

# **Studium metod měření elektromagnetické kompatibility v průmyslu komerční bezpečnosti.**

Study methods of measuring electromagnetic compatibility in the  
commercial security industry.

Kateřina Skovajsová

---

Bakalářská práce  
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav elektrotechniky a měření  
akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kateřina SKOVAJSOVÁ**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**

Téma práce: **Studium metod měření elektromagnetické  
kompatibility v průmyslu komerční bezpečnosti.**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou elektromagnetické kompatibility.
2. Základní, kmenové, vojenské normy MIL-STD a normy ČSN EN ve vztahu k normám CENELEC, ANSI C63, CISPR a IEEE.
3. Objasnění problematiky členění oboru elektromagnetické kompatibility, šíření rušivé energie vedením a zářením.
4. Charakteristika měření v blízké a vzdálené zóně, měření stacionárních a dynamických magnetických polí bezdrátových systémů I&HAS a EPS.
5. Základní metody měření elektromagnetické kompatibility pro interní a externí elektromagnetickou odolnost, testovací kritéria a k tomu navazující testovací normy.
6. Nové trendy ve vývoji v oblasti měření elektromagnetické interference systémů v průmyslu komerční bezpečnosti.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **SVÁČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita. VUT Brno, 1995.**
2. **KOVÁČ, Dobroslav, KOVÁČOVÁ, Irena, KAŇUCH, Ján. EMC z hlediska teorie a aplikace. Praha: Technická literatura BEN, 2006. ISBN 80-7300-202-7.**
3. **SVOBODA, Jaroslav, VACULÍKOVÁ, Polina, VONDRÁK, Miroslav, ZEMAN, Tomáš. Základy elektromagnetické kompatibility. ČVUT Praha, 1994.**
4. **HUDEČ, Jaroslav. Přepětí a elektromagnetická kompatibilita. Hradec Králové, 1996.**
5. **KÖNIG, Holger, ERLACHER, Peter. Neviditelná hrozba?: Elektromagnetická pole kolem nás. Ostrava : Hel, 2001.**
6. **IVANKA, Ján. Druhy elektromagnetického rušení, jeho zdroje a způsoby šíření. Security magazin. 2005, roč. XII, č. 63, s. 6-7.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ján Ivanka**

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

**20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**20. května 2009**

Ve Zlíně dne 20. února 2009



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

*děkan*



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

*ředitel ústavu*

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na studium vybraných metod měření elektromagnetické kompatibility v průmyslu komerční bezpečnosti. Teoretická část seznamuje s problematikou elektromagnetické kompatibility a rušivými signály. Popisuje základní rozdělení vojenské normy MIL-STD a normy ČSN. Charakterizuje měření v blízké a vzdálené zóně a měření magnetických polí bezdrátových systému I&HAS a EPS. V závěru uvádí základní metody měření elektromagnetické susceptibility, jako studii odolnosti a nové trendy ve vývoji v oblasti měření elektromagnetické interference v průmyslu komerční bezpečnosti.

Klíčová slova: elektromagnetická kompatibility, rušivé signály, měření elektromagnetické susceptibility, elektromagnetická interference

## ABSTRACT

The Bachelor thesis focuses on the study of several measuring methods of electromagnetic compatibility in the commercial security industry. Firstly the theoretical part of the thesis introduces the problem of electromagnetic compatibility and disturbing signals. Then it describes the basic division of the military standard MIL-STD and CSN. It also characterizes the measurement in short and long distance as well as the measurement of magnetic fields of the wireless system I&HAS and EPS. In conclusion the study presents the basic methods of measurement of the electromagnetic susceptibility as the study of resistance and new tendencies of development in the field of measuring of electromagnetic interference in the commercial security industry.

Keywords: electromagnetic compatibility, splatter, electromagnetic susceptibility measurement, electromagnetic interference measurement

Děkuji ing. Jánu Ivankovi za odborné vedení, poskytnuté rady, připomínky, pomocné materiály, trpělivost na konzultacích a při zpracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ÚVOD K PROBLEMATICE EMC</b> .....	<b>11</b>
1.1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA.....	12
1.2 ČLENĚNÍ OBORU EMC.....	13
1.3 ZDROJE RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ .....	15
1.3.1 Šíření rušivé energie vedením a vyzařováním.....	18
1.4 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ.....	21
1.4.1 Způsoby omezování rušení.....	22
<b>2 NORMALIZACE V OBLASTI EMC</b> .....	<b>24</b>
2.1 NORMALIZAČNÍ GRÉMIA A ORGANIZACE .....	25
2.2 DRUHY CIVILNÍCH NOREM EMC.....	27
2.3 VOJENSKÉ NORMY .....	28
<b>3 STACIONÁRNÍ A DYNAMICKÉ MAGNETICKÉ POLE</b> .....	<b>34</b>
3.1 STACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE .....	34
3.2 DYNAMICKÉ MAGNETICKÉ POLE .....	36
3.2.1 Veličiny magnetického pole .....	36
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>37</b>
<b>4 CHARAKTERISTIKA MĚŘENÍ V BLÍZKÉ A VZDÁLENÉ ZÓNĚ</b> .....	<b>38</b>
4.1 MĚŘENÍ VE VZDÁLENÉ ZÓNĚ .....	39
4.2 MĚŘENÍ V BLÍZKÉ ZÓNĚ.....	41
<b>5 MĚŘENÍ MAGNETICKÝCH POLÍ BEZDRÁTOVÝCH SYSTÉMŮ I&amp;HAS A EPS</b> .....	<b>46</b>
5.1 VLIV ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ NA ČLOVĚKA .....	46
5.1.1 Vliv magnetického pole pro jednotlivé skupiny frekvencí.....	46
5.1.2 Ochrana před stejnosměrnými a střídavými polí v interiérech.....	47
5.2 MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ.....	48
<b>6 PŘEHLED METOD MĚŘENÍ</b> .....	<b>53</b>
6.1 MĚŘENÍ POMOCÍ UMĚLÉ SÍTĚ .....	53
6.2 MĚŘENÍ POMOCÍ NAPĚŤOVÉ, PROUDOVÉ A VÝKONOVÉ SONDY .....	55
6.3 MĚŘENÍ POMOCÍ ANTÉN.....	58
6.3.1 Antenní měření na volném prostranství .....	62
6.3.2 Měření v elektromagnetických stíněných prostorech .....	63
<b>7 TESTOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI</b> .....	<b>64</b>

---

7.1	TESTOVACÍ KRITÉRIA.....	65
7.1.1	Testovací normy.....	67
7.1.2	Úrovně odolností.....	67
7.2	ZKUŠEBNÍ METODY.....	69
7.2.1	Ověřování odolnosti.....	72
<b>8</b>	<b>NOVÉ TRENDY VE VÝVOJI V OBLASTI MĚŘENÍ EMI V PKB .....</b>	<b>74</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>77</b>
	<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>83</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>87</b>



## ÚVOD

Předmětem bakalářské práce je studie vybraných metod měření elektromagnetické kompatibility v průmyslu komerční bezpečnosti. Předložená práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část seznamuje s problematikou elektromagnetické kompatibility (dále jen EMC), vědecko-technické disciplíny, které je věnována celosvětová pozornost ze strany odborníků i laiků. V níže uvedené části je členění základního rozdělení oboru EMC a šíření rušivých signálů energie vedením a zářením. Ne méně podstatnou část tvoří, a jsou v práci přehlednou formou prezentovány základní, kmenové a vojenské normy, vedené v oblasti norem Military Standards (dále jen MIL-STD) a České národní normy (dále jen ČSN) ve vztahu k jiným mezinárodním normám.

Praktická část se zaměřuje na základní charakteristiku měření v blízké a vzdálené zóně, měření stacionárních a dynamických magnetických polí bezdrátových poplachových systémů pro detekci vniknutí a přepadení (dále jen I&HAS) a elektrické požární signalizace (dále jen EPS). Popisuje základní metody měření EMC pro interní a externí elektromagnetickou odolnost, testovací kritéria a k nim navazující testovací normy. Seznamuje s novými trendy ve vývoji v oblasti měření elektromagnetické interference (dále jen EMI) v průmyslu komerční bezpečnosti (dále jen PKB).

## I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 ÚVOD K PROBLEMATICE EMC

Technika a systémy se v dnešní době mnohem více rozvíjí zásluhou člověka, který se snaží je zdokonalit a vylepšit. Stále rychleji se rozrůstají telekomunikační firmy, a tím mnohem více občanů vlastní mobilní telefony, navigační systémy, počítače a jiné zařízení, které uspokojí jejich potřeby. Tyto zařízení jsou hitem celosvětové komunikace, ale také jedním z rizik v prostředí komerční bezpečnosti.

Vstupem České republiky do Evropské unie se rozšířil zahraniční trh s elektrotechnickými a elektronickými zařízeními. Rostoucí konkurenceschopností se všechny tyto přístroje stávají více modernizované. Tato zařízení bývají instalována převážně v prostředí, v němž jsou vystavena nebezpečným vlivům elektromagnetického rušení. Odolnost zařízení proti takovému rušení musí být prvořadým zájmem nejen výrobců a prodejců, ale zejména i uživatelů. Nedostatečná odolnost může v nejjednodušších případech způsobit chybnou funkci zařízení, v horších případech i jeho zničení. Aby tato zařízení fungovala bez chyb, a nevyskytovalo se zde žádné nebo minimální rušení, je nutné respektovat elektromagnetickou kompatibilitu (dále jen EMC) ve vývoji i výrobě.

Zvýšením počtu radiopřijímačů, televizorů a komunikačních zařízení se rychleji rozvíjí rušivé signály. Ohrožují tak především důležité měřicí a zdravotnické přístroje, nebo jiné zařízení, například vyzařovaným polem mobilních telefonů. Zařízení nebo systémy musí být odolné vůči působení jiných zařízení a neměly by ovlivňovat svým působením funkce jiného zařízení. Každý ze systémů můžeme pokládat jak za zdroj, tak za přijímač elektromagnetického rušení.

Elektromagnetická kompatibilita nám zahrnuje širší působnost, než jen spolehlivost daného zařízení. Již v roce 1968, jeden ze zakladatelů EMC jakožto samostatného vědecko-technického oboru řekl: „Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý – bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností“. [22]

EMC představuje systémovou a integrující disciplínu, která zasahuje i do ekonomiky a finančnictví. Ve všech průmyslových zemích existují normy EMC, kterým musí přístroje a zařízení vyhovovat, chceme-li je vyvážet do zahraničí. Je známa celá řada případů, kdy

uživatelé v energetice, při nákupu a instalaci telekomunikační techniky podceňují jejich vzájemné rušení. Spotřebiče s nelineární charakteristikou připojení k napájecí síti způsobují, že roste úroveň rušení v kmitočtových pásmech prakticky od 0 hertzů (dále jen Hz) až do desítek gigahertzů (dále jen GHz). Příčinou je, že některá elektronická zařízení často pracují v prostředí se silným rušením. Proto je nutné používat velkých signálových výkonů u sdělovacích zařízení, například televizní a rozhlasové vysílače, systémy hromadného dálkového ovládnání aj. Parazitní signály mohou být vyhodnoceny jako informace došlé z technologického procesu a mohou mít za následek nesprávný automatický zásah s možným rizikem hospodářských škod, havárií technických zařízení, ale i ohrožení života nebo zdraví lidí. [8][19]

Nedodržením požadavků EMC jsou známé případy poruch a neštěstí, které měly katastrofální následky. Z běžného života víme, že při bouřce jsou přepětím poškozeny desítky telefonních ústředěn a dalších koncových zařízení, jako jsou faxy, záznamníky a telefony. Příčinou je nedostatečná odolnost těchto zařízení proti přepětí a také nevhodné nebo chybějící ochrany na vedení. V oboru EMC, podobně jako v ekologii, je nutné rozlišit, zda rušivé účinky elektromagnetického pole ovlivňujícího systému jsou jeho funkční parametry (např. signál rozhlasového vysílače) nebo rušivé produkty (např. jiskření na kontaktech apod.). [22]

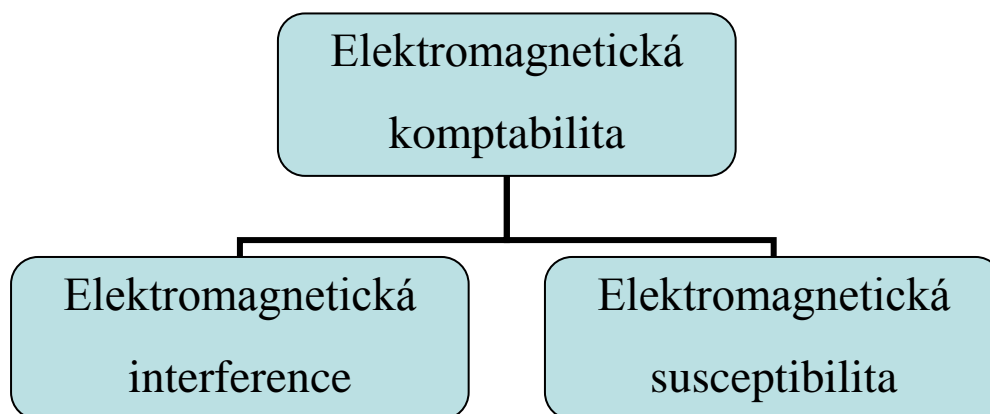
## 1.1 Elektromagnetická kompatibilita

Vědní obor, který se zabývá ovlivňováním technických a biologických systémů za působení elektromagnetického pole se nazývá elektromagnetická kompatibilita. Českým názvem je elektromagnetická slučitelnost. Méně se využívá a většina odborníků ho považuje za nevhodný. Významem je schopnost zařízení pracovat bez závad v prostředí, kdy kromě žádaných elektrických veličin zde vstupují i signály rušivé. Zároveň však může zařízení ovlivňovat své okolí nežádoucím vyzařováním elektromagnetického pole. Tento obor se zabývá zajištěním maximální spolehlivosti a funkceschopnosti elektrických a elektronických zařízení v reálném elektromagnetickém prostředí. [19]

Jako odraz nutné koexistence elektrotechnických systémů navzájem i ve vztahu k živým organismům, vznikl zcela zákonitě nový integrující obor nazývaný „*elektromagnetická kompatibilita*“ (z anglického „Electromagnetic Compatibility“). Mezinárodně uznávanou zkratkou je EMC. [19]

## 1.2 Členění oboru EMC

Celá problematika EMC se člení podle dvou hlavních skupin:



*Obr. 1 - Základní členění problematiky EMC.*

**Elektromagnetická interference** (dále jen EMI) neboli elektromagnetické rušení, představuje proces, kde se energie, kterou vyvíjí zdroj rušení, přenáší do rušených systémů a to prostřednictvím elektromagnetické vazby. Zkoumá tedy především zdroje rušení, identifikuje škodlivé přenosové cesty a snaží se je odstranit. [19]

**Elektromagnetická susceptibilita** (dále jen EMS) neboli odolnost, se snaží, aby zařízení pracovalo bezporuchově v okolí, kde se nachází elektromagnetické rušení. Snaží se tedy zabezpečit objekt technicky, a tak zvýšit jeho odolnost vzhledem k rušivým signálům. [19]

Elektromagnetická interference a odolnost zahrnují celou řadu společných kroků a nezbytných postupů. Rozsáhlou a důležitou oblastí je měření elektromagnetické interference, měření rušivých signálů a jejich identifikace. V ní jsou zahrnuty měřicí metody a postupy pro hodnocení vybraných parametrů hlavně na rozhraních zdrojů a přijímačů rušení. Problematika měření je pro závěrečné měření EMC rozhodující, jelikož samotné zařízení je zdrojem a zároveň přijímačem rušivých signálů. Testování elektromagnetické odolnosti objektů pomocí simulátorů rušení je v podstatě praktické ověření stupně EMC navrženého zařízení. Testování se provádí na hotových zařízeních, ale většinou už v průběhu vývoje. Objemnější je oblast počítačové simulace a modelování EMS i EMI, které využívají rozsáhlých produktů mnoha firem. Takový přístup je velice

výhodný ve stádiu návrhu a vývoje daného zařízení, kdy poskytuje poznatky o úrovni jeho EMC a umožňuje realizaci optimálních technických návrhů zařízení z hlediska EMC. [19]

Problémy EMC jsou zkoumány také z oblastí, které můžeme rozdělit na EMC biologických a technických systémů a zařízení. Důležitou oblastí, kterou se veřejnost zabývá, jsou otázky týkající se okolního prostředí a vlivu na živé organismy. EMC vznikla původně jako samostatná vědecká disciplína v důsledku zvýšení kvality a spolehlivosti prvků, zařízení či technických systémů. Biologický systém, například lidský organizmus, je složitý, více propracovaný, ale méně probádaný. Vytvořila jej příroda a dlouhodobý vývoj. Systém technický byl vytvořen člověkem ve velmi krátkém časovém období. EMC biologických systémů se zabývá celkovým elektromagnetickým pozadím našeho životního prostředí, přípustnou úrovní rušivých i užitečných elektromagnetických signálů a jejich vlivy na živý organizmus. Tyto vlivy jsou známé, avšak nejsou z dosavadních výzkumů zdaleka jasné. [19]

Za nežádoucí vlivy na člověka můžeme dnes považovat nejen přímé působení elektromagnetického pole na jeho pracovišti (obsluha vysílačů, radiolokátorů, výpočetních středisek), ale i dlouhodobé působení elektrizovaného životního prostředí zejména doma, kde většina lidí tráví hodiny svého času ve společnosti elektrických a elektronických zařízení, jako je například televize, kuchyňské spotřebiče, osobní počítače apod. EMC problematikou se zabývají i výzkumná lékařská pracoviště. Posuzují odolnost organismu vůči elektromagnetickým vlivům a mechanismy jejich působení. Objasňují např. tzv. tepelné účinky, které se objeví jako výsledek ohřevu tkání vystavených vysokým úrovním polí, nebo nízké výkonové úrovni přisuzují účinky na centrální nervový systém a imunitní systémy. [8]

EMC technických systémů se zabývá vzájemným působením technických prostředků. Při samotném zkoumání daného zařízení nebo systému je předmětem zájmu základní řetězec EMC. Řetězec poukazuje na systémový charakter problematiky EMC. V obecném případě vždy vyšetřujeme všechny tři složky tohoto řetězce. [8][19]



Obr. 2 - Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí. [22]

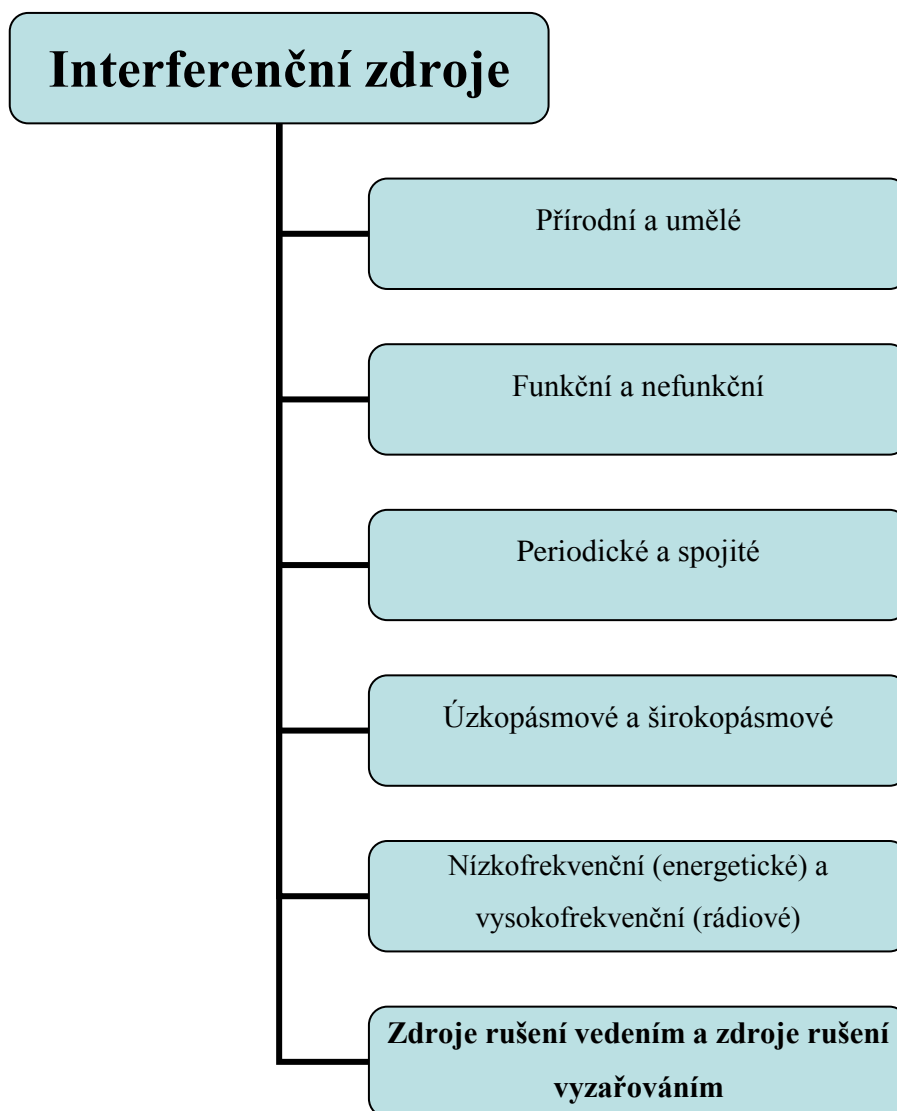
### 1.3 Zdroje rušivých signálů

Jak už je uvedeno v části členění oboru EMC, každý systém můžeme pokládat jak za zdroj, tak za přijímač elektromagnetického rušení. Selhání řídicích systémů může způsobit velký počet škod a v případě zanedbání zásad EMC mohou být rychle narušeny. Nejvíce sledované jsou umělé interferenční zdroje, vytvořené lidmi, a přírodní zdroje rušivých signálů, které neovlivníme a musíme předcházet jejich důsledkům. [19]

Okolí, kde žijeme, obsahuje několik elektromagnetických polí. Dají se nazvat „elektromagnetickým smogem“. Rozdělují se podle různých typů a frekvencí, ale reagují jinak na objekty biologické, než na technické. Nejvyšší frekvence zařazují radioaktivní záření, optické záření, mikrovlny, vysokofrekvenční, nízkofrekvenční pole a magnetické pole. [19]

- **elektromagnetický smog** – je těžký, drží se při zemi a neustále přibývá. Už i při malém množství můžeme trpět bolestmi nebo otoky nohou, malé děti mohou být často nemocné, jelikož se stále pohybují celým tělem v úrovni smogu. Působí negativně na naše zdraví, ale zbavíme se jej vykoupáním ve vaně, ve které necháme rozpustit půl kila soli (mořské nebo přešovské jodizované soli). Z místnosti se dá vyčistit zapnutím horského slunce, kde necháme na pár minut zapnuté záření. [2]

Z praktických důvodů vyčleňujeme typickou skupinu systémů, u kterých vysoce převažuje proces generování rušivých signálů nad jejich nežádoucím příjmem a nazýváme je interferenčními zdroji nebo zdroji elektromagnetického rušení. Mají rozmanitou klasifikaci a rozdělujeme je podle různých hledisek:



Obr. 3 - Příklady možné klasifikace interferenčních zdrojů.

