



Národní informační středisko pro podporu kvality

Nejistoty měření a EMC



Olga Tůmová

15.10.2009

ČSJ Praha



Nejistoty měření

- Pojem „**nejistota měření**“ souvisí s měřením a jeho vyhodnocováním.
- Každý proces měření je spojen s chybou, která je způsobená přístrojovým vybavením, metodou měření, okolním prostředím a samotným pozorovatelem.
- Nejistoty jsou uplatňovány zejména v oblasti kalibrací a přesných měření.

- Mezi **znaky kvality měření** zahrnujeme zejména:
 - přesnost měření,
 - opakovatelnost výsledků měření,
 - reprodukovatelnost výsledků měření a
 - nejistotu měření.



Nejistoty měření – historie 1

- začátek r. 1977:
 - poznání, že neexistuje jednotný mezinárodně uznávaný přístup k provádění odhadů a stanovování nejistot měření vedl k tomu, že **Mezinárodní výbor pro míry a váhy** (CIPM) přidělil **Mezinárodnímu úřadu pro míry a váhy** (BIML) zakázku na vyřešení tohoto problému.
- r. 1980 doporučení INC-1:
 - „**Vyjadřování experimentálních nejistot**“
 - Toto doporučení bylo schváleno **CIPM** 1986



Nejistoty měření

- Cílem dokumentu je
- jednotnost vyjadřování nejistot měření,
- posuzování nejistot měření v kalibračních laboratořích a jejich uvádění v kalibračních certifikátech.

- Za vrcholový dokument lze považovat *Směrnici*, kterou vydaly mezinárodní orgány ISO, IEC, OIML a BIPM pod názvem **Guide to Expression of the Uncertainty of Measurement (GUM)**.



Nejistoty měření

- V ČR byl pojem *nejistota měření* zaveden do etalonáže a měření vydáním:
- TPM 0050 – 92 „*Etalony - Vyjádřování chyb a nejistot*“ a
- TPM 0051 – 93 „*Stanovení nejistot při měření*“.
- V současné době se politika v oblasti vyhodnocování výsledků a kvantitativním vykazováním jejich spolehlivosti o související nejistoty řídí metodikou doporučenou ČIA v souvislosti s aplikací normy ČSN ISO/IEC 17025:2005“

Nejistoty měření – zdroje definic, používaných termínů a pojmu



- Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology – VIM:1993, společné vydání BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP a OIML, v ČR vydané jako ČSN 01 0115:1996 Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii (oprava 1:2002)
- V současné době je 3.vydání VIM, česká verze dokumentu ISO/IEC Guide 99:2007 uvedena jako TNI 010115:2009 Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny



Nejistoty měření a EMC

- Pro řešení nejistot v této oblasti je nutné znát:
 - měřicí procesy EMC (měřicí přístroje, měřicí metody a měřicí prostředí),
 - doporučení v normách ČSN EN....., např. Specifikace přístrojů a metod pro měření vf rušení odolnosti: Nejistoty, statistické hodnoty a stanovování mezí – Nejistoty při měřeních EMC

Elektromagnetická kompatibilita EMC



- Pojem elektromagnetická kompatibilita (EMC) je možno vyjádřit ve dvou rovinách:
- EMC lze považovat za **vědní obor**
- nebo **vlastnost systému.**

Elektromagnetická kompatibilita EMC

- EMC jako **vědní disciplína** vznikla v 60. létech 20. století v USA a poměrně dlouhou dobu (10-15 let) byla zájmem pouze v okruhu odborníků v elektronice, především v oblasti kosmického a vojenského průmyslu.
- Jako **vlastnost systému** lze vyjádřit „schopnost současné správné funkce, tj. koexistence zařízení nebo systémů nacházejících se ve společném elektromagnetickém prostředí bez závažného ovlivňování jejich normálních funkcí“.

Elektromagnetická kompatibilita EMC

- Elektromagnetická kompatibilita zkoumá nežádoucí ovlivňování funkce technických a biologických systémů, na které působí elektromagnetické pole.
- Jednotlivá elektrická i elektronická zařízení velmi často narušují a vzájemně ovlivňují činnost okolního zařízení, systémů a popřípadě i jiných zdrojů elektromagnetického zařízení.
- Důsledkem zvětšujícího se počtu i hustotě elektronických i elektrických přístrojů a systémů nabývá EMC velkého významu.



Členění oboru EMC

- **EMC biologických systémů** –
zkoumání a posuzování vlivu elektromagnetického záření na živé organizmy, na člověka ve formě
 - **tepelných účinků** (ohřev tkání vystavených účinkům elektromagnetickému záření velké intenzity) nebo
 - **netepelných účinků** (účinky nižších intenzit elektromagnetického záření dlouhodobě působící na centrální nervovou soustavu, krevní oběh a imunitní systém).

- **EMC technických systémů** –
zkoumání vzájemného působení a koexistence technických prostředků, přístrojů a zařízení vlivem působení elektromagnetického rušení, které dělíme na:
 - **přírodní** (slunce, kosmické záření, výboje v atmosféře) a
 - **umělé** (spínané zdroje, radiové vysílače apod.).



Základní pojmy -1

- **Elektromagnetické rušení** – jakýkoliv elektromagnetický jev, který má za následek zhoršení činnosti přístroje, zařízení nebo systému a může také nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu.
- **Elektromagnetické vyzařování** – jev, kdy elektromagnetická energie vyzařuje (vychází) ze zdroje.
- **Odolnost (proti rušení)** – schopnost přístroje být v provozu bez zhoršení charakteristik za přítomnosti elektromagnetického rušení.
- **Úroveň** – velikost veličiny vyhodnocené předepsaným způsobem (úroveň veličiny může být vyjádřena v logaritmických jednotkách, např. v decibelech vůči vztažné hodnotě).
- **Úroveň rušení** – úroveň konkrétního elektromagnetického rušení, které se měří předepsaným způsobem.



