Měřicí postup:**
- pro stanovení konkrétních podmínek měření hraje významnou roli technická specifikace zařízení viz. dělení zařízení do jednotlivých skupin odpovídající dělení norem pro měření emisí
- normy detailně specifikují vlastnosti stanoviště, měřicí vzdálenosti, uspořádání zařízení (otočný celodřevěný stůl 80 cm nad zemní rovinou, popis uspořádání kabelů vedoucích k zařízení), podmínky a postup měření emisí a určují limity povolených úrovní rušení
- **obecné zásady:**
- měření emisí se provádí na stanovišti s vyhovujícím NSA a vyhovující úrovní okolního šumu (alespoň 6 dB pod limitou pro dané zařízení)
- je zajištěn stabilní odraz od zemní roviny
- zařízení je měřeno ze všech úhlů (otočný stůl nebo pohyb antény)
- anténa se pohybuje na stojanu od 1 do 4 m (pro měřicí vzdálenosti > 10 m od 2 do 6 m)
- při měření magnetické složky pole do 30 MHz je anténa obvykle 1 m (měřeno ke spodku antény) nad zemí a otáčí se
- hledá se nejvyšší úroveň rušení daná součtem vyzařovaného a odraženého signálu
- měří se s horizontální i s vertikální polarizací antény (při vertikální polarizaci musí být nejnižší bod antény alespoň 25 cm nad zemní rovinou viz. vliv na výšku antény)

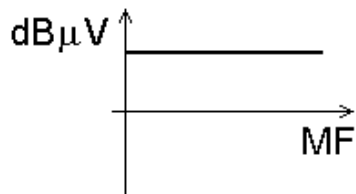
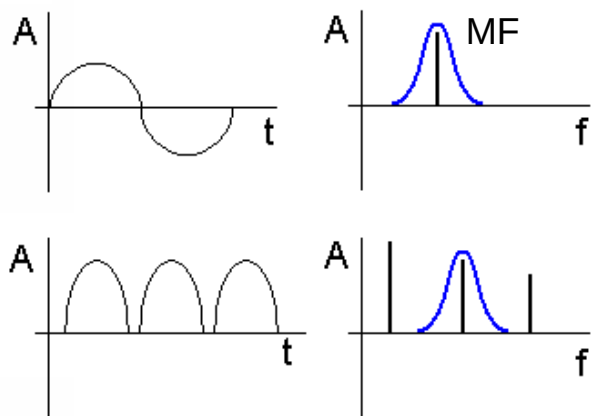
Přístroje pro měření rušení

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

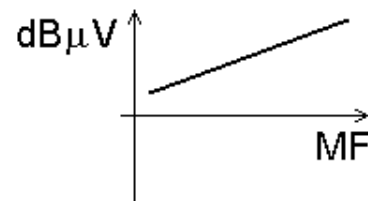
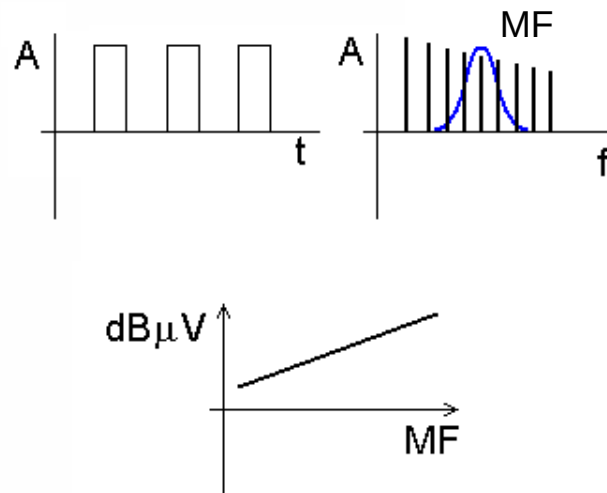
Přístroje pro měření rušení

Měření v úzkém pásmu frekvenčního rozsahu – propustné pásmo měřiče rušení
MF (mezifrekvenční pásmo) – předepsáno normou ČSN EN 55016-1-1