Podle původu zdroje rušení lze rušivé signály rozdělit na:

- **přírodní** – přirozené zdroje rušení, jejich výskyt nelze nijak ovlivnit (blesk)
- **umělé** – vznikají lidskou činností, funkcí technických zařízení, lze je omezit různými technologickými postupy
- **funkční** – zdroje rušení jsou základem jednoho systému a mohou ovlivňovat funkci druhého systému (mobilní telefony, rádiové vysílače...)



- **nefunkční** – neboli parazitní zdroje, tedy zařízení, které v průběhu své činnosti produkuje rušivá napětí nebo pole (nejsou přímým produktem funkce záření, ale snažíme se je odstranit)
- **periodické** – vznikají např. jako vyšší harmonické průběhy funkčních signálů, nebo parazitní impulzy, které se periodicky opakují (např. při chodu motorů)
- **spojité** – vytvářejí je jiné zdroje, nemohou být považovány za posloupnost oddělených jevů
- **úzkopásmové** – jsou to především rušivé signály rádiových a televizních vysílačů
- **širokopásmové** – toto rušení má většina přírodních zdrojů rušení
- **nízkofrekvenční** (dále jen nf.) – projevují se jako energetické nízkofrekvenční rušení (působí od 0 do 2000 Hz a způsobuje především deformaci napájecího napětí a proudu) nebo akustické nízkofrekvenční rušení (od kmitočtu 10 kHz a negativně ovlivňují činnost přenosových informačních zařízení).
- **vysokofrekvenční** (dále jen vf.) – rádiové rušení, působí od 10 kHz do 400 GHz, můžeme zde zařadit téměř všechny zdroje rušení. [22]

Z obecného hlediska se z každého interferenčního zdroje šíří rušivý signál vyzařováním nebo po napájecích vedeních. U různých zdrojů vždy jeden z těchto způsobů šíření převažuje. Proto interferenční zdroje rozdělujeme na zdroje interference šířené vedením a zdroje interference šířené vyzařováním (prostorem). [22]

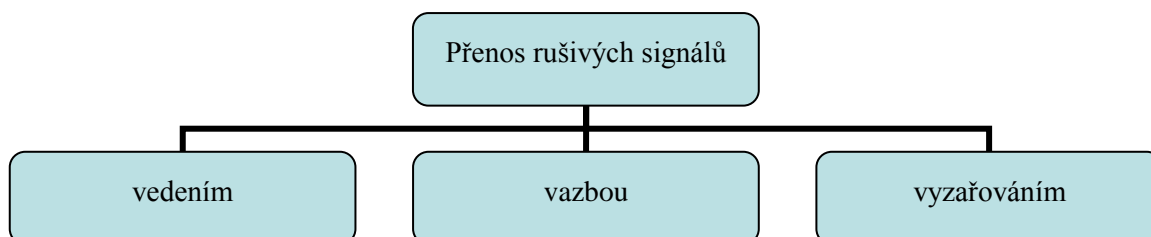
Působení zdrojů rušení se vzájemně prolíná a problémem jsou velmi složité vztahy a vazby ve sdělovací, přenosové, informační a řídicí technice. Proto se uvádí některé možnosti jejich potlačení. Všechny druhy přírodních nebo technických zdrojů vykonávají správnou funkci spolu. Zařízení, která fungují v různém prostředí, by měly splňovat požadavky na vyzařování a odolnost. Proto by je měl výrobce nebo instalační firma opatřit tak, aby zajistil správné funkce všech přístrojů v určitých místech. Zařízení, která generují rušivé elektromagnetické spektrum a oslabují moderní systémy, se stále více rozrůstají. [12][22][23]

Zdroj rušivého signálu	Kmitočtové pásmo	Způsob šíření
zářivka	0,1 Hz – 3 MHz	vedením
	100 Hz – 3 MHz	prostorem
rtuťová výbojka	0,1 Hz – 1 MHz	vedením
kolektorové motory	2 Hz – 4 MHz	vedením
	10 Hz – 400 kHz	prostorem
síťové vypínače	0,5 Hz – 25 MHz	vedením
výkonové spínače	10 Hz – 20 MHz	vedením
	0,1 Hz – 20 MHz	prostorem
spínané síťové zdroje	0,1 Hz – 30 MHz	vedením
	0,1 Hz – 30 MHz	prostorem
koronový výboj	0,1 Hz – 10 MHz	vedením
klopné obvody	15 kHz – 400 MHz	prostorem
kontakty termostatů	30 Hz – 1000 MHz	prostorem

Tab. 1 - Kmitočtové spektrum některých zdrojů rušení. [22]

### 1.3.1 Šíření rušivé energie vedením a vyzařováním

Nutným předpokladem „úspěšného rušení“ je existence cesty, kterou se rušivý signál šíří od zdroje k zařízení citlivému na rušení. Rušivé signály se v zásadě šíří třemi způsoby: kontaktně po vedení, bezkontaktně vazbami a vyzařováním. [22]



Obr. 4 - Přenos rušivých signálů.

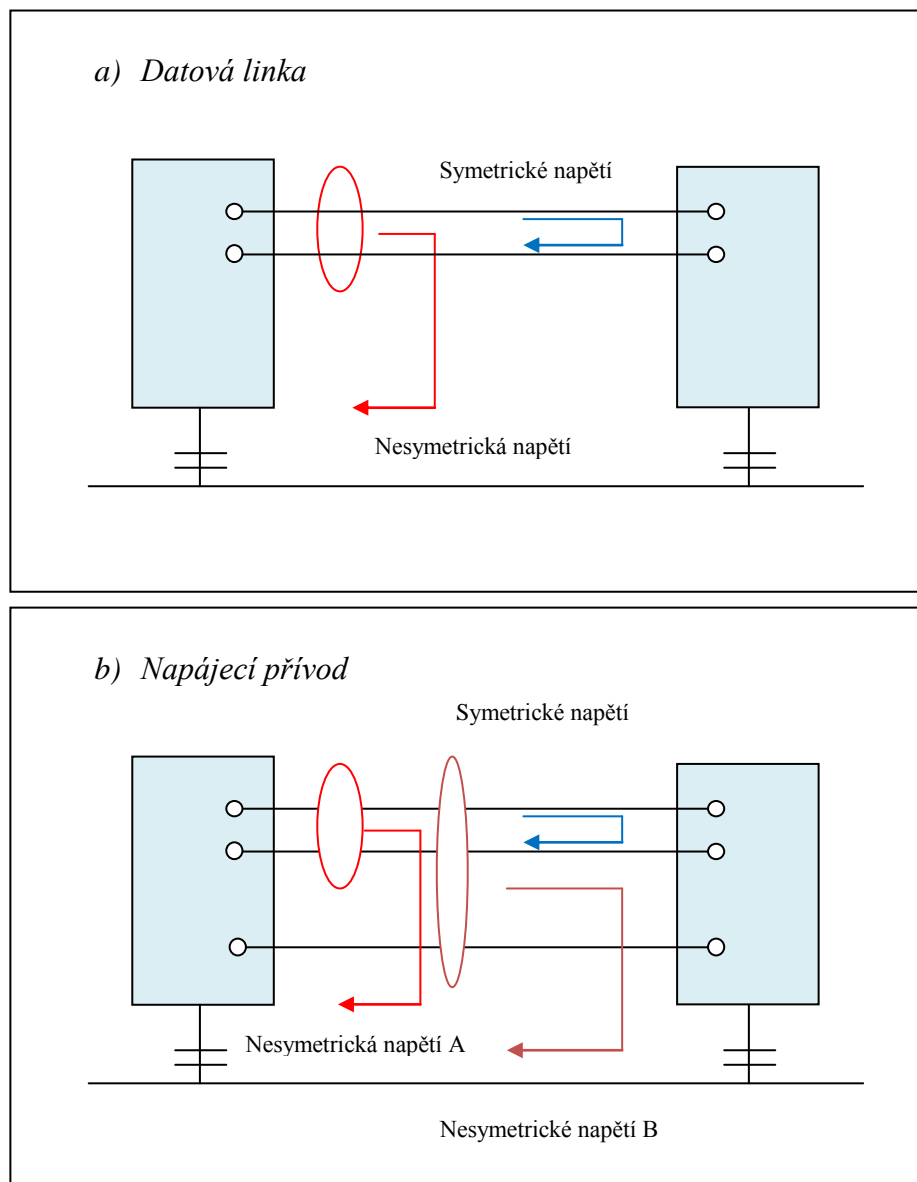
U větších vzdáleností mezi zdrojem a přijímačem rušení je možná vzájemná vazba vyzářeným elektromagnetickým polem. K parazitním vazbám vyzářování lze uvést rušení blízkými vysílači, atmosférická rušení i řadu průmyslových poruch. Rušení se projevuje v rádiových přijímačích, do kterých se dostává anténou. Ve vodičích rušeného přijímače se rušivé napětí indikuje působením elektromagnetických vln. V signálových obvodech přijímače se sečte se signálovým napětím nebo je může překrýt. [22]

- **šíření rušivé energie vedením**

K šíření rušivého signálu je nutné přímé propojení napájecími nebo datovými vodiči. Galvanické propojení je pro elektrický signál velmi vhodným prostředím, ačkoliv se impedanční poměry pro rušivé signály mohou od impedančních poměrů pro kmitočet pracovního signálu výrazně lišit. Na vedení se přitom rozeznávají dva typy rušivého napětí: symetrické a nesymetrické. [13]

Symetrické napětí je charakterizováno jako napětí mezi dvěma libovolnými vodiči daného vedení. Je to napětí vyvolané rušivým zdrojem připojeným mezi tuto dvojici vodičů. Symetrické rušivé napětí vyvolá rušivý proud uzavírající se ve smyčce tvořené dotčenou dvojicí vodičů. [13]

Nesymetrické napětí se objevuje mezi pracovními vodiči (z hlediska rušení na společném potenciálu) a vztažným bodem – např. zemí nebo kostrou zařízení. Je to rušení vyvolané např. napětím indukovaným rušivým polem společně do všech vodičů vedení proti zemi. Nesymetrické rušivé napětí vyvolá rušivý proud uzavírající se ve smyčce mezi vedením a zemí, popř. kostrou spotřebiče. Rušivý proud vyvolaný nesymetrickým napětím může uzavírat buď uvnitř přívodu ochranným zemním vodičem (případ A), nebo mezi všemi přívodními vodiči a zemí, popř. uzemněnou konstrukcí (případ B). Různé napětěvé úbytky při nesymetrickém rušení často současně vyvolají symetrické rušení a výsledkem je kombinované rušení obou typů. [13]



Obr. 5 - Typy rušivých signálů šířících se po vedení. [25]

- **šíření rušivé energie vazbami**

Šíření vazbami mezi zdrojem a příjemcem především vzniká mezi blízkými vodiči, např. při vedení ve společném kabelu nebo po společné trase. [25]

- **šíření rušivé energie vyzařováním**

Šíření vyzařováním znamená takový stav, kdy rušivý signál je k rušenému zařízení předáván prostřednictvím vyzařovaného elektromagnetického pole, a to blízkého nebo vzdáleného. [25]

- ***blízké pole*** – je to oblast v blízkosti zdroje elektromagnetických vln, kde se magnetické pole neváže na zákony pro šíření elektromagnetického vlnění,
- ***vzdálené pole*** - je pro posuzování úrovně rušení vhodnější, protože může být popsáno rovinnou vlnou a přijímač i vysílač mohou být uvažovány jako náhradní anténa. [13][25]

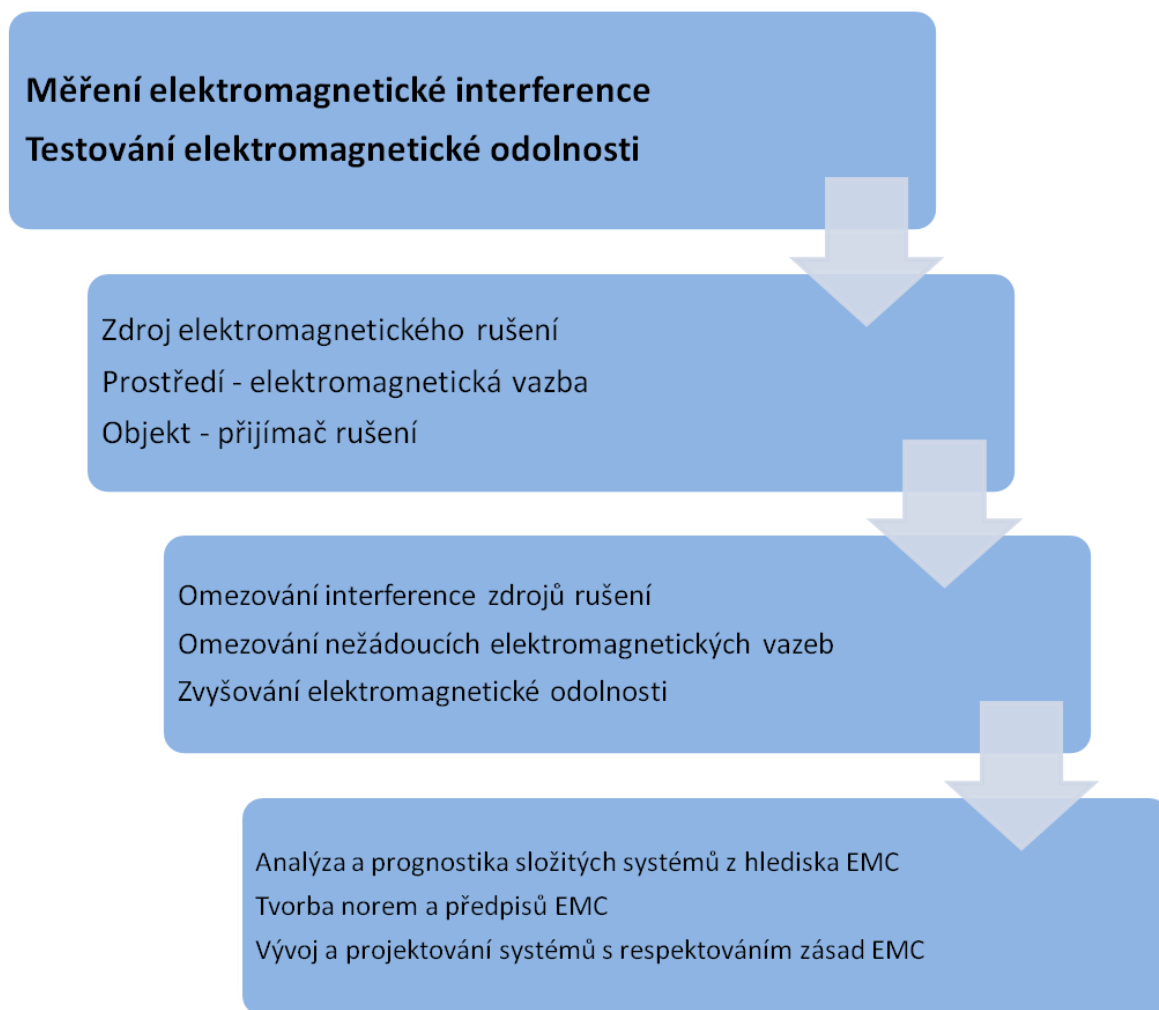
#### 1.4 Měření rušivých signálů

Měření rušivých signálů problematiky EMC v průmyslu komerční bezpečnosti (dále jen PKB) je velmi důležité, jelikož nám umožňuje ověřit kompatibilitu testovaného zařízení. Na našem trhu je stále více elektrických a elektronických zařízení různých druhů a jejich rozdílných pracovních podmínek, proto je třeba dosáhnout opakovatelnosti všech měření a vzájemné porovnatelnosti výsledků. Z toho důvodu jsou všechny měřící postupy předepsané příslušnými normami. Při měření rušivých signálů je důležité, znát způsob jejich šíření. Tyto signály se mohou šířit třemi způsoby: vedením, vazbou a vyzařováním (viz popsane výše). [12]

- **ověřování vyzařování**

Během ověřování je zařízení testováno v různých režimech, především tam, kde lze očekávat maximální hodnoty vyzařování, tedy v režimech, kdy zařízení odebírá ze zdroje maximální proud. Zařízení nesmí být ovlivňováno okolními rušivými signály. Ověřování se provádí v oblasti nízkofrekvenčního a vysokofrekvenčního rušení. [13]

- ***oblast nízkofrekvenčního rušení*** – patří zde především zhoršování kvality síťového napájení. Dále vyhodnocuje, jaký vliv má na kvalitu napájecí sítě v provozu, při rušení elektrotechnickými systémy. [13]
- ***oblast vysokofrekvenčního rušení*** – sem řadíme především rušivé signály, které jsou zároveň požadovanou součástí funkce jiného zařízení (např. mobilní telefony, televizní vysílače apod.). Při ověřování je nutné zajistit, aby se ve vyhrazeném prostoru nevyskytoval jiný zdroj rušení od zařízení, vedení nebo elektromagnetického pole. Provádí se měření vyzařování vysokofrekvenčního rušivého signálu šířícího se vedením nebo elektromagnetickým polem. [22]



Obr. 6 - Klasifikace a vztahová postoupanost obsahu EMC.

#### 1.4.1 Způsoby omezování rušení

Stává se, že na stejném kmitočtu přichází na vstup přijímače jak rušení, tak i užitečný signál. Proto je nevhodnější potlačit rušení hned u zdroje. Tím zaručíme, že nebude rušen zkoumaný přijímač, ale i zbylé objekty. V ostatních případech můžeme odstraňovat rušení nejen na zdroji, ale i v přijímači a přenosových cestách. Nesmíme provádět zásah na zdroji, pokud je signál zároveň užitečný i rušivý pro jiné zařízení. [19]

Prostředky, které se používají k omezování nebo potlačení elektromagnetického rušení kdekoli v části řetězce EMC, se nazývají odrušovací prostředky. Mezi ně řadíme:

- odrušovací tlumivky a jednoprvkové tlumivkové filtry
- odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry
- odrušovací filtry LC

- přepět'ové ochranné prvky (bleskojistky, plynové výbojky, omezovací diody)
- elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění
- zemnění

Rozhodnutí, který prostředek použijeme, abychom dosáhli nejvyššího efektu, je závislé na způsobu odstranění rušení, šířící se po vedení nebo rušení vyzařováním. Nesprávná volba odrušovacího prostředku nepřinese očekávané, ale mohou se zhoršit parametry zařízení nebo ohrožení bezpečnosti obsluhy. Pokud odrušovací prostředek špatně nainstalujeme, může se stát, že zvýšíme celkovou úroveň rušení. Znamenalo by to, že odrušené zařízení by rušilo větší mírou, než zařízení neodrušené. Proto je podmínkou správné volby prostředků znalost jejich vlastností. [19]

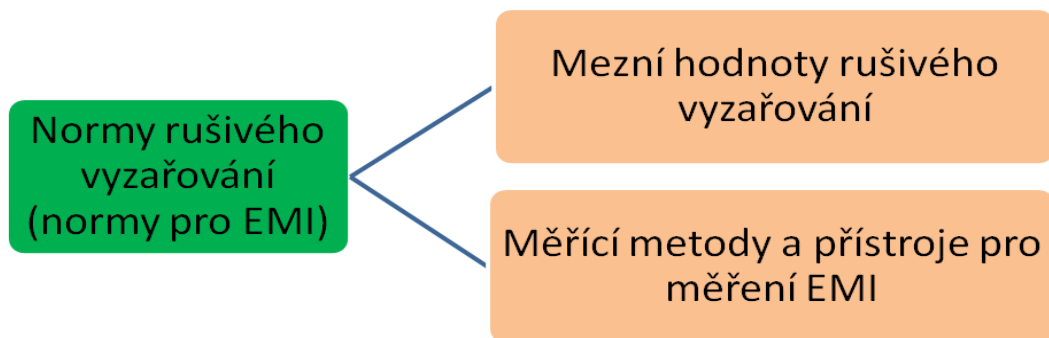
Pokud chceme zabránit nebo omezit rušení po vedeních nebo zvýšit odolnost, použijeme odrušovací tlumivky, kondenzátory, kmitočtové filtry LC a omezovače přepětí. Podmínkou je však správně provedené stínění proti rušivým polím. Většinou vždy na přenosech a rušení dvou přístrojů se podílí rozvodná energetická síť. Energetický vodič se při vchodu do přístroje parazitně váží s vnitřními částmi přístroje. Zvenčí přístroje se vodiče dělí do prostorů, a tak tvoří vazbu mezi vnitřními částmi různých přístrojů. Síťové vodiče se též váží se signály vysílačů a rádiových přijímačů. Tím se do vodičů indukují různá napětí, která se přenesou dovnitř přístroje, a zároveň do antén přijímačů. Oba napájecí vodiče přenášejí rušivý signál. Pokud chceme rušení přenášené sítí potlačit, můžeme použít dva způsoby. Většinou se používají společně. Prvním způsobem je zmenšení parazitní kapacity mezi síťovými vodiči a ostatními částmi přístrojů, kterým slouží elektrické odstínění primárního vinutí síťového transformátoru vůči ostatním vinutím. Musí být správné poskládání součástek v napájecích obvodech. Druhým způsobem je zabudování odrušovacích filtrů do přívodu napájecí sítě. Odrušovací tlumivky, kondenzátory a přepět'ové ochranné prvky se používají jak ve filtrech, tak i samostatně. [19]

## 2 NORMALIZACE V OBLASTI EMC

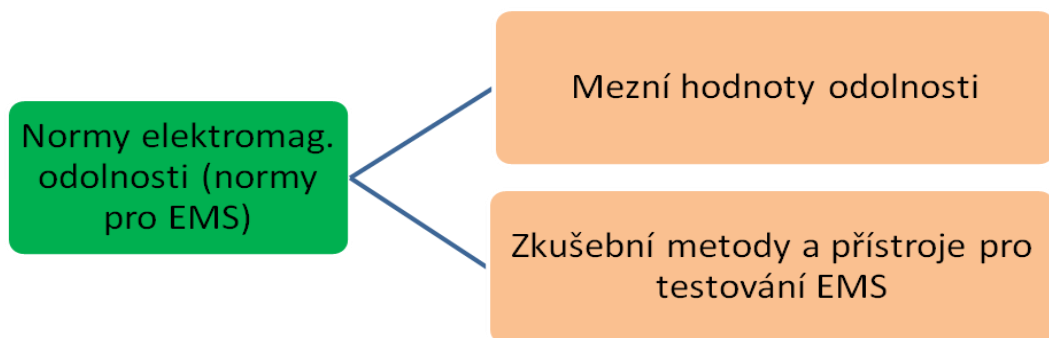
Důležitou součástí všech oblastí elektromagnetické kompatibility je tvorba příslušných norem a předpisů.