Základní pojmy - 2

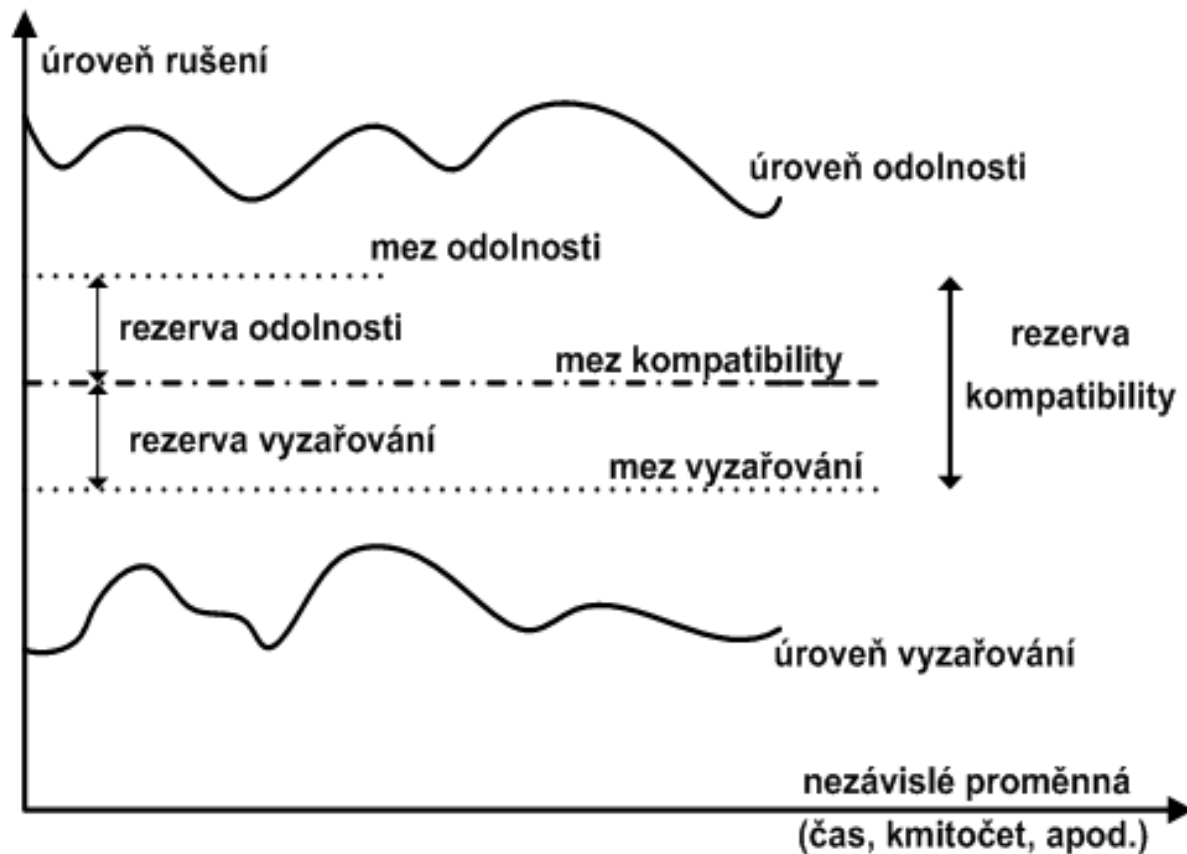
- **Úroveň vyzařování** – úroveň elektromagnetického rušení, které vyzařuje konkrétní zařízení a kterou měříme určitým způsobem.
- **Úroveň odolnosti** – maximální úroveň elektromagnetického rušení, které působí na konkrétní zařízení a při kterém se nevyskytuje zhoršení a ovlivnění funkce zařízení.
- **Kompatibilní úroveň** - předepsaná úroveň rušení, při kterém by měla být přijatelně vysoká pravděpodobnost elektromagnetické kompatibility.
- **Mez vyzařování** – mez určuje maximální přípustnou úroveň vyzařování.
- **Mez odolnosti** – představuje nejnižší požadovanou úroveň odolnosti.



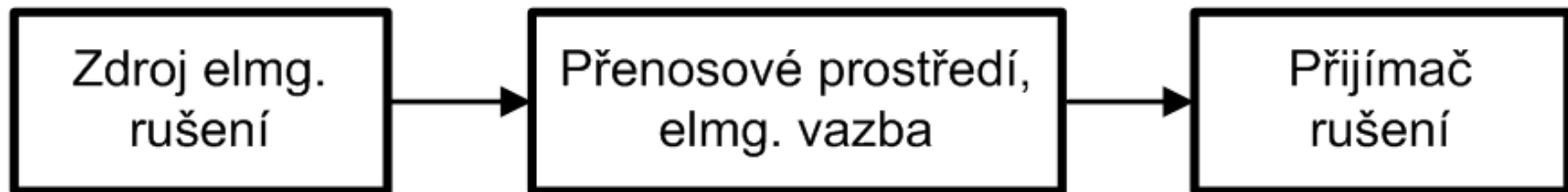
Základní pojmy - 3

- **Rezerva vyzařování** - poměr úrovně elektromagnetické kompatibility a meze vyzařování.
- **Rezerva odolnosti** - poměr meze odolnosti a úrovně elektromagnetické kompatibility.
- **Rezerva kompatibility** - poměr meze odolnosti a meze vyzařování.
- **Potlačení rušení** – opatření ke zmenšení nebo odstranění elektromagnetického rušení.
- **Odrušování** - opatření k zeslabení nebo k odstranění elektromagnetické interference.