Úzkopásmový signál



Širokopásmový signál

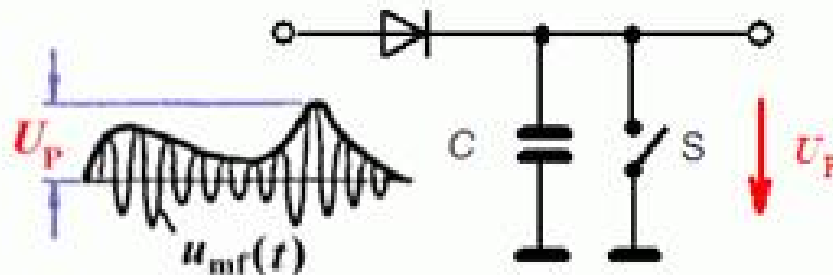


Měřené frekvenční pásmo (Hz)	MF (Hz)
9 k – 150 k	200
150 k – 30 M	9k
30 M – 1 G	120k

Přístroje pro měření rušení – způsoby detekce

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

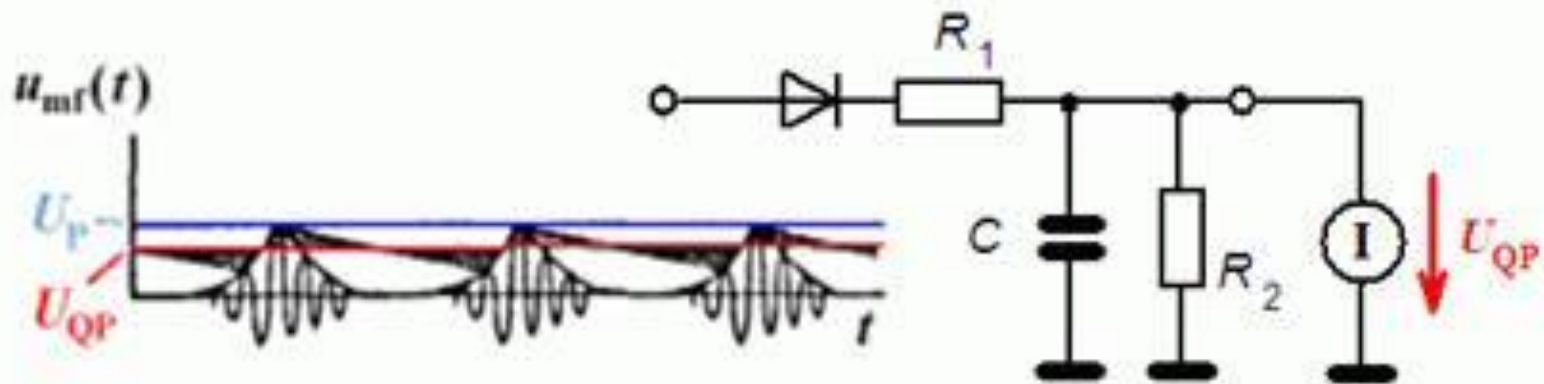


Přístroje pro měření rušení – způsoby detekce

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.