Všechny normy EMC můžeme rozdělit do následujících kategorií:

- **normy rušivého vyzařování** (normy pro EMI) – nejstarší, nejpropracovanější a obecně nejznámější, jsou součástí klasické ochrany a odrušení rádiového spektra a rádiových spojů.
- **normy elektromagnetické odolnosti** (normy pro EMS) – podstatně mladší závazné normy a předpisy, neustále se dopracovávají.
- **normy pro odrušovací prostředky** – obvykle pouze doporučené, týkající se jen vzájemného vztahu výrobce – zákazník. [22]

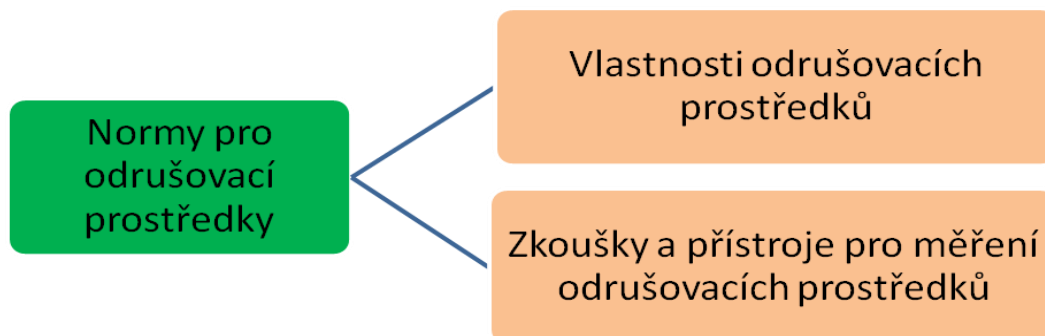


Obr. 7 - Normy pro EMI.



Obr. 8 - Normy pro EMS.





Obr. 9 - Normy pro odrušovací prostředky.

## 2.1 Normalizační grémia a organizace

Hlavní organizací pro celou oblast elektrotechniky na mezinárodní úrovni je **mezinárodní elektrotechnická komise IEC** (International electrotechnical commission) (dále jen IEC), v jejímž rámci jsou vytvářeny všechny elektrotechnické normy. IEC řadíme do celosvětového normalizačního procesu, který je řízený **mezinárodní organizací ISO** (International organization for standardization) (dále jen ISO). [22]



Obr. 10 - Mezinárodní elektrotechnická komise IEC. [6]

Oborově je IEC členěna do tzv. technických komisí TC (dále jen TC), případně subkomisí SC (dále jen SC), z nichž k problematice EMC přispívají hlavně:

- TC 41
- TC 57
- TC 65
- TC 77

Především tato poslední komise TC 77 svými publikacemi ovlivňuje velkou mírou děj v oblasti EMC, a to podrobnými specifikacemi druhů elektromagnetického prostředí, rušivých emisí, odolnosti, postupů zkoušek a měřicí techniky EMC apod. [23]

V rámci IEC se na elektromagnetickou kompatibilitu specializuje **výbor pro rádiovou interferenci CISPR** (Comité international special des perturbations radioelectriques) (dále jen CISPR). Vznikl na ochranu rádiového a televizního vysílání. Tvoří normy v oblasti vysokofrekvenčního rádiového rušení. Její hlavní pozornost v současné době směřuje do oblasti elektromagnetického rušení od zařízení informační techniky. Normy **IEEE - Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství** (Institute of Electrical and Electronics Engineers) tvoří pro oblast EMC soubor 13 norem, které jsou v souladu s normami CISPR, neliší se v základních ustanoveních nebo metodice a jsou jejich vhodným doplněním a rozšířením. Často se používají v běžné technické praxi. [22]

Kromě mezinárodních celosvětových norem (IEC, CISPR) a národních norem (českých norem ČSN (dále jen ČSN)) vznikl v Evropě systém jednotných **evropských norem EN** (dále jen EN). Technickou přípravou se zabývají dvě komise Evropské unie:

- **evropská komise pro normalizaci CEN** (Comité europeen de normalisation) (dále jen CEN) – je vytvořena z normalizačních organizací všech členských států Evropské unie a ze států Evropského sdružení volného obchodu EFTA.
- **evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC** (Comité europeen de normalisation en electrotechnique) (dále jen CENELEC) – je tvořena z národních evropských normalizačních organizací. [22]



*Obr. 11 - Evropská komise pro normalizaci v elektronice CENELEC. [1]*

- **evropský institut pro normalizaci v telekomunikacích ETSI** (European telecommunications standards institute) (dále jen ETSI).

Cílem evropských normalizačních orgánů je vytvoření celoevropsky platných jednotných (tzv. harmonizovaných) norem, tedy norem odsouhlasených a přijatých všemi

státy Evropské unie a následně u nás **českým národním institutem ČNI** (dále jen ČNI). V České republice je ČNI pověřen koordinačními pracemi v oblasti všech norem. Jeho **technická normalizační komise TNK 47** (dále jen TNK) „Elektromagnetická kompatibilita“ postupně reviduje existující české normy ČSN (tj. i československé státní normy) v oblasti EMC a harmonizuje je s normami IEC, CISPR a EN. České normy vydávané ČNI, vznikají přejímáním mezinárodních norem ekvivalentním překladem, s označením ČSN IEC, ČSN EN, ČSN CISPR, ČSN ETSI EN a se shodným původním číslem normy. Podobné je to i v ostatních státech Evropské unie. [22]

## 2.2 Druhy civilních norem EMC

V rámci CENELEC se problematikou EMC zabývá především technická komise TC 110. Na základě dohody o spolupráci přebírá tato komise od IEC existující mezinárodní normy IEC a IEC CISPR beze změn a současně předkládá IEC požadavky a návrhy na vypracování nových norem. Takto vzniklé normy můžeme dělit do tří skupin: [22]

- **základní normy** (Basic standards) - určují všeobecné podmínky pro dosažení EMC libovolného technického produktu. Tyto normy nestanovují konkrétní meze rušení či meze odolnosti, ani žádná vyhodnocovací kritéria.
- **kmenové normy** (Generic standards) - určují minimální soubor požadavků a testovacích metod EMC pro všechna technická zařízení podle typu elektromagnetického prostředí (obytná, průmyslová, speciální prostředí apod.).
- **předmětové normy** (Product standards) – definují detailní požadavky a testovací metody EMC pro jednotlivé výrobky a skupiny podobných výrobků a zařízení (tzv. normy výrobků, příp. normy skupin výrobků). Mohou být použity na následující skupiny výrobků:
  - sběrnice pro domácnost, kancelářské stroje a přístroje, přenosné elektrické nářadí a podobné elektrické přístroje s výjimkou zařízení informační techniky
  - zařízení informační techniky a telekomunikační zařízení
  - televizory a podobná zařízení
  - dopravní a přepravní zařízení

- účelová zařízení
- lékařská zařízení
- měřicí a testovací zařízení

Všechny uvedené typy norem můžeme podle stupně jejich legislativní podpory dělit na závazné nebo doporučující.

- **závazné normy** (Regulatory, mandatory standards) – mají charakter zákona. Výroba a prodej výrobků je nelegální, pokud nevyhovují těmto normám. V Evropské unii je taková norma především Směrnice Rady Evropské unie č. 89/336/EEC z roku 1989. Zásady, které jsou v ní uvedeny, musí být dodržovány a respektovány.
- **doporučené normy** (Voluntary standards) – mají jen doporučující charakter a vznikají obvykle jako výsledek společné práce výrobců a normalizačních organizací. V USA je to např. ASTM (American standards and testing materials) v oblasti materiálů, nebo SAE (Society of automotive engineers) v automobilovém průmyslu. Také existují doporučené normy od IEEE (Institute of electrical and electronics engineers), EIA (Electronic industries association). Koordinačním orgánem normalizační činnosti v USA je **Americký národní normalizační institut ANSI** (American national standards institute), který často přejímá normy od těchto organizací. Tyto převzaté normy pak označujeme jako ANSI/ASTM, ANSI/IEEE atd. V Evropě se koordinace jednotlivých normalizačních organizací uskutečňuje prostřednictvím nadnárodních organizací, především CENELEC a jeho komisí. [22]

Musíme si ovšem uvědomit, že i přesto, že jde o doporučené normy, jejich vliv může být prakticky stejný jako u závazných norem. Doporučené normy se často berou jako prodejní specifikace a jejich nesplnění je bráno v úvahu při pojišťovacích či náhradových řízeních apod. [22]

### 2.3 vojenské normy

Vojenské normy, které jsou používány v řadě armád světa, představují historicky první normy a předpisy v oblasti EMC. Z těchto norem se později vyvinuly i příslušné civilní normy. Především v amerických ozbrojených silách US Army, US Navy a US Air

Force vznikla propracovaná soustava norem EMC, označovaná jako **Military Standards** (dále jen **MIL-STD**). Tyto normy se rozšířily do západní Evropy a byly převzaty jejími armádami (např. německá vojenská norma VG 95370 odpovídá americké normě MIL-STD 462 apod.) a to prostřednictvím Severoatlantické aliance NATO (North Atlantic Treaty Organisation). [22]

Vojenské normy MIL-STD se od civilních norem EMC liší. Pro měření a vyhodnocování elektromagnetického rušení používá detekce špičkových hodnot (peak detection). Civilní normy jsou založeny na metodice CISPR, která používá detekci kvazi-špičkových hodnot (quasi-peak detection). CISPR je zaměřen hlavně na ochranu rádiového příjmu a zvukového signálu před rušením. Vojenské účely mají za cíl především vyhodnocení špičkových hodnot rušení a jeho vliv na vojenská zařízení. Některé jiné doporučené mezní hodnoty elektromagnetického vyzařování a jiný měřicí kmitočtový rozsah patří k dalším rozdílům vůči civilním normám. [22]

Vojenské normy byly prvními a jedinými normami po několik let, které se zabývaly testováním imunity. Z toho důvodu byly hodně dlouho užívány i v civilním sektoru, avšak jako normy doporučené. Vojenská zařízení jsou užívána v různorodých a obtížně definovatelných pracovních podmínkách a často představují špičku technických možností v dané oblasti a jsou testovány za náročných podmínek. Tyto normy se kromě rušivého vyzařování zabývají i elektromagnetickou odolností vojenských zařízení. [22]

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN IEC 1000-1-1	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 1: Všeobecně. Oddíl 1: Použití a interpretace základních definic a termínů.	1992
ČSN EN 50081-1	EMC. Všeobecná normy týkající se vyzařování.	1994
ČSN EN 50081-2	Část 1: Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu. Část 2: Průmyslové prostředí.	1996
ČSN EN 50082-1	EMC. Všeobecná norma týkající se odolnosti.	1994
ČSN EN 50082-2	Část 1: Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu. Část 2: Průmyslové prostředí.	1996

*Tab. 2 - Výběr harmonizovaných českých norem EMC – všeobecné normy, elektromagnetické prostředí.*

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN IEC 1000-2-1	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Oddíl 1: Elektromagnetické prostředí pro nf. rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích.	1997
ČSN IEC 1000-2-2	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Oddíl 2: Kompatibilní úrovně pro nf. rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého kmitočtu.	1997
ČSN IEC 1000-2-3	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Oddíl 3: Popis prostředí vyzařovaných jevů a jevů šířených vedením a nevztahujících se k síťovému kmitočtu.	1997
ČSN EN 61000-2-2	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Oddíl 2: Kompatibilní úrovně pro nf. rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nf. napětí.	2003
ČSN EN 61000-2-4	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 2: Prostředí. Oddíl 4: Kompatibilní úrovně pro nf. rušení šířené vedením v průmyslových závodech.	1997

*Tab. 3 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – nízkofrekvenční rušení.*

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN EN 55011	Meze a metody měření charakteristik elektromag. rušení od průmyslových, vědeckých a lékařských vf. zařízení.	1991
ČSN EN 55013	Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného rozhlasovými a televizními přijímači a přidruženými zařízeními.	1990
ČSN EN 55014	Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného zařízením s elektrickým pohonem, tepelným zařízením pro domácnost a podobné účely, elektrickým nářadím a podobnými elektrickými přístroji.	1995
ČSN EN 55015	Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného elektrickými svítilny a podobným zářením.	1995
ČSN EN 55022	Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobených zařízeními informační techniky.	1998
ČSN PENV 55102-1	Požadavky na EMC pro koncová zařízení ISDN. Část 1: Požadavky na vyzařování.	1996
ČSN CISPR 12	Meze a metody měření charakteristik vf. rušení motorovými vozidly, motorovými čluny a zařízeními poháněnými zážehovými motory.	1995
ČSN CISPR 16-1	Spec. metod a přístrojů pro měření – nf. rušení a odolnost proti vf. rušení. Část 1: Přístroje pro měření vf. rušení a odolnosti proti vf. rušení.	2003
ČSN CISPR 18-1	Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí. Část 1: Popis jevů.	1995
ČSN CISPR 18-2	Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení vysokého napětí. Část 2: Metody měření pro určení mezí.	1995
ČSN CISPR 18-3	Charakteristiky rušení venkovních vedení a zařízení vysokého napětí. Část 3: Praktické způsoby pro omezení vzniku vf. šumu.	1995
ČSN CISPR 23	Stanovení mezních hodnot pro průmyslové, vědecké a lékařské přístroje.	1996

Tab. 4 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – vysokofrekvenční rušení.

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN EN 61000-4	Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 4: Zkušební a měřicí technika	
ČSN EN 61000-4-1	Oddíl 1: Přehled zkoušek odolnosti. Základní norma EMC.	2001
ČSN EN 61000-4-2	Oddíl 2: Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti.	1997
ČSN EN 61000-4-3	Oddíl 3: Vyzařované vysokofrekvenční elektromag. pole – zkouška odolnosti.	2006
ČSN EN 61000-4-4	Oddíl 4: Elektrický rychlý přechodný jev/skupina impulzů – zkouška odolnosti.	1996
ČSN EN 61000-4-5	Oddíl 5: Rázový impulz – zkouška odolnosti.	1997
ČSN EN 61000-4-6	Oddíl 6: Rušení indukovaná vf. poli a šířena vedením – zkouška odolnosti.	1999
ČSN EN 61000-4-7	Oddíl 7: Všeobecný pokyn o měření a měřících přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich.	1994
ČSN EN 61000-4-8	Oddíl 8: Magnetické pole síťového kmitočtu - zkouška odolnosti.	1996
ČSN EN 61000-4-9	Oddíl 9: Pulzy magnetického pole – zkouška odolnosti.	1997
ČSN EN 61000-4-10	Oddíl 10: Tlumené kmity magnetického pole – zkouška odolnosti.	2001
ČSN EN 61000-4-11	Oddíl 11: Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí – zkouška odolnosti.	2001
ČSN EN 61000-4-12	Oddíl 12: Oscilační vlny – zkouška odolnosti.	2001
ČSN EN 61000-4-14	Oddíl 14: Kolísání napětí – zkouška odolnosti.	2000
ČSN EN 61000-4-15	Oddíl 15: Měřič blikání – specifikace funkce a dimezování.	1999
ČSN EN 61000-4-16	Oddíl 16: Zkouška odolnosti proti nesymetrickým rušením šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 150 Hz.	1999
ČSN EN 61000-4-17	Oddíl 17: Zvlnění na stejnosměrném napájecím vstupu – zkouška odolnosti.	2000
ČSN EN 61000-4-24	Oddíl 24: Zkušební metody pro ochranné prostředky pro rušení HEMP šířené vedením – základní norma EMC.	1998
ČSN EN 61000-4-28	Oddíl 28: Kolísání síťového kmitočtu – zkouška odolnosti.	2000
ČSN EN 55020	Měření odolností rozhlasových a televizních přijímačů a přidružených zařízení.	1996

Tab. 5 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – odolnost proti rušení.



Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN CISPR 16	Specifikace CISPR pro přístroje a metody měření vysokofrekvenčního rušení.	1996
ČSN CISPR 16-1	Specifikace metod a přístrojů na měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení. Část 1: Přístroje na měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení.	2003
ČSN CISPR 16-2	Specifikace metod přístrojů na měření rádiového rušení a odolnosti proti rádiovému rušení. Část 2: Metody měření vf. rušení a odolnosti proti rušení.	1998

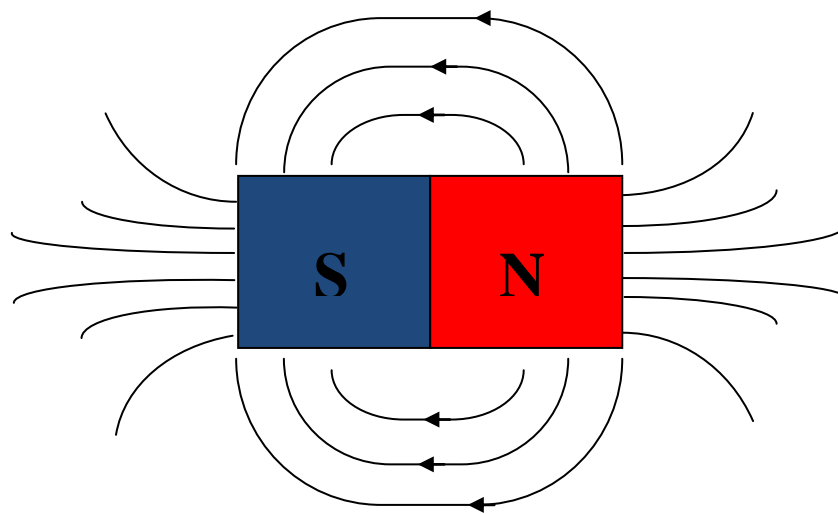
Tab. 6 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – společné normy pro odolnosti a vysokofrekvenční rušení.

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN EN 50091-1	Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS). Část 1: Požadavky EMC – nf. a vf. rušení.	1995
ČSN EN 50091-2	Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS). Část 2: Požadavky EMC – odolnost.	1995
ČSN EN 55103-2	Elektromagnetická kompatibilita: Norma skupiny výrobků audio, video, audiovizuální přístroje a řídicí přístroje zábavního osvětlení pro profesionální užití. Část 2: Odolnost.	1996
ČSN EN 60118-13	Sluchadla. Část 13: Elektromagnetická kompatibilita (EMC).	1997
ČSN EN 60601-1-2	Zdravotnické elektrické přístroje. Část 1: Všeobecné požadavky na bezpečnost. Oddíl 2: Elektromagnetická kompatibilita. Požadavky a zkoušky.	1993
ČSN EN 61326-1	Elektrická měřicí a laboratorní zařízení: Požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC). Část 1: Všeobecné požadavky.	1997
ČSN EN 61547	Zařízení pro všeobecné osvětlovací účely. EMC: Požadavky odolnosti.	1995
ČSN IEC 939-1	Úplné vf. odrušovací filtry. Část 1: Všeobecné požadavky.	1994
ČSN IEC 939-2	Úplné vf. odrušovací filtry. Část 2: Dílčí specifikace. Výběr zkušebních metod a všeobecné požadavky.	1994
ČSN IEC 940	Používání kondenzátorů, rezistorů, tlumivek a úplných filtrů pro potlačení vf. rušení.	1994

Tab. 7 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – normy výrobků a skupin výrobků.

### 3 STACIONÁRNÍ A DYNAMICKÉ MAGNETICKÉ POLE

Magnetické pole je fyzikální pole, které má za zdroj pohybující se elektrický náboj. Magnetické pole můžeme pozorovat kolem elektrických vodičů, kde je zdrojem volný elektrický proud, ale také kolem tzv. permanentních magnetů (magnetické siločáry jsou vždy uzavřené křivky, které začínají na severním (N) pólu magnetu a končí na jižním (S) pólu). V přírodě lze nalézt určité látky, mezi kterými působí určité síly, označující se magnetické síly. Tělesa vykazující magnetické vlastnosti jsou „zmagnetované“, nebo je označujeme za permanentní magnety. [11]



Obr. 12 – Magnetické siločáry.

Podle závislosti na čase můžeme magnetické pole rozdělit na:

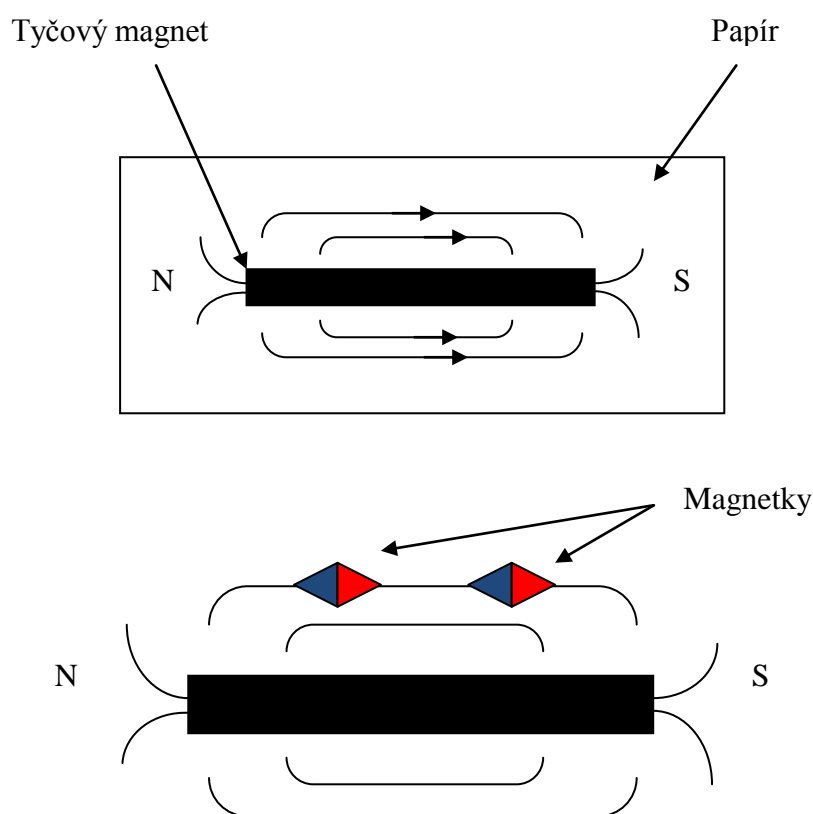
- **stacionární** (stejnoseměrné) **magnetické pole** – nezávislé na čase
- **dynamické** (nestacionární, střídavé) **magnetické pole** – časově proměnné

#### 3.1 Stacionární magnetické pole

Magnetická pole vznikají vždy, když protéká elektrický proud. Stejnoseměrný proud vytváří stejnoseměrné magnetické pole, střídavý proud vytváří střídavé magnetické pole o stejném kmitočtu. Magnetické pole stejně jako elektrické pole je silové pole. Siločáry je možno zviditelnit jednoduchým pokusem: jemné železné piliny se vysypou na skleněnou tabuli nebo na lepenku a kolmo do plochy se zavede vodič, kterým protéká proud. Piliny se

srovnají podle magnetických siločar, přičemž se ukáže, že tyto siločáry tvoří kolem vodiče uzavřené kruhy. [11]

Můžeme také zhotovit jakousi cívku tím, že jednotlivé závity provlékneme papírem. Polovina cívky je tedy nad papírem, druhá polovina pod ním. Všude kolem závitů a uvnitř cívky nasypeme jemné železné pilinky a zapojíme proud. Po poklepání se pilinky seřadí do pravidelných tvarů, připomínajících pole obyčejného magnetu. Pokud bychom pod papír místo cívky umístili silný tyčový magnet, tvar takto vzniklého pole by se nelišil od tvaru elektromagnetického pole. [11]



Obr. 13 – Magnetické pole u cívky.

