

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zařízení pro měření elektromagnetických emisí

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří VOPAT**
Osobní číslo: **E10B0273P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Zařízení pro měření elektromagnetických emisí**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište změny v normalizaci pro měření emisí po vedení z hlediska požadovaných frekvenčních rozsahů a důvody těchto změn.
2. Uveďte typy přístrojů pro snímání emisí.
3. Popište postupy měření s jednotlivými typy snímacích zařízení.
4. V souladu s platnými normami uveďte doporučení pro aplikaci těchto zařízení při zkouškách.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:


1. Svačina: Encyklopedie elektromagnetické kompatibility
2. Normy z oblasti EMC dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Hromádka, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013
Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zaměřuje na rušivé signály a to převážně na měřící techniku, kterou lze tyto signály měřit.

Klíčová slova: Rušení, anténa, umělá síť, proudová sonda, napěťová sonda, absorpční kleště

Abstract

The bachelor thesis presents the disturbance signals, especially the equipment for measuring these signals.

Key words: Disturbance, antenna, artificial network, current probe, voltage probe, absorbing clamps

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této práce, je legální.

V Plzni dne 3. 6. 2014

Jiří Vopat

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Miroslavovi Hromádkovi, Ph.D. za vstřícnost a ochotu, za odborné rady, které mi umožnily zpracování této bakalářské práce.

Obsah

ÚVOD	9
POUŽITÉ ZKRATKY	10
1. RUŠENÍ.....	12
1.1. Zdroje rušení.....	12
1.2. Šíření rušivých signálů	14
1.3. Prostředí.....	16
1.4. Měření rušení.....	17
2. PŘÍSTROJE K MĚŘENÍ EMISÍ.....	19
2.1. Umělá síť	19
2.1.1. Typy umělých sítí	20
2.1.2. Postup měření	23
2.1.3. Uspořádání pracovní plochy.....	24
2.2. Napěťová sonda.....	25
2.3. Proudová sonda	26
2.4. Absorpční kleště.....	30
2.4.1. Přídavné absorpční zařízení.....	32
2.4.2. Oddělovací funkce absorpčních kleští.....	32
2.4.3. Kalibrace	33
2.5. Antény	33
2.5.1. Měřicí stanoviště	36
2.5.2. Umělá zemní rovina	37
2.5.3. Otočný stůl	38
2.5.4. Útlum stanoviště.....	39
2.5.5. Anténní faktor.....	40
3. ELEKTROMAGNETICKY STÍNĚNÉ PROSTORY.....	41
3.1. Plně bezodrazové absorpční komory	42
4. ROZDÍLY V NORMÁCH	43
4.1. Kalibrační metody	43
4.2. Validace.....	46
4.3. Měření emisí v automobilovém průmyslu.....	47
4.3.1. Testy rušivých signálů na vedení	47
4.3.2. Testy rušivého vyzařování.....	47
4.4. Informační technologie.....	47

ZÁVĚR.....	49
ZDROJE.....	50
PŘÍLOHA.....	52

ÚVOD

Práce se zaměřuje na přístroje, kterými lze měřit elektromagnetické emise. Vzniku rušivých signálů často nejde zabránit a lze je pouze nějakým způsobem omezit. Pro stanovení maximálních přípustných hodnot rušivých signálů je zapotřebí měřících přístrojů, kterými je možné signály změřit. Tato práce se zaměřuje právě na tyto přístroje. Je rozdělena do několika kapitol. První se zabývá rušivými signály, jejich základním rozdělením a šířením těchto signálů v prostoru. Druhá část je stěžejní kapitola této práce. Pojednává o měřících přístrojích, popisuje způsob, jak s těmito přístroji měřit a popisuje měřící stanoviště. Třetí je o elektromagneticky stíněných prostorech. Poslední část udává změny v normalizaci.

POUŽITÉ ZKRATKY

ACA – sestava absorpčních kleští (absorbing clamp assembly)

ACMM – měřicí metoda absorpčními kleštěmi (absorbing clamp measurement method)

ACTS - zkušební stanoviště s absorpčními kleštěmi (*absorbing clamp test site*)

AF – anténní faktor

CF – činitel kleští (clamp factor)

CMAD – nesymetrické absorpční zařízení (common mode absorbing device)

DF – činitel oddělení širokopásmového absorbéru (decoupling factor)

DR – činitel oddělení k měřicímu přijímači, který určuje oddělení proudového transformátoru od nesymetrické impedance měřícího přijímače

DUT – zařízení podrobované zkoušce (device under test)

ESA – elektronické subsystémy a komponenty (electronic sub-assembly)

EUT – zařízení podrobené zkouškám vyhovění (equipment under test)

FAR – plně bezodrazová komora (fully-anechoic room)

ITE – zařízení informační techniky (information technology equipment)

JTF – přenosová funkce přípravku (jig transfer factor)

LAS – smyčková anténa (loop antenna system)

LLA – velká smyčková anténa (large loop antenna)

LPDA – logaritmicko-periodická dipólová anténa (log-periodic dipole array)

NSA – normalizovaný útlum stanoviště (normalised site attenuation)

MR – měřič rušení

OATS – zkušební stanoviště ve venkovním prostoru (open area test site)

SAC – částečně bezodrazová komora (semi-anechoic chamber)

SAD – přidavné absorpční zařízení (secondary absorbing device)

SG – signálový generátor

ZO – zkoušený objekt

1. RUŠENÍ

1.1. Zdroje rušení

Elektrotechnický systém se může považovat za zdroj a zároveň i přijímač elektromagnetických emisí. Interferenční zdroje jsou skupinou systémů, u kterých převažuje generování pulzů nad jejich nežádoucím příjmem.

Tyto zdroje se mohou dále dělit podle jejich původu

- Přírodní
- Umělé

Rušivé signály přírodních zdrojů nevznikají činností člověka. Patří sem např. elektromagnetické jevy v atmosféře (vznik blesku) a jevy vznikající vlivem působení slunce (polární záře). Jedná se obvykle o nepravidelné vysokofrekvenční rušivé signály. Vzniku těchto signálů nelze zabránit. Umělé signály vznikají lidskou činností. Takové signály mohou vznikat:

- Záměrně
- Nezáměrně

Záměrně vytvářené signály se po průniku do nežádoucích míst stávají rušivými signály (signály radiových a televizních vysílačů, ale také při přenosech elektrické energie o velkých napětích). Nezáměrně vytvářené rušivé signály vznikají jako vedlejší produkt při přeměnách a řízení elektrické energie. Mezi tyto signály patří jevy vzniklé na nelineárních zátěžích (zářivky, polovodičové měniče), při poruše napájení (zkrat, zemní spojení).

Často se rušení rozdělují do tří základních skupin:

Šum – rušivé signály, které ovlivňují tvar užitečného signálu (napájecí napětí). Šum má obvykle periodický průběh.

Impulzy – rušivé signály impulzního charakteru s velkým poměrem jejich velikosti ku době trvání těchto impulzů.

Přechodné jevy – jednorázové, náhodné rušivé signály s dobou trvání v intervalu od jednotek ms do několika sekund. Tyto jevy vznikají například v elektrické síti při spínání či vypínání spotřebičů větších výkonů.

Interferenční zdroje lze dělit podle časové oblasti. Impulzní rušení má charakter posloupnosti (dílčích) jednotlivých impulzů nebo přechodných jevů. Spojité rušení, jež je opakem rušení impulzního, nelze považovat za posloupnost jednotlivých jevů. Toto rušení působí neustále na rušené zařízení. Kombinací obou výše zmíněných rušení vzniká rušení kvazi-impulzní.

Rozdělení podle kmitočtové oblasti:

- Nízkofrekvenční
- Vysokofrekvenční

Nízkofrekvenční rušení by se mohlo dále dělit na energetické (0 – 2kHz) a akustické (do 10kHz). Nízkofrekvenční rušení souvisí s jevy, jako jsou pomalé změny napájecího napětí, krátkodobé poklesy či přerušení napájecího napětí, nesymetrie napětí, signály v napájecích sítích a elektrická a magnetická pole. Všechny tyto jevy jsou krátce popsány dále v následujících řádcích.

Pomalé změny napájecího napětí jsou vyvolávány většinou významnými změnami odebíraného výkonu z rozvodné sítě. Mohou je způsobit například obloukové pece, elektrolytická a galvanizační zařízení nebo také pohony o velkých výkonech.

Krátkodobé poklesy či přerušení napájecího napětí, způsobené poruchovými jevy a jejich následným odstraněním při AOZ (automatika opětovného zapojení).

Nesymetrie napětí nastává připojením nesymetrické třífázové (někdy i velké 1f, 2f) zátěže.

Signály v napájecích sítích zastupuje hlavně HDO (hromadné dálkové ovládání), případně jiné komunikační přenosy v sítích (nn, vn). Kmitočty těchto signálů jsou shodné s kmitočtem sítě. Při nahodile vzniklé rezonanci (např. s kompenzačními prostředky) může dojít až k havárii.

Elektrická a magnetická pole se na rozdíl od výše uvedených rušivých signálů, které se šíří po vedení, šíří prostorem. Rušivá elektrická pole vytváří vodiče venkovního vedení (vn, vvn).

Magnetická pole vytváří vodiče protékané velkými proudy, mohou se přechodně vyskytnout v blízkosti vodičů při zkratech.

Vysokofrekvenční rušení též radiové rušení je v pásmu od 10kHz do 400GHz. Rozlišení způsobu šíření je významnější než u nízkofrekvenčního rušení. Při vhodných podmínkách může rušivý signál šířící se po vedení využít toto vedení jako vysílací anténu a pokračovat jako elektromagnetické pole. Může nastat i opačný jev. Vedení může zachytit rušivé elmag. pole a rušení se bude šířit po vedení. O tom, jestli se signál půjde po vedení nebo polem, rozhoduje konkrétní konfigurace zdroje, charakter prostředí, vzájemná vzdálenost apod. Zdrojem emisí mohou být zařízení pro indukční a mikrovlnný ohřev. Zdrojem rušení jsou i výboje a jiskření na velmi namáhaných izolátorech, koróna a jiskření na nedokonalých kontaktech.

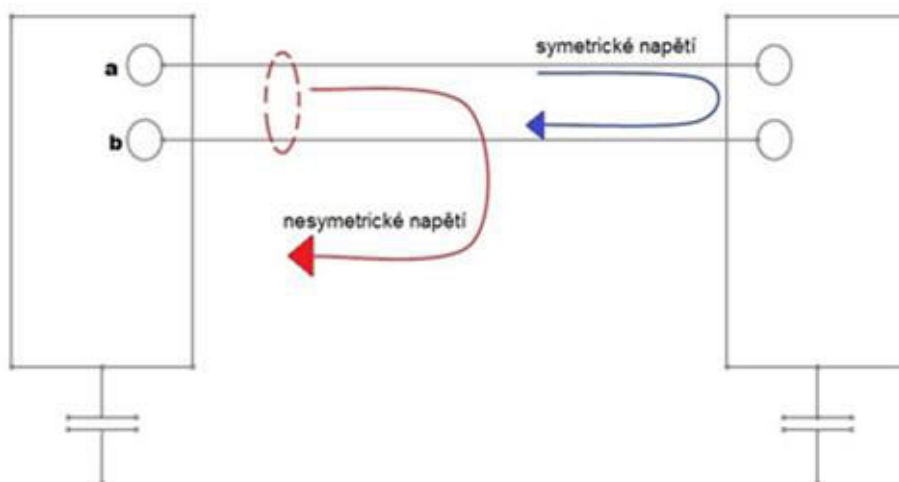
1.2. Šíření rušivých signálů

Předpokladem šíření rušivého signálu je existence cesty, kterou se signál šíří od zdroje k zařízení. Rušení se šíří základními třemi způsoby: po **vedení** (kontaktně); **vazbami** nebo **vyzařováním** (bezkontaktně). Na vedení se rozeznávají dva druhy rušivého napětí: symetrické a nesymetrické

K šíření rušivého signálu je zapotřebí přímé propojení napájecími nebo datovými vodiči. Galvanické propojení je pro elektrický signál vhodným prostředím. Galvanická vazba nebo také vazba se společnou impedancí je vazba dvou systémů, které mají společnou impedanci (RL článek) – obvykle ve společném zemnicím obvodu. Společnou impedancí protékají proudy z obou bloků. Napětí vzniklé na této impedanci vlivem průchodu proudu z prvního bloku vlastně představuje rušivé napětí pro druhý blok. Pro nízké frekvence (v řádu kHz) je společná impedance tvořena převážně odporovou složkou. Pro vyšší kmitočty se uplatňuje především induktivní složka, na které může i poměrně malý proud při rychlé časové změně vyvolat velké napětí, které je pro druhý blok rušivé. Indukčnost společné impedance a kapacity spojují tvoří rezonanční obvody, kvůli kterým může být společná impedance (tím pádem i galvanická vazba) na některých vyšších kmitočtech značně velká.

Rušení šířené po vedení

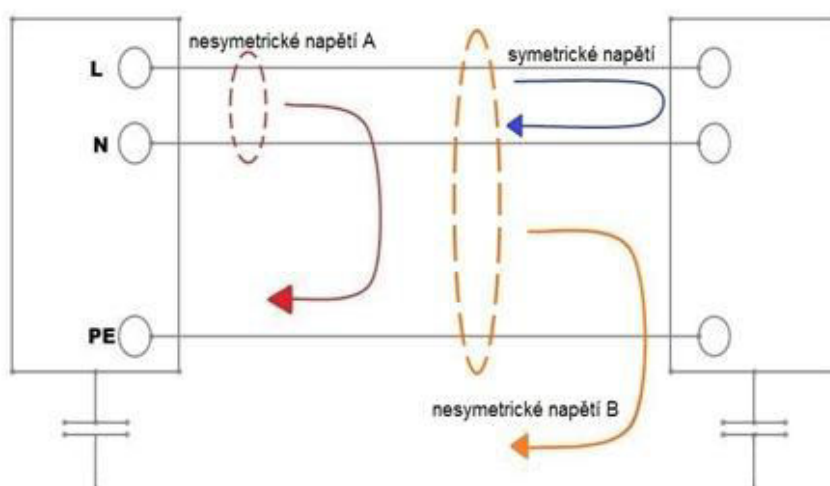
Symetrické napětí je napětí mezi dvěma libovolnými vodiči příslušného vedení. Toto napětí je vyvoláno připojením rušivého zdroje mezi dvojici vodičů. Rušivé napětí vyvolá proud, který se uzavírá smyčkou, tvořenou těmito vodiči.



obr. 1 Šíření rušivých signálů dvojicí vodičů

Nesymetrické napětí se objevuje mezi pracovními vodiči a vztažným bodem (mezi zemí nebo kostrou zařízení). Rušení může být vyvoláno indukovaným rušivým polem do všech vodičů vedení proti zemi. Na obr. 2 jsou znázorněny možné rozdíly výkonového napájení, kdy se rušivý proud vyvolaný nesymetrickým napětím bude uzavírat buď uvnitř ochranným vodičem (napětí A) nebo uzemněnou konstrukcí (napětí B).