úroveň a meze rušení



Základní řetězec - 1





Základní řetězec - 2

- **Zdroj elektromagnetického rušení:** zahrnuje **přírodní** (přirozené) a **umělé** zdroje rušivých signálů (elektromagnetické procesy v atmosféře, elektrostatické výboje ESD, energetické rozvody, domácí spotřebiče, počítače, číslicové systémy apod.).
- **Přenosové prostředí, elektromagnetická vazba:** zahrnuje způsoby i cesty, kterými se energie rušivých polí dostává do rušených objektů (zemnění, vzdušný prostor, stínění, signálové a datové vodiče, společná napájecí síť apod.).
- **Rušený objekt, přijímač rušení:** poslední část řetězce, která klasifikuje typy a podrobně analyzuje rušivé účinky z hlediska konstrukčních a technologických parametrů zařízení (počítače, číslicová technika, telekomunikační technika, rozhlasové a televizní přijímače apod.).

Rušivé signály a jejich zdroje

- Každý elektrotechnický systém lze pokládat jak za **zdroj**, tak i za **přijímač** elektromagnetického rušení.
- Z praktických hledisek přesto vyčleňujeme typickou skupinu systémů, u kterých převažuje proces generování rušivých signálů nad jejich nežádoucím příjmem a nazýváme je **interferenčními zdroji** či **zdroji elektromagnetického rušení**.
- **Způsob šíření a vstupu rušivých signálů** objektů je možný **vedením, vazbou a vyzařováním**. Klasifikovat rušení a jeho zdroje lze podle mnohých hledisek.
- V oboru EMC se lze setkat s rušivými signály:



Interferenční zdroje -1

- **přírodní (přirozené) rušení** – nelze jim zabránit, pouze předcházet (atmosférický výboj blesku, lokání elektrostatické výboje apod.),
- **umělé (technické) rušení** – zdroje vzniklé lidskou technickou činností,
 - **impulsní (mžikové)** – charakter časové posloupnosti jednotlivých impulsů nebo přechodových jevů,
 - **spojité rušení** – považováno za posloupnost oddělených jevů a působí kontinuálně (nepřetržitě) na rušené zařízení,
 - **kvazi-impulsní rušení** – kombinace impulsního a spojitého rušení,
- **rušení šířené vedením,**
- **rušení šířené vyzařováním** (prostorem),



Interferenční zdroje -2

- **úzkopásmové rušení**
 - zejména „užitečné“ signály rozhlasových a televizních vysílačů,
- **širokopásmové rušení**
 - většina průmyslových signálů s průběhem spojitým, impulsním či kvazi-impulsním a rovněž i všechna přírodní rušení,
- **nízkofrekvenční rušení**
 - **energetické nf rušení** (do 2 kHz) - nelineární zátěž napájecí sítě způsobující deformaci odebíraného proudu,
 - **akustické nf rušení** (do 10 kHz) - prakticky všechny energetické zdroje, systémy přenosu dat, radary apod.,
- **vysokofrekvenční (rádiové) rušení** (10kHz – 400GHz)
 - všechny existující interferenční zdroje,

Měření elektromagnetické kompatibility

- EMC jako „schopnost zařízení spolehlivě pracovat v daném elektromagnetickém okolí“ zahrnuje dvě oblasti:
- **Elektromagnetická interference, rušení (EMI) –** definuje zařízení, které nesmí rušit okolí více než je nezbytně nutné pro jeho funkci, popř. elektromagnetické rušení způsobující zhoršení provozu přístroje nebo systému.
- **Elektromagnetická susceptibilita, odolnost (EMS)**
- **interní EM odolnost** - odolnost systému vůči rušivým zdrojům, které se nacházejí uvnitř vlastního systému,
- **externí EM odolnost** - odolnost systému vůči vnějším zdrojům elektromagnetického rušení.

Elektromagnetická kompatibilita

zahrnuje zkoušky z oblastí

- typicky **rádiové** (elektromagnetických polí, vf napětí a výkony, jejich generování pro potřeby EMS),
- **nf** (generování statických napětí, impulsů a výbojů),
- měření různých parametrů zkoušených zařízení.

Elektromagnetická kompatibilita

- zkoušky

- zkoušky musí být nezávislé na pracovišti, na kterém se zkouška provádí,
- zaručena opakovatelnost,
- zaručena reprodukovatelnost.

Přehled realizovaných testů a normativní odkazy

- **Emisní testy**

- Měření rušivého napětí na anténních svorkách (E2)
- ČSN EN 55013

- Měření rušivého vyzařování (E3)
- ČSN EN 55013
- ČSN EN 55022



Přehled realizovaných testů a normativní odkazy

- **Imunitní testy**
- Měření účinnosti stínění (pasivní metoda)
ČSN EN 55020

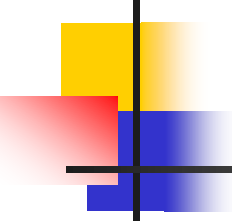
Emisní testy a výpočet nejistot měření

- **Nejistota typu A,**
- kterou určujeme ze série opakovaných a nezávislých měření, nabývá u těchto měření řádově menších hodnot než nejistota typu B a celkovou rozšířenou nejistotu ovlivňuje zcela nepatrně.
- Vzhledem k časové náročnosti jednotlivých testů a používáním velmi kvalitních a přesných měřicích přístrojů nebyla nejistota typu A uvažována a určována v emisním testu E2 a E3.

Emisní testy a výpočet nejistot měření

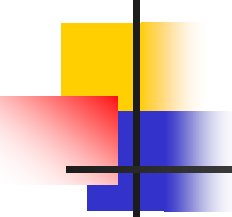


- Při určování standardních **nejistot typu B** uvažujeme jednotlivé zdroje nejistot a jejich velikosti:
 - informace z kalibračních certifikátů,
 - technické dokumentace a manuálů jednotlivých přístrojů od výrobce,
 - ze zkušenosti a obecné znalosti o problematice.