Fyzikální pole můžeme rozdělit na zřídlová a vírová, a to podle tvaru siločar. Siločáry křídlového pole vystupují nebo vstupují do zdroje, a je to pole elektrické. Vírová pole jsou pole s uzavřenými siločarami, a je to pole magnetické. Vírová pole nemají klasický zdroj (např. náboj – neexistuje magnetický náboj), ale vystupují jako doprovodná pole zřídlových polí. V okolí elektrického vodiče lze orientaci indukčních čar určit pomocí Ampérova pravidla pravé ruky a podle Flemingova pravidla levé ruky můžeme určit směr síly. [11]

## 3.2 Dynamické magnetické pole

Střídavá magnetická pole vznikají v okolí vedení a kabelů, jimiž protéká střídavý elektrický proud. Při tom má frekvence střídavého proudu na intenzitu a účinek střídavého magnetického pole rozhodující vliv: jsou tím větší, čím vyšší je frekvence. Proto při vyhodnocení střídavých magnetických polí má vedle intenzity vždy význam také frekvence. Intenzita střídavého magnetického pole se stejně jako u stejnosměrného pole udává v ampérech na metr (A/m). V praxi se však častěji počítá s magnetickou indukcí a jednotkou tepla. Střídavá magnetická pole mají stejné vlastnosti jako stejnosměrná magnetická pole. Pronikají téměř všemi materiály s výjimkou speciálních kovových slitin nebo velmi silných železobetonových stavebních částí. [11]

### 3.2.1 Veličiny magnetického pole

- **intenzita magnetického pole** – značí se **H** a její základní jednotkou je  $A/m = \text{ampér na metr}$ . Stoupá úměrně proudu protékajícímu elektrickým vodičem, ale také úměrně počtu paralelně uložených vodičů cívky, jaké se užívají například v motorech a transformátorech.
- **magnetická indukce** – značí se **B** a její základní jednotkou je  $T = \text{tesla}$ . Pomocí této veličiny je charakterizováno magnetické pole. Představuje počet magnetických siločar, které připadají v daném prostředí na jednotku plochy.
- **magnetický tok** – značí se  **$\Phi$**  a jeho základní jednotkou je  $Wb = \text{weber}$ . Představuje celkový počet magnetických siločar v uvažovaném prostoru.
- **magnetické indukční čáry** – tvar popisují indukční čáry. Jsou to uzavřené neprotínající se orientované křivky, jejichž tečna v daném bodě má směr osy magnetky umístěné v tomto bodě. Vně magnetu jsou indukční čáry orientovány od N pólu k S a uvnitř magnetu naopak.
- **permeabilita prostředí** – značí se  **$\mu$**  – konstanta, charakterizuje magnetické vlastnosti prostředí, ve kterém se magnetické pole šíří. Jednotkou je  $H/m = \text{henry na metr}$  nebo  $N/A^2 = \text{newton na čtverečný ampér}$ . Jako  **$\mu_0$**  je označována permeabilita vakua. [11]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

#### 4 CHARAKTERISTIKA MĚŘENÍ V BLÍZKÉ A VZDÁLENÉ ZÓNĚ

Ve vzdálené zóně je měření výhodnější pro antény v nižších frekvenčních pásmech. Blízká zóna je výhodnější pro vyšší frekvence a pro kompletní vyzařovací charakteristiky včetně měření polarizačních vlastností. Každé měření se dělí na další typy, mající určité výhody a nevýhody a to způsobuje, že je velice obtížné celkové srovnání mezi technikami měření v blízké a vzdálené zóně. [18]

V bezprostřední blízkosti antény převládají reaktivní složky nad vyzařovanými. Tuto oblast nazveme **reaktivní blízká zóna**. Obvyklé kritérium pro hranici této oblasti je vzdálenost:

$$R_r < \frac{\lambda}{2\pi}$$

Kde:  $\lambda$  – vlnová délka [m; m/s; Hz];  $\lambda = c/f$

$c$  – rychlost šíření ve volném prostoru [m/s]; ( $c = 299\,792\,458$  m/s)

$f$  – frekvence [Hz]

Intenzita reaktivních složek rychle klesá se vzdáleností od antény, takže se reaktivní složky stanou brzy zanedbatelné ve srovnání s vyzařovanými. Oblast, kde převládají vyzařované složky, dělíme na zářivou blízkou a vzdálenou zónu. Vzdálená zóna se pro elektricky velké antény, které mají  $D \gg \lambda$ , kde  $D$  je největší rozměr antény, zpravidla uvažuje pro vzdálenost  $R_f$  určenou vztahem:

$$R_f > \frac{2D^2}{\lambda}$$

Kde:  $\lambda$  – vlnová délka [m; m/s; Hz];  $\lambda = c/f$

$c$  – rychlost šíření ve volném prostoru [m/s]; ( $c = 299\,792\,458$  m/s)

$f$  – frekvence [Hz]

Ani kritérium blízké reaktivní zóny, ani vzdálené zóny není nijak pevně dané a různí autoři používají odlišné hodnoty. [18]

## 4.1 Měření ve vzdálené zóně

Měření ve vzdálené zóně je tradiční metoda měření antén. Měřená anténa se upevňuje na otáčecí zařízení, umožňující natáčení, pro různé úhly vzhledem k vysílací anténě. Tak se zaznamenají amplitudy a fáze jako funkce úhlu. Získáme tím požadované vyzařovací charakteristiky. Pro určité aplikace se upřednostňuje měření ve vzdálené zóně pro určení amplitudové nebo fázové charakteristiky měřené antény. Jsou to antény s malým ziskem pod 1 GHz. Používá se měření v této zóně, také když se vyzařovací charakteristiky vyžadují pouze pro některé roviny. [18]

Na pracovištích se přijímací a vysílací antény musí oddělit dostatečnou vzdáleností, aby se dosáhlo požadovaného prostředí vzdálené zóny. Měřená anténa se ozařuje pomocnou anténou zdroje, a tak se vytvoří skoro rovinná fázová plocha nad celou elektrickou aperturou měřené antény. Při výběru pracoviště se setkáme s řadou požadavků. Hlavním nárokem je, aby se simulovalo co nejlépe pracovní prostředí měřené antény. Měření ve vzdálené zóně může být prováděno ve venkovním nebo i vnitřním prostředí, a to podle velikosti měřené antény. [18]

Volba vhodného pracoviště podléhá mnoha faktorům:

- dosažitelnost, přístup a náklady na nemovitost (pozemek), vhodnou pro kvalitní měření
- počasí
- rozpočet
- otázky utajení, frekvence měření a rozměry aparatury
- požadavky na manipulaci s anténou
- požadavky na přesnost měření vyzařovacích charakteristik a zisku

Měření ve vzdálené zóně je často považováno za levnější než měření v blízké zóně. Není tomu tak, pokud bereme v úvahu hodnotu nemovitostí pro venkovní vzdálenou zónu. Měření ve vzdálené zóně v bezodrazové místnosti (anechoické komoře) je možné buď pro dostatečně elektricky malé antény, nebo pomocí kompaktní metody. Měření v bezodrazové místnosti pomocí kompaktní metody by vlivem větších rozměrů místnosti a ceny reflektorů pro kompaktní metodu stálo 3 – 4 x více než rovinné snímání v blízké zóně, které je schopné testovat antény se stejnými rozměry apertury. [18]

- **Měření ve vzdálené zóně v anechoické komoře**

Měření můžeme provádět v místnosti, pokud však správně kombinujeme rozměry aparatury a pracovní frekvence. Speciální místnost je pokrytá útlumovým materiálem. Je navržen tak, aby pohlcoval vlny měřených frekvencí. Útlumový materiál zmenší odrazy od stěn, podlahy a stropu. Tyto odrazy se mohou spojovat s hlavním signálem a tím poškozovat rovnoměrné ozáření měřené antény. Změna rovnoměrného ozáření může silně působit na přesné měření zisku i úrovně postranních laloků. [18]

- **Kompaktní metoda**

Můžeme použít speciálně tvarované reflektory, pokud není přímé měření ve vzdálené zóně v bezúrazové místnosti praktické. Reflektory fokusují vysokofrekvenční energii do rovinné vlny pro mnohem menší vzdálenosti, než by se musela normálně použít při šíření kulové vlny. Tato kombinace se nazývá kompaktní metoda. Používá se v mnoha variantách včetně variant s jedním nebo dvěma reflektory. Tato metoda je ovšem nákladná a je mnoho faktorů, které ovlivňují její vlastnosti. Při vytváření rovnoměrné rovinné elektromagnetické vlny v oblasti měřené antény je nastavení reflektorů a tolerance ploch kritická. Při návrhu, instalaci a provozu metody se musí zvážit i další faktory (např. vazba mezi měřenou anténou a napáječem, frekvenční pásmo napáječe, difrakce na hranách a odrazy v místnosti). [18]

- **Měření ve vzdálené zóně na venkovním pracovišti**

Pro příliš velké antény se může měření provádět na venkovním pracovišti. Existuje velké množství variant (včetně zvednutého, skloněného, měření ve volném prostoru, se zrcadlovým odrazem, i jiné netradiční typy). Volba závisí především na topologii pracoviště a požadované úrovni přesnosti. Vyžaduje se pečlivý návrh, tím se udrží rovnoměrné rozložení amplitudy a fáze po celé apertuře měřené antény, tudíž se nebude zkreslovat měřená vyzařovací charakteristika nebo zisk. Vzájemnou vzdáleností mezi anténami je těžké udržet úroveň rušivých signálů způsobených odrazy od země a okolních předmětů. Obvykle se požaduje úroveň menší než -30 dB a pro přesná měření menší než -40 dB. Interference odraženého signálu, který je o 30 dB menší než přímý signál může způsobit chybu zisku  $\pm 0,25$  dB a podstatnou změnu měřených postranních laloků. Velikost odrazů od země lze vypočítat na počítači. Velice špatně se hledá nezastavěný terén



v blízkosti výrobního závodu či výzkumného pracoviště. Problémy jsou také s dopravou velkých antén na měřicí pracoviště, a celkově vše závisí na počasí. [18]

Na venkovních anténních pracovištích se měřená anténa montuje na jedno nebo víceosové zařízení pro otáčení antény. Zařízení umístíme na věž, vrchol střechy nebo jiné plošiny tak, aby byla přímá viditelnost vysílací/přijímací věže. Většinou se používá mixer, který invertuje měřený signál na nižší mezifrekvenční signál. Minimalizují se tím vysokofrekvenční ztráty u kabelů a maximalizuje se citlivost měření. Oscilátor umístíme do základny zařízení pro otáčení měřené antény ve vodotěsném provedení. Oddělený referenční kanál používáme pro získání referenční relativní fáze a normalizování změny vlivem výkyvů výkonu ve vysílači nebo jiné vlivy pracoviště. Vyzařovaný referenční signál můžeme odvodit z oddělené antény orientované tak, aby přijímala stabilní a dostatečně silný signál z vysílací antény. Referenční signál je vzorkováním vysílaného signálu před vyzářením anténou zdroje. Tento vzorkovaný signál lze změnit v místě zdroje na mezifrekvenční signál a vést do přijímače ve vzdáleném místě pomocí vysokofrekvenčních kabelů. Kabelový referenční signál není tak vhodný, jako vyzářený referenční signál. Kabel, který nese referenční signál, může různě reagovat na změny prostředí, které způsobí změny fáze a amplitudy. [18]

Automatizace měření dovoluje vysokou rychlost měření různých anténních parametrů s omezením rizika chyb a větší opakovatelnost. Mnoho nových instalací měřicího pracoviště dovoluje činnost bez přítomnosti obsluhy. Přístroje pro měření ve vzdálené zóně jsou obdobného typu, jak pro měření v místnosti a na venkovním pracovišti. Musí se brát v úvahu umístění různých dílů a vzájemná komunikace mezi nimi, požadované úrovně výkonu a stupeň požadované automatizace. [18]

## 4.2 Měření v blízké zóně

Obvyklá měřicí pracoviště ve vzdálené zóně nejsou často adekvátní pro přesné měření takových antén. Jsou vyvinuté techniky měření v blízké zóně, které zvyšují přesnost, výkonnost, nižší náklady a poskytují diagnostiku pro antény. Měřicí pracoviště v blízké zóně pracují tak, že se změří elektromagnetické pole blízko antény a pak se matematicky transformují tato data do libovolného místa. Nejčastěji se měření vyzařované vlny provádí na rovinné, válcové nebo kulové ploše. [18]

- **Snímání na rovinné ploše**

Pro antény s velikou směrovností ( $> 15$  dBi) se používá měření na rovinné ploše. Měřená anténa zůstává nepohyblivá během měření. U velkých antén je to někdy jedinou možností. Rovinné snímání je mnohem pochopitelnější než jiné techniky. Zpracování dat je jednodušší a proces vyrovnávání antény se provádí velmi snadno. Tato technika je stále více užívaná. Tím, že anténa zůstává nepohyblivá a sonda v blízké zóně se pohybuje podle rovinné plochy jak ve směru  $x$ , tak i  $y$ , můžeme snímat matice vzorků pole. Rozměr plochy měření je důležitý, pokud se uvažuje přesnost měření. Velikost měřené antény, velikost a umístění konečné plochy snímání definuje kritický úhel  $\Phi$ . Vypočítané vyzářovací charakteristiky antény budou přesné v oblasti mezi  $\pm \Phi$ . [18]

Úplné úhlové pokrytí lze docílit pouze pomocí snímání na úplné kulové ploše v blízké zóně. Kritický úhel  $\Phi = 70^\circ$  se docílí pomocí rovinného snímání, které je o šest vlnových délek na každou stranu větší než apertura antény, vzdáleného dvě vlnové délky od antény.

Anténu a sondu si můžeme představit jako dva filtry v sérii. Rozložení pole v rovině odpovídá časové oblasti, pole ve vzdálené zóně frekvenční oblasti. Hlavní nedostatek je, že můžeme určit pole pouze v kuželu s vrcholovým úhlem menším než  $180^\circ$  bez opakování měření. Tato měření se používají hlavně pro antény s úzkým svazkem. Nelze měřit antény s vějířovitým nebo širokým svazkem. [18]

- **Snímání na válcové ploše**

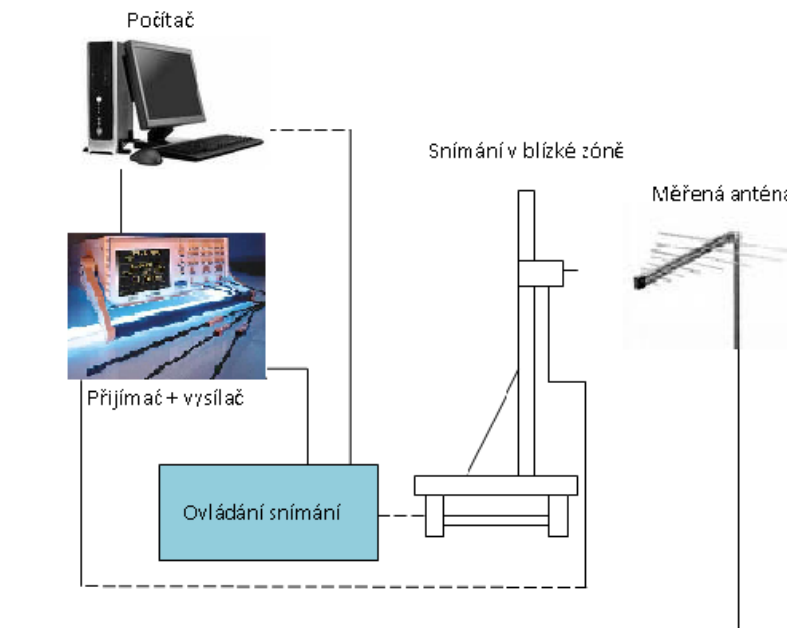
Okolo měřené antény se opisuje válcová plocha. Měřená anténa je namontovaná na zařízení, které umožňuje otáčení kolem jediné osy. Sonda v blízké zóně se pohybuje ve směru  $y$  paralelně s osou otáčení. Otáčením antény s pohybem ve směru  $y$  se snímá na válcové ploše, takže se může snímat matice vzorků pole (amplituda a fáze) v azimutu a směru  $y$ . Měření na válcové ploše vyžaduje výhradně jednu osu otáčení pro měřenou anténu. V určitých případech měření to může být výhodou. Tento typ měření je ideální pro antény vyzářující zcela všesměrově v jedné rovině a vyzářující značně málo energie nahoru nebo dolů. Při snímání na válcové ploše lze tedy měřit antény s vějířovitým i úzkým svazkem, kdy můžeme vypočítat z jednoho měření úplný diagram pro všechny úhly s výjimkou osy válce. Výpočet je poněkud složitější, neboť musíme počítat Hankelovy funkce. [18]

- **Snímání na kulové ploše**

Okolo měřené antény se opisuje kulová plocha. Měřená anténa je namontovaná na zařízení, které umožňuje otáčení kolem dvou os. Sonda v blízké zóně se nepohybuje a směřuje do průsečíku obou os. Otáčením antény se snímá na kulové ploše, takže se může snímat matice vzorků pole v úhlech  $\Theta$  a  $\Phi$ . Při snímání na kulové ploše lze měřit antény se širokým svazkem. Výpočty jsou ovšem složitější, ale můžeme je provádět na počítači. [18]

Pracoviště pro měření v blízké zóně se skládá z následujících systémů:

- přijímač
- zdroj vysokofrekvenčního signálu (vysílač)
- snímací zařízení
- ovládání snímání
- počítač
- sonda (pomocná anténa)
- měřená anténa
- podstavec pro anténu (popř. rotátor pro válcové či sférické snímání)



Obr. 14 – Schéma pracoviště pro měření antén v blízké zóně.

Přijímač a vysílač se sdružují do jednoho přístroje, který generuje požadovaný signál i jej přijímá a zpracovává. Sondu **namontujeme na snímací zařízení** (pro měření na rovinné či válcové ploše) nebo na **nepohyblivý přípravek** (pro měření na kulové ploše, kdy směřuje do průsečíku obou os). Ovládání snímání je zpravidla součástí snímacího zařízení i součástí počítače. Je vhodné, aby pro vyrovnání měřené antény bylo možné i ruční ovládání pomocí samostatného přístroje. [18]

Zdroj vysokofrekvenčního signálu slouží k vybuzení antény. Obvykle se preferují frekvenční syntetizéry, protože snižují nároky na přizpůsobení délky kabelů. Pokud délky kabelů nepřizpůsobíme, změna frekvence způsobí změnu fáze. Zdroj musí poskytovat dostatečný výkon pro vhodný poměr signálu k šumu v přijímači. [18]

Výběr **přijímače** silně ovlivňuje **přesnost**. Pro většinu konfigurací se požaduje, aby přijímač měřil amplitudu a fázi s přesností mezi 0,1 – 5 stupňů. Referenční signál odebírá ze zdroje. Přijímač musí mít dobrou linearitu, vysokou rychlost vzorkování a vysokou citlivost. Vliv odrazů od země a okolních předmětů lze snížit frekvenčním rozmítáním, nebo impulsním provozem. Dvoukanálový přijímač s ortomódovým snímačem a vhodnou sondou umožňuje současný příjem dvou ortogonálních polarizací, což podstatně zrychlí snímání a může i zlepšit přesnost měření. [18]

Pomocná anténa (sonda) se musí zvolit velice pečlivě, neboť **vhodný výběr může významně zlepšit přesnost měření**, protože sonda pracuje jako prostorový filtr fáze v blízké zóně, stejně jako filtr prostorového spektra ve vzdálené zóně. Sonda s vysokým ziskem 15 – 25 dB přijímá energii v malém úhlu ve vzdálené zóně a odfiltruje energii mimo osu. Sondy s vysokým ziskem se doporučují, jestliže odpovídající pole ve vzdálené zóně se bude počítat pro malé úhly. Tyto sondy sice modifikují vyzařovací diagram, ale lze provést kompenzaci vyzařovacího diagramu sondy. [18]

Rovinný snímač se požaduje pro přesné nastavení polohy sondy ve třech rozměrech. Velmi přesná měření vyžadují pečlivý návrh s ohledem na teplotní a seismické změny. Obvykle se požaduje přesnost ve směru osy Z velikosti setiny vlnové délky. Nepřenosná zařízení mají žulovou základnu a tepelně kompenzovanou ocelovou věž. Levné řešení představuje měření a ovládání polohy pomocí laserů, popř. korekce polohy pomocí výpočtů. Zlepšení přesnosti měření umožní snímání s různou vzdáleností mezi **sondou**

**a měřenou anténou, mezi měřenou anténou a okolními stěnami a předměty.** Pokud doplníme rovinné snímání anténním rotátorem, umožníme tak válcové snímání. [18]

Počítač slouží pro ovládání a kontrolu pohybu sondy, rozmítání polohy anténního svazku, vysokofrekvenčního zdroje a přijímače, ale i pro sběr dat a zpracování naměřených hodnot. Kromě výpočtů pole ve vzdálené zóně je možné počítat zisk a směrovost, zpětnou projekci pole na povrch antény, provádět korekci sondy pro různé typy sondy, kompenzaci chyb polohy sondy a uvážení konečných rozměrů snímání. Použití softwaru se liší podle toho, jestli se jedná o rovinné, válcové či sférické snímání. [18]