2) Napájecí přívod



obr. 2 Šíření rušivých signálů po vedení

Impedance jednotlivých vodičů proti zemi je různá, různé napěťové úbytky při nesymetrickém rušení často vyvolají symetrické rušení a výsledné rušení je kombinací obou typů.

Rušení šířené vazbami

Šíření vazbami vzniká především mezi blízkými vodiči (vedení ve společném kabelu nebo na společné trase). Uplatňují se při tom vzájemné indukčnosti a kapacity mezi vodiči. Vzájemná indukčnost se pohybuje v desetinách mH na metr délky vzájemného souběhu pro vodiče vzdálených od sebe do deseti centimetrů. Pro kapacitu platí hodnoty v jednotkách pF/m.

Rušení šířené vyzařováním

K rušení vyzařováním dochází při větších vzdálenostech mezi zdrojem rušení a přijímačem, kdy je prakticky vyloučena induktivní i kapacitní vazba a tudíž je umožněna vzájemná vazba obou objektů vyzařovaným elektromagnetickým polem. Je možné uvažovat rozdělení dvěma způsoby:

V blízkém poli neplatí popis rovinnou vlnou (ani konstantní poměr elektrické a magnetické složky), v obvyklých případech pro vzdálenosti kratší, než je dvojnásobek vlnové délky (např. pro 100MHz je to vzdálenost přibližně 3m).

Vzdálené pole je pro posouzení úrovně rušení vhodnější, může být totiž popsáno rovinnou vlnou, přijímač i vysílač můžou být totiž uvažovány jako náhradní anténa.

1.3. Prostředí

Pro stanovení EMC daného zařízení je důležité, pro jaké prostředí je určeno. Toto prostředí je charakterizováno elektromagnetickými úrovněmi jak v elmag. poli, jež obklopuje dané zařízení, tak v napájecích vodičích přivedených k zařízení. Podle intenzity rušení se rozlišují druhy prostředí takto:

- Chráněné prostředí – vyznačuje se velmi nízkými úrovněmi rušení, které je zajišťováno odrušovacími prostředky na vstupech vedení do místnosti
- Obytné prostředí – relativně nízké úrovně rušení, hlavně v obytných objektech.
- Průmyslové prostředí – vysoké úrovně rušení, v místě výskytu silně rušícího zdroje, který je napájen z neveřejné průmyslové sítě.

Pro zvláštní případy se specifikují i další elmag. prostředí, které se vyznačují rušivými signály, jako např. rozvodny vn a vvn.

Pro jednotlivá prostředí se stanovují meze emisí, tj. maximální přípustné úrovně emitovaného rušení, a meze odolnosti – minimální přípustné hodnoty odolnosti proti jednotlivým typům rušení. Po uvedení těchto pojmů je vhodné zmínit i rezervu kompatibility, což je odstup mezi maximální přípustnou úrovní konkrétního emitovaného rušení a minimální přípustné hodnoty odolnosti proti tomuto rušení v daném prostředí.

1.4. Měření rušení

Měření emisí se dělí na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. Pro každý typ tohoto měření platí jiné požadavky na normy a měřicí techniku.

Základní normou pro nízkofrekvenční oblast je ČSN EN 61000-2-2 (popisuje kompatibilitu úrovní pro nf rušení). Tyto normy dělí rušivé signály nf oblasti na:

- harmonické a meziharmonické
- kolísání napětí
- změny kmitočtu a ss složky

Za harmonické se mohou považovat sinusová napětí a proudy o kmitočtech, které jsou celými násobky kmitočtů, na které je navržena provozovaná síť (50Hz nebo 60Hz). Zdrojem, který generuje harmonické proudy, jsou např. neřízené usměrňovače s kapacitním vyhlazováním (v televizích). Ke škodlivým účinkům harmonických patří chybná funkce HDO, přídavné ztráty na kondenzátorech. Tyto účinky se mohou dělit na dlouhodobé a krátkodobé. Krátkodobé účinky souvisí se selháním. Dlouhodobé účinky jsou způsobovány přehřátím a mají tedy tepelný charakter.

Měření těchto signálů se provádí amplitudovou nebo komplexní analýzou pomocí harmonických analyzátorů. Samotné měření je jednoduché. Na vstup se připojí vyšetřovaný proud (napětí), podle typu přístroje je zaznamenán průběh spektra harmonických. Meze pro proudy daných harmonických jsou určeny normou ČSN EN 61000-3-2, která je stanovuje pro zařízení se vstupním fázovým proudem do 16 A včetně. Dle této normy se zařízení dělí do 4 tříd:

- třída A - souměrné třífázové měniče s výkonem vyšším než 600W,
- třída B - přenosné nářadí,

- třída C - světelná zařízení,
- třída D - zařízení se speciálním průběhem vlny

Měření se provádí pro kvazistacionární a pro rychle se měnící harmonické, požaduje to výše zmiňovaná norma. Měření kvazistacionárních harmonických není náročné a je možné ho provádět s levnějšími analyzátory. Měření kolísajících harmonických vyžaduje složitější přístroje a je třeba měřit nepřetržitě po určitý časový interval, aby byly zachyceny extrémní harmonických. Měření amplitudy harmonických a fázového posunu mezi napětím a proudem se provádí kvůli lokalizaci rušivých zdrojů harmonických.

Při měření vysokofrekvenčního rušení se měří rušení šířené vedením a šířené vyzařováním. Způsob měření je normalizován pro každou určitou skupinu přístrojů dle norem řady ČSN EN 550. Požadavky na přístroje pro měření jak rušení na vedení, tak i vyzařováním v kmitočtové oblasti od 9 kHz do 18 GHz stanovuje norma ČSN CIPR 16-1. Norma se vztahuje pro následující přijímače:

- měřící přijímače kvazivrcholových (QP) hodnot
- měřící přijímače vrcholových (P) hodnot
- měřící přijímače středních (AV) hodnot
- měřící přijímače efektivních (RMS) hodnot

Mezi základní parametry měřícího přijímače patří:

- vstupní jmenovitá impedance 50 Ω (nesymetrická)
- vstupní symetrický transformátor pro pásmo 9 kHz ÷ 30 MHz; pro pásmo 9 ÷ 150 kHz je vhodnější použití impedance 600 Ω

Měřící přijímač analyzuje neznámé rušivé napětí a indikuje jeho úroveň. Nejrozšířenějším typem měřícího přístroje je selektivní vysokofrekvenční voltmetr. Používají se i spektrální analyzátory, které jsou na rozdíl od selektivního voltmetru levnější, ale nejsou vybaveny preselektorem.

Pro měření rušivých emisí šířených vedením ale i vyzařováním je zapotřebí nejen měřícího přístroje (selektivní V-metr, spektrální analyzátor), ale i dalšího příslušenství:

- umělá síť a napěťová sonda, kterými se měří rušivé napětí
- proudová sonda k měření rušivých proudů
- absorpční kleště k měření vyzařovaného výkonu
- antény, jež se používají k měření elektromagnetického pole

Tab. 1 Přístroje pro měření elektromagnetických emisí

zařízení	pro měření	frekvenční pásmo [MHz]
umělá síť	rušení zařízení napájeného ze sítě	0,15 - 100
napěťová sonda	rušení zařízení větších výkonů	0,009 - 30
proudová sonda	rušivého proudu protékajícího vodičem	$3 \cdot 10^{-5}$ - 100
absorpční kleště	ruš. výkonu vyzařovaného síťovou šňůrou	30 - 1000
antény	elektromagnetického pole	$3 \cdot 10^{-5}$ - 40000

2. PŘÍSTROJE K MĚŘENÍ EMISÍ

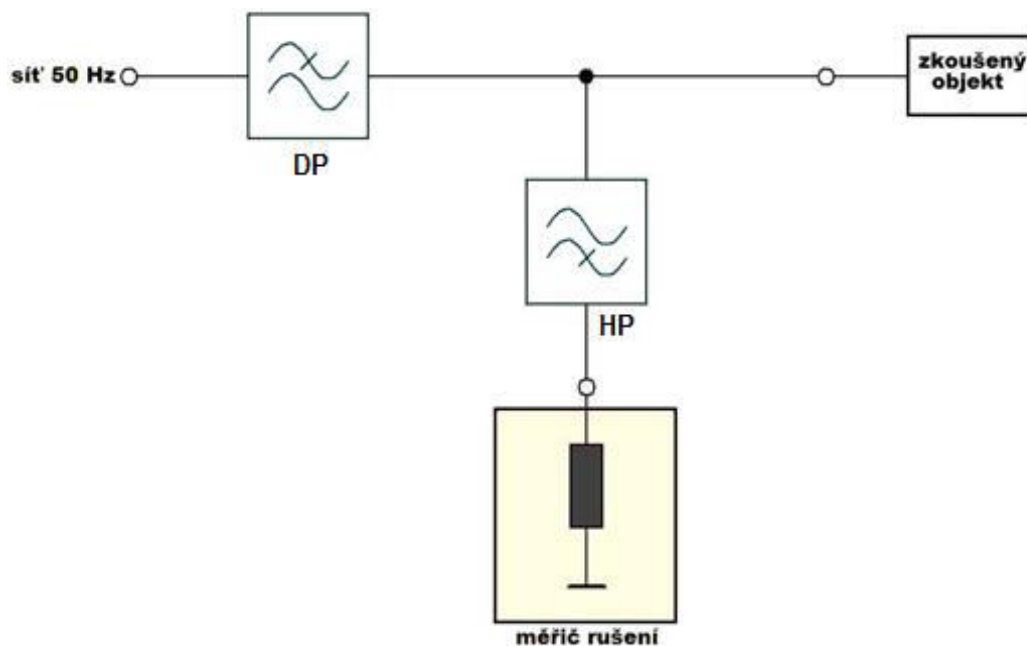
2.1. Umělá síť

Umělá síť AMN (Artificial Main Network) nebo také umělá zátěž vedení LISN (Line Impedance Stabilizing Network). Toto zařízení se používá pro měření rušivých signálů, vznikajících na zařízeních napájených z rozvodné sítě. Blokové schéma umělé sítě obsahuje troje svorky: vstupní síťové svorky pro napájecí síť, výstupní síťové svorky pro zkoušené zařízení (EUT svorky), výstupní přístrojové svorky pro připojení měřícího přijímače. Umělá síť má tři funkce:

- Funkci horní propusti, která umožňuje připojení měřícího zařízení ke zkoušenému spotřebiči pro celý rozsah měřených kmitočtů. Propust je většinou tvořena oddělovacím kondenzátorem o velikosti několika stovek nF.
- Funkci dolní propusti 50Hz, která zajišťuje, že na vstup přijímače se dostanou pouze měřené rušivé signály z prověřovaného objektu, ale ne z vnější napájecí sítě. Tyto rušivé signály nemají vliv na výsledky měření, protože se ani nedokážou dostat k vlastnímu prověřovanému spotřebiči. Útlum dolní propusti musí být v provozním kmitočtovém pásmu nejméně 30dB.
- K zajištění impedančního přizpůsobení zkoumaného objektu ke vstupu měřícího přijímače a současně zajišťuje definovanou impedanci na výstupních síťových svorkách. Impedance ze strany horní propusti (obvykle 50Ω nebo 150Ω) je v celém pásmu 10kHz až 30MHz rovna přibližně vstupní impedanci měřícího přijímače. Tato

impedance zhruba odpovídá vf impedanci sítě. Hodnota 150Ω se používá k měření rušení vzniklého od elektrických svítidel.

LISN musí především zajistit stanovenou impedanci v pracovním kmitočtovém rozsahu. Musí poskytovat dostatečné oddělení od nežádoucích signálů, v napájecí soustavě tyto signály by měly být nejméně 10 dB pod měřenými úrovněmi měřicího přijímače.



obr. 3 Blokové schéma sítě LISN

Musí také zabránit proniknutí napájecího napětí na vstup měřicího přijímače. Tyto vlastnosti by měla LISN vykazovat pro každý vodič napájení (2-vodičový systém při 1f rozvodu a 4-vodičový systém ve 3f rozvodu). Měla by obsahovat přepínač pro připojení měřicího přijímače k měřenému napájecímu vodiči.