E2: Měření rušivého napětí na anténních svorkách přijímače a přidruženého zařízení s vysokofrekvenčním vstupem v kmitočtovém pásmu 30 MHz – 2,15 GHz

- Při měření elektromagnetického rušení přijímá měřicí anténa elektromagnetické složky rušivého pole a lineárně je převádí na výstupní napětí na výstupních svorkách, popř. na výstupu připojeného kabelu.
- Test E2 se realizuje bez přijímací antény



E2: Měření rušivého napětí na anténních svorkách přijímače a přidruženého zařízení s vysokofrekvenčním vstupem v kmitočtovém pásmu 30 MHz – 2,15 GHz

- **Typ zařízení:**

Televizní přijímače, videorekordéry (EUT) s $f = 30$ MHz – 1 GHz

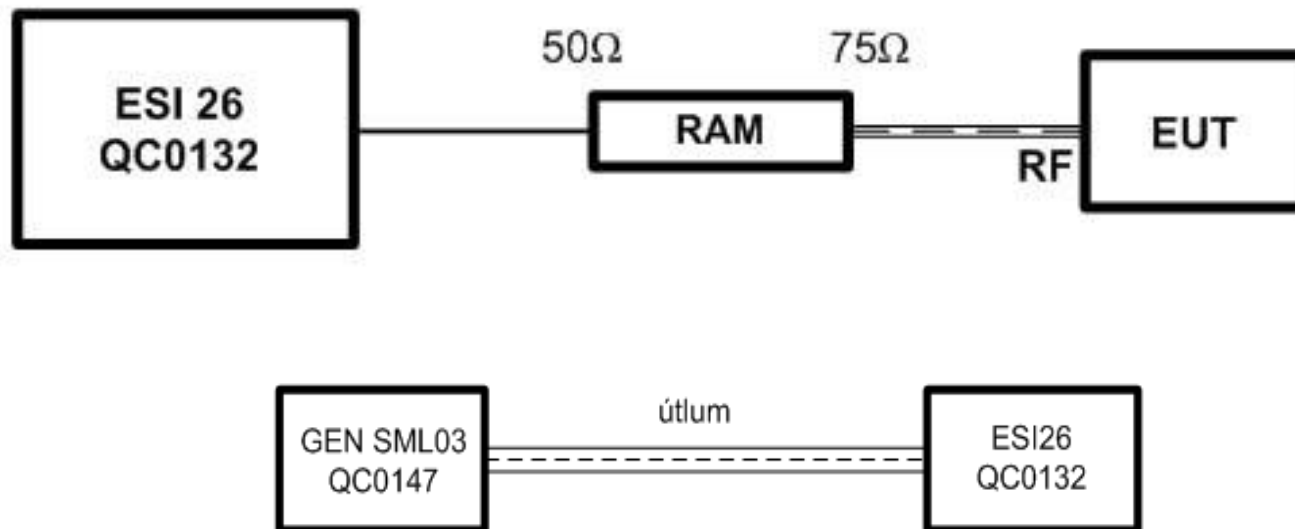
- **Zdroj rušení:**

$f = 30$ MHz – 2150 MHz

QP mezní hodnoty (dB μ V) rušivého napětí na anténních svorkách přijímačů – závisí na kmitočtu (ČSN EN 55013:2002)

- **Přijímač EMC rušení ESI26**

E2: Měření rušivého napětí na anténních svorkách přijímače a přidruženého zařízení s vysokofrekvenčním vstupem v kmitočtovém pásmu 30 MHz – 2,15 GHz





Měření rušivého napětí na anténních svorkách

- **Kalibrace kabelu**

provádí EMC laboratoř vlastní metodou.
Metoda zde uvedená měří útlum na koaxiálním kabelu.

Na jedné straně koaxiálního kabelu je **signální generátor** SML03

a na straně druhé **přijímač** ESI26

Měření rušivého napětí na anténních svorkách

- Při výpočtu nejistoty typu B je uvažována
 - **nejistota kalibrace a**
 - **nejistota při měření**v jednotlivých frekvenčních pásmech.
- Jako typ rozdělení pravděpodobnosti předp. většinou normální rozdělení $N(0, \sigma^2)$, nebo méně často rovnoměrné.

Určení zdrojů nejistoty kalibrace kabelu

- Příklad výpočtu nejistot jednotlivých zdrojů při kalibraci kabelu:

- 1) **Zdroj ESI26** (QC132) v pásmu ≤ 1 GHz a 1-4,5 GHz

$$u_{BZ(y)} = \frac{\Delta Z_{\max}}{\chi} = \frac{\pm 1}{2} = 0,500dB$$

- 2) **Generátor GEN SML03** (QC0147) v pásmu 100 kHz ≤ 2 GHz

$$u_{BZ(y)} = \frac{\Delta Z_{\max}}{\chi} = \frac{0,5}{2} = 0,250dB$$

- 3) **Nepřizpůsobení** přijímač - generátor v pásmu $\leq 1,5$ GHz:

$$\Delta Z_{\max} = \frac{a - b}{2} = \frac{+0,392 - (-0,410)}{2} = 0,401dB$$

$$u_{BZ(y)} = \frac{\Delta Z_{\max}}{\chi} = \frac{0,401}{\sqrt{2}} = 0,286dB$$

Určení kombinované standardní a rozšířené nejistoty typu B jednotlivých frekvenčních pásem při kalibraci

- Příklad výpočtu kombinované standardní a rozšířené nejistoty při kalibraci kabelu v pásmu < 1GHz

- Nejistota typu B

$$u_{BX} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{BZ(y)}^2} = \sqrt{0,250 + 0,063 + 0,082} = 0,395 \text{ dB}$$

- Kombinovaná standardní nejistota

$$u_{CX} = \sqrt{(u_{AX}^2 + u_{BX}^2)} = \sqrt{0,395} = 0,628 \text{ dB}$$

- Rozšířená nejistota

$$U_y = k_u \cdot u_{CX} = 2 \cdot 0,628 = 1,257 \text{ dB}$$



Určení kombinované standardní a rozšířené nejistoty typu B jednotlivých frekvenčních pásem při kalibraci