Ověření měření v blízké zóně je velmi obtížné. Diagramy získané měřením v blízké zóně jsou často kvalitnější a tedy jiné než diagramy měřené ve vzdálené zóně. Obvykle se měření v blízké zóně ověřuje kombinací různých metod. [18]

Mechanická přesnost snímání se kontroluje pomocí optických přístrojů nebo laserů. Správná činnost vysokofrekvenčních přístrojů se ověřuje pomocí testů s rozmítáním frekvence. Další testy ověřují se zakončenou sondou průnik vysokofrekvenční energie. Snímá s různými vzdálenostmi mezi anténou a sondou a anténou a okolními předměty (stěny, podstavec či rotátor pro anténu), které se liší o čtvrtinu vlnové délky, umožní snížit vliv odrazů a interakci mezi měřenou anténou a sondou. [18]

Měření v blízké zóně je výhodné, neboť získáme celou charakteristiku antény. Má minimální požadavky na velikost pozemku, lze vhodně umístit měřící pracoviště, má minimální problémy s odrazy od země a okolních předmětů, neboť měříme v bezúrazové místnosti, popř. používáme útlumové desky nebo jehlany přímo v laboratoři. Umožňuje rychlejší měření a vylučuje vliv počasí. [18]

## 5 MĚŘENÍ MAGNETICKÝCH POLÍ BEZDRÁTOVÝCH SYSTÉMŮ I&HAS A EPS

### 5.1 Vliv elektromagnetických polí na člověka

Vliv stacionárního magnetického pole můžeme charakterizovat jako:

- *slabé působení* pole - nemá žádný vliv na živé organismy
- *dlouhodobé působení* pole nízké úrovně řádově 2 T - projevuje se v odezvách centrálního nervového systému, kardiovaskulárního a endokrinního systému
- *silné stacionární* pole – předpokládá se, že krátkodobá expozice v poli nad 5 T může vyvolat výrazně škodlivé účinky, které se mohou projevit snížením rychlosti krevního toku v aortě a významným snížením pracovní schopnosti

Vliv kmitavého magnetického pole můžeme charakterizovat jako:

- *ovlivnění nervového systému*, vizuální funkce a stimulace růstu kostí - v rozsahu 100 – 1000 mT na 3 Hz nebo 5 – 50 mT na 50 Hz
- *poškození zdraví* – nad 10 T na 3 Hz nebo 500 mT na 50 Hz. [9]

#### 5.1.1 Vliv magnetického pole pro jednotlivé skupiny frekvencí

- **pro frekvence v pásmu 0 – 30 Hz**

Subharmonické frekvence působí na několik oblastí vnímání člověka:

- bioproudy (EKG, EMG), při EEG definujeme různé specifické frekvence činnosti mozku, (např. delta (0,5 – 4 Hz), theta (4 – 8 Hz), alfa (8 – 13 Hz), sigma (12 – 14 Hz), beta (14 – 30 Hz))
- schumannovy rezonance – změny přirozeného magnetické a elektrického pole země (8 – 27 Hz)
- seismické vlny (řádově jednotky Hz)
- fyziologické vnímání kmitání světla, tzv. flicker – efekt s maximem negativního působení při 9,8 Hz
- mechanické vibrace (5 – 30 Hz). [9]

- **pro frekvence v pásmu 30 – 900 MHz**

Lidské tělo nebo jeho orgány jsou souměřitelné s vlnovou délkou, takže může docházet k rezonanci v následujících pásmech:

- subrezonanční pásmo 30 MHz
- rezonanční pásmo těla od 70 MHz (muži) až po 170 MHz (malé děti)
- nadrezonanční pásmo nad 300 MHz
- rezonanční pásmo hlavy 900 MHz (mobilní telefony GSM). [9]

- **pro frekvence v pásmu 10 kHz – 1 GHz**

U vysokofrekvenčních magnetických polí jsou nejvíce vysvětleny tepelné účinky. Především jsou to takové, které jsou vystaveny vysokým úrovním polí a jejich účinek se projevuje jako výsledek ohřevu tkání. Působení polí s nízkou úrovní přisuzujeme účinky, mající vliv na centrální nervový systém, srdce, cévy, krevetvorné a imunitní systémy. Účinky polí karcinogenní a genetické ještě nebyly jednoznačně dokázány. [9]

### 5.1.2 Ochrana před stejnosměrnými a střídavými poli v interiérech

Stejnosemné magnetické pole prakticky nelze odstínit, proto v domech zjišťujeme stejnou intenzitu magnetického pole jako ve volné přírodě. Člověk je vlivům přirozených magnetických polí přizpůsoben, takže nevzniká žádné zdravotní nebezpečí, pokud pole není porušeno. To znamená, že přirozené statické magnetické pole by i v budovách mělo být rušeno co nejméně. Při měřeních se pozornost soustřeďuje v první řadě na odchylky vnějšího stejnosměrného magnetického pole a méně na jeho absolutní intenzitu. Odstínění vnějšího stejnosměrného pole by bylo možné jen pomocí velmi silných betonových zdí nebo speciálních kovových slitin, takzvaného mumetalu. Pro odklonění, respektive snížení umělého stejnosměrného magnetického pole jsou možné jen dvě alternativy:

- oddálit zdroj
- udržovat odstup např. od reproduktorů nebo ocelových nosníků

Odstínění střídavých magnetických polí je velmi nákladné a lze je provést jen s pomocí speciálních kovových slitin (mumetal). U budov nepřipadá kvůli váze a finančním prostředkům v úvahu. Nejlepší proto je udržovat vzdálenost od silných magnetických polí,

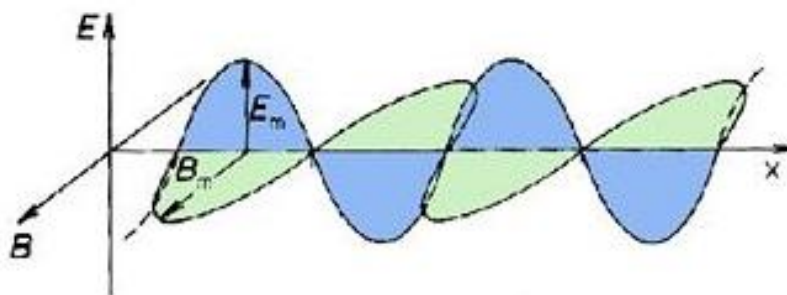
zvláště od zemních nebo vysokonapěťových vedení, trafostanic a jiných přístrojů, které vytvářejí silné magnetické pole. Zároveň je třeba dbát na to, aby v domech byly co nejméně instalovány a používány přístroje, které vytvářejí silné střídavé magnetické pole (transformátory, konvenční předřadníky pro zářivky atd.). [9]

Při volbě místa v pro instalaci těchto přístrojů je třeba také myslet na to, že magnetická pole se z dmi místnosti nezadržují, nýbrž že jimi bez oslabení pronikají. Nehledě na přístroje jsou rozdělení a intenzita střídavého magnetického pole v obydlí rozhodující měrou ovlivňovány uspořádáním vodičů proudu. Zatímco jednotlivé vodiče jsou obklopeny soustředným, relativně rozsáhlým magnetickým polem, u elektrických kabelů s oběma vodiči (zvanými také fáze a nulový vodič) ve formě paralelně vedených žil do sebe se tento jev může ještě stupňovat. [9]

## 5.2 Měření elektromagnetických polí

V kmitočtovém pásmu nad desítky kHz se elektrické a magnetické pole šíří jako záření ve formě elektromagnetických vln rychlostí světla (ve vzduchu), je odraženo, rozptylováno, absorbováno a polarizováno. Velikost elektromagnetické vlny je vyjadřována jako intenzita nebo výkonová hustota. Jednotkou intenzity elektrické složky  $E$  je volt na metr (V/m), magnetické složky  $H$  (B) ampér na metr (A/m) a výkonové hustoty  $S$  watt na čtvereční metr ( $W/m^2$ ). [2]

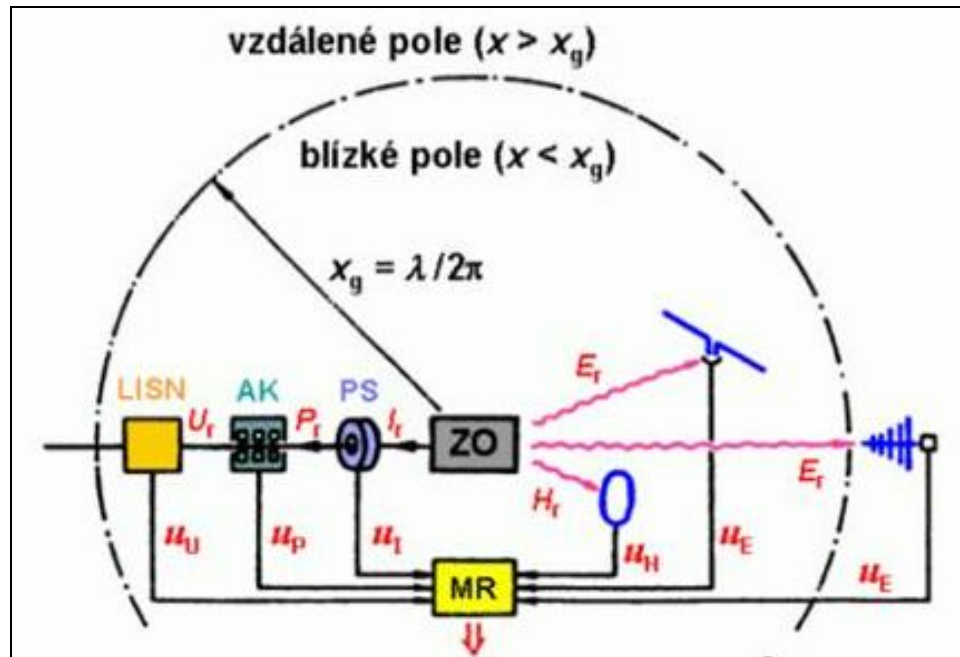
Nejjednodušší případ elektromagnetické vlny je příčná rovinná vlna, která se šíří homogenním nevodivým prostředím rychlostí světla.



Obr. 15 – Rovinná elektromagnetická vlna. [20]

Vektory  $E$  a  $B$  jsou na sebe kolmé a dále jsou kolmé ke směru šíření. Pokud se mění vektor  $E$  harmonicky, tak se mění harmonicky i vektor  $B$ , tudíž vektory jsou ve fázi.





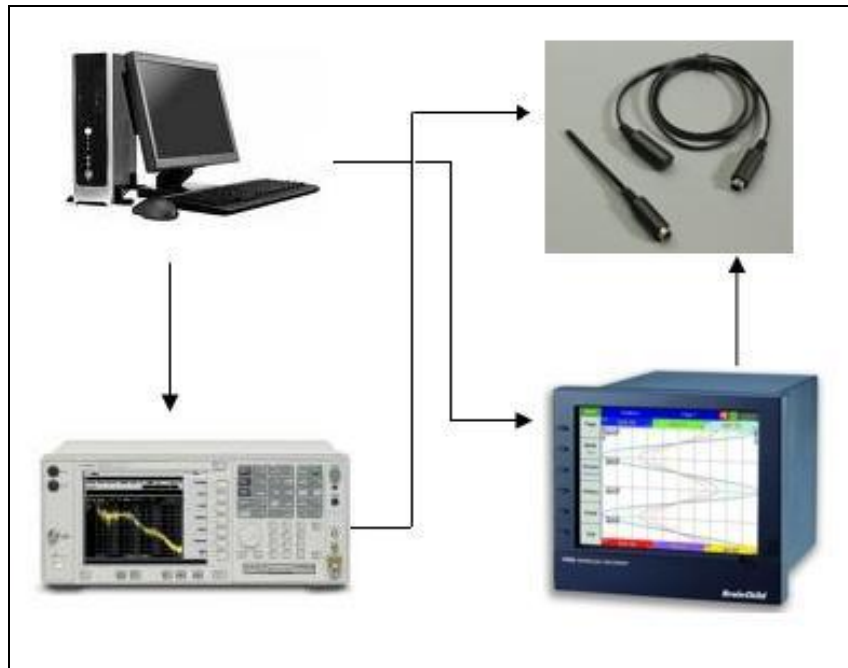
Obr. 16 – Způsoby měření rušivých elektromagnetických signálů. (LISN – umělá zátěž vedení; AO – absorpční odbočnice; PT – proudový transformátor; ZO – zkoušený objekt, MR – měřič rušení) [22]

**Měřicí systém** pro měření elektronických systémů zabezpečovací techniky v PKB se skládá z:

- počítače
- analogového lineárního zapisovače nebo robotické ruky typu Stäubli
- měřicího přístroje nebo spektrálního analyzátoru
- hallové sondy nebo např. využitím kalibrovaných antén renomované firmy Rohde&Schwarz pro elektrické a magnetické složky elektromagnetického pole



Obr. 17 – Spektrální analyzátor.

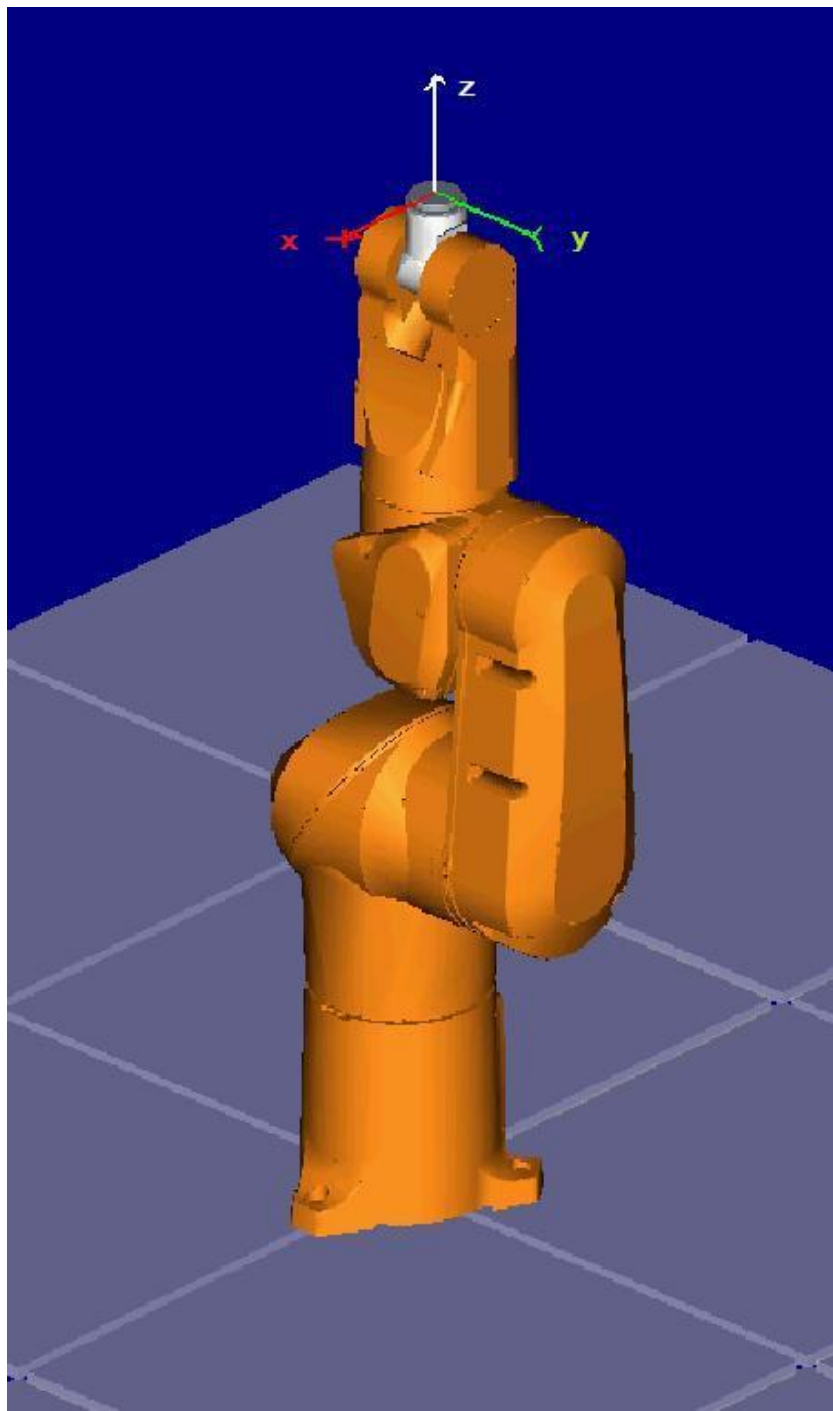


Obr. 18 – Zjednodušené schéma měřicího systému. [9]

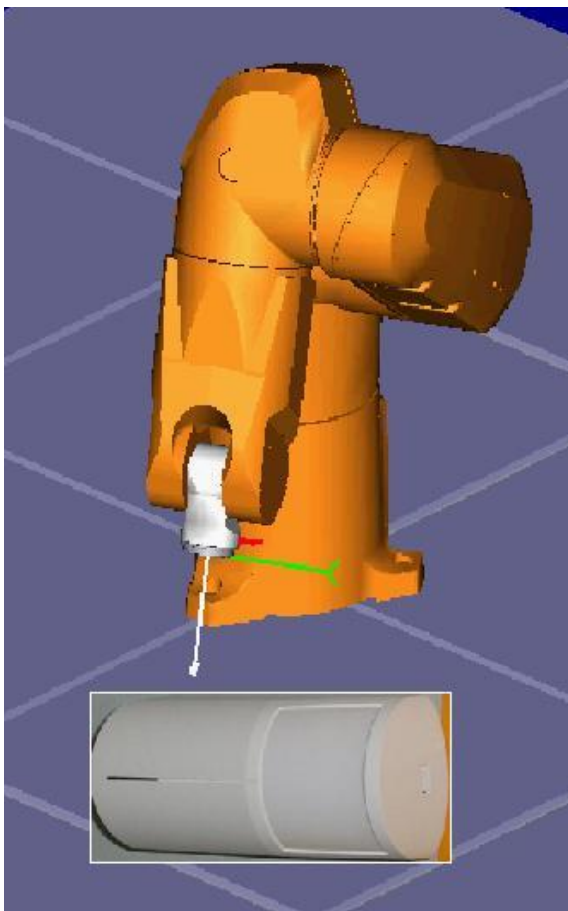
Uvedená zařízení jsou finančně dostupná s možností pro vybavení jednoduchých laboratoří. Pro problematiku konstrukce magnetických filtrů, magnetů pro elektromotory, skenování a zobrazení nebezpečných magnetických polí v systémech určených a používaných v zabezpečovací technice v PKB, lze použít určité programy pro lepší řešení (např. při programování zobrazovacího programu použít komponentu OPEN GL, která slouží pro komunikaci s knihovny Windows – u podporující rozšířené prostředí 3D – X, Y, Z – 3 vektory). Pro vytváření ovládacího a zobrazovacího programu, včetně skenování byl použit počítač, který bude schopen zaznamenat pro programování velikost matic o plochách 5000 x 5000 bodů. Důležité je **skenování** a zaznamenání naměřených hodnot. Skenování můžeme rozdělit do dvou základních typů:

- skenování osově nesymetrických veličin (spirálové, přímé, tvarové, obdélníkové)
- skenování osově symetrických veličin (skenování celého řezu, skenování půl řezu)

Při měření záleží pouze na nás, jaký styl skenování zvolíme. Volíme většinou podle konstrukce skenovacího zařízení nebo přístroje, zatížení skenovaného materiálu, přesnosti skenování nebo podle vlastní úvahy. [9]



*Obr. 19 – Robotická ruka typu Staubli.*



Obr. 20 – Robotická ruka při skenování PIR detektoru.

Měření PIR detektoru je rozděleno do 3 os (X, Y, Z). Osa Z znázorňuje hallovou sondu nebo antény od renomované firmy Rohde&Schwarz. Začíná se měřit od referenčního bodu po úsecích, které si navolíme. Blízkost měřeného objektu od sondy se udává podle normy ČSN CISPR 16-1 (Specifikace metod a přístrojů pro měření – nf. rušení a odolnost proti vf. rušení). Dalším důležitým krokem je zvolit **elektromagnetické stínění**, pro zmenšení rušivých vyzařování a zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů. Stínění je konstrukčním prostředkem k zeslabení pole rušivých signálů ve vymezené části prostoru. Technické prostředky, kterými dosahujeme uvedených cílů, nazýváme stínicí kryty či stíněním. Stínění můžeme použít k ochraně jednotlivých součástek a funkčních bloků, ale i celých elektronických zařízení v průmyslu komerční bezpečnosti.

Měření se provádí v oblasti dynamických a stacionárních magnetických polí systémů podle všeobecné normy ČSN ETSI 301 489-7 a ČSN EN 1000-2-6 v návaznosti na prováděcí normy Evropské unie LVD 73/23 a EMC 89/336 pro průmyslové prostředí typu I. a II.