2.1.1. Typy umělých sítí

Existují dva typy umělé sítě: typ V, typ Δ (delta);

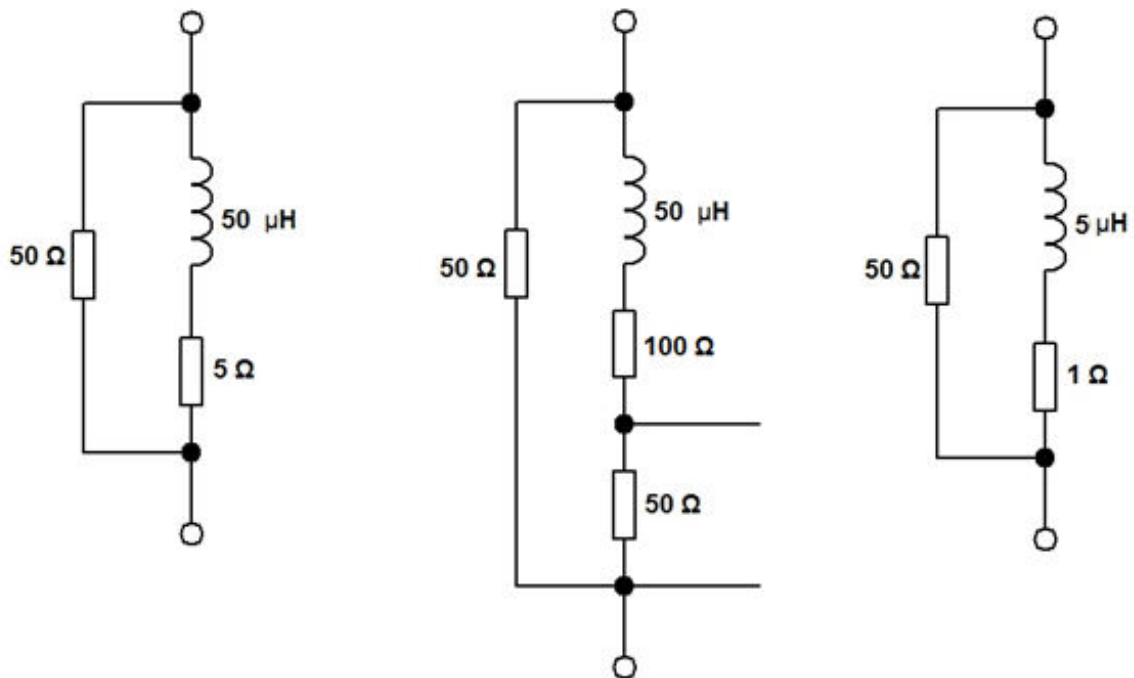
Typ V se používá k měření nesymetrické složky rušivého napětí, typ Δ slouží k měření symetrických a asymetrických složek rušivého napětí. Hodnota impedance pro daný typ je udávána v závislosti na kmitočtovém rozsahu a je dána normou ČSN EN 55016-1-2.

Pro typ V to jsou tyto impedance: $50 \Omega/50 \mu\text{H} + 5 \Omega$ pro interval 9kHz – 150 kHz

$50 \Omega/50 \mu\text{H} + 150 \Omega$ pro kmitočty od 0,15 – 30MHz

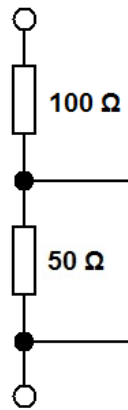
$50 \Omega/5 \mu\text{H} + 1 \Omega$ pro 150 kHz – 108 MHz

$50 \Omega/50 \mu\text{H}$ pro frekvence 0,15 MHz – 30 MHz

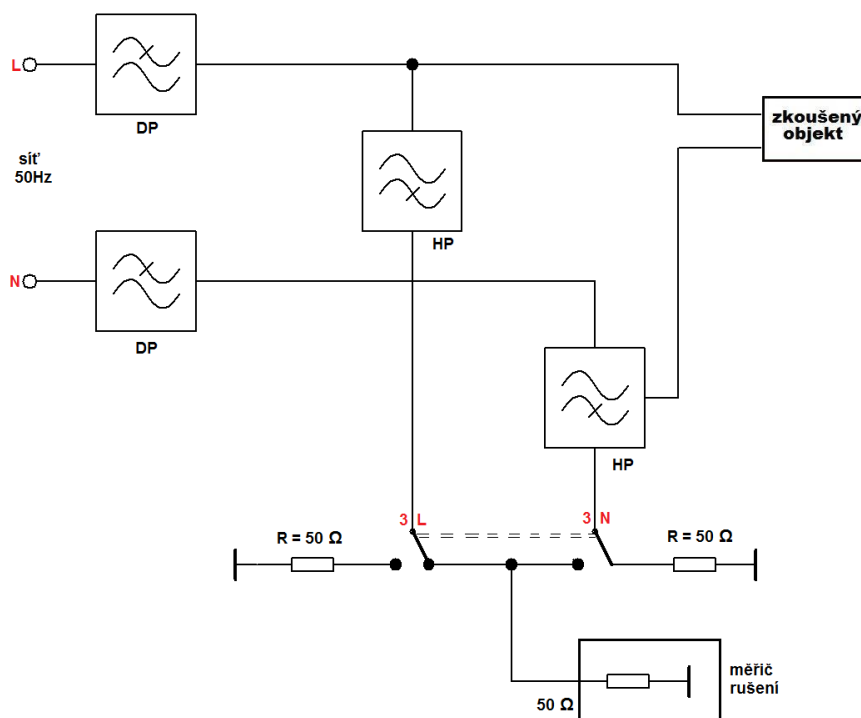


obr. 4 Impedance umělých sítí typu V

Pro typ Δ to je to: 150Ω pro kmitočty 0,15 – 30MHz. Při měření symetrického napětí se požaduje použití stíněného symetrického transformátoru, aby se zabránilo výraznější změně impedance sítě. Vstupní impedance symetrického transformátoru musí být minimálně $1 \text{k}\Omega$ na všech uvažovaných kmitočtech.

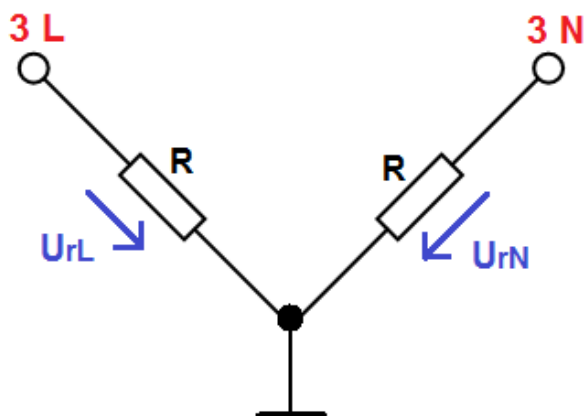
obr. Impedance umělých sítí typu Δ (delta)

AMN se zapojuje do každého napájecího vodiče, na kterém se zjišťuje velikost rušivého napětí. AMN pro jednofázovou síť je tedy na rozdíl od blokového schématu umělé sítě uvedeného výše zdvojená. V trojfázové napájecí síti by tedy byla zapojena čtyřikrát.



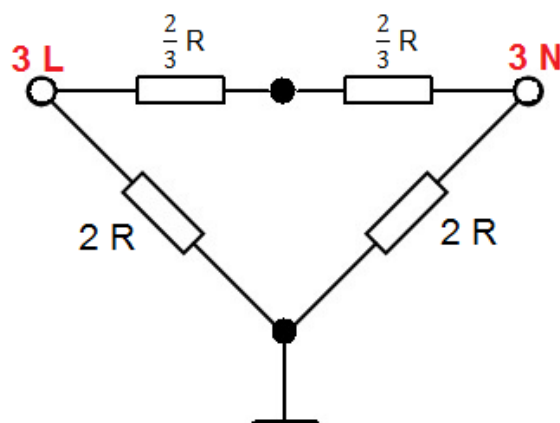
obr. 5 Obvod LISN typu V

Obvod V umožňuje zatížení obou napájecích vodičů vůči zemi stejnou vf impedancí. Jedna je určena vstupním odporem měřiče rušení, druhou pak tvoří připojená větev obvodu V.



obr. 6 Obvod V

Při měření symetrického rušivého napětí mezi oběma napájecími vodiči se musí použít Δ , simuluje totiž impedanci mezi oběma zmíněnými vodiči.

obr. 7 Obvod Δ

Konstrukce umělých sítí musí splňovat řadu bezpečnostních podmínek. Aby se předešlo úrazům elektrickým proudem musí být provozní napětí kondenzátorů v horních propustích alespoň třikrát větší než špičkové síťové napětí.

Oddělení napětí zajišťuje, že jakýkoliv zkušební kmitočet neovlivňuje nežádoucí signály existující v napájecí síti měření. Může být požadován přídavný filtr typu DP, který se vkládá mezi umělou síť a napájecí síť. Součástky, ze kterých je filtr zhotoven, musí být uzavřeny v kovovém pouzdře, které je spojeno s referenční zemí měřicího systému.

2.1.2. Postup měření

Nejprve se změří signál U_1 na zatěžovací impedanci 50Ω při zdrojové impedanci 50Ω . Pak se připojí zdroj signálu mezi odpovídající svorky pro napájení a referenční zem, odpovídající svorky EUT se musí zakončit 50Ω a výstupní napětí U_2 se měří na rozhraní pro přijímač. K

požadovanému oddělení se musí přidat útlumový člen 10 dB. Požadované oddělení musí být splněno na všech svorkách pro síť a EUT.

Musí být splněna následující podmínka:

$$U_1 - U_2 \geq F_0 + A$$

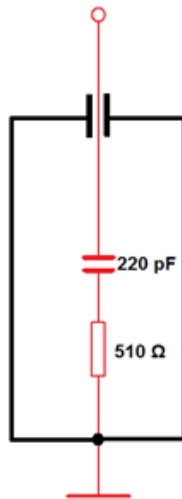
U_1 je referenční napětí na síťových svorkách v dB

U_2 je výstupní napětí na rozhraní pro přijímač v dB

F_0 je požadavek pro minimální činitel oddělení v dB

A je útlum vestavěného útlumového členu v dB

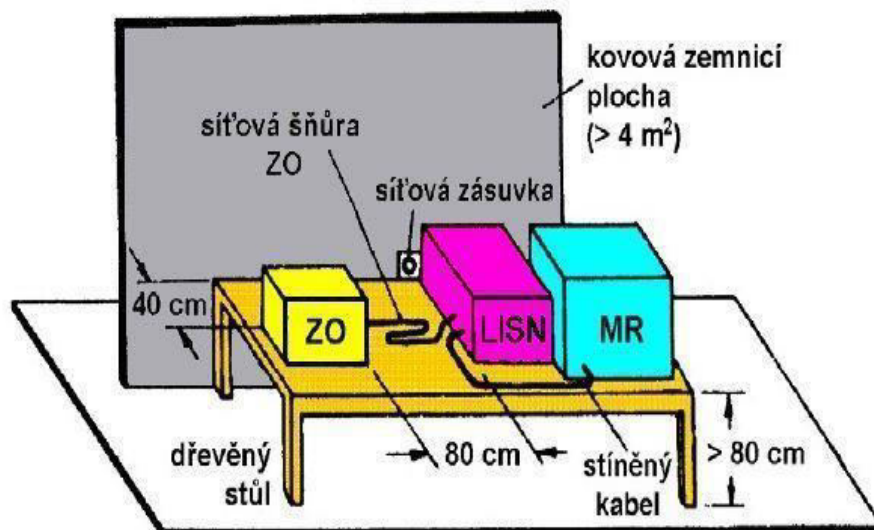
Doplňkem umělých sítí je tzv. umělý operátor (umělá ruka), který vlastně simuluje dotyk ruky u elektrických spotřebičů. Při měření rušivých napětí se místo, jehož se uživatel dotýká, ovine kovovou fólií, která se vlivem umělého operátoru spojí s referenční zemí. Umělá ruka je sériové spojení kondenzátoru 220pF $\pm 20\%$ a odporu 510 Ω $\pm 10\%$.



obr. 8 Standartní umělý operátor

2.1.3. Uspořádání pracovní plochy

Ke správnému a opakovatelnému měření elektromagnetického rušení je potřeba správného uspořádání měřicího stanoviště. Zkoušený objekt je společně s umělou sítí a měřičem rušení umístěn na dřevěném stole tak aby vzdálenost mezi ZO a LISN byla 80 cm.

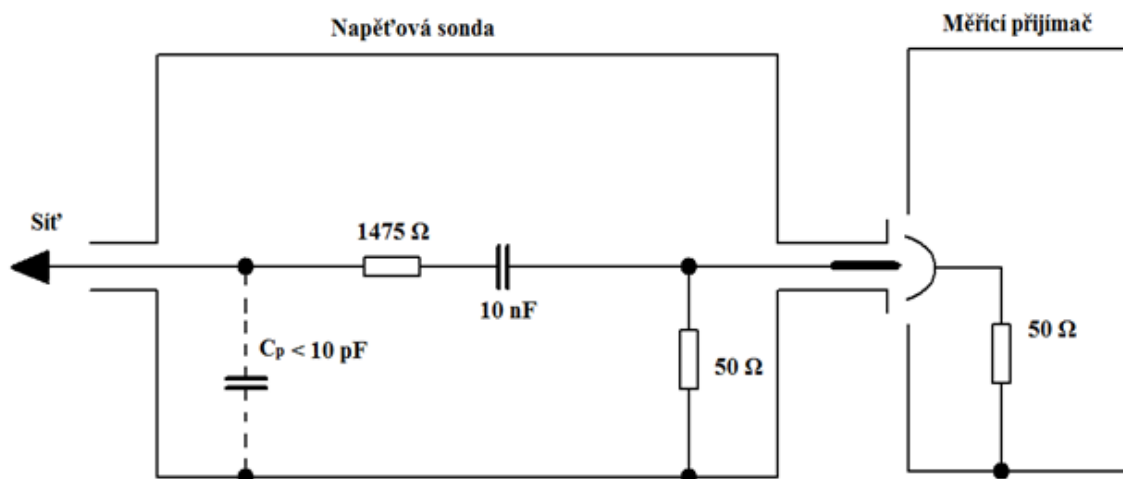


obr. 9 uspořádání pracovní plochy pro měření rušivého napětí [3]

Když je napájecí šňůra ZO delší než 1 m, musí být její přebytečná část meandrovitě složena, přičemž délka takto vzniklého svazku nesmí být větší než 40 cm. Z hlediska bezpečnosti je někdy potřeba uzemnit zkoušený objekt za provozu, uzemnění musí být přes vztažný zemnicí bod umělé sítě. Když uzemnění není zapotřebí, musí být ZO umístěn 40 cm od svislé kovové desky o minimálních rozměrech 2x2 metry, která vytváří umělou zem. Navíc musí být ZO vzdálen od každého dalšího kovového předmětu, který není součástí měřeného vzorku alespoň 80 cm. Tyto zásady platí i pro další měření rušivých signálů, např. pomocí napěťových a proudových sond. Podobné uspořádání se používá i při měření s dále zmiňovanými přístroji.