- Obdobně se určí kombinované standardní a rozšířené nejistoty kalibrací zbývajících frekvenčních pásem (viz Tab. 10-1-3, určení jednotlivých zdrojů a jejich nejistot typu B při kalibraci)
 - do 1 GHz
 - 1 GHz – 1,5 GHz
 - 1,5 GHz – 2 GHz
 - 2 GHz – 4,5 GHz
- a velikosti nejistot jednotlivých zdrojů zahrneme do následujících tabulek jako nejistotu kalibrace, která je odlišná v jednotlivých frekvenčních pásmech



Určení zdrojů nejistoty při měření

- **Určení jednotlivých zdrojů a jejich nejistot typu B při měření**
- **Zdroje nejistoty:**
- **1) Korekce přijímače, zdroj ESI26 (QC132)**
v pásmu ≤ 1 GHz a 1-4,5 GHz
- **2) Nejistota kalibrace**
v pásmu do 1 GHz, 1 – 1,5 GHz, 1,5 – 2 GHz, 2 – 4,5 GHz

Určení kombinované standardní a rozšířené nejistoty typu B jednotlivých frekvenčních pásem

- **Určení standardní nejistoty a rozšířené nejistoty v jednotlivých pásmech měření**

- **Frekvenční pásmo** < 1GHz 1GHz–1,5GHz 1,5GHz–2GHz 2GHz–4,5GHz
- **Zdroj nejistoty**
- Korekce přijímače ESI26 (QC0132) $UBZ(y)^2$
- 0,250 1,000 1,000 1,000
- Nejistota kalibrace $UBZ(y)^2$
- 0,395 1,145 1,298 1,438
- $\Sigma UBZ(y)^2$ dB² 0,645 2,145 2,298 2,438
- **Nejistota [dB]**
- **Typ rozdělení**

Příklad výpočtu nejistoty měření v pásmu < 1GHz

- **Součet nejistot z kalibrací a měření**

- **Nejistota typu B:**

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{BZ(y)}^2} = \sqrt{0,250 + 0,395} = 0,803 \text{ dB}$$

- **Kombinovaná standardní nejistota**

$$u_{CX} = \sqrt{(u_{AX}^2 + u_{BX}^2)} = \sqrt{0,645} = 0,803 \text{ dB}$$

- **Rozšířená nejistota**

$$U_y = k_u \cdot u_{CX} = 2 \cdot 0,803 = 1,606 \text{ dB}$$

- **Výsledek měření v jednotlivých pásmech:**

- **< 1 GHz, 1 GHz – 1,5 GHz, 1,5 GHz – 2GHz, 2 GHz – 4,5 GHz**



Závěr - test E2

- K celkové nejistotě měření výrazně přispívá **nejistota kalibrace**, která je největší v pásmu větším než 2 GHz, a naopak nejmenší v pásmu pod kmitočtem 1 GHz.
- Samotný **zdroj nejistoty** ESI 26 (QCO132) zanáší do měření nezanedbatelné velikosti nejistot zejména v pásmu vyšším než 1 GHz.
- Důležitý je i **vliv obsluhujícího personálu** z hlediska dodržení podmínek měření, správného použití zkalibrovaných kabelů s dobrým stíněním, malým útlumem a odpovídajícím frekvenčním rozsahem.
- Také je důležité ponechat **přístroje dostatečně zahřát** před měřením a pravidelně ověřovat podle doporučení výrobce.
- **Obecně** platí, že se zvyšováním frekvence dochází i k zvyšování nejistoty měření při zachování stejných podmínek měření a přístrojového vybavení.



E3: Měření vyzařování v kmitočtovém rozsahu 30MHz – 1GHz ve vzdálenosti 3m

- Platí, že při kmitočtech **nad 30 MHz** se rušivá **energie šíří zářením** od zařízení, které je zdrojem rušivé energie k rušenému přijímači.
- Tato univerzální metoda slouží pro měření vyzařování, které je vyjádřené jako intenzita elektrického pole způsobeného televizními přijímači, videorekordéry, kmitočtové modulovanými přijímači a dalšími zařízeními.



Požadavky na měřicí místo

- Jednou z nejdůležitějších podmínek je eliminace vnějších rušivých elektromagnetických polí.
- Měření realizují ve velké místnosti uvnitř budovy:
- **stíněné komory** (kde měření rušivého vyzařování není ale zcela optimální, zejména z důvodu vlastní rezonance a vnitřních odrazů v komoře), nebo
- **bezodrazové (absorpční) stíněné komory** (ideální prostředí na měření rušivého vyzařování).



Požadavky na měřicí místo

■ Stíněná komora

je vytvořena jako uzavřený prostor z desek ocelových plechů, který zajišťuje dostatečnou elektromagnetickou těsnost (vč. dveří, větracích otvorů apod.).

Toto pracoviště musí být vybaveno řadou dalších nezbytných prvků (okna, dveře, větrací průchody apod.), které v konečném důsledku výrazně snižují účinnost stínění.

Kvalitní stíněná komora musí zajišťovat útlum pro vnější signály na úrovni 100-120 dB (to lze zajistit v kmitočtovém rozsahu cca pěti dekad, např. od 10 kHz do 1 GHz, nebo 100 kHz do 10 GHz).