## 6 PŘEHLED METOD MĚŘENÍ

### 6.1 Měření pomocí umělé sítě

Používá se pro měření interferenční energie šířící se **vedením**. Existuje několik druhů umělých sítí. Jejich zapojení je závislé:

- na konkrétním kmitočtovém pásmu
- na typu testovaného objektu
- na druhu napájení a velikosti příkonu

Primární funkci umělé sítě můžeme shrnout do čtyř bodů:

- definuje impedanci napájecí energetické sítě
- definuje zatěžovací impedanci pro testovaný objekt
- definuje vazbu pro připojení měřiče rušení, která umožňuje měřit interferenční napětí na síťových svorkách testovaného objektu
- odděluje testovaný objekt od případných rušivých vlivů z napájecí energetické sítě

V dnešní době se používají tyto umělé sítě:

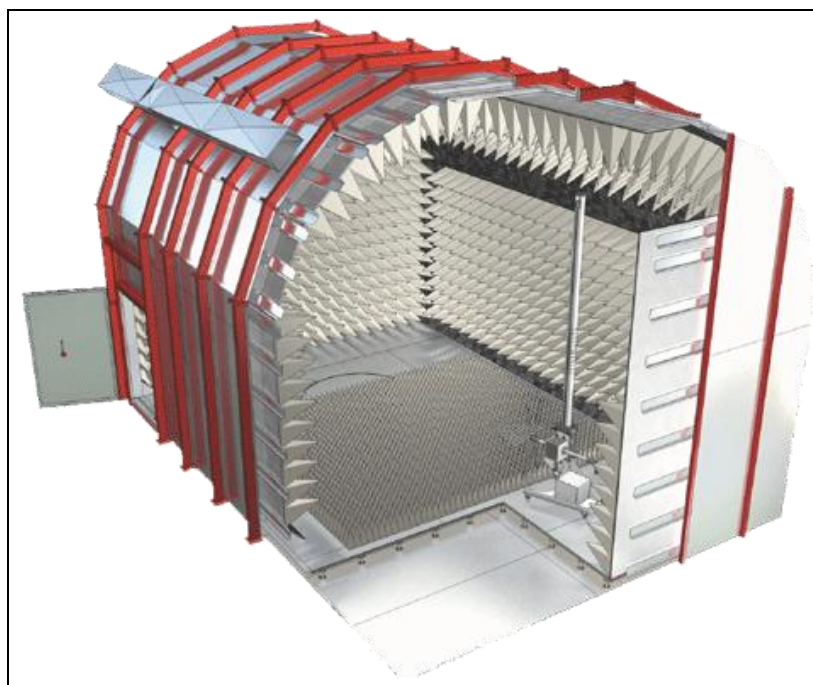
- **typu V se zatěžovací impedancí 50  $\Omega$**  - používané především v pásmech A a B pro střídavé i stejnosměrné napájecí sítě pro objekty, které mají velikost nominálního napájecího proudu až 100 A.
- **trojfázové umělé sítě** - k měření rušivých napětí trojfázových spotřebičů.
- **umělá síť typu delta** – užívá se v pásmu B především pro testování telekomunikačních a informačních zařízení. Zapojuje se na svorky testovaného objektu, směřující k telekomunikačním vedením a má zatěžovací impedanci 150  $\Omega$  a maximální průchozí proud do 25 A. [23]

Pokud jde o informativní provozní měření rozměrných zařízení a systémů a technologických celků, musí se z hlediska místa provádět měření přímo na místě zabudování nebo instalace. Jde-li o měření, která nejsou součástí takových zařízení, je nutné měřit v definovaných prostorech. U měření rušení **vedením** musí být dodržena sestava měřících součástí a jejich prostorová úprava, ale i elektromagnetické okolní

prostředí se speciálními podmínkami. Stíněná komora (Shielded Enclosure) je pro toto měření standardním prostředím. [23]

Měření rušení **vyzařováním** se provádí především na volném rovném prostranství (Open Field Test), kde nejsou vodivé předměty ani blízké elektromagneticky odrazivé plochy. [23]

Měřený objekt umístíme do jednoho ohniska pomyslné elipsy na dálkově ovládané otočné desce (nevodivé). Musí být v předepsané výšce nad zemí. Do druhého ohniska elipsy je postavena dipólová anténa. U této antény je možné nastavovat výšku nad zemí a azimut nasměrování. K objektu je po zemi přiveden stíněný napájecí kabel, od antény je přiveden stíněný napájecí kabel k měřiči rušení, je ovšem umístěn mimo definovanou elipsu. Měření rušivých interferencí se vyhodnocuje pro určitý kmitočet. Vyhodnocuje se pro nastavení polohy desky, kdy je měřená hodnota maximální. Vzdálenost pro standardní předvedení a měření ohnisek elipsy by mělo být 30 m, resp. 10 m, jen v nouzových případech 3 m. V současné době se budují tzv. bezodrazové komory (Antireflection of anechoic chambers), kvůli obtížnému vyhledávání volných prostranství vhodných pro měření rušení vyzařováním. [23]



Obr. 21 – Anechoická (bezodrazová) komora. [3]

## 6.2 Měření pomocí napěťové, proudové a výkonové sondy

- **Napěťová sonda** (Voltage Probe)

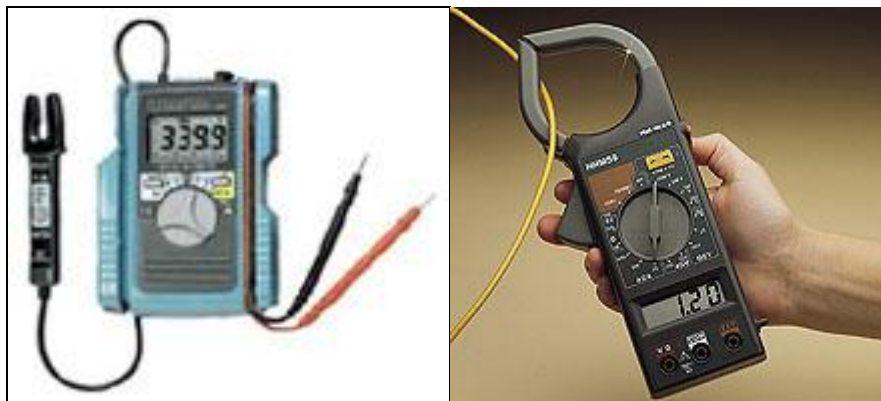
Používá se pro rychlou informativní zkoušku rušivého zařízení. Vhodné pro zkoušení objektů s velkými příkony, kdy nelze použít pro měření umělou síť. Lze také použít při zkouškách EMC při vývoji zařízení. [2]



Obr. 22 – Napěťová sonda. [13]

- **Proudová sonda** (Current Probe)

Používá se k měření rušivého elektrického proudu protékajícího vodičem, a to bez jeho přerušení. Používá se také název proudový transformátor nebo proudové kleště. [2]



Obr. 23 – Proudová sonda. [15]

Proudové kleště užívané v běžné měřicí technice k měření pracovních proudů na napájecích vedeních nelze užít pro potřeby EMC, jelikož tyto sondy jsou navrženy pro kmitočty 50 – 60 Hz, ale ne pro měření vysokofrekvenčních signálů. [2]

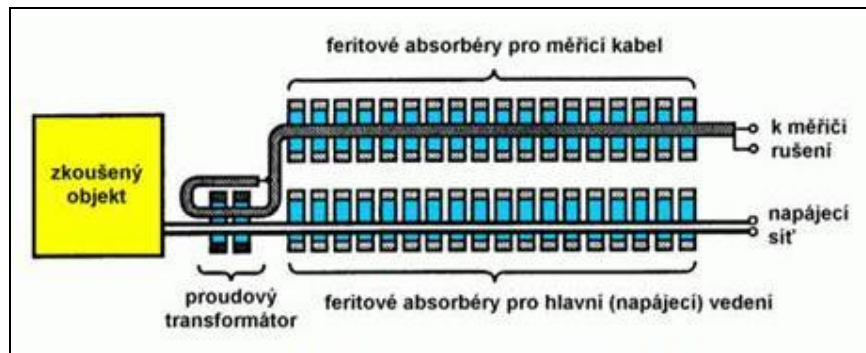


- **Sonda povrchových proudů** (Surface Current Probe)

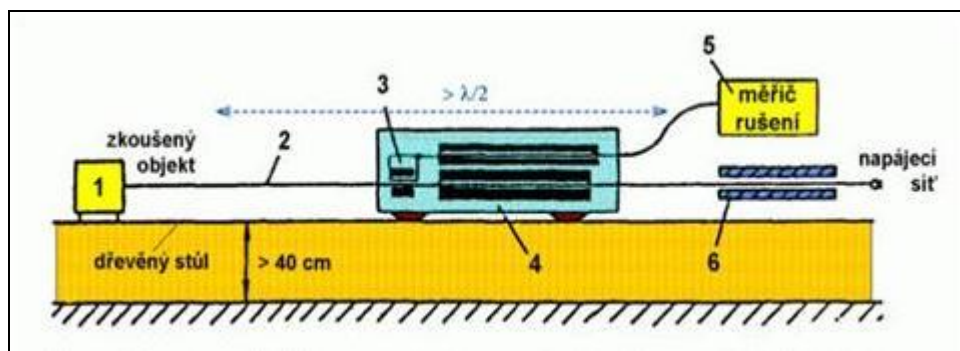
Používá se pro měření vysokofrekvenčních rušivých proudů protékajících po kovovém povrchu např. stínících krytů či karoserií. Používají se technice EMC v kmitočtovém pásmu 100 kHz až 100 MHz. [2]

- **Výkonová (absorpční) sonda** (Interference Power Measurements)

Kombinace širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy (proudového transformátoru) a feritového absorbéru. Tyto absorpční kleště pracují v kmitočtovém pásmu 30 – 1000 MHz a měří výkon rušivého signálu, který se šíří ze zkoušeného objektu připojenými kabely a vedením (např. napájecím). [2]



Obr. 24 – Konstrukce absorpčních kleští. [2]



Obr. 25 – Pracoviště pro měření s absorpčními kleštěmi. [2]

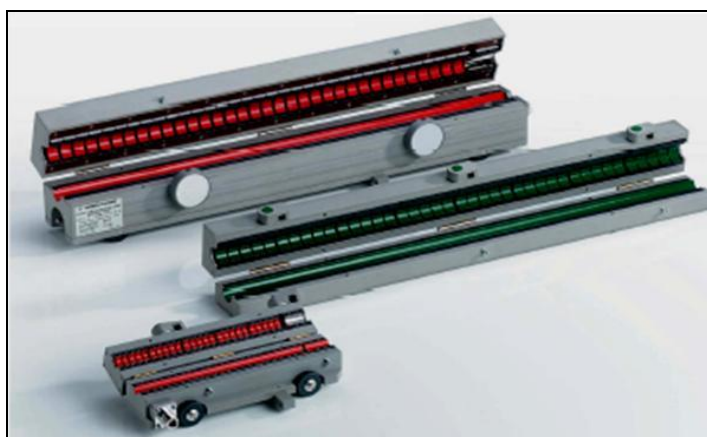
Zkoušený objekt (1) je zdrojem rušivého signálu, projevujícího se výkonem  $P_r$  v napájecím vedení (2). Tento rušivý signál indukuje v proudové smyčce (3) absorpčních kleští (4) napětí úměrné  $\sqrt{I}$  rušivému proudu ve vedení měřené měřičem rušení (5).



Feritové kroužky absorpčních kleští (4) přizpůsobují bezodrazově napájecí vedení pro rušivý signál a současně potlačují pronikání jiných rušivých signálů z „vnějšku“ po napájecím vedení k proudové smyčce (3). Někdy je toto potlačení nutné zlepšit použitím další absorpční vložky (6) umístěné na napájecím vedení za absorpčními kleštěmi. Smyčka (3) pak reaguje skutečně jen na rušivý signál postupující po napájecím vedení (2) směrem od zkoušeného objektu (1). [2]

Musíme však dodržovat určité pravidla:

- Feritové kroužky nezajistí dokonalé bezúrazové přizpůsobení napájecího vedení pro rušivý signál, vznikají na tomto vedení stojaté vlny rušivého vf. signálu. Pro každý měřicí kmitočet je pak nutno umístit celé absorpční kleště do takové polohy na vedení, v níž je údaj měřícího přijímače maximální (tj. do místa maxima stojatých vln rušivého signálu o právě měřeném kmitočtu na vedení. Je-li podél délky vedení více maxim stojatých vln, umístí se kleště do největšího z nich. Požadavek měnit polohu absorpčních kleští podél vedení technicky znamená, že:
  - absorpční kleště musí být umístěny na posuvném vozíku, přičemž možný rozsah jeho posuvu musí být alespoň  $\lambda/2$ . Pro nejnižší kmitočet 30 MHz to znamená rozsah posunu 5m;
  - napájecí vedení musí být dostatečně dlouhé, minimálně  $\lambda/2$  + dvojnásobek vlastní délky absorpčních kleští. Pro kmitočet 30 MHz odpovídá délka napájecího vedení až 6 m.[2]



Obr. 26 – Absorpční kleště – Rohde&Schwarz MDS-21, MDS-22. [2]

### 6.3 Měření pomocí antén

Antény jsou vhodným doplňkem pro měření rušivého elektromagnetického pole.

- **Rámové (smyčkové) antény** (Loop antennae) nebo feritové antény

Používají se pro měření magneticko rušivého pole v nejnižších kmitočtových pásmech 9 až 150 kHz, příp. 150 kHz až 30 MHz. Cívka antény o max. velikosti 60 x 60 cm se umístí do kovového stínění pro vyloučení parazitního vlivu elektrické složky pole. Antény máme pasivní nebo aktivní, vybavené měřicími zesilovači pro dané pásmo kmitočtů.[2]



Obr. 27 – Rámová anténa. [2]

- **Nesymetrická vertikální prutová (tyčová) anténa (monopól)**

Doporučená celková délka 1 m pro měření rušivého elektrického pole  $E_r$  v pásmu 150 kHz až 30 MHz. Při měření v tzv. blízkém poli rušivého zdroje je měření elektrické intenzity  $E_r$  pomocí této antény nepřesné, neboť kromě vazby vf. polem se zde uplatňuje i přímá kapacitní vazba mezi anténou a zdrojem rušení. Přesto se i zde měření pomocí prutových antén provádí, neboť při přesně stanovených podmínkách je spolehlivě reprodukovatelné. [2]



Obr. 28 – Nesymetrická vertikální prutová anténa. [2]

- **Laděný symetrický půlvlnný dipól**

Měřicí anténa se používá v kmitočtovém pásmu 30 až 80 MHz. Dipól je vždy nastaven (naladěn) na rezonanční délku odpovídající kmitočtu 80 MHz. Ve vyšších pásmech až do 1000 MHz slouží rezonanční půlvlnné dipóly jako kalibrační antény, pro běžná provozní měření však nejsou příliš vhodné z důvodu jejich pracnějšího nastavení: délka ramen dipólu musí být nastavena (naladěna) vždy na příslušný měřicí kmitočet, dipól musí být připojen ke vstupu měřiče rušení prostřednictvím symetrizačního obvodu. [2]



*Obr. 29 – Laděný symetrický půlvlnný dipól. [2]*

- **Logaritmicko-periodická anténa**

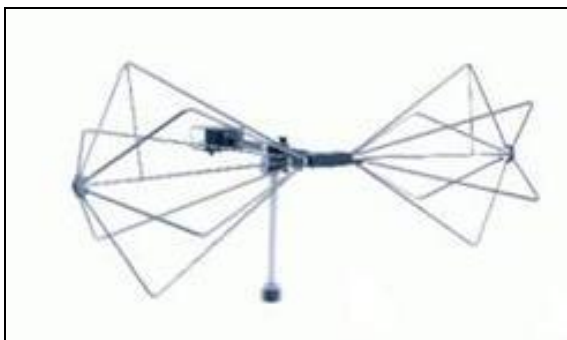
Nejrozšířenější měřicí anténa v pásmu od 200 do cca 3000 MHz. Tvoří ji unipóly, jejichž délky a vzájemné vzdálenosti jsou v poměru logaritmu jejich rezonančních kmitočtů = tvar vyzařovacího diagramu a vstupní impedance antény jsou prakticky konstantní. [2]



*Obr. 30 – Logaritmicko periodická anténa. [2]*

- **Bikónická anténa**

Typická měřicí anténa v pásmu 20 - 300 MHz.



*Obr. 31 – Bikónická anténa. [2]*

- **Kónicko-logaritmická, příp. spirálová anténa**

Speciálním typem širokopásmové antény až do oblasti GHz kmitočtů. Na rozdíl od ostatních typů měřicích antén je určena pro příjem (či vysílání) kruhově polarizovaného elektromagnetického pole. Kónická anténa se proto nepoužívá pro testy EMC dle civilních norem, neboť všechny tyto normy předepisují testy s lineární polarizací vln. Řada testů ve vojenství (např. dle amerických vojenských norem **MIL-STD**) je však založena na použití kruhově polarizovaných vln a pro jejich provedení jsou právě kónické antény typické. [2]



*Obr. 32 – Kónicko-logaritmická anténa. [2]*

- **Pyramidální kovové vlnovody – tzv. trychtýřové antény**

Měřicí antény se užívají především v GHz kmitočtových pásmech. Vlnododové trychtýřové antény jsou svou podstatou relativně úzkopásmové. K pokrytí kmitočtů od jednotek do několika desítek GHz je proto třeba sada několika (8 - 10) těchto antén pro jednotlivé dílčí kmitočtové rozsahy. [2]



Obr. 33 – Trychtýřové antény. [2]

- **Parabolická kruhová anténa**

Používá se tam, kde je zapotřebí přijímat slabé signály, nebo vysílat signály s patřičnou intenzitou. Na střechách objektů a stožárech bývá namířená vzhůru nebo za horizont. Nejčastěji je použita k satelitním a směrovým spojmům, kde je zapotřebí na jedné straně velké intenzity pole a velké vyzářené výkony k překlenutí velkých vzdáleností a na straně druhé příjem slabých signálů a soustředění slabých intenzit elektromagnetických polí na přijatelné vyšší hodnoty. [2]

Parabolická anténa není sama o sobě schopna vyzářovat elektromagnetické záření, ale je pouze pasivní reflektorickou anténou, u které se využívají její směrové vlastnosti. Ke své funkci potřebuje primární zářič umístěný ve svém ohnisku, který vyzářuje elektromagnetické záření na plochu paraboly, nebo naopak na který parabolická plocha soustřeďuje dopadající elektromagnetické záření. [2]

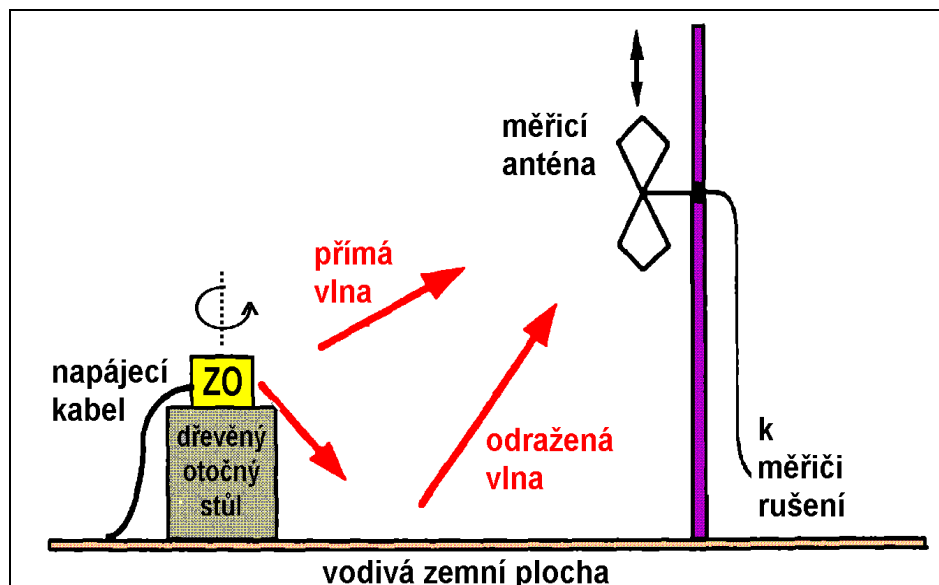


Obr. 34 – Parabolická kruhová anténa. [7]

### 6.3.1 Antenní měření na volném prostranství

Antenní měření na volném prostranství (Open field test site – OFTS, Open area test site – OATS) má mít půdorysný tvar elipsy. Její hlavní osa je rovna dvojnásobku vzdálenosti mezi zkoušeným objektem ZO a měřicí anténou, které se nacházejí v jejích ohniscích. Tato měřicí vzdálenost  $D$  je normou předepsána na hodnoty 3 m, 10 m, 30 m nebo 100 m. Zkušební stanoviště musí být vytvořeno na plochém a rovném terénu bez budov, elektrických vedení, stromů, keřů, plotů nebo jiných odrazných ploch kromě nezbytných přívodů napájení a provozu zkušebního zařízení. V místě stanoviště by se neměla vyskytovat ani jiná silná elektromagnetická pole. [2]

Měřicí anténa přijímá rušivé pole od zkoušeného objektu ZO vždy minimálně po dvou drahách: kromě přímé vlny je vždy přítomna i vlna odražená od země zkušebního stanoviště. Aby výsledky byly reprodukovatelné, je nutno zajistit stálé podmínky odrazu, a to při všech měřicích kmitočtech. Toho lze dosáhnout položením vodivé kovové plochy s dostatečnou rozlohou na zem mezi zkoušený objekt a měřicí anténu. [2]



Obr. 35 – Měření na volném prostranství. [2]

Při všech měřeních EMC se snažíme postihnout tzv. nejhorší případ. Měřicí anténa má nastavitelnou výšku v rozsahu 1 - 4 m, příp. 2 - 6 m při měřicích vzdálenostech  $D = 30$  a 100 m. Při vlastním měření se anténa na každém měřicím kmitočtu nastaví do takové výšky, kdy je měřená hodnota rušivého napětí maximální. Kompletní měření se provádí při obou polarizacích měřicí antény (horizontální i vertikální), příp. alespoň v té, v níž je

měřená hodnota rušivého napětí větší. Při výběru měřicí antény pro dané zkušební pracoviště je třeba rovněž zajistit, aby její rozměry byly menší než asi 10 % její vzdálenosti od proměřovaného zařízení. Prakticky to znamená, že např. při měřicí vzdálenosti 10 m musí být rozměry použitých antén menší než 1 m. [2]

Kruhový tvar zkušebního stanoviště je normou ČSN CISPR 16-1 doporučen pro velké stacionární zkoušené objekty ( $> 1 \text{ m}^3$ ), případně není-li k dispozici otočný stůl. Při měření se anténa otáčí („obíhá“) kolem zkoušeného zařízení v dané měřicí vzdálenosti až do místa, kde je měřené rušivé napětí při dané polarizaci antény maximální. [2]

### 6.3.2 Měření v elektromagnetických stíněných prostorech

Měření ve stíněných prostorech zajistí ovlivňování vnějšími rušivými signály. Tudiž měřicí anténa nebude přijímat jen rušivé signály pocházející od zkoušeného zařízení. Stíněná komora je vytvořena jako uzavřený prostor nejčastěji z desek ocelových plechů, který zajišťuje dostatečnou elektromagnetickou těsnost, a to včetně dveří, větracích a přívodních otvorů apod. Elektromagneticky stíněné pracoviště pro zajištění své kompletní funkce musí být vybaveno řadou nezbytných prvků (dveře, okna, větrací průchody apod.), které však výrazně snižují výslednou účinnost stínění. [12]

Kvalitní stíněná komora musí zajišťovat útlum pro vnější signály na úrovni 100 – 120 dB. Tuto hodnotu lze zajistit v kmitočtovém rozsahu např. od 10 kHz do 1 GHz nebo od 100 kHz do 10 GHz. [2][12]

## 7 TESTOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI

Pro zjištění elektromagnetické odolnosti u technického zařízení potřebujeme znát určitý znak pro posouzení narušení jeho funkcí. Většina systémů by měla být podrobena *analýze externích a interních vlivů*. Jelikož nikdy neodstraníme všechny zdroje rušivých signálů, musíme zajistit jejich správnou technickou funkci i za jejich přítomnosti, kvůli dostatečné odolnosti s ohledem ke všem druhům rušení. [19]