2.2. Napěťová sonda

Napěťová sonda se používá k měření rušivých napětích v případech, kdy není k dispozici umělá síť postačujících výkonů, při zkoušce zařízení větších výkonů, při měření na svorkách jiných než síťových, např. na svorkách zátěže. Napěťová sonda je kvůli své velké vstupní impedanci nenahraditelná při měřeních ve vysokoimpedančních obvodech, kde by umělá síť se svou podstatně nižší impedancí nedostatečně zatěžovala obvod.



obr. 10 Schéma zapojení napěťové sondy

Sonda tvoří blokovací kondenzátor a rezistor zvolený tak, aby celková rezistance mezi síťovými svorkami a referenční zemí byla minimálně 1500 Ω . Z bezpečnostního hlediska může být ke vstupu měřicího přístroje připojena paralelně indukčnost s reaktancí $X > R$, kde R je vstupní impedance přístroje. K měření malých rušivých napětí u vysokoimpedančních obvodů musí být vstupní kapacita sondy menší než 5 pF a vstupní odpor větší než 1 M Ω . K tomuto měření se používá aktivní napěťová sonda, která je na vstupu osazena tranzistorem FET. Aktivní sondy mají šířku kmitočtového pásma 300 MHz, vstupní kapacitu 3 až 5 pF a vstupní odpor 10 M Ω .

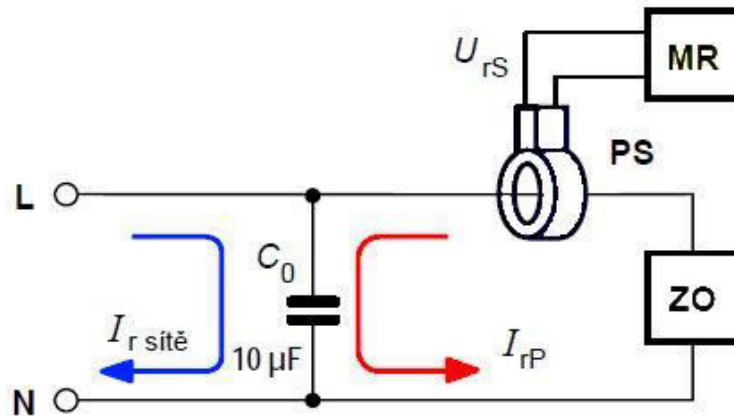
Měření vf napětí na síťovém přívodu:

Vložný útlum napěťové sondy se kalibruje v 50 Ω systému v kmitočtovém rozsahu 9 kHz až 30 MHz. Vliv zařízení, které se používá na ochranu by měl být menší než 1 dB nebo musí být zahrnut do kalibrace. Pro redukci vlivu silných mg. polí je zapotřebí minimalizovat smyčku, kterou tvoří: vedení připojené k sondě, měřený síťový vodič a ref. zem.

2.3. Proudová sonda

Proudová sonda se používá pro měření rušivého proudu protékajícího vodičem. Lze ji umístit kolem vodiče aniž by musel být přerušen. V podstatě je to klešťový proudový transformátor. Obepínaný vodič představuje primár transformátoru sondy. Sekundár má tvar toroidního transformátoru. Toroid lze v polovině rozevřít, což umožňuje vložit zkoumaný vodič. Po uzavření kleští protéká vodičem primární rušivý proud I_{P} , jenž je na výstupu sekundárního

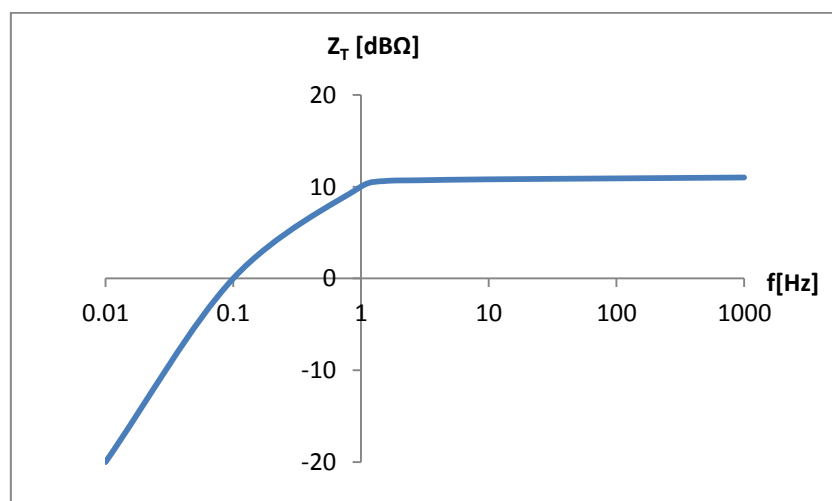
vinutí sondy převeden na napětí U_{rS} , které se měří připojeným měřičem rušení. Zkratovací kondenzátor C_0 brání postupu měřeného rušivého proudu, který produkuje zkoušený objekt a zároveň brání jeho postupu do napájecí sítě.



obr. 11 Měření rušivého proudu proudovou sondou [3]

Zabraňuje také průniku rušivých proudů z vnější napájecí sítě do sondy, tím omezuje zkreslení výsledků měření. Kondenzátor tedy plní stejné funkce jako filtry (HP, DP) v LISN.

Základním parametrem proudové sondy je přenosová impedance $Z_T = U_{rS} / I_{rP}$ [dBΩ].



obr. 12 kmitočtový průběh Z_T proudové sondy

Při nízkých kmitočtech klesá Z_T s poklesem 20dB/dek. Nejnižší pracovní kmitočet je dán citlivostí sondy. Zvýšení této citlivosti je možné použitím toroidního jádra s vysokou permeabilitou nebo zvýšením počtu závitů. Maximální pracovní kmitočet je určen vlastní rezonancí indukčnosti sondy s parazitními kapacitami vinutí. Proudové sondy se konstruují pro měření v kmitočtovém rozsahu 30 Hz až 1000MHz i když přednostně je rozsah měření 30 Hz až 100 MHz. Při frekvencích vyšších než 100 MHz se v běžných systémech vyskytují stojaté proudové vlny, což vyžaduje umístit sondu tak, aby vždy snímala maximální rušivý proud. K charakteristickým parametrům sondy patří:

- Maximální stejnosměrný a nízkofrekvenční proud
- Maximální velikost primárního rušivého proudu v pracovním kmitočtovém pásmu
- Rozměrové údaje, např. největší možný průměr napájecího kabelu, na který lze sondu instalovat

Norma ČSN EN 55016 – 1-2 požaduje:

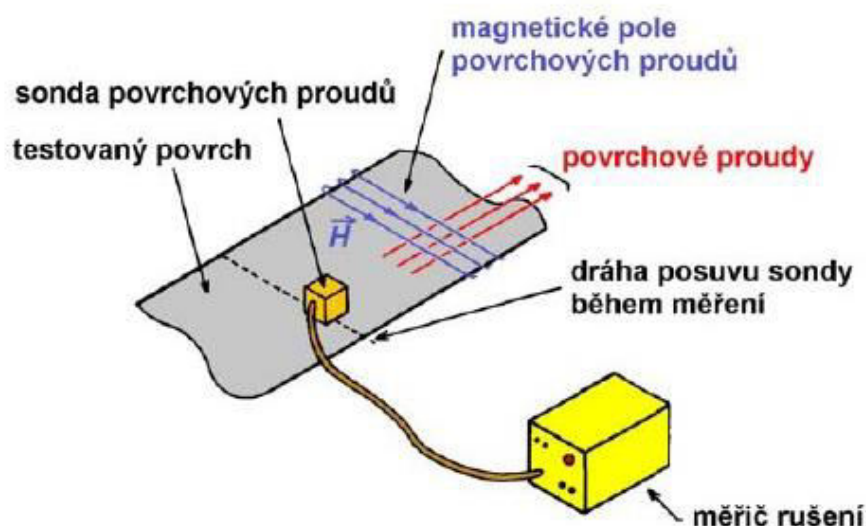
Vložná impedance	maximálně 1 Ω
Přenosová impedance	0,1 až 5 Ω v rovném lin. rozsahu; 0,001 až 0,1 Ω pod rovným lin. rozsahem (sonda zakončená do 50 Ω)
Přidaná paralelní kapacita	méně než 25pF mezi pouzdem PS a měř. vodičem
Kmitočtová odezva	přenosová impedance se kalibruje ve specifickém kmitočtovém rozsahu; typický rozsah sond je 100kHz až 100 MHz, 100 MHz až 300 MHz a 200 MHz až 1000 MHz
Magnetické nasycení	musí se specifikovat max. DC nebo AC proud napájecí proud v primárním vodiči, při němž je chyba měření menší než 1dB
Vliv elektrických polí	Necitlivost na pole <10V/m

Vliv orientace Menší než 1 dB do 30 MHz a menší než 2,5 dB v rozsahu 30 MHz až 1000 MHz při použití na vodiči jakéhokoliv rozměru umístěného kdekoliv uvnitř otvoru sondy

Vnitřní otvor sondy alespoň 15 mm

Běžně používané proudové sondy nelze použít pro měření vysokofrekvenčních signálů, protože jsou navrženy pro kmitočty 50 až 60Hz. Pro měření těchto signálů, které protékají např. po kovovém povrchu stínících krytů se používají tzv. sondy povrchových proudů. Tyto sondy jsou tvořeny vf proudovým transformátorem: jehož primár tvoří kovový povrch, kterým protéká měřený proud, sekundár má tvar ploché cívky.

Při měření se cívka přikládá izolovanou stranou k vodivému povrchu tak, aby připojený měřič rušení snímal maximální hodnotu rušivého proudu. Při měření se sonda posouvá kolmo k měřeným povrchovým proudům (ve směru magnetického pole, vyvolaného těmito proudy). V jednotlivých polohách se změří dílčí hodnoty proudů, jejichž součtem se získá celkový rušivý povrchový proud dané plochy. Hodnoty rušivých proudů se v jednotlivých polohách určují ze součinu napětí U_{rS} (zjištěného pomocí měřiče) a přenosové admitance proudové sondy $Y_T = 1/Z_T$.



Obr. 13 Princip použití proudové sondy [3]

Pro měření EMI se používá spektrální analyzátor, který na svém displeji dokáže zobrazit rušivé spektrum. Analyzátor musí mít potřebnou šířku propustného pásma, vstupní impedanci, selektivitu, apod. Jeho nevýhodou je absence preselektoru. Spektrální analyzátory pracují většinou v širokopásmové oblasti, nedosahují však takového dynamického rozsahu a mají i nižší citlivost než přijímače superheterodynového typu. Kombinací těchto dvou typů vznikají přijímače se širokopásmovým rozmítáním kmitočtu či spektrální analyzátory s vysokofrekvenčním preselektorem.

2.4. Absorpční kleště

Absorpční kleště jsou kombinací vf proudové sondy a feritovým absorbérem, který je tvořen zhruba 60 feritovými kroužky, absorbujícími vysokofrekvenční rušivé signály šířící se vedením. Tyto kroužky jsou umístěny nejen kolem zkoušeného kabelu, ale i kolem měřícího kabelu. Kleště se používají v kmitočtovém pásmu 30 až 1000 MHz pro měření výkonu rušivého signálu. Přednostmi měření s absorpčními kleštěmi je vysoká přesnost a reprodukovatelnost výsledků měření.

Sestava absorpčních kleští obsahuje dle normy ČSN EN 55016-1-3 následujících pět částí:

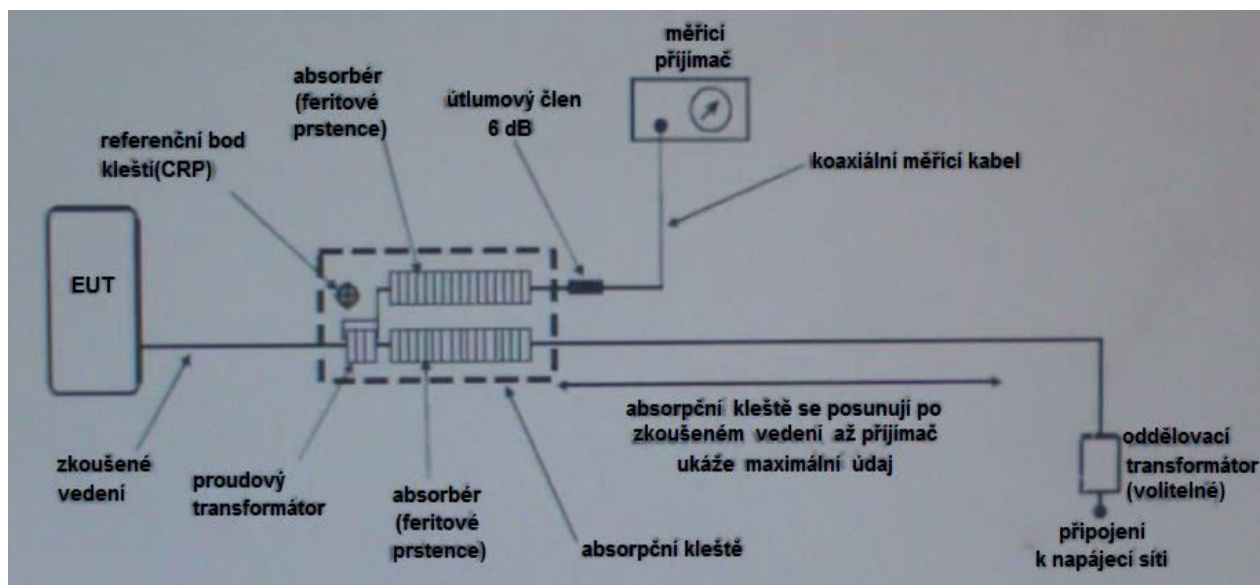
Širokopásmový vf proudový transformátor;

Širokopásmový vf absorbér výkonu a impedanční stabilizátor pro měřené vedení;

Absorpční rukáv nebo soubor feritových kroužků pro omezení vf proudu na povrchu koaxiálního kabelu z proudového transformátoru do měřícího přijímače;

Útlumový člen 6 dB mezi výstupem absorpčních kleští a koaxiálním kabelem spojujícím měřící přijímač;

Koaxiální kabel pro připojení přijímače.



obr. 14 Konstrukce absorpčních kleští [16]

Zkušební stanoviště s absorpčními kleštěmi (ACTS) se používá pro ACMM. Norma ČSN EN 550 16-1-3 udává, že ACTS může být buď venkovní, anebo vnitřní a zahrnuje tyto části:

- stůl pro EUT, který nese jednotku EUT;
- posuvnou dráhu kleští, která nese vedení připojené k EUT a absorpční kleště;
- zavěšení pro kabel od absorpčních kleští k přijímači;
- pomocné prostředky, jako je lanko pro pohyb absorpčních kleští.