Stíněná komora

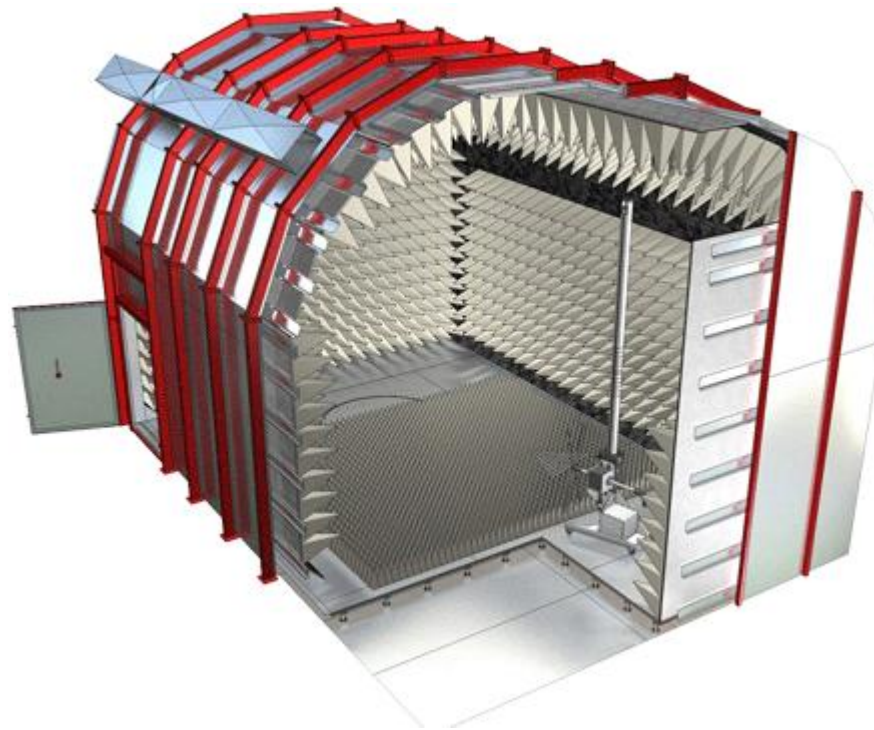




Požadavky na měřicí místo

- **Komora musí být elektromagneticky stíněná pro účinné potlačení vnějších rušivých signálů a**
- **bezodrazová pro zamezení vzniku vnitřních odrazů elektromagnetických vln a vlastní rezonance stíněného prostoru.**
- **Měřicí místo musí mít rovný povrch a nesmí obsahovat jakékoliv odrazivé předměty.** Nepřípustné jsou i jakékoliv cizí kovové předměty přesahující rozměr 50 mm, které by se nacházely v blízkosti jednotlivých zařízení v komoře.

Bezodrazová komora





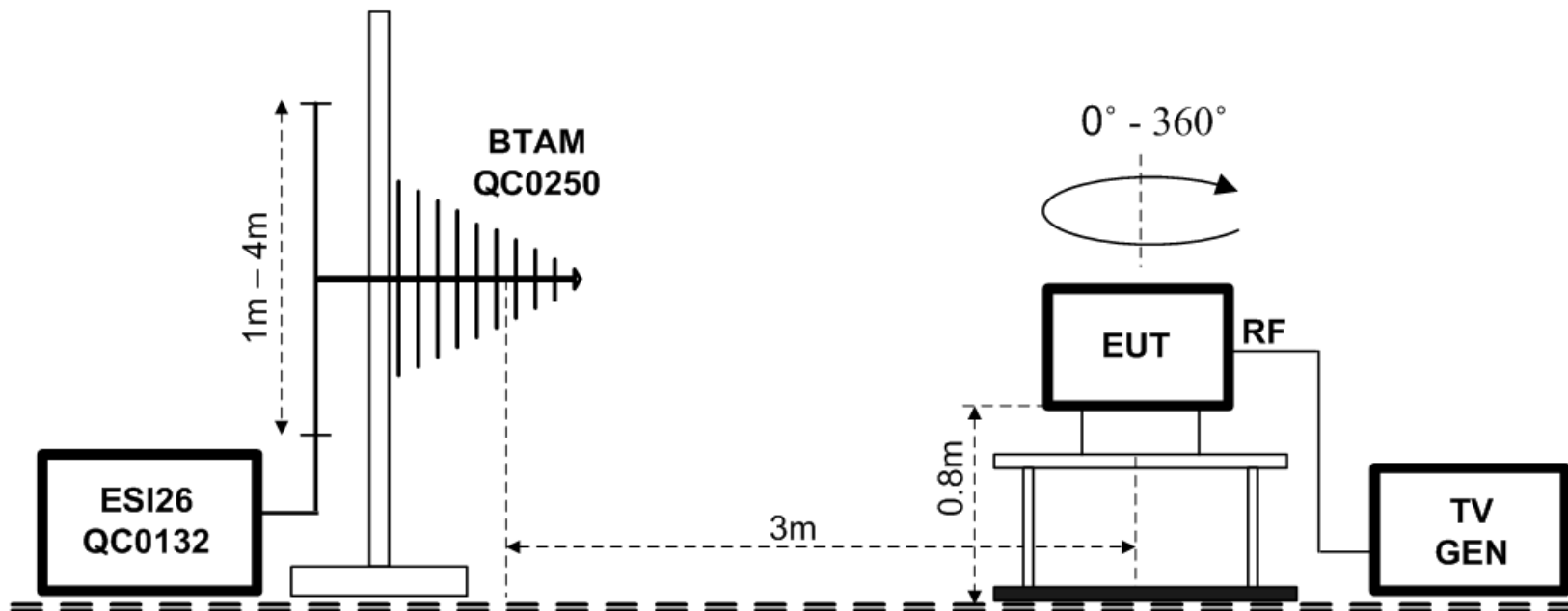
Požadavky na měřicí místo

- **Bezodrazová (absorpční) stíněná komora**

je elektromagneticky stíněný prostor potřebných rozměrů pro měřicí vzdálenost 3 m, 10 m nebo 30 m, jehož vnitřní stěny (vč. stropu, někdy i podlahy) jsou obloženy elektromagneticky absorpčním materiálem, zajišťujícím omezení vnitřních odrazů v komoře v širokém pásmu kmitočtů.