U technických systémů rozdělujeme elektromagnetickou odolnost na interní a externí z hlediska celkové EMS. Vzhledem k rušivým zdrojům, které se nachází uvnitř systému, označujeme interní elektromagnetickou odolnost. Externí pak označuje odolnost systémů vůči vnějším zdrojům rušení. Podle zvoleného přístupu rozlišujeme tři druhy systému, se kterými se můžeme v praxi setkat nejčastěji:

- **rozlehlé (distribuované) systémy** – jejich části jsou od sebe geograficky vzdálené a mohou vnášet od signálových cest systému rušivé signály. Typickým příkladem jsou přenosová zařízení, ústředny, datové měřiče a koncová zařízení.
- **lokální (místní) systémy** – jejich části jsou umístěny v okolí jednoho areálu. Jedná se o výpočetní střediska, informační systémy podniků, dispečerská pracoviště apod.
- **systémy přístrojového typu** – jsou to samostatné kompaktní celky. Patří sem přístroje spotřební elektroniky, elektrické a elektronické přístroje pro domácnost, elektronické počítače a další. [19]

U všech systémů analyzujeme jak vnitřní, tak vnější elektromagnetickou odolnost. Pro každý způsob rušení je stanovena zvlášť mez externí odolnosti. Na tom závisí i prostředí, ve kterém systém pracuje. Interní odolnost je závislá na vlastnostech a technologické skladbě částí, například:

- návrh desek plošných spojů, uspořádání spojů a jejich kabeláže
- volba typu napájení, vzájemné rozložení napájecích a signálových bloků přístroje
- volba obvodového řešení a rozložení pasivních a aktivních elektronických prvků
- návrh vnitřního stínění a zemnění
- volba a konstrukce stylových prvků na rozhraních k vnějším systémům



Pro celkovou odolnost systému platí tři základní pravidla, využívající se při posuzování. [19]

1. Interní elektromagnetická odolnost systému je závislá na interní odolnosti jeho podsystémů.
2. Výsledná interní odolnost elektronického systému je určena odolností jeho „nejslabšího článku“, tj. podsystém s nejnižší vlastní elektromagnetickou odolností.
3. Výsledná externí elektromagnetická odolnost systému může záviset na jeho interní odolnosti, jelikož může dojít ke skládání rušivých vlivů a tím ke snížení celkové odolnosti systému. [19]

## 7.1 Testovací kritéria

Při zjišťování elektromagnetické odolnosti určitého elektronického zařízení v průmyslu komerční bezpečnosti se v průběhu jeho vývoje často zajímáme o velikost a tvar rušivých napětí ve vybraných bodech schématu. Analyticky nebo empiricky pak stanovíme takovou hodnotu sledované veličiny, která by např. u digitálních zařízení neměla vyvolat nežádoucí změnu výstupního signálu logických obvodů. Tato hodnota se pak stane kritériem elektromagnetické odolnosti pro všechna zařízení tohoto typu. [19]

Pro uživatele a pozorovatele elektronických zařízení se však častěji užívá systémového přístupu, založeného na odolnosti (ovlivnění funkce). Přípustné účinky vlivu (funkční poruchy) jsou definované v mezinárodních doporučeních IEC. [19]

Funkční poruchou tedy rozumíme změnu provozní způsobilosti zařízení po provedené zkoušce odolnosti. Rozlišují se tyto tři základní poruchové stavy:

- **A:** dočasná degradace nebo ztráta funkce nebo kvality, která se samočinně obnovuje
- **B:** dočasná degradace nebo ztráta funkce nebo kvality, která vyžaduje zásah operátora nebo nové nastavení systému
- **C:** degradace nebo ztráta funkce, která není obnovitelná pro poškození zařízení (součástí)

Základem pro zkoušku elektromagnetické odolnosti elektronického přístroje je jeho vložení do vhodného elektromagnetického prostředí. Nejpřirozenější zkouškou odolnosti je činnost sledovaného systému v reálném prostředí, ve kterém bude pracovat. Má to však své nevýhody, a proto se pro zkoušku odolnosti používá simulované elektromagnetické prostředí. Je definované z těchto hledisek:

- obvodové a blokové uspořádání testovacího pracoviště
- prostorové uspořádání testovacího pracoviště
- kvalitativní a kvantitativní parametry simulátorů rušení
- provozní stav zkoušeného systému

Prokazování odolnosti musí v každém případě probíhat ve čtyřech základních krocích:

- specifikace požadavků na zkoušku odolnosti
- provedení zkoušek podle specifikace
- dílčí vyhodnocení po každé zkoušce
- vypracování dokumentace o zkouškách

Požadavky na odolnost konkrétního typu zařízení se vyjadřují specifikací těchto položek:

- rušivé vlivy, které mohou zařízení v daných podmínkách provozu ovlivnit
- možné brány průniku rušivých vlivů
- provozní stavy zařízení, při nichž je nutno odolnost kontrolovat
- kategorie požadované odolnosti
- přípustné účinky vlivů [23]

### 7.1.1 Testovací normy

Normy řady IEC 801 pod společným názvem „Elektromagnetická kompatibilita zařízení pro měření a řízení průmyslových procesů“ se skládají z více částí:

Označení normy	Popis
IEC 801-1	„Všeobecný úvod“ – norma zdůvodňuje nutnost zavedení zkoušek na odolnost elektronických systémů a zařízení a stručně klasifikuje zdroje rušení a parazitní vazby.
IEC 801-2	„Elektrostatické výboje“ – norma dává metodiku testování a vyhodnocení chování elektronických zařízení, systémů, subsystémů a periférií při působení elektrostatických výbojů, vznikajících v okolním prostředí nebo zapříčiněných provozními podmínkami.
IEC 801-3	„Požadavky na vyzářované elektromagnetické pole“ – stanoví metody zkoušení elektronických zařízení a systémů na jejich odolnosti vůči elektromagnetickým polím o kmitočtu 27 až 500 MHz.
IEC 801-4	Rychlé transienty“ – norma stanoví podmínky a uspořádání zkoušek rychlými transienty.
IEC 801-5	„Požadavky neodolnosti vůči výbojům“ – norma doplňuje předešlou normu o zkoušky pomalejšími napěťovými impulsy a proudovými impulsy. Zavádí pojem třídy prostředí a upřesňuje podmínky zkoušek.
IEC 801-6	„EMC elektrických a elektronických zařízení“, odolnost proti radiovému rušení po vedeních v pásmu nad 9 kHz. Norma definuje metodiku testování odolnosti, parametry testovací aparatury a stupně přísnosti pro zařízení, která jsou rušena signály šířícími se po napájecích a signálových vedeních a zemních spojeních.

Tab. 8 – normy řady IEC 801 pro měření a řízení průmyslových procesů. [22]

Další ukázky některých navazujících norem pro měření a řízení průmyslových procesů jsou zmíněny v části 2 (Normalizace v oblasti EMC) této práce.

### 7.1.2 Úrovně odolností

Vztah mezi jednotlivými úrovněmi odolností a druhem prostředí dle 801 – 4 je následující:

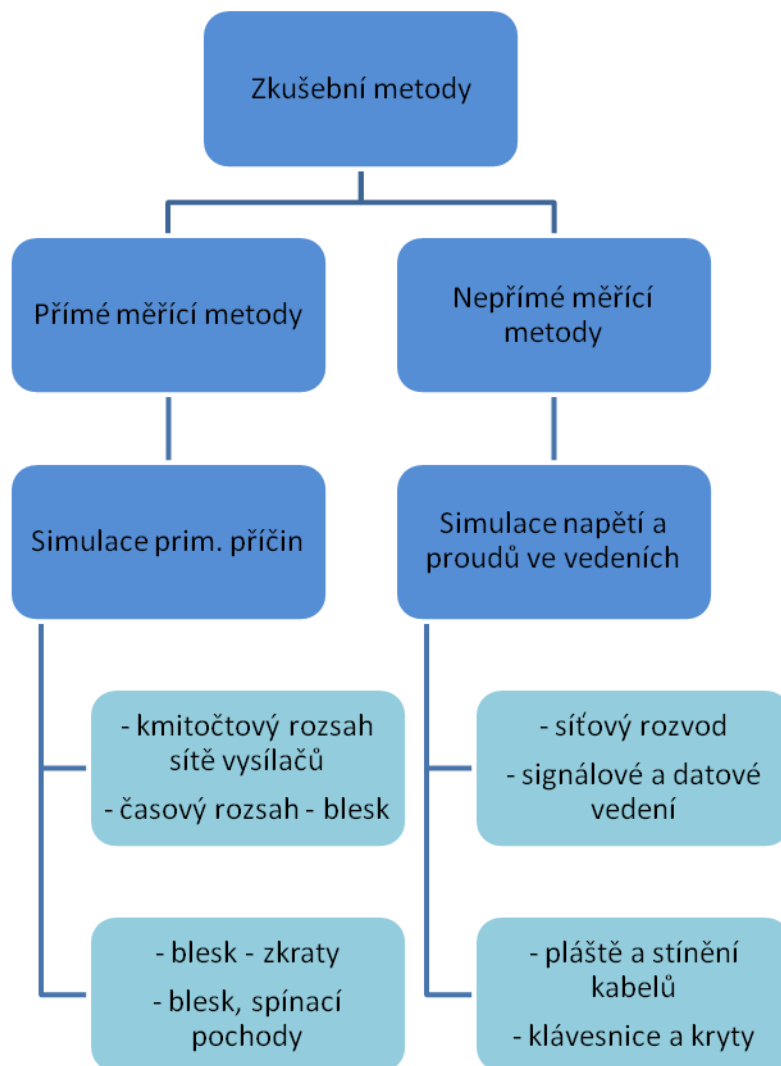
- **Úroveň 1:** dobře chráněné prostředí, vyznačující se tím, že rušení od rychlých transientů, vznikajících od bezkontaktních řízených obvodů je potlačeno; napájení je odděleno od řídicích a měřicích obvodů, přicházejících z jiného prostředí,

vyznačujících se vyššími nároky na úroveň odolnosti; napájení je provedeno stíněnými kabely, jejichž stínění je uzemněno na obou koncích na referenční zem instalace a napájecí zdroj je chráněn filtrem. (Reprezentantem tohoto prostředí je místnost pro počítače)

- **Úroveň 2:** chráněné prostředí; instalace je zde charakterizována následujícími atributy: částečné potlačení rychlých transientů v řídicích obvodech, které jsou spínány jen relé; oddělení všech vlastních obvodů od jiných, spojených a prostředím s vyššími nároky na úroveň odolnosti; fyzické oddělení nestíněných napájecích kabelů a řídicích kabelů od signálových a sdělovacích. (Reprezentantem jsou velíny a dozorny průmyslových podniků a elektráren)
  - **Úroveň 3:** typické průmyslové pracoviště; charakterizováno: žádné potlačení rychlých transientů; silové obvody nejsou dostatečně odděleny od jiných, spojených s prostředím s vyššími nároky na úroveň odolnosti, společné kabely pro přenos napájení, řízení, signálů a komunikací; možnost výskytu zemních smyček a zemního systému využívajícího vodivé trubky, zemní vodiče v kabelových žlabech spojených s ochrannou zemní soustavou. (Reprezentantem jsou výrobní plochy průmyslových podniků, elektrárny, otevřené rozvodny)
  - **Úroveň 4:** je charakterizována takto: žádné potlačení rychlých transientů od řídicích a silových obvodů, které se spínají pomocí relé a stykačů; silové průmyslové obvody nejsou odděleny od jiných, spojených s prostředím vyžadujícím vyšší úroveň odolnosti. Kabely pro silové napájení, řízení a signalizaci nejsou odděleny; použití mnohožilových kabelů pro společný přenos řídicích povelů a signalizace. (Reprezentantem jsou vnější plochy průmyslových podniků, elektrárny, otevřené rozvodny)
  - **Úroveň 5:** jsou případy, kde na základě analýzy dochází k speciálnímu jednání.
- [23]

## 7.2 Zkušební metody

Zkušební metody v oblasti odolnosti proti rušení pro systémy I&HAS a EPS mohou napodobovat vlastní zdroje rušení (simulaci primárních příčin), nebo napodobovat rušivá napětí a proudy, které ve zkoušeném zařízení a připojených vodičích vznikají.



Obr. 36 - Přehled zkušebních metod.

Rušení po vedení, které ohrožuje zejména číslicová diskrétní zařízení, se simuluje podle navrhovaného doporučení IEC 801 – 6 v rozsahu kmitočtů 9 kHz – 26 MHz. V této oblasti, nad 26 MHz jí konkuruje simulace rušivého elektromagnetického pole vyzařovaného zkušebními anténami nebo zkušebním deskovým vedením. Při **simulaci vlivu rušivých sinusových napětí nebo proudů** se jako zdroj používá sestava složená z tónového nebo signálního generátoru modulovaného kmitočtem 1kHz s hloubkou modulace 80 %, generátor přitom musí umožňovat plynule přeladovat kmitočty s určitými

prodlevami v určitých časových intervalech. V základní sestavě jsou dále zařazeny proměnný útlumový člen (0 – 40 dB), širokopásmový zesilovač apod. Na tuto simulační zdrojovou sestavu navazuje vazební a oddělovací obvod, kterým se teprve simulační rušivý signál přivádí do zkoušeného zařízení. V základním návrhu s doporučením se uvádí celkem 11 druhů vazebních a oddělovacích obvodů. [10]

Základní zkoušky elektromagnetické odolnosti elektronických systémů:

- simulace rušivých vlivů v energetické napájecí síti
- simulace vysokoenergetických širokopásmových impulsů
- simulace nízkoenergetických širokopásmových impulsů
- simulace elektrostatických výbojů
- simulace magnetických polí
- simulace vysokofrekvenčních elektromagnetických polí

Významná je však **simulace vysokofrekvenčních elektromagnetických polí**, u nichž se vyskytují ve stejné míře obě složky. Zdroje rušivých záření jsou speciální antény různých typů, mezi které můžeme zařadit:

- bikónická pro signály 27 MHz - 200 MHz
- kónická logaritmická šroubovice pro signály 200 MHz - 500 MHz
- případně i jiné typy a druhy antén

Tyto zářiče bývají umístěny na otočném podstavci, který automaticky umožňuje ozářit po sobě více zkoušených předmětů, včetně směrů prostorových vektorů. Perspektivním simulačním zařízením jsou zkušební desková vedení, která vytvářejí prostor, v němž se dá umístit i zkoušený vzorek. Nejčastěji se jedná o zařízení o rozměrech 80 x 80 x 80 cm. V současné době se používají rozměrnější zkušební desková vedení, ve kterých je možno umístit i osobní počítač.

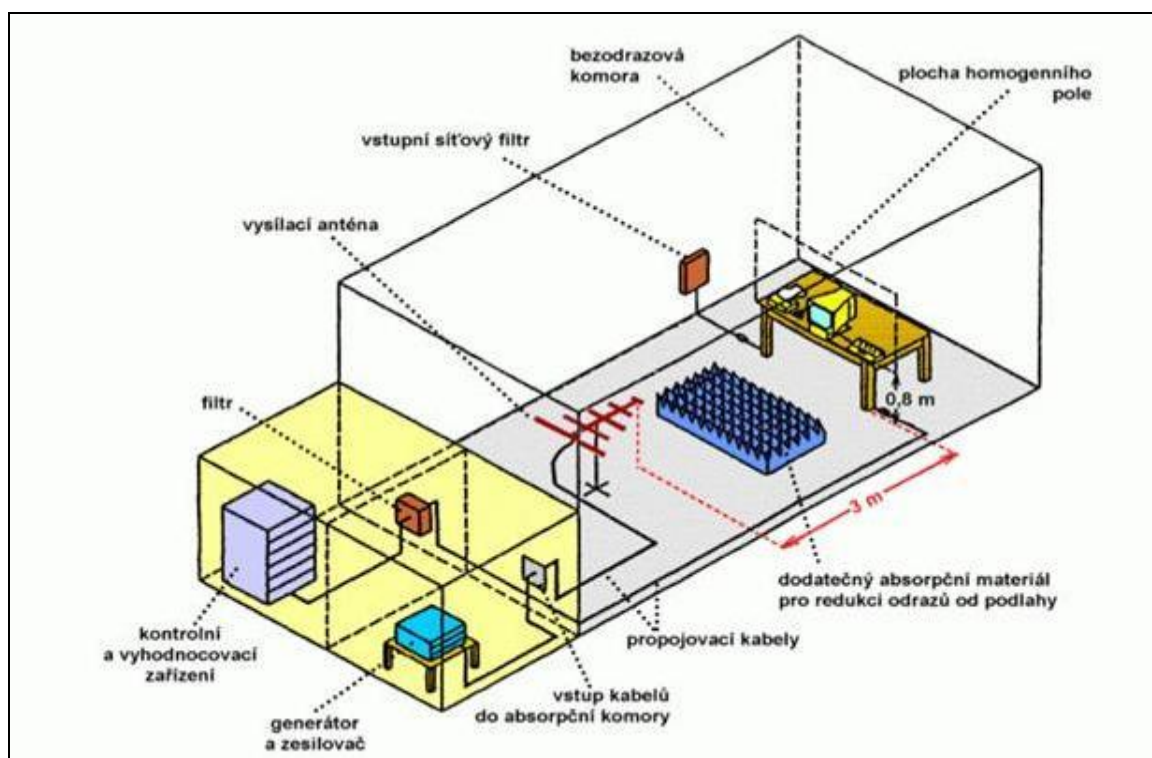
**Bezodrazová komora** je využitelná zejména nad 100 MHz. Při nižších kmitočtech jsou pohlcovače u stěn příliš tlusté. Vlastním zdrojem signálu je jeden nebo více signálních generátorů, které umožňují automaticky pomalu přeladovat vysílací kmitočty v celém požadovaném pásmu. Tyto generátory se umísťují mimo stíněné prostory vzhledem k tomu, že silnější elektromagnetické záření je škodlivé pro zdraví obsluhujícího personálu.

Generátory mají obvykle malý výkon, takže je nutné jejich signál zesílit výkonovým zesilovačem. [10]

Externí odolnost personálního počítače a jeho systému může být obecně narušena všemi vlivy. Z hlediska pravděpodobnosti výskytu však lze na základě praktických zkušeností doporučit uživatelům a provozovatelům PC systémů nejdůležitější testy pro základní srovnání vlastností různých počítačových sestav. Uvedené testy podle potřeby nutno doplnit sekundárními testy v závislosti na podmínkách, ve kterých PC systémy pracují. Pro hodnocení se nejčastěji doporučuje tzv. systémové kritérium, které v sobě zahrnuje funkci nepřetržitě běžícího programu. Poté se postupně mění hodnoty standardizovaných rušivých napětí a sledují se typické provozní změny, mezi které řadíme:

- vznik chyby v průběhu programu
- zastavení programu
- ztráta komunikace s periferním zařízením

Jako mezní hodnotu odolnosti pro daný typ simulované veličiny pak určujeme její hodnotu těsně před dosažením provozní změny. [10]



Obr. 37 - Zkušební pracoviště pro zkoušky odolnosti vůči vyzářovanému vysokofrekvenčnímu poli (absorpční obložení stropu a stěn není naznačeno). [2]

### 7.2.1 Ověřování odolnosti

Při zkouškách odolnosti záření prověřujeme, zda odolnost daného zařízení převyšuje mez odolnosti. Podle stanovených kritérií vyhodnocujeme odolnost zařízení proti rušení následovně:

- zařízení vykazuje normální funkci nepřetržitě i v průběhu zkoušky, a to v daném rozsahu stanoveném výrobcem
- zařízení po ukončení zkoušky pracuje normálně, během zkoušky je povolené určité zhoršení funkce, správná funkce se sama obnovuje
- zařízení vykazuje dočasnou ztrátu funkce, obnovení správné funkce ovšem vyžaduje zásah obsluhy nebo znovu nastavení. [10]

Zařízení, které se stane nebezpečné následkem zkoušek, je z hlediska odolnosti nevyhovující. Jako příklad můžeme uvést ztrátu funkcí, která nastane poškozením zařízení, software nebo ztráta dat.

U zkoušek odolnosti je zařízení vystavováno uměle generovaným rušivým signálům. Zkoušky se provádí u nízkofrekvenčního rušení, vysokofrekvenčního rušení a impulsního rušení.

- **Nízkofrekvenční rušení**

Provádí se zkoušky magnetickým polem o frekvenci 50 Hz a zkoušky simulováním síťových poruch (kolísání, výpadky, napájení apod.).

- **Vysokofrekvenční rušení**

Provádí se zkoušky uměle generovaným vysokofrekvenčním signálem, šířícím se po výkonných a sdělovacích vedeních a zkoušky uměle generovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem (nutnost odstranění rušivých signálů z pozadí).