Skutečné měření EUT užitím ACMM je schematicky naznačeno na obrázku (P1 v příloze). Měření rušivého výkonu je postaveno na měření nesymetrického proudu generovaného EUT, který se měří na vstupu absorpčních kleští pomocí proudové sondy. Absorpční ferity kleští kolem zkoušeného vedení oddělují proudový transformátor od rušení v napájecí síti. Maximální proud se najde pohybem absorpčních kleští podél napnutého vedení, které funguje jako napájecí. Napájecí vedení transformuje vstupní impedanci absorpčních kleští na výstup EUT. V místě ideálního posunutí může být naměřen maximální rušivý proud v proudové sondě nebo maximální rušivé napětí na vstupu přijímače.

Rušivý signál ze zkoušeného objektu se na napájecím vedení projevuje rušivým výkonem. Tento signál indukuje v proudové smyčce absorpčních kleští napětí, které je úměrné rušivému proudu ve vedení. Feritové kroužky bezodrazově přispůsobují napájecí vedení rušivému signálu a potlačují průnik rušivých signálů z vnějšku po napájecím vedení. Někdy je třeba zlepšit potlačení pronikajících signálů umístěním absorpční vložky na napájecí vedení za absorpční kleště.

Když má EUT více než jedno vedení, která nejsou předmětem měření, je třeba tato vedení po dobu měření odejmout, je-li to provozně možné. Vedení jež nelze odejmout, se musí oddělit pomocí nesymetrického absorpčního zařízení (CMAD). Toto zařízení se může skládat z feritových prstenců umístěných kolem vedení bezprostředně vedle EUT.

Pravidla pro měření

Feritové kroužky absorpčních kleští nedokážou zajistit dokonalé bezodrazové přizpůsobení napájecího vedení pro rušivý signál. Vznikají na tomto vedení stojaté vlny. Pro každý měřicí kmitočet se musí kleště umístit do takového místa, kde se nachází maximum stojatých vln. Vyskytuje-li se na vedení více maxim stojatých vln, je třeba umístit absorpční kleště do největšího z nich.

Zkoušený objekt, napájecí vedení a absorpční kleště se musí umístit na nekovový stůl s minimální vzdáleností 40 cm od železných částí podlahy. U rozměrnějších zařízení, která stojí na zemi, musí být alespoň napájecí vedení a absorpční kleště 40 cm nad zemí.

2.4.1. Přídavné absorpční zařízení

Aby se snížila nejistota měření, musí se k absorpční části kleští zařadit navíc přídavné absorpční zařízení (SAD). Účelem SAD je další zvýšení útlumu, který již poskytnula oddělovací funkce absorpčních kleští. SAD se musí při kalibraci a měření posouvat shodně s absorpčními kleštěmi. Proto SAD potřebuje kolečka, aby se zajistil přesun. Rozměry přídavného abs. zařízení musí být takové, aby bylo zkoušené vedení ve stejné výšce jako ACA - (citace [12]). Činitel oddělení se měří spolu s absorpčními kleštěmi. Nové technologie umožňují integrovat dodatečné funkce SAD do abs. kleští. To znamená, že pokud absorpční kleště samy splňují požadavky pro činitele oddělení, SAD se již nemusí použít.

2.4.2. Oddělovací funkce absorpčních kleští

Zatímco proudový transformátor absorpčních kleští slouží k měření rušivého výkonu, útlum způsobený ferity kolem zkoušeného vedení představuje nesymetrickou impedanci a slouží k oddělení proudového transformátoru od vzdáleného konce zkoušeného vedení. Toto oddělení snižuje vliv rušení připojené sítě a impedance vzdáleného konce a jejich vliv na měřený proud. Tento oddělovací útlum se nazývá činitel oddělení (DF) - (citace [12]). Činitel oddělení absorpčních kleští se SAD musí být nejméně 21 dB v celém zkoumaném kmitočtovém pásmu.

Absorpční kleště však potřebují ještě jedno oddělení. Tato druhá oddělovací funkce spočívá v oddělení proudového transformátoru od nesympetrické impedance kabelu přijímače. Tohoto oddělení se dosáhne pomocí absorpční sekce feritových kroužků na kabelu od proudového transformátoru k měřicímu přijímači. Tento oddělovací útlum se nazývá činitel oddělení k měřicímu přijímači (DR) - (citace [12]).

2.4.3. Kalibrace

Účelem kalibrace kleští je stanovení činitele kleští CF v situaci, která je co nejvíce podobná skutečnému použití při měření. Z normalizačních důvodů musí kalibrační metoda používat zkušební stanoviště se specifickými a reprodukovatelnými vlastnostmi, rovněž se musí použít signální generátor a přijímač s reprodukovatelným chováním.

V zásadě obsahuje každá kalibrační metoda následující dva kroky. Za prvé se jako referenční měří přijímačem výstupní výkon P_{gen} vF generátoru (s 50Ω výstupní impedancí) přímo přes 10 dB útlumový člen. Za druhé se měří rušivý výkon stejného generátoru s 10 dB útlumovým členem přes kleště - (citace [12]).

2.5. Antény

K měřením s anténou je zapotřebí zdrojová anténa s vysílačem, přijímač, systém ovládající poziční změnu a testovaná anténa. Zdrojová anténa musí být polarizována na požadovanou hodnotu a musí mít požadovaný vyzařovací úhel pro testovanou anténu. Vysílač by měl mít laditelnou výstupní frekvenci. Přijímač zjišťuje kolik energie je přijímáno z testovací antény.

Polarizace antény je vlastně polarizace vyzářeného pole vytvářeného anténou, vyhodnocená ve vzdáleném poli. Polarizace pole je vždy vázána na vektor intenzity elektrického pole. U horizontální polarizace je vektor \mathbf{E} ve volném prostředí rovnoběžný se zemským povrchem. Vertikální polarizace znamená, že \mathbf{E} je kolmý k povrchu Země. *Horizontálně polarizovaná anténa nebude komunikovat s vertikálně polarizovanou anténou. Anténa vyšle nebo přijme signál jen od stejně polarizované antény. Antény charakterizuje vyzařovací diagram, který zobrazuje v normované velikosti pro dané směry energii v tomto směru vyzářenou.*

Rušivé signály vyzařované do okolního prostředí o kmitočtech od 10 kHz do 6 GHz se měří za pomoci různých druhů antén. Výběr antény určují nejen vlastnosti samotné antény, ale i měřený signál a elektromagnetické pole. K vlastnostem které ovlivňují výběr antény patří zesílení antény, geometrické rozměry a vyzařovací diagram. Typ antény se také volí podle závislosti na typu měřeného pole (blízké či vzdálené) a na polarizaci daného pole.

V nižším kmitočtovém pásmu 9 kHz – 150 kHz většinu rušivých jevů způsobuje magnetická složka pole. Pro měření těchto polí se používá rámová anténa o maximálních rozměrech 0,6 x 0,6m. Cívka antény je umístěna do kovového stínění antény, aby se vyloučil parazitní vliv elektrické složky pole. Stejně typy antén se používají pro měření rušivého magnetického pole v pásmu 150 kHz – 30 MHz.

Rušivé elektrické pole se při těchto hodnotách měří tzv. monopólem (vertikální tyčová anténa), jehož doporučená délka je 1m. Při měření v blízkém poli dochází k nepřesnostem, protože monopól uplatňuje kromě vazby s vř polem i přímou kapacitní vazbu mezi anténou a zdrojem rušení. K přesnému měření v blízkém poli slouží symetrická dipólová anténa. Ta se však používá jen při laboratorních měřeních, kvůli malé efektivní výšce.

Velmi malé dipóly mají vstupní impedanci kapacitního charakteru, z čehož vyplývá převaha záporné reaktance před rezistancí. S rostoucí výškou dipólu vstupní rezistance roste na úkor reaktance.

V kmitočtovém rozsahu od 9kHz do 30MHz se může magnetická složka rušivého pole vyzařovaného z EUT zjistit prostřednictvím anténní soustavy se smyčkovou anténou (LAS). V této soustavě se mg. složka měří pomocí proudů indukovaných vlivem magnetického pole ve smyčkových anténách. LAS se může použít uvnitř místnosti. Tento systém se skládá ze 3 kruhových vzájemně kolmých smyč. antén (LLA) o průměru 2m, umístěných na nekovové základně. EUT se umístí do středu LAS – citace [13]. Je potřeba omezit největší rozměry zařízení tím, že mezi tímto zařízením a každou z antén musí být minimální vzdálenost 0,2m. Antény LLA umožňují měření schopnosti rušení všech polarizací vyzařovaného pole a to bez otáčení EUT nebo změny orientace směru LLA.

Velká smyčková anténa (LLA) v systému LAS se vyrábí z koaxiálního kabelu, jehož povrchová vazební impedance musí být menší než 10mΩ/m na kmitočtu 100kHz (1 mΩ/m na 10MHz). Odpor vnitřního vodiče LLA musí být dostatečně nízký. Průměr smyčky je normanlizován $R = 2m$. Je-li to zapotřebí kvůli rozměrnému EUT může se R zvětšit. Pro rozsah 30MHz je největší dovolený průměr 4m.

Pro frekvence od 30MHz do 80MHz se používá symetrický půlvlnný dipól. Pro frekvence 80 MHz a více musí být použita anténa rezonanční, pro kmitočty pod 80 MHz musí mít anténa délku jako rezonanční anténa pro 80 MHz a musí být přizpůsobená k napájecí pomoci

přizpůsobovacího obvodu. Pro vyšší kmitočty až do 1000 MHz se této antény využívá jako kalibrační antény. Běžná provozní měření se kvůli složitějšímu nastavení dipólu neprovádějí.

Pro kmitočtový rozsah 300MHz až 1GHz se používá složitější anténní soustava, protože citlivost dipólu je pro tento rozsah velmi malá.

Kmitočtový rozsah 1GHz až 18GHz

Emise šířené zářením nad 1GHz se měří pomocí kalibrovaných, lineárně polarizovaných antén. Pro rušení o frekvencích od několika desítek MHz do několika GHz se používají různé typy širokopásmových antén: bikónické antény, logaritmicko-periodické antény, kónicko-logaritmické antény, trychtýřové antény nebo hybridní antény vytvořené kombinací předcházejících typů. Bikónická anténa se používá pro kmitočty 20 MHz – 3 GHz (BicoLOG 20300) – viz. příloha. Pro pásmo 200 – 6000 MHz je nejpoužívanější logaritmicko-periodická anténa, kterou tvoří fázově napájené rezonanční unipóly, jejichž délky a vzájemné vzdálenosti mezi jednotlivými prvky jsou v poměru daném podílem logaritmů jejich rezonančních frekvencí. Kombinací bikónické a logaritmicko-periodické antény vznikne anténa s rozsahem 20 MHz – 6 GHz (HyperLOG 20600 EMI) – viz. příloha. Pro tento typ se provádějí konstrukční úpravy, aby se zvýšila širokopásmovost a současně se zlepšilo impedanční přizpůsobení. Tyto úpravy se zaměřují na bikónickou část složených antén, logaritmicko-periodická část zůstává téměř beze změn. Ve snaze zlepšit parametry antén v dolní části jejich pracovního kmitočtového pásma se bikónická část nahrazuje též logaritmicko-periodickou anténou. Složené širokopásmové antény jsou často používané a velmi oblíbené, protože měření v celém pásmu lze uskutečnit pomocí jediné antény. Kvůli přesnosti měření se složená anténa musí kalibrovat a to srovnáváním s výsledky měření pomocí symetrického dipólu, který se i zde používá jako kalibrační anténa. Kónicko-logaritmická anténa je schopna pracovat až do GHz frekvencí, avšak narozdíl od ostatních antén je tato určena k vysílání kruhově polarizovaného elmag. pole. Není tedy vhodná pro testy elektromagnetické kompatibility.

Rušivé signály vyzařované elektronickými součástkami a obvody se měří speciálními sondami elektrického či magnetického pole. Tyto malé ruční antény (očíhávací) se používají při vývoji a diagnostice elektronických zařízení. Měření pomocí těchto sond není příliš reprodukovatelné výsledky totiž závisí na několika neurčitých faktorech (míra přiblížení, úhel natočení vůči zdroji rušení, apod.).