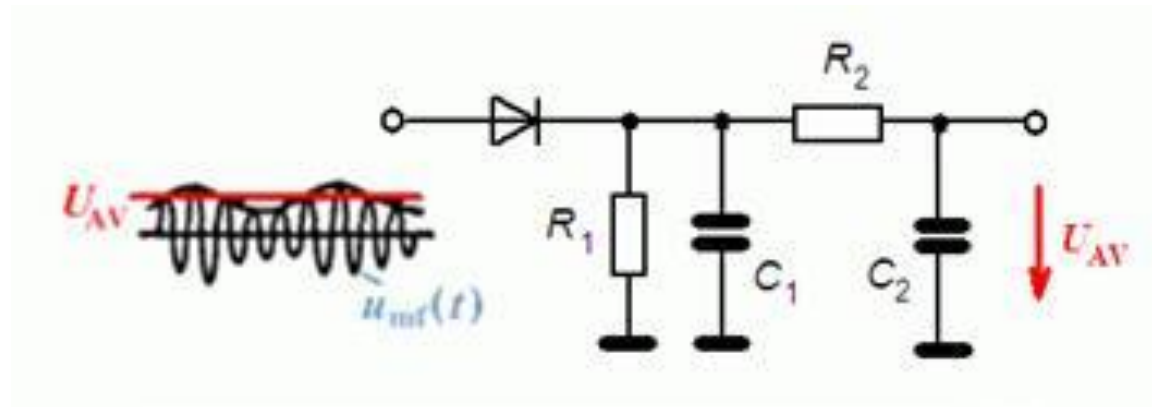


Přístroje pro měření rušení – způsoby detekce

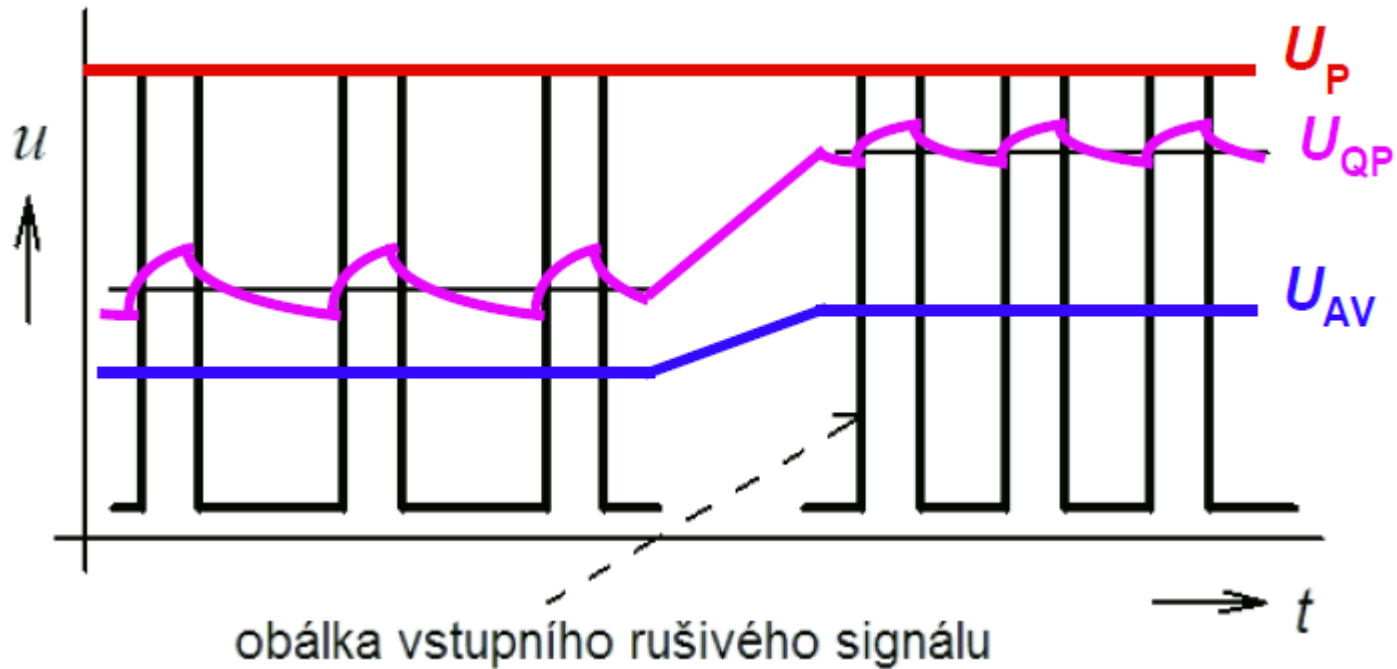
Detektor střední hodnoty AV (průměrující detektor, Average detector):

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.



Odezvy různých druhů detektorů



- 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.

Měření rušivých signálů

Při měření rušivých signálů se změřené hodnoty napětí, proudů, výkonů, elektrických a magnetických polí převádí na vztažné jednotky (dBμV, dBμA, dBm, dBμV/m, dBμA/m)

$$A = 20 \log \frac{U_2}{10^{-6}}$$

$$\left(A = 10 \log \frac{P_2}{10^{-3}} \right)$$

dBμV	V
120	10 ⁰
100	10 ⁻¹
80	10 ⁻²
60	10 ⁻³
...	...
0	10 ⁻⁶