- Komora musí být elektromagneticky stíněná pro účinné potlačení vnějších rušivých signálů a bezodrazová pro zamezení vzniku vnitřních odrazů elektromagnetických vln a vlastní rezonance stíněného prostoru.
- Absorpční materiály přeměňují energii dopadající vlny na teplo s využitím buď dielektrických nebo magnetických ztrát. Upřednostňují se většinou dielektricky ztrátové materiály z důvodu nízké hmotnosti a cenových nákladů oproti magneticky ztrátovým materiálům. Pro výrobu ztrátových dielektrik ve tvaru jehlanů, či kuželů se používají tvrzené pěnové materiály z polystyrénu, polypropylénu nebo polyuretanu, které se sytí elektrovodivými či grafitovými plnidly (dnes nejpoužívanější).

Schéma zapojení a uspořádání měřicího místa





Výpočet nejistot

- **Výpočet nejistot [1], Standardní nejistota typu B**
-
- **Určení jednotlivých zdrojů nejistoty typu B kalibrace kabelu anténa – přijímač**
- **Určení jednotlivých zdrojů a jejich nejistot typu B při měření**
- **[1] ČSN EN 55016-4-2: 2005 - Specifikace přístrojů a metod měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti – Část 4-2: Nejistoty, statistické hodnoty a stanovování mezí – Nejistoty při měřeních EMC,**



Určení nejistot v horizontální a vertikální poloze přijímače

- **Určení nejistoty v horizontální poloze ve frekvenčním pásmu < 80 MHz,**
- **Určení nejistoty v horizontální poloze ve frekvenčním pásmu 80 MHz – 1GHz**
- **Určení nejistoty ve vertikální poloze ve frekvenčním pásmu < 80 MHz**
- **Určení nejistoty ve vertikální poloze ve frekvenčním pásmu 80 MHz – 1GHz**



Výsledek měření

- Rozšířená nejistota (dB)
- Frekvenční pásmo: do 80 MHz 80 MHz – 1 GHz
- Vertikální poloha 4,619 3,785
- Horizontální poloha 4,064 3,080



Závěr 1 – test E3

- **Na velikost nejistoty při měření** v bezodrazové (absorpční) stíněné komoře má vliv více faktorů.
- Zdrojem největší nejistoty je
- korekce pracoviště ve vertikální poloze, nepřizpůsobení anténa – přijímač a
- použití širokopásmové logaritmicko-periodické antény v celém frekvenčním rozsahu.



Závěr 2 – test E3

- **Na přesnost anténních měření elektromagnetického rušení má vliv:**
- AF (Antenna Factor) udávaný výrobcem, který je závislý na podmínkách měření a uspořádání měřicího pracoviště (např. výška antény nad zemí, vodivost a odrazivost země, přítomnost jiných odražených signálů, polarizace pole, vzdálenost antény od zdroje rušení apod.).
- Každá měřicí anténa je individuálně kalibrována, tj. je změřen její anténní faktor v celém pracovním kmitočtovém pásmu za přesně definovaných podmínek kalibrace.
- Zjištěné hodnoty AF pak platí jen pro tyto pracovní podmínky v procesu měření, které splňují podmínky opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.



Závěr 3 – test E3

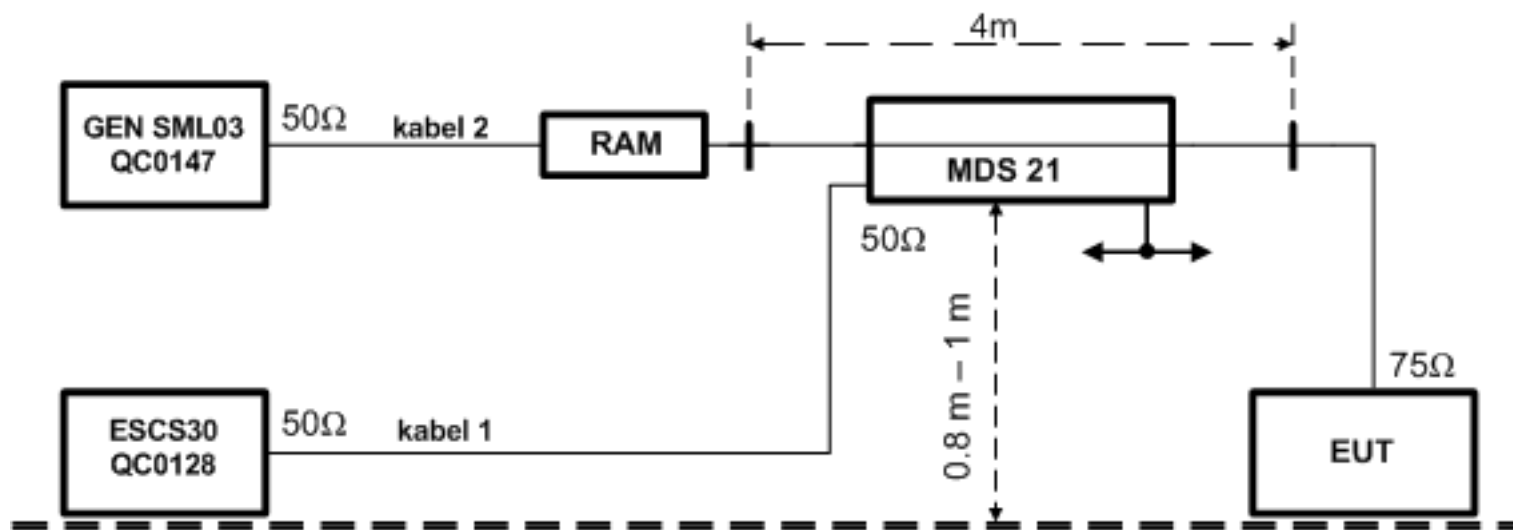
- Výrazný vliv na přesnost anténního měření má impedanční přizpůsobení celého měřicího řetězce (antény a napájecího kabelu na jedné straně a kabelu a vstupu měřiče rušení na straně druhé) v celém kmitočtovém rozsahu.
- Je proto velmi důležité použití odpovídajících zkalibrovaných kabelů. Omezit velikosti nejistot lze použitím dvou úzkopásmových antén (zvláště pro každé frekvenční pásmo), zlepšením NSA, lepším rozmístěním absorbérů v komoře apod.
- Důležitý je i vliv obsluhujícího personálu z hlediska dodržování přesného postupu měření, kalibrací a doporučení dané výrobcem zařízení a technickými normami.