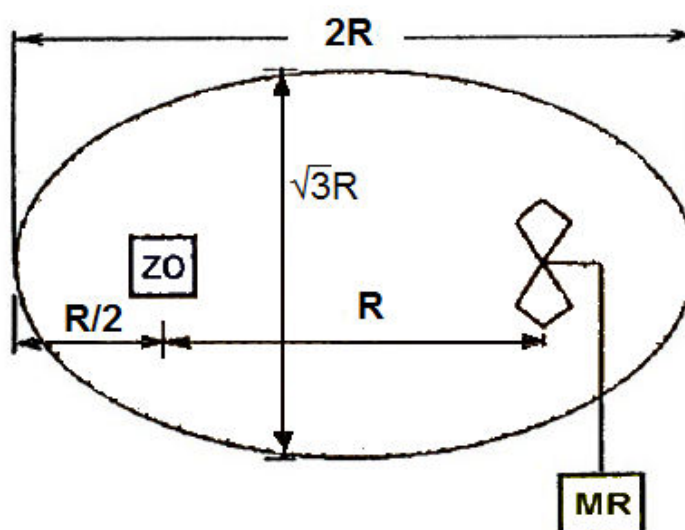
Tab. 2 Antény pro měření emisí

druhy antén	rozsah kmitočtů [MHz]	měří
prutové	$3 \cdot 10^{-5} - 50$	E
smyčkové	0,001 - 30	H
bikónické	20 - 1000	E
dipólové	30 - 1000	E
logaritmicko-periodické	80 - 2000	E
hybridní BiconiLog	30 - 6000	E
kónicko-logaritmické	100 - 10000	E
LPDA	380 - 18000	E
trýchtýřové	1000 - 40000	H, E

2.5.1. Měřicí stanoviště

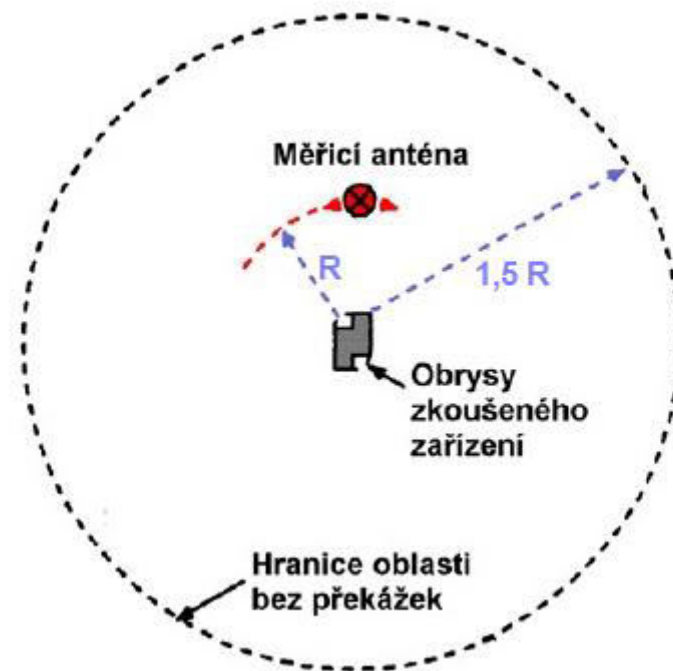
Nezávisle na kmitočtovém pásmu by měla vzdálenost mezi měřeným objektem a přijímací anténou být 3, 10, 30 nebo 100m. Z hlediska kvality měření je upřednostňována nejdelší vzdálenost, tedy 100m . Tento požadavek však v praxi nelze často splnit, proto se měří na vzdálenosti 10 nebo 30m.

Měřicí stanoviště má dle normy CISPR tvar elipsy, v jejíž ohniscích jsou umístěny měřený objekt a anténa. Hlavní osa elipsy je rovna dvojnásobku ohniskové vzdálenosti tedy $2R$. Vedlejší osa je rovna $R\sqrt{3}$.



obr. 15 Měření na volném prostranství [3]

Pro měření velkých zkoušených objektů je doporučena normou 55016-1-1 kruhová měřicí oblast. Vzdálenost okraje prověřovaného objektu od měřicí antény je R . Vzdálenost okraje zařízení od okraje oblasti je $1,5 R$. Při měření anténa obíhá kolem zařízení po kružnici o vzdálenosti R až do místa, kde je rušivé napětí dosahuje při dané polarizaci antény maxima.



obr. 16 Stanoviště pro měření velkých zkoušených objektů [3]

2.5.2. Umělá zemní rovina

Na ideálním zkušebním stanovišti přijímá anténa signály od ZO po dvou drahách: přímou vlnu a vlnu odraženou od země stanoviště. Aby bylo měření reprodukovatelné musí se pro tuto odraženou vlnu vytvořit stálé podmínky odrazu. Je třeba zabránit změnám odrazivých vlastností stanoviště vzhledem k nerovnostem vlivem času nebo kvůli povětrnostním podmínkám. Toho lze dosáhnout vytvořením umělé zemní roviny položením vodivého kovového koberce mezi ZO a anténu. Vodivá rovina musí dosahovat alespoň 1m za okraj EUT a největší měřicí anténu a musí pokrývat celou plochu mezi EUT a anténou. Musí být vyrobena z kovu bez děr nebo mezer, jež má podélné rozměry větší než jedna desetina vlnové délky při nejvyšším kmitočtu měření. Na stanovišti nesmí být budovy, elektrické vedení, stromy a ani potrubí či podzemní kabely, kromě přívodů nutných k napájení zkoušeného zařízení.

Při měřeních se upřednostňuje kovová zemní rovina. Když se pro zemní plochu nepoužije kovový materiál, musí se kontrolovat odrazné vlastnosti zemního povrchu zkušebního stanoviště, které se mohou měnit vlivem času nebo povětrnostních podmínek. Musí se vybrat takové stanoviště, aby se jeho odrazivé vlastnosti neměnily společně s časem, vlivem povětrnostních podmínek nebo vlivem kovových materiálů zakopaných pod zemí (potrubí, vedení, apod.).

Při všech měřeních v oblasti EMC je snahou postihnout vždy ten nejhorší případ. Při měření se anténa pro každý měřicí kmitočet nastaví do takové výšky, kdy je hodnota rušivého napětí maximální. Kompletní měření se provádí při obou polarizacích antény nebo jen pro tu, při které je hodnota rušivého napětí větší. Pro dané zkušební stanoviště se musí vybrat taková měřicí anténa, aby její rozměry byly menší než 10% její vzdálenosti od zkoumaného zařízení.

Měření rušení vytvářeného zkoušeným zařízením se provádí ve více pracovních stavech, aby se dosáhlo nejvyšší úrovně vyzařování. Obvykle se měření provádí v automatizovaných zkušebnách, kde se automaticky přeladuje v zadaném pásmu kmitočtů měřicí přijímač, automaticky se natáčí zkoušený objekt, nastavování výšky měřicí antény se ovládá také automaticky.

Při měření lehkých objektů je zapotřebí jejich otáčením nalézt polohu, ve které je maximální rušení. Je-li rušení kmitočtově závislé, musí se pro každý měřený kmitočet najít poloha objektu, při které dosahuje rušení maxima. Při měření těžkých předmětů se postupuje stejně s tím rozdílem, že se otáčí s anténou. Měření nesmí ovlivnit vzájemné uspořádání měřeného objektu, antény a propojovacího vedení. Při měření kratších vzdáleností je potřeba aby mezi anténou a měřeným objektem nebyla připojena síť LISN. Měření rušivého elektromagnetického pole se provádí ve volně otevřeném prostoru, ve stíněné komoře nebo v absorpční stíněné komoře. Měření se provádí v prostředí, jež zajistí platnost a umožní opakovatelnost výsledků měření.

2.5.3. Otočný stůl

Pro měření EUT ze všech stran se často používá otočného stolu. Měření zařízení, které stojí na podlaze je vhodné provádět na otočném stole, jenž má kovový povrch a je zapuštěn do úrovně zemní roviny, s níž je spojen vodivě. Při měření zařízení jež stojí na stole se používá nekovový otočný stůl nad povrchem roviny. Typ, tvar, provedení a materiál stolu mohou ovlivnit výslednou intenzitu pole. Pro vyhodnocení vlivu stolu se provádějí dvě měření se specifickou anténou a specifickým uspořádáním, nejprve se stolem poté bez stolu. Stůl se

umístí tak, aby jeho největší rozměr (uhlopříčka u pravoúhlého stolu) byl ve směru antény. Pro kmitočty do 1000MHz se nad stůl umístí malá bikonická anténa s délkou kratší než 40 cm. Anténa se umístí tak, aby symetrizační člen byl uprostřed mezi okrajem a středem zkušebního stolu ve směru přijímací antény. Vysílací anténa nad stolem je napájena z SG. Kmitočtové kroky jsou menší nebo rovny 0,5 % nejvyššího použitého kmitočtu. Napětí přijímací antény musí být 20 dB nad úrovní šumu měřícího zařízení. Napájecí kabel se vede 2 m vodorovně dozadu ve stejné výšce jako je anténa. Pro zabránění vlivu napájecího kabelu na měření se na kabel ve vhodných vzdálenostech umisťují feritové trubičky. Pro maximální napětí na přijímací anténě se provádějí dvě měření s vysílací anténou v nezměněné pozici. Přijímací anténa se výškově posouvá v intervalu 1 ÷ 4m pro OATS nebo SAC, ve FAR je anténa ve stejné výšce.

Otočný stůl obsahuje natáčecí zařízení a zkušební stůl, který se používá pro umístění EUT na určité místo. V praxi se uplatňují tato uspořádání otočného a zkušebního stolu:

Zařízení umístěné na stole: zkušební stůl, jehož výška je $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$, se umístí tak, aby jeho střed byl ve středu otočného stolu. Při měření NSA se zkušební stůl odstraňuje.

Zařízení stojící na podlaze: EUT se izoluje od vodivého povrchu otočného stolu. Izolační podložka musí mít 0,15 m. Podložka se nepoužívá při měření NSA a také když je zařízení vybaveno nekovovými pohyblivými kolečky.

Otočné stoly s natáčecím zařízením integrovaným do zkušebního stolu musí mít výšku $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ pro zařízení umístěná na stole nebo nesmí přesahovat výšku 0,15m pro zařízení stojící na podlaze.

Pro FAR není stanovena výška zkušebního stolu pro EUT. Výška závisí na vlastnostech absorpčního materiálu a rozměrech prostoru FAR. Při měření NSA se zkušební stůl odstraní.

2.5.4. Útlum stanoviště

Útlum stanoviště SA (Site Attenuation) v [dB] ověřuje zda je zkušební stanoviště ve volném prostoru způsobilé k měření elmag. rušení. Hodnota se určuje jednak z měření na daném stanovišti SA_m , ale také pomocí teoretického výpočtu pro ideální stanoviště SA_t . Stanoviště vyhovuje, když rozdíl těchto dvou hodnot je v pásmu pracovních kmitočtů $|SA_m * SA_t| \leq 4 \text{ dB}$.

Pro zjištění SA_m se musí použít dvě širokopásmové antény, a to konkrétně vysílací a přijímací. ZO se nahradí vysílací anténou, jejíž parametry jsou známy. Anténa je umístěna 1

nebo 2m nad zemní rovinou a je napájena z SG konstantním napětím v požadovaném pásmu kmitočtů. Vysílací anténa je stejně polarizovaná jako měřicí anténa. Při prvotním měření se oba napájecí koaxiály odpojí od obou antén v místech 1 a 2 a propojí se přímo vhodnou spojkou (obr. P2). Zjištěný údaj MR se označuje jako U_v . Při druhém měření se kabely připojí zpátky k anténám. Změnou výšky přijímací antény v intervalu 1÷4 m se zjistí taková poloha antény, ve které je rušení měřené na MR maximální, tato hodnota se označuje U_p . Útlum daného zařízení pak je:

$$SA_m = 10 \log \frac{U_v}{U_p}$$

Teoretický útlum ideálního stanoviště je poměr mezi výkonem vysílaného signálu P_v a výkonem signálu P_r na výstupu měřicí antény.

$$SA_t = 10 \log \frac{P_v}{P_r}$$

Zařízení větších výkonů, která nejdou odzkoušet na měřicím místě, se měří na místě nasazení, tj. na místě kde jsou tato zařízení trvale provozována. Při měření se musí zajistit taková konfigurace a pracovní chod, které specifikují běžný provoz, ale přitom je nutné najít pracovní režim, v němž je rušení maximální. V průběhu měření se musí omezit provoz všech zařízení obsahujících měniče s polovodičovými součástkami. Je tedy vhodné provádět toto měření v noci. Pro měření svorkového rušivého napětí se obvykle využívá napěťové sondy nebo universální sondy v příslušném režimu.

2.5.5. Anténní faktor

Elektromagnetické pole charakterizuje jeho elektrická a magnetická složka. Při měření rušení přijímá měř. anténa jednu z těchto složek (záleží na kmitočtu a typu antény) a převádí jí na napětí U_r na výstupních svorkách. Toto napětí je poté vyhodnoceno měřičem rušení. Poměr mezi vstupní intenzitou pole a výstupním napětím antény udává anténní faktor AF. Anténní faktor je základní parametr každé antény pro EMC a jeho kmitočtový průběh je základní údaj udávaný výrobcem. AF se často udává v logaritmických souřadnicích.

$$AF_E [dB/m] = E_r \left[\frac{dBV}{m} \right] - U_r [dBV]$$

Pro antény měřící magnetické pole je tedy obdobně definován AF.

$$AF_H \left[\frac{dBS}{m} \right] = H_r \left[\frac{dBA}{m} \right] - U_r [dBV]$$

Výhoda AF spočívá v jednoduchém použití při vyhodnocování velikosti rušivého pole. Intenzita elektrického pole E_r se může zjistit připočtením velikosti AF k velikosti rušivého napětí U_r změřeného měřičem rušení MR.

$$U_r[dBV] = E_r \left[\frac{dBV}{m} \right] - AF[dB/m]$$

Kmitočtová závislost AF je u logaritmicko-periodických antén monotónní, což neplatí pro ostatní druhy antén. Typický průběh AF složené antény je uveden na obrázku spolu s průběhy pro bikónickou a logaritmicko-periodickou anténu. Bikónické a složené antény mají výrazný pokles AF v okolí kmitočtu vlastní rezonance základního dipólu antény (70 MHz) – viz. příloha.

AF závisí na podmínkách měření a uspořádání měřicího pracoviště (výška antény nad zemí, vzdálenost antény od zdroje rušení apod.). Tato hodnota je dokonce ovlivňována přítomností samotného proměřovaného zařízení, závisí i na impedančním přizpůsobení antény. Každá měřicí anténa je proto kalibrována individuálně tím, že je změřen její AF v celém pracovním kmitočtovém pásmu. Zjištěné hodnoty AF platí pro stejné pracovní podmínky při měření. Často se tedy udává tzv. ekvivalentní anténní činitel ve volném prostoru, hodnoty AF pro anténu ve zcela volném prostoru bez jakýchkoli překážek pro impedančně přizpůsobenou zátěž 50Ω .

Kvůli vlivům ovlivňujícím anténní měření rušivých signálů se zavádí neurčitost měření [dB] jako maximální povolená chyba celého měřicího systému. Podle normy 55016-1-1 může být tato chyba maximálně $\pm 3dB$.

Tvar a šířka polárního vyzařovacího diagramu je důležitou vlastností antény. Hodnota AF se standardně udává jako takový směr antény, kdy její hlavní lalok je nasměrován ke zdroji rušení. Při jiném natočení antény v daném směru je její zisk menší a daný AF není platný. Největší směrovost a nejužší vyzařovací diagram má logaritmicko-periodická anténa. Směr hlavního laloku je dán směrem její osy. Bikónická anténa má oba hlavní laloky kolmé na osu antény a jejich velikost je stejná.

3. ELEKTROMAGNETICKY STÍNĚNÉ PROSTORY

Aby bylo zajištěno, že měřicí anténa přijímá jen rušivé signály pouze od prověřovaného zařízení a nikoliv okolní rušivé vlivy, provádějí se tato měření v elektromagneticky stíněných

komorách. Je to uzavřený prostor z ocelových plechů s dostatečnou elektromagnetickou těsností. Komora musí být dostatečně velká s půdorysným eliptickým tvarem (již zmíněno). Výška komory musí umožňovat nastavitelnost antény až do výšky 4 m. Při měření se musí zajistit aby měřené napětí ze svorek antény bylo vedeno přes stíněný kabel do měřícího přijímače, který je mimo stíněnou komoru. Stíněný kabel musí být takový, aby nepůsobil jako přidavná anténa rušivého pole. Obvykle se k tomuto účelu používají optická vlákna. Uvnitř komory se nesmí používat výbojkové ani zářivkové osvětlení.

3.1. Plně bezodrazové absorpční komory

Ideálním prostředím k anténnímu měření je plně bezodrazová absorpční komora (FAR). Jedná se o elektromagneticky stíněný prostor s potřebnými rozměry, jehož strop, vnitřní stěny a často i podlaha jsou pokryty elmag. absorpčním materiálem. Bezodrazovost vedení se zajišťuje tím, že se vedení zakončí svou charakteristickou impedancí Z_0 . Tato impedance má ve volném prostoru hodnotu 377Ω . Vytvoření stěn komory z tohoto materiálu by bylo konstrukčně nákladné. Proto se do vedení s impedancí Z_0 zapojuje další impedance o stejné hodnotě. Vstupní činitel odrazu tohoto vedení je roven:

$$\rho_{vst} = \frac{Z_0 \parallel Z_0 - Z_0}{Z_0 \parallel Z_0 + Z_0} = \frac{\frac{1}{2}Z_0 - Z_0}{\frac{1}{2}Z_0 + Z_0} = -\frac{\frac{1}{2}Z_0}{\frac{3}{2}Z_0} = -\frac{1}{3}$$

Velikost odraženého výkonu je úměrná $|\rho|^2$, tato $\frac{1}{9}$ představuje výkon odraženého signálu zpět k měřicí anténě. Ze zbylých $\frac{8}{9}$ výkonu část pohlcuje materiál stěny a část prostupuje skrze stěnu do volného prostoru. Propustnost stěn se odstraní umístěním materiálu s impedancí Z_0 na nosné stěny komory. To však samo o sobě nestačí, stěny z tohoto materiálu by se musely zakončit nekonečně velkou impedancí. Toho se docílí pomocí zkratu tím, že se vodivé kovové stěny umístí do vzdálenosti $\lambda/4$ za bezodrazový materiál Z_0 . Tyto stěny mají uvnitř komory nulový činitel odrazu a jsou elmag. nepropustné, to však platí pouze pro kmitočet, který je roven vzdálenosti volného prostoru Z_0 od kovové stěny, tedy pro $\lambda/4$. Měření je značně úzkopásmové.

Pro měření širokopásmové je zapotřebí mít komoru vybavenou absorpčními prvky tvaru jehlanu vyrobené z polystyrenu, který je sycen grafitem. Průřez jehlanů umožňuje bezodrazově převést impedanci volného prostoru Z_0 ze špiček jehlanů na velmi malou impedanci prostoru vyplněného absorbérem v zadní části zmínovaných těles. Výška jehlanů

musí být minimálně $\lambda/4$ pro nejnižší pracovní kmitočet. Kvůli zkosení jehlanů se vlna od prvního jehlanu odrazí do sousedního jehlanu a poté se až vrátí do vnitřního prostoru komory, s tím, že část energie vlny se absorbuje v jehlanech. Počet odrazů závisí na vrcholovém úhlu jehlanů. Bezodrazovost absorpčního povrchu se vylepšuje menším sycením špiček jehlanů. Tím je zajištěno, že špičky mají menší ztráty než zadní široká část.

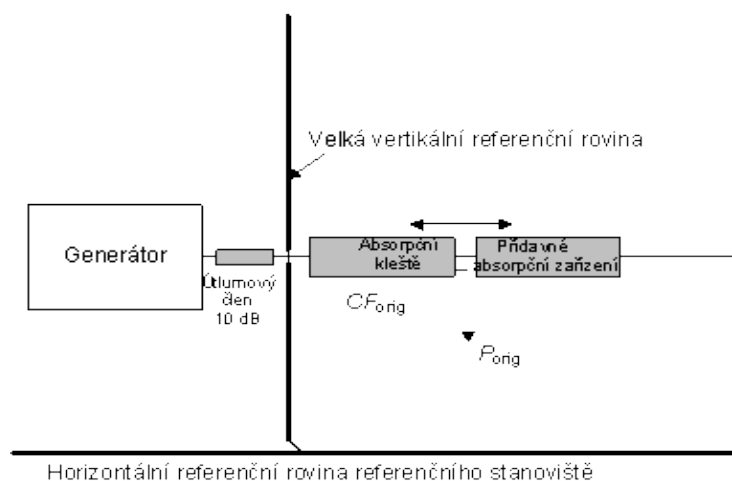
Absorpční haly se konstrují buď jako plně bezodrazové nebo jako částečně bezodrazové. U částečně bezodrazových hal je absorpčním materiálem obložen strop a stěny, nikoliv podlaha. Hala simuluje volné prostranství s odrazy od zemní roviny. Plně bezodrazová hala má narozdíl od částečně bezodrazové haly pokrytou i podlahu, což simuluje volný prostor.

Pro měření nejvyšších kmitočtů (až 18 GHz) lze použít směrové pasivní logaritmicke-periodické antény. V pásmu od 380 MHz do 18 GHz pracuje anténa HyperLOG 30180 (obr. P9)

4. ROZDÍLY V NORMÁCH

4.1. Kalibrační metody

- a) **Originální metoda** kalibrace absorpčních kleští používá ref. stanoviště, které obsahuje velkou vertikální referenční rovinu. *Definováním této metody se získává CF přímo, protože toto je originální kalibrační metoda použitá pro stanovení mezí a proto se se považuje za referenční. Zkoušené vedení se připojí ke střednímu vodiči průchodkového konektoru ve vertikální referenční rovině. Na zadní stěně této vertikální roviny je průchodkový konektor připojen ke generátoru (citace [12]).*



Obr. 17 Referenční stanoviště pro originální kalibrační metodu [12]

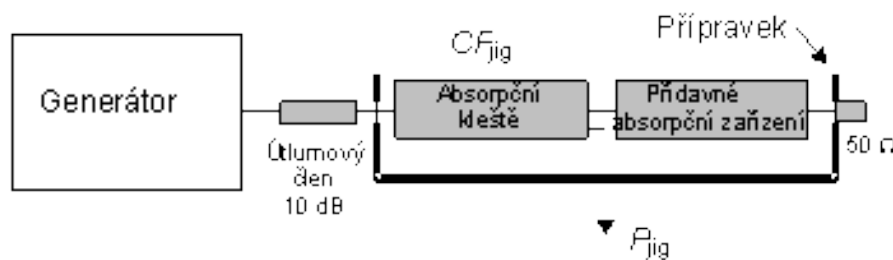
Pro toto kalibrační uspořádání se měří P_{orig} posouváním kleští podél zkoušeného vedení tak, aby se získalo maximum pro každý měřicí kmitočet. Minimální útlum stanoviště A_{orig} a činitel absorpčních kleští CF_{orig} se zjistí z následujících vzorců:

$$A_{orig} = P_{gen} - P_{orig}$$

$$CF_{orig} = A_{orig} - 17$$

Minimální útlum stanoviště A_{orig} je v rozmezí přibližně 13 dB až 22 dB.

- b) **Kalibrační metoda s přípravkem** („jig“) používá přípravek, který lze upravit podle délky kalibrovaných absorpčních kleští. Používá také přídavné absorpční zařízení (SAD). Tento přípravek slouží jako referenční konstrukce pro absorpční kleště. Při tomto kalibračním uspořádání se P_{jig} měří jako funkce kmitočtu, přičemž kleště jsou v neměnné poloze v přípravku (citace [12]).



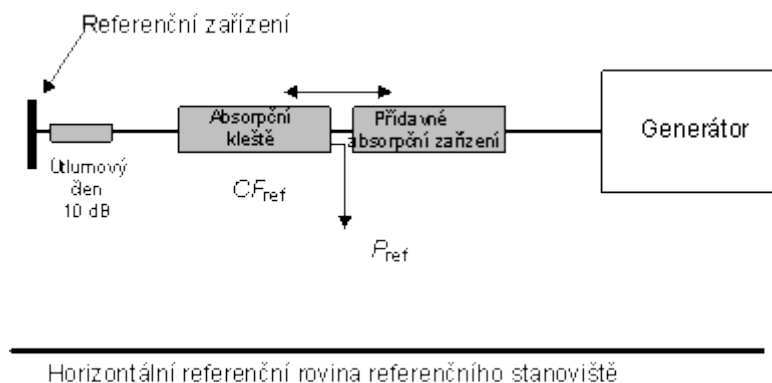
obr. 18 Kalibrační uspořádání metody s přípravkem [12]

Útlum stanoviště A_{jig} a činitel absorpčních kleští CF_{jig} lze zjistit z následujících vzorců:

$$A_{jig} = P_{gen} - P_{jig}$$

$$CF = A_{jig} - 17$$

- c) **Kalibrační metoda s referenčním zařízením** používá referenční stanoviště (bez vertikální referenční roviny) a referenční zařízení, jež je napájeno zkoušeným vedením, které je v tomto případě koaxiální.



obr. 19 uspořádání pro kalibraci s ref. zařízením [12]

V této konfiguraci kalibrace se měří P_{ref} při posouvání absorpčních kleští podél zkoušeného vedení tak, aby se získala pro každý kmitočet maximální hodnota. Minimální útlum stanoviště A_{ref} a činitel absorpční kleští CF_{ref} se zjistí z následujících vzorců:

$$A_{ref} = P_{gen} - P_{ref}$$

$$CF_{ref} = A_{ref} - 17$$

Činitelé absorpčních kleští získaných pomocí metody s přípravkem a metody s ref. zařízením (CF_{jig} a CF_{ref}) se liší od činitele absorpčních kleští CF_{orig} získaného originální metodou. Vztah mezi těmito různými činiteli kleští vypadá následovně:

Přenosová fce. přípravku JTF se vypočte $JTF = CF_{jig} - CF_{orig}$

JTF v dB musí stanovit pro každý typ absorpčních kleští výrobce. Výrobce nebo některá pověřená akreditovaná laboratoř musí stanovit JTF zprůměrováním výsledků alespoň pěti opakovaných kalibrací pěti zařízení z výrobní série. Obdobně, referenční přenosová funkce RTF se stanoví

$$RTF = CF_{ref} - CF_{orig}$$

Opět platí, že RTF v dB musí stanovit pro každý typ absorpčních kleští výrobce. RTF se stanoví zprůměrováním výsledků alespoň pěti opakovaných kalibrací pěti zařízení z výrobní série.

Shrnuto, originální kalibrační metoda poskytne přímo hodnotu CF_{orig} . Metoda s přípravkem a referenční metoda dají CF_{jig} respektive CF_{ref} , ze kterých se originální činitel absorpčních kleští může vypočítat z uvedených vzorců (citace [12]).

4.2. Validace

Pro ACTS platí podle normy ČSN EN 55016-1-3 následující požadavky:

- a) Délka posuvné dráhy absorpčních kleští musí umožnit, aby se absorpční kleště mohly posunovat v rozsahu vzdáleností do 5 m. Z důvodu opakovatelnosti je zvolena délka posuvné dráhy kleští alespoň 6 m a délka posuvu alespoň 5 m.
- b) Výška posuvné dráhy kleští musí být $0,8 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$.
- c) Materiál stolu pro EUT a posuvné dráhy kleští musí být neodrazivý, nevodivý a dielektrické vlastnosti se musí blížit dielektrickým vlastnostem vzduchu. Takto bude stůl pro umístění EUT z elektromagnetického hlediska prostupný.
- d) Materiál lanka použitého pro posun kleští po posuvné dráze musí být rovněž z elektromagnetického hlediska prostupný.
- e) Vhodnost stanoviště se validuje porovnáním činitele kleští ACTS měřeného na místě ($CF_{in-situ}$) s činitelem kleští (CF_{orig}), který je změřený na referenčním stanovišti s absorpčními kleštěmi podle originální kalibrační metody. Absolutní rozdíl mezi oběma činiteli kleští musí vyhovovat následující podmínce:

$$\Delta ACTS = (CF_{orig} - CF_{in-situ})$$

musí být

2,5 dB	mezi 30 MHz až 150 MHz,
2,5 dB až 2 dB	mezi 150 MHz až 300 MHz, klesající,
2 dB	mezi 300 MHz až 1 000 MHz.

Validační metody pro ACTS

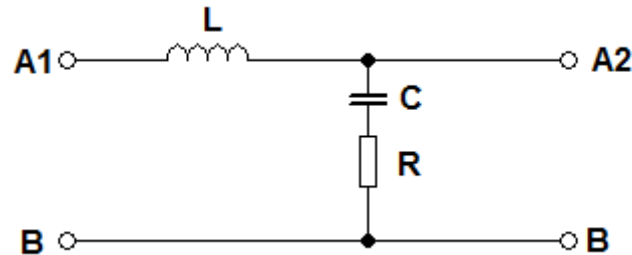
Charakteristiky ACTS se validují následovně:

- Fyzické požadavky a) b), jež jsou uvedeny výše, lze validovat inspekčně nebo kontrolou.
- Elektrické funkce ACTS e) se musí validovat porovnáním činitele kalibrovaných kleští CF s činitelem kleští $CF_{in-situ}$ změřeným na místě, v souladu s originální kalibrační metodou.