Imunitní test a výpočet nejistoty měření

- **Měření účinnosti stínění v kmitočtovém rozsahu 50 MHz – 750 MHz (pasivní metoda)**
- Elektromagnetické stínění je konstrukčním prostředkem k zeslabení pole rušivých signálů. Je jedním z nejdůležitějších odrušovacích prostředků EMC, který umožňuje jak zmenšení rušivého vyzařování na straně zdrojů rušivých signálů, tak i zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů rušivých signálů.
- Tímto technickým prostředkem jsou stínící kryty (označované jako „*stínění*“). Stínění slouží jak k ochraně jednotlivých součástek, tak funkčních bloků tvoří vysoce efektivní způsob elektromagnetické ochrany před výkonovým rušením.

Měření účinnosti stínění v kmitočtovém rozsahu 50 MHz – 750 MHz (pasivní metoda) – S4P





Postup

■ Měření se provádí ve stínící komoře.

- **Zkoušené zařízení** je umístěné na nekovový stůl, který se nastaví do potřebné výšky.
- Na straně anténní svorky EUT se umístí další nekovový stůl dlouhý 4 m s nastavitelnou výškou 0,8 m – 1 m, který umožňuje pohyb absorpčních kleští MDS 21
- Na poslední stůl se umístí **generátor GEN SML03**
- Zapnutý **přijímač ESCS30** se propojí kabelem s absorpčními kleštěmi, nechá 20 minut zahřát a překalibrovat.



Postup

- Do anténního vstupu vzorku, který je vypnutý, se připojí testovací kabel (GLIDE RAIL) a vloží do absorpčních kleští MDS 21, které se pak zavřou.
- Připojení anténního konektoru do tuneru musí být rovnoběžné s osou tuneru.
- Jestliže se výstupní impedance generátoru liší, musí se přizpůsobit na straně zkoušeného zařízení pomocí přizpůsobovacího obvodu.
- Ve vzdálenosti 0,8 m od měřicí soustavy nesmí být žádné odražející nebo absorbující předměty.
- Měření bylo provedeno softwarově programem T80-K1 (passive S4).

Realizace měření v systémech a kanálech

- Systém PAL B/G
- Frekvence [MHz] 55,25 196,25 527,25 743,25
- Kanál CH3 CH8 CH28 CH55

- Systém SECAM L
- Frekvence [MHz] 63,75 200 503,2 743,25
- Kanál CH82 CH4 CH25 CH55

- Systém PAL I
- Frekvence [MHz] 53,75 199,25 527,25 743,25
- Kanál CH2 CH7 CH28 CH55



Standardní nejistota typu A

- Nejistota typu A,
- kterou stanovujeme ze série opakovaných a nezávislých měření, nabývá řádově menší hodnoty, než nejistota typu B a celkovou rozšířenou nejistotu ovlivňuje nepatrně.
- V tomto testu byla pro názornost nejistota typu A vyjádřena získáním hodnot z 20 opakovaných měření v kanálech CH3, CH8, CH28 a CH55 v systému PAL B/G.
- Obdobně by se při výpočtu nejistoty postupovalo i v systémech PAL I, SECAM L.



Standardní nejistota typu A

- **Údaje o nejistotě měření:**

- | Kanál | CH3 | CH8 | CH28 | CH55 |
|-----------------------|--------|--------|------|--------|
| Nejistota typu A [dB] | 0.0222 | 0.2796 | 0.01 | 0.0638 |



Určení jednotlivých zdrojů nejistoty typu B při kalibraci

- Zdroje nejistoty:
 - Korekce generátoru GEN SML03
 - Korekce přijímače ESCS30
 - MDS21
 - Nejistota kalibrace Kabel 1
 - Nejistota kalibrace Kabel 2



Údaje o nejistotě měření

kanály	CH3	CH8	CH28	CH55
■ Nejistota typu A	0.0222	0.2796	0.01	0.0638
■ Nejistota typu B	1.173	0.950	0.950	0.950
■ Kombinovaná standardní nejistota	1.173	0.990	0.950	0.952
■ Rozšířená nejistota	2.346	1.980	1.900	1.904



Závěr 1 – test S4P

- Velikosti rozšířených nejistot v systému PAL B/G na jednotlivých kanálech nabývají největších hodnot v kanálu CH3 na nejnižší frekvenci.
- U vyšších frekvencí, konkrétně u kanálů CH28 a CH55 je velikost rozšířené nejistoty téměř stejná.
- Samotné výsledky jsou ale závislé na opakovaném počtu více provedených měření a je nutné zohlednit i časovou náročnost při jejich realizaci.



Závěr 2 – test S4P

- Nejistota typu A je v tomto případě řádově velmi malá a výslednou rozšířenou nejistotu prakticky neovlivňuje. Lze se domnívat, že podobné výsledky můžeme očekávat i u dalších měření v jiných systémech.
- Zdroji největší nejistoty typu B je nejistota absorpčních kleští do frekvenčního pásma 60 MHz, nejistota korekce přijímače a nejistota kalibrace.
- Zlepšení výsledků měření lze dosáhnout použitím kvalitnějšího testovacího kabelu (útlum, kvalita stínění, nepřizpůsobení) a použitím lépe stíněných konektorů.
- Další důležitou podmínkou je dodržování podmínek měření podle doporučení výrobce a technických norem.



Konec přednášky

- Děkuji za pozornost
 - Olga Tůmová
 - Vedoucí Oddělení měření
 - Katedra technologií a měření
 - Fakulta elektrotechnická
 - Západočeská univerzita v Plzni