4.3. Měření emisí v automobilovém průmyslu

4.3.1. Testy rušivých signálů na vedení

V automobilovém průmyslu se používá umělá síť namísto impedance kabelového svazku, kvůli zjištění chování elektrického a elektronického vybavení. Síť LISN, používaná v automobilovém průmyslu, se konstruuje pro frekvence do 108 MHz. Pro měření průmyslových objektů jsou jen do 30 MHz



obr. 20 LISN používaná v automobilovém průmyslu

A1 napájecí vstup;

A2 vstup pro připojení DUT;

B vstupy mohou být uzemněny;

$L = 5 \mu\text{H}$ (vzduchová cívka); vnitřní odpor mezi vstupem A1 a A2: $< 5 \text{ m}\Omega$;

$C = 0,1 \mu\text{F}$ pro pracovní napětí do 200 V střídavých a 1500 V stejnosměrných;

$R = 50 \Omega$.

4.3.2. Testy rušivého vyzařování

Výška antény se obvykle mění od 1 m do 4 m a testovaný objekt se přitom umístí na dřevěný otočný stůl vysoký 80 cm nad referenční (zemní) rovinou. Oproti tomu se zařízení **ESA** umísťuje při měření do vzdálenosti 1 m a výška měřicí antény zůstává konstantní po celou dobu měření. Zařízení **ESA** se umísťuje 5 cm nad pevný stůl s vodivým povrchem, jež sahá do výšky 1 m nad zemní rovinu. V automobilovém průmyslu se zavádějí dva druhy měření (širokopásmové a úzkopásmové). Při těchto měření se také používají odlišné typy detektorů. QP detekce se užívá pro širokopásmové rušení a AV detekce pro úzkopásmové rušení.

4.4. Informační technologie

Co se týče frekvenčních rozsahů, změna nastala v normě ČSN EN 55022, a to konkrétně pro informační techniku v kmitočtovém rozsahu 1 – 6 GHz.

EUT musí vyhovět mezím rušení pro střední, respektive kvazivrcholové hodnoty uvedených v příložených tabulkách. Vyhovuje-li meze pro střední hodnotu při měření přijímačem s kvazivrcholovým detektorem, vyhovuje EUT oběma mezím a měření přijímačem s detektorem střední hodnoty už není nutné.

Tab. 3 Meze rušení šířeného zářením pro zařízení třídy A ITE v měřící vzdálenosti 3 m

Kmitočtový rozsah[GHz]	Meze pro střední hodnotu dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Vrcholové meze ($\mu\text{V}/\text{m}$)
1 – 3	56	76
3 - 6	60	80

Tab. 4 Meze rušení šířeného zářením pro zařízení třídy B ITE v měřící vzdálenosti 3 m

Kmitočtový rozsah[GHz]	Meze pro střední hodnotu dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)	Vrcholové meze ($\mu\text{V}/\text{m}$)
1 - 3	50	70
3 - 6	54	74

ZÁVĚR

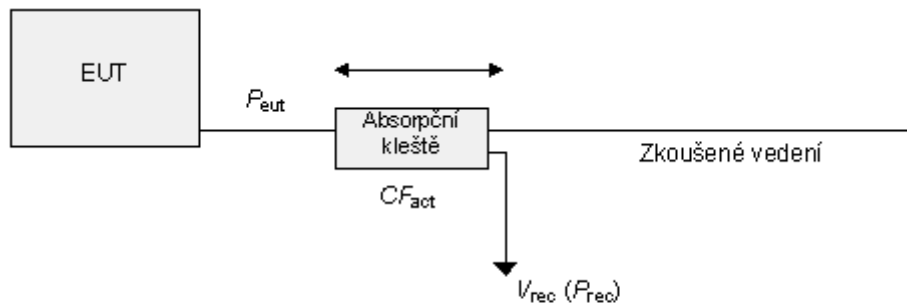
Cílem bylo zjistit, kdy a pro jaké frekvenční rozsahy se používá daný měřicí přístroj. Při měření je samozřejmě nejdůležitější výběr vhodného zařízení s dostatečným frekvenčním rozsahem, kterým lze emise změřit. Tak například: pro měření rušení šířeného po vedení se používá většina přístrojů, popisovaných v kapitole 2. Pouze antény se používají pro měření rušení šířeného vyzařováním. Při měření emisí je důležitý také výběr prostředí, ve kterém se měření provádí. Změny v normalizaci se týkaly převážně zdokonalení úkonů prováděných před samotným měřením (kalibrace, validace). Rozdíly jsou také v postupu měření s napěťovou sondou. Konkrétně se liší postup měření emisí šířených po vedení s postupem měření v automobilovém průmyslu. Změny frekvenčních rozsahů se vyskytují v normě pro zařízení informační techniky, kde se tato norma rozšířila na frekvence 1 – 6 GHz. K měření rušení na těchto frekvencích doporučuji použít trychtýřovou anténu. V budoucnosti lze očekávat rozšíření měřených frekvencí i v dalších normách.

ZDROJE

- [1] P. Vaculíková, E. Vaculík, Elektromagnetická kompatibilita elektromagnetických systémů - praktický průvodce techniky omezení vf rušení, 1. vydání 1998, Praha, Grada Publishing
- [2] Karel Künzel, Jaroslav Žáček, EMC v technické praxi II: Rušivé signály, jejich zdroje a šíření, Automa – časopis pro automatizační techniku [online], dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/emc-v-technicke-praxi-ii:-rusive-signal-y-jejich-zdroje-a-sireni-30991.html>
- [3] Encyklopedie elektromagnetické kompatibility [online], kolektiv autorů, [cit 2013-10-22], dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/>
- [4] Elektromagnetická kompatibility výkonových systémů – Přehled norem [online], Jaroslav Žáček, [cit. 2014-03-16], dostupné z: <http://k313.feld.cvut.cz/emc/>
- [5] The antenna theory website [online], P.J. Bevelacqua, [cit. 2014-04-21], dostupné z: <http://www.antenna-theory.com/>
- [6] Aaronia AG [online], [cit. 2014-03-16], dostupné z: <http://www.aaronia.com/>
- [7] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [online], [cit.2014-03-19], dostupné z: <http://seznamcsn.unmz.cz/>
- [8] ETS-Lindgren website [online], [cit. 2014-05-26], dostupné z: <http://ets-lindgren.com/>
- [9] Teseq website [online], [cit. 2014-05-26], dostupné z: <http://www.teseq.com/en/index.php>
- [10] ČSN EN 55016-1-1 ed. 3 Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 1-1: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Měřicí přístroje; Český normalizační institut, Praha, 1. 11. 2010
- [11] ČSN EN 55016-1-2 Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 1-2: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Pomocná zařízení - Rušení šířené vedením; Český normalizační institut, Praha, 1. 8. 2005
- [12] ČSN EN 55016-1-3 ed. 2 Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 1-3: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Pomocná zařízení - Rušivý výkon; Český normalizační institut, Praha, 1. 7. 2007

- [13] ČSN EN 55016-1-4 ed. 3 Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 2-3: Metody měření rušení a odolnosti - Měření rušení šířeného zářením; Český normalizační institut, Praha, 1. 12. 2010
- [14] ČSN EN 55016-1-5 Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 1-5: Přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Zkušební stanoviště pro kalibraci antény pro 30 MHz až 1 000 MHz; Český normalizační institut, Praha, 1. 8. 2005
- [15] ČSN EN 55016-2-1 ed. 2 Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 2-1: Metody měření rušení a odolnosti - Měření rušení šířeného vedením; Český normalizační institut, Praha, 1. 12. 2009
- [16] ČSN EN 55016-2-2 ed. 2 Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 2-2: Metody měření rušení a odolnosti - Měření rušivého výkonu; Český normalizační institut, Praha, 1. 5. 2012
- [17] ČSN EN 55016-2-3 ed. 3 Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 2-3: Metody měření rušení a odolnosti - Měření rušení šířeného zářením; Český normalizační institut, Praha, 1. 12. 2010
- [18] ČSN EN 55022 ed. 3 Zařízení informační techniky - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření; Český normalizační institut, Praha, 1. 11. 2011

PŘÍLOHA



Horizontální podlaha zkušebního stanoviště s absorpčními kleštěmi

obr. P1 Měření rušivého výkonu P_{gen} [12]

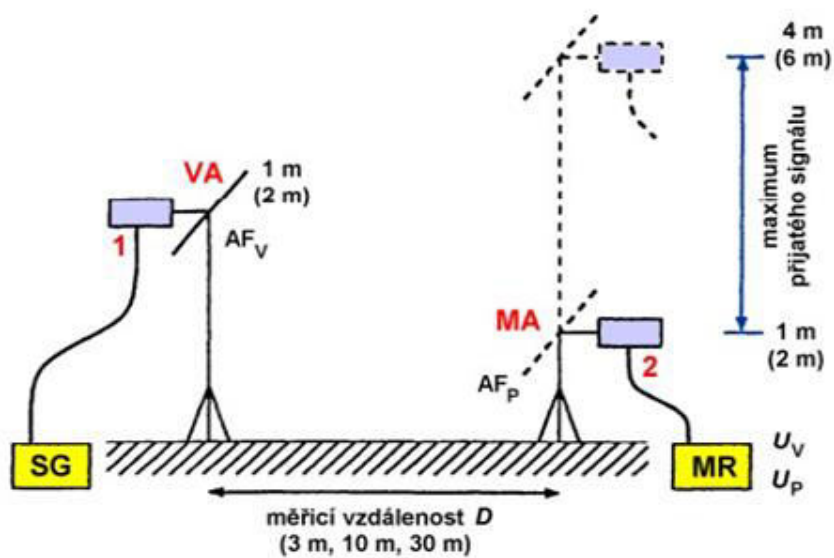
Legenda

P_{eut} rušivý výkon EUT v dB pW

V_{rec} měřené napětí v dB V

CF_{act} skutečný činitel absorpčních kleští v dB pW/V

P_{rec} přijímaná úroveň výkonu v dB pW



obr.P2 Měření útlumu stanoviště SA [1]



Obr. P3 pasivní napěťová sonda s příslušenstvím

Legenda k P3:

- 1 – pasivní sonda
- 2 – zkušební hrot
- 3 – zkušební krokodýlek
- 4 – výstup pro analyzátor signálů
- 5 – vstup pro zkušební hrot sondy
- 6 – zemní krokodýlek



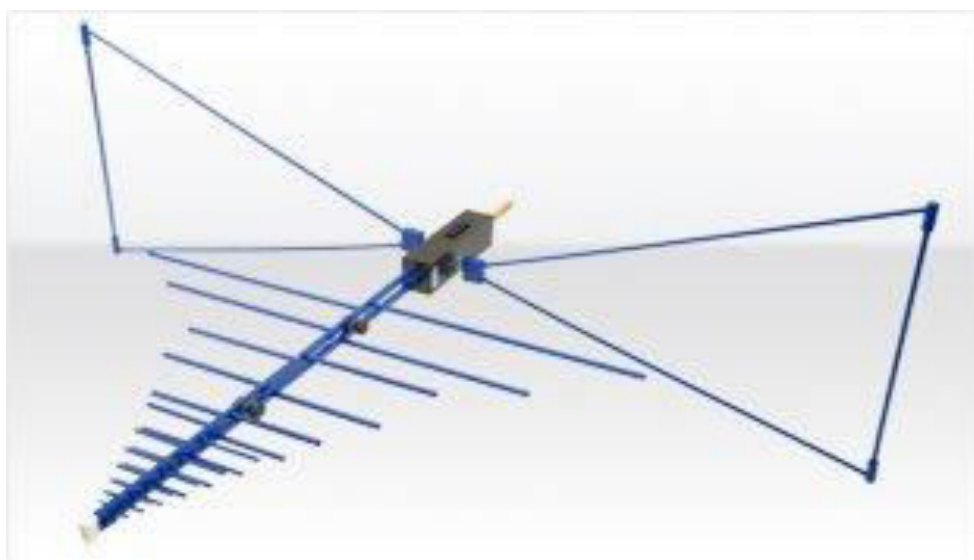
obr. P4 absorpční kleště AMZ 41 (30 MHz – 1 GHz) [9]



Obr. P5 Prutová anténa (aktivní monopól) 3301C (30 Hz – 50 MHz) [8]



obr. P6 Bikónická anténa BicoLOG 20300 (20 MHz – 3 GHz) [6]



Obr. P7 Hybridní anténa HyperLOG 20600 EMI (20 MHz – 6 GHz) [6]



obr. P8 dipólová anténa 3121D (30 MHz – 1 GHz) [8]



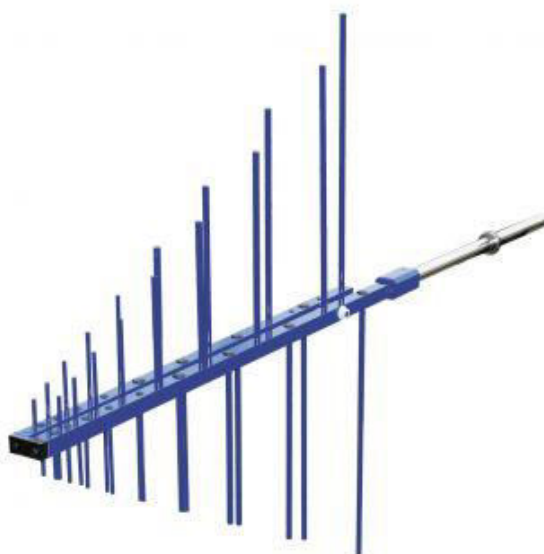
obr. P9 LPDA anténa HyperLOG 30180 (pasivní) (380MHz – 18 GHz) [6]



Obr. P10 smyčková anténa HLA 6121 (9 kHz – 30 MHz) [9]



obr. P11 bikónická anténa DPA 4000 (200 MHz – 1 GHz) [9]



obr. P12 Logaritmicko-periodická anténa UPA 6108 (200 MHz – 1 GHz) [9]



obr. P13 Hybridní anténa 3149 BiconiLog (80 MHz – 6 GHz) [8]



obr. 14 Kónicko-logaritmická anténa (1 GHz – 10 GHz) [8]



obr. P14 Pyramidální trychtýřová anténa (3160 Pyramidal Standard Gain Antenna)
960 MHz – 40 GHz [6]