- **Impulsní rušení**

Zde se provádí 3 druhy zkoušek. Zkouška elektrostatickým výbojem na krytu výrobku nebo v jeho bezprostřední blízkosti. Zkouška rázovým impulsem napětí či proudu na výkonných a signálových svorkách výrobku. Zkouška skupinami rychlých přechodových jevů na výkonných a signálových svorkách výrobku. Při testech odolnosti u impulsní oblasti jsou



reálné rušivé signály nahrazeny uměle generovanými impulsními přesně definovanými poruchami. [10]

Kvůli časové a finanční náročnosti některých zkoušek není možné realizovat všechny druhy měření pro běžné testování. Pro informační a zabezpečovací systémy je nutno komplexně sledovat např. způsob galvanického připojení k telekomunikační síti, typ připojeného vedení apod. Provozní stav zařízení, které je zkoušeno, je dalším testovacím parametrem. Odolnost má být prokazována ve všech stavech zkoušeného zařízení. Kategorie požadované odolnosti je mezinárodně standardizována v rámci doporučení IEC 801. Zde jsou definovány 4 nebo 5 úrovní elektromagnetické odolnosti na základě typických elektrotechnických prostředí. [10]

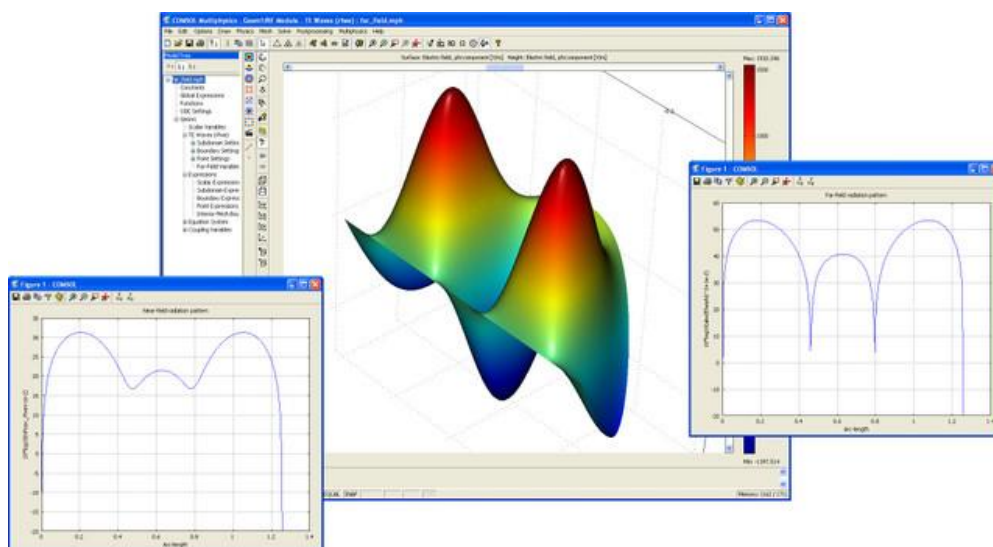
## 8 NOVÉ TRENDY VE VÝVOJI V OBLASTI MĚŘENÍ EMI V PKB

Jedním z nových trendů ve vývoji je software pro modelování, výpočty a simulace elektromagnetické interference v průmyslu komerční bezpečnosti. Nový software od firmy HUMUSOFT, Comsol Multiphysics, dokáže zobrazit nejrůznější fyzikální procesy. Je také využitelný v oblastech elektromagnetismu a radio frekvencí. Programem můžeme modelovat multifyzikální děje, které probíhají v různých odvětvích inženýrské praxe a v oblastech vývoje technických a vědeckých oborů. Úlohy popsané parciálními a diferenciálními rovnicemi je software schopný vyřešit. Dokáže simulovat vliv různých fyzikálních veličin současně a reálně znázornit chování zkoumaného předmětu, a to jen při definování podmínek uživatelem pro daný objekt. V grafickém editoru se nám objeví řešený geometrický model, který může znázorňovat např. zatěžovanou strojní součást, reagující prostředí v katalyzátoru, zahříváný tepelný radiátor nebo proud vzduchu v aerodynamickém tunelu. Musíme znát fyzikální vlivy působící na zobrazovanou geometrii. PDE z pružnosti a pevnosti zvolíme, jde-li o strojní součást. Jde-li o proces zahřívání součástí, zvolíme PDE popisující šíření tepla, atd. [5]

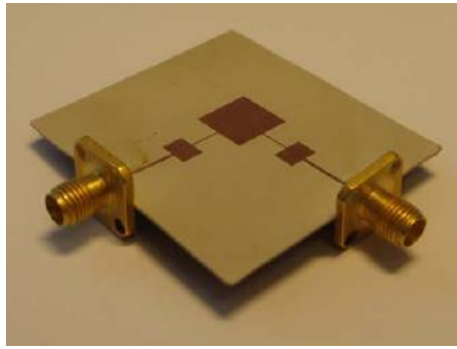
Pro vědecko-technické výpočty jsou určeny nástroje MATLAB a COMSOL Skript, propojené s programem COMSOL Multiphysics. Nástroje jsou využívány tímto programem při kreslení geometrických tvarů, numerickém řešení úloh, nebo při konečném zpracování výsledků. [5]

Program COMSOL Multiphysics má k dispozici knihovny parciálních diferenciálních rovnic, které určují režimy aplikací (šíření tepla, šíření elektromagnetických vln, zahřívání protékajícím elektrickým proudem). Výhodou je možnost kombinovat několik aplikačních režimů (PDE) do jednoho modelu. Kombinace jsou zajištěny uvnitř programu, a proto není potřeba, abychom vytvářeli jiné kódy nebo skriptové soubory. Základní definované aplikační režimy programu jsou určeny pro oblasti akustiky, pružnosti a pevnosti, prostupu tepla, elektromagnetismu, elektrostatiky a dynamiky tekutin. Uživatel má možnost si sám vytvořit vlastní aplikační úlohy pomocí obecného tvaru aplikačního režimu pro různé části modelu, což ovšem vyžaduje vysokou úroveň znalosti programu. Tvar řešeného objektu se vytváří pomocí CAD nástrojů v grafické editoru COMSOL. Program podporuje např. soubory DXF zobrazující 2D geometrii a formát souborů Nastran popisující model 3D sítí. COMSOL Multiphysics obsahuje několik modelů, z nichž z oblasti elektromagnetismu a radiofrekvencí jsou to dva níže zmíněné modely: [5]

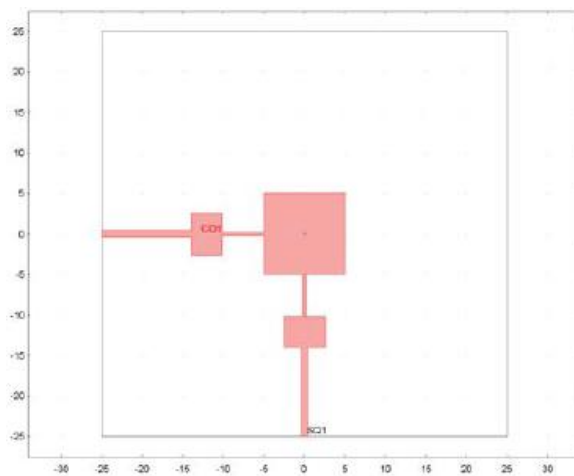
- **AC/DC module** - pro modelování úloh s vlivem střídavého a stejnosměrného proudu v oblasti elektrických a magnetických zařízení. Umožňuje modelovat nízkofrekvenční elektromagnetické systémy, jako jsou motory, magnety, transformátory a další. Modul obsahuje aplikace pro obecný statický a kvazistatický elektromagnetismus pro 2D a 3D geometrie, a je zde podpora pohyblivé sítě s výpočtem točivého momentu, což je výhodné při řešení rotačních strojů. [20]
- **Elektromagnetics Module** - významný modul určený pro modelování elektromagnetického pole z oblastí statiky, kvazistatiky až po mikrovlnná a fotonová záření. Řešení poskytuje rozložené elektromagnetické pole, resistenci, indukanci, kapacitanci a S-parametry. Pomocí tohoto modulu je možno řešit šíření vln v modelech z nehomogenních materiálů. Modul umožňuje modelování následujících:
  - Spojitého vlnění s harmonickým šířením vln
  - Anténních polí a kruhových vlnovodů
  - Analýza S-parametrů s podporou (tm) a TE polarizovaného vlnění
  - Elektromagnetismu stejnosměrného a střídavého proudu
  - Elektrostatika a magnetostatika, řešení vzájemně svázaného elektrického a magnetického pole v oblasti harmonických nízkých frekvencí [14]



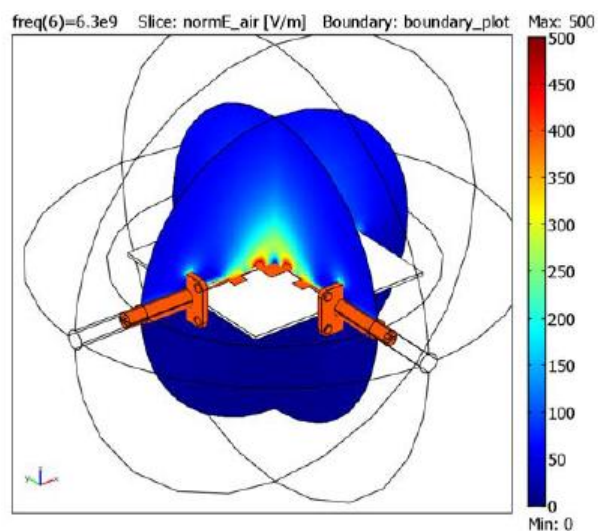
Obr. 38 - Vyzářování vzdáleného pole antény v programu COMSOL Multiphysics. [5]



Obr. 39 – Model vyvážené antény pro 6 MGz. [14]



Obr. 40 - Geometrický model antény v CAD prostředí Comsol. [14]



Obr. 41 – Model elektrického pole kolem antény. [14]

Softwarový nástroj COMSOL Multiphysics představuje vysoce užitečný nástroj pro výzkum magnetických polí a elektromagnetické interference.

## ZÁVĚR

Elektronické a elektrotechnické systémy a zařízení jsou v popředí zájmu, a lidé budou stále přemýšlet, jak tuto techniku zdokonalovat. Otázkou však zůstávají vlivy na okolní prostředí, vlivy na živé organismy a působení rušivých signálů na různé zařízení.

Po seznámení se s oblastí elektromagnetické kompatibility jsem v teoretické části bakalářské práce vytvořila stručný úvod do této problematiky. Zde jsem uvedla základní rozdělení EMC, které se dělí na elektromagnetickou interferenci a odolnost. Velmi důležité je znát zdroje rušivých signálů, jestli se šíří vedením nebo vyzářováním. V oblasti zdrojů elektromagnetického rušení se zkoumají především obecné otázky mechanismů vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity. Mezi přirozené zdroje rušení patří hlavně elektrické výboje v ovzduší, prudké změny zemského magnetického i elektrického pole a elektromagnetické vlnění produkované kosmickými tělesy. Pro umělé zdroje rušení můžeme uvést například vedení vysokého napětí, spalovací motory, ale také domácí elektrické a elektronické přístroje. Důležitou oblastí je měření elektromagnetické interference, které zahrnuje měřicí metody a postupy pro hodnocení vybraných parametrů, hlavně na rozhraních zdrojů a přijímačů rušení. Rozvíjí se také oblast testování elektromagnetické odolnosti. Provádí se nejen na hotových zařízeních, ale i v průběhu jejich vývoje. Dále jsou v této části přehlednou formou uvedeny základní, kmenové, vojenské normy MIL-STD a normy ČSN ve vztahu k ostatním normám spojeným s problematikou EMC.

Cílem praktické části bakalářské práce bylo vypracování studie metod měření elektromagnetické kompatibility v průmyslu komerční bezpečnosti. Dnešní situace při provozu elektrických zařízení je typická hojným množstvím relativně blízkých zařízení nejrůznější povahy, která se mohou vzájemně rušit. Prvním krokem je určení rušivých zdrojů a způsobu šíření rušivých signálů. Při zjištění rušivých signálů musíme zvolit určitou strategii k potlačení rušení, ať již na straně jeho vzniku, při jeho šíření nebo při zvyšování odolnosti citlivých zařízení. Je vhodné znát přípustné úrovně rušení i odolnost v uvažovaném prostředí. V této části jsem se pokusila vysvětlit charakteristiku měření v blízké a vzdálené zóně a měření elektromagnetických polí bezdrátových systémů v PKB. Jsou zde popsány základní metody měření EMC pro interní a externí elektromagnetickou odolnost, testovací kritéria a navazující testovací normy. Pro tato měření se používají měřicí přístroje, které jsou finančně dostupné. Měřicí systém se skládá z počítače,

analogového lineárního zapisovače nebo robotické ruky typu Sraubli, měřicího přístroje nebo spektrálního analyzátoru a hallové sondy nebo např. kalibrovaných antén od renomované firmy Rohde&Schwarz pro elektrické a magnetické složky elektromagnetického pole. Při měření se musí také dbát na správné nastavení skenování a správně zvolit stínění měřeného objektu. V dnešní době se měření a využití automatizační techniky a robotiky také využívá v oblasti blízké zóny s přepisem na Fresnelovu zónu.

V závěru této práce jsem prezentovala nové trendy ve vývoji měření elektromagnetické interference využitelné pro průmysl komerční bezpečnosti, kterými jsou především zobrazování elektromagnetické interference softwarovými nástroji. Provádí i modelování a simulaci elektromagnetických vln, magnetických polí a dalších fyzikálních procesů. Minulý rok jsem byla na semináři společnosti HUMUSOFT, který se konal na hotelu Moskva ve Zlíně. Firma nabízí software Comsol Multiphysics, který můžeme využít v oblasti elektromagnetismu a radiofrekvencí. Do nových trendů patří také důležitá oblast využití elektromagnetické kompatibility, a to v lékařství. Odborné lékařské týmy provádějí výzkum pro oblast elektromagnetické kompatibility biologických systémů, konkrétně v oblasti tepelných účinků. Tyto účinky využívají především při léčení nádorových onemocnění.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Whereas nowadays the electronic and electrical systems and equipments are considerably interesting, people will always think about how to improve the technology. We shouldn't also forget the question of the environmental impact, impact on living organism as well as effect of disturbing signal on different systems. After a brief presentation of the electromagnetic compatibility, in the theoretical part I made a short introduction to the topic. There I propose the basic division of EMC, which is divided into electromagnetic interference and resistance. It is also very important to know the sources of disturbing signals and their diffusion, either by line or radiation. In the area of sources of electromagnetic disturbance we usually focus on general questions of the origin of disturbance, its character and intensity. Among natural sources we can find especially electrical discharge in air, rapid changes in the Earth's magnetic and electric field and electromagnetic waves produced by space bodies. As artificial sources we can mention for example high-voltage lines, internal combustion engines, as well as domestic electrical and electronic equipment. There exist a very important branch of the measurement of electromagnetic interference, which includes measuring methods and procedure for evaluating chosen parameters, especially on the interface source – receiver of disturbance. Likewise the area of electromagnetic resistance testing is developing now. It's making not only on complete systems but also during the development. Furthermore you can find there a summary of basic, essential, military standards MIL – STD and standard CSN in relation to the other standards concerning EMC problems.

The aim of the practical part of the thesis was to make a study of measuring methods of electromagnetic compatibility in the commercial security industry. Nowadays we have so many relatively close electrical equipments to each other that they could disturb each other. The first step is to find out disturbing source and the way of diffusion of disturbing signals. When we find some disturbing signal we have to choose the strategy to put down the disturbing, whether during its creation, diffusion or raising the resistivity of sensitive equipment. It's quite useful to know the permitted levels of interference and resistance in concrete environment. In this section I tried to explain the characteristics of measurement in short and long distance and the measurement of electromagnetic fields of wireless systems in the PKB. After that I make the description of basic measuring methods of EMC for internal and external electromagnetic resistance, testing criteria and following testing

standards. For these measurements we usually use the instruments that are quite affordable. Normally the measuring system consists of a computer, an antilog recorder or a robotic hand type Sräubli, the measuring unit or a spectral analyzer, Hall probe or for example calibrated antennas from a reputable company Rohde & Schwarz for the electric and magnetic components of electromagnetic field. During the measurement we have to respect the right setting for scanning and choose the correct shielding of the measured object. Today the measurement and the use of automation techniques and robotics are also used in the near zone with the transcription on the Fresnel zone.

In the conclusion of the work I presented the new tendencies in the development of the measurement of the electromagnetic interference useful for the commercial security industry. These are especially imaging of electromagnetic interference by software tools. They do as well modelling and simulation of electromagnetic waves, magnetic fields and other physical processes. Last year I went to a seminar of HUMUSOFT, which took place at the Hotel Moskva in Zlín. The company offers the software Comsol Multiphysics, which can be used in the branch of electromagnetism and radiofrequency. Among the new tendencies we can find as well an important area of using electromagnetic compatibility in medicine. Professional medical teams execute a research in the branch of electromagnetic compatibility of biological systems, particularly in the area of thermal effects. These effects are mainly used to treat the cancer.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *CENELEC* [online]. 2009 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.cenelec.eu>>.
- [2] *Encyklopedie elektromagnetické kompatibility* [online]. c2004 [cit. 2009-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.urel.feec.vutbr.cz/EncyklopedieEMC/index.php?>>
- [3] *Frankonia* [online]. 2009 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.frankonia-emv.com/>>.
- [4] HUDEC, Jaroslav. *Přepětí a elektromagnetická kompatibilita*. Hradec Králové, 1996.
- [5] *Humusoft* [online]. 2009 [cit. 2009-03-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.humusoft.cz/index.php?lang=cz>>.
- [6] *IEC* [online]. c2009 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.iec.ch/>>.
- [7] *Itek.cz* [online]. c2009 [cit. 2009-04-28]. Dostupný z WWW: <<http://pc.itek.cz/?k=akcni-nabidka&search=fema&selectedshop=0&setserazeni=5>>.
- [8] IVANKA, Ján. Druhy elektromagnetického rušení, jeho zdroje a způsoby šíření. *Security magazin*, 2005. ISSN 1210-8723.
- [9] IVANKA, Ján. Měření magnetických polí elektrických systémů v průmyslu komerční bezpečnosti. Zlín: UTB.
- [10] IVANKA, Ján. Všeobecné zásady testování elektromagnetické odolnosti elektronických systémů. Zlín: UTB.
- [11] KÖNIG, Holger, ERLACHER, Peter. *Neviditelná hrozba? : Elektromagnetická pole kolem nás*. Ostrava: Hel, 2001.
- [12] KOVÁČ, Dobroslav, KOVÁČOVÁ, Irena, KAŇUCH, Ján. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-202-7.
- [13] KÜNZEL, Karel., ŽÁČEK, Jaroslav. EMC v technické praxi I: Legislativní požadavky. *Automa* [online]. 2006, č. 02 [cit. 2009-04-28].

- [14] MÍKA, Petr. *Grafické znázornění stacionárních magnetických polí*. [s.l.], 2007. 79 s. Diplomová práce.
- [15] *Omegaeng.cz* [online]. c2005 [cit. 2009-04-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/>>.
- [16] ROHDE & SCHWARZ. Firemní materiály. Test&Measurement Product. Katalog 2007/2008.
- [17] ROHDE & SCHWARZ. Radiomonitoring and Radiolocation. Katalog 2007/2008.
- [18] SCHEJBAL, Vladimír. *Studie o metodikách měření antén v blízké zóně*. Pardubice. 2009.
- [19] SKOVAJSOVÁ, Kateřina, SPURNÁ, Helena. Rušivé signály elektromagnetické kompatibility a odolnost budov. In *TD 2008 - DIAGON 2008*. Zlín, 2008. s. 56-59. ISBN 978-80-7318-707-1.
- [20] SLEZÁKOVÁ, Zuzana. *Měření elektromagnetické interference systému PCO Global*. [s.l.], 2008. 92 s. Diplomová práce.
- [21] SLOUKA, F. *Měření stínící účinnosti přístrojových krytů v oblasti EMC*. [s.l.], 2006. 65 s. Bakalářská práce.
- [22] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: Základní principy a metody*. Brno: Vysoké učení technické, 2001.
- [23] SVOBODA, Jaroslav, VACULÍKOVÁ, Polina, VONDRÁK, Miroslav, ZEMAN, Tomáš. *Základy elektromagnetické kompatibility*. Praha: ČVUT, 1994.
- [24] VACULÍKOVÁ, Polina, VACULÍK, Emil. *Elektromagnetická kompatibilita*. Praha: Grada Publishing, 1998.
- [25] ŽÁČEK, Jaroslav, KUNZEL, Karel. EMC v technické praxi II: Rušivé signály, jejich zdroje a šíření. *Automa* [online]. 2006, č. 03 [cit. 2009-04-28].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ANTSI	Americký národní normalizační institut (American national standards institute)
AO	Absorpční odbočnice
ASTM	Americká normalizační organizace pro testování materiálů (American standards and testing materials)
B	Magnetická indukce
CEN	Evropská komise pro normalizaci (Comité europeen den normalisation)
CENELEC	Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice (Comité europeen de normalisation en electrotechnique)
CISPR	Výbor pro rádiovou interferenci (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
ČNI	Český národní institut
ČSN	Česká národní norma
D	Největší rozměr antény
dB	Decibely (hlavní jednotka intenzity zvuku)
E	Elektrická složka
EEG	Elektroencefalogram – vyšetření centrálního nervového systému
EIA	Doporučené normy (Electronic industries association)
EKG	Elektrokardiogram
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMG	Elektromyografie – vyšetřovací metoda v neurologii
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
EN	Evropská norma
EPS	Elektrická požární signalizace
ETSI	Evropský institut pro normalizaci v telekomunikacích (European telecommunications standards institute)
H	Intenzita magnetického pole
H (B)	Magnetická složka
Hz	Hertz (hlavní jednotka frekvence)
I&HAS	Bezdrátové poplachové systémy pro detekci a přepadení

---

IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise (International electrotechnical commission)
IEEE	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství (Institute of electrical and electronics engineers)
ISO	Mezinárodní organizace pro standardizaci
LISN	Umělá zátěž měření
MIL-STD	Military Standards
MR	Měřič rušení
N	Severní pól magnetu
NATO	Severoatlantická aliance (North Atlantic Treaty Organisation)
nf	nízkofrekvenční
PC	Počítač
PKB	Průmysl komerční bezpečnosti
PT	Proudový transformátor
R	Vzdálenost antén
S	Jižní pól magnetu
SAE	Americká normalizační organizace pro automobilový průmysl (Society of automotive engineers)
SC	Subkomise
T	Tesla (hlavní jednotka magnetické indukce)
TC	Technická komise
TNK 47	Technická normalizační komise
USA	Spojené státy americké
Vf	vysokofrekvenční
ZO	Zkoušený objekt – zdroj rušení

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 - Základní členění problematiky EMC. ....	13
Obr. 2 - Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí. [22].....	15
Obr. 3 - Příklady možné klasifikace interferenčních zdrojů. ....	16
Obr. 4 - Přenos rušivých signálů. ....	18
Obr. 5 - Typy rušivých signálů šířících se po vedení. [25] .....	20
Obr. 6 - Klasifikace a vztahová postoupnost obsahu EMC. ....	22
Obr. 7 - Normy pro EMI. ....	24
Obr. 8 - Normy pro EMS. ....	24
Obr. 9 - Normy pro odrušovací prostředky. ....	25
Obr. 10 - Mezinárodní elektrotechnická komise IEC. [6] .....	25
Obr. 11 - Evropská komise pro normalizaci v elektronice CENELEC. [1].....	26
Obr. 12 – Magnetické siločáry. ....	34
Obr. 13 – Magnetické pole u cívky. ....	35
Obr. 14 – Schéma pracoviště pro měření antén v blízké zóně. ....	43
Obr. 15 – Rovinná elektromagnetická vlna. [20].....	48
Obr. 16 – Způsoby měření rušivých elektromagnetických signálů. (LISN – umělá zátěž vedení; AO – absorpční odbočnice; PT – proudový transformátor; ZO – zkoušený objekt, MR – měřič rušení) [22].....	49
Obr. 18 – Spektrální analyzátor. ....	49
Obr. 17 – Zjednodušené schéma měřicího systému. [9] .....	50
Obr. 21 – Robotická ruka typu Stäubli. ....	51
Obr. 22 – Robotická ruka při skenování PIR detektoru. ....	52
Obr. 23 – Anechoická (bezodrazová) komora. [3] .....	54
Obr. 24 – Napěťová sonda. [13] .....	55
Obr. 25 – Proudová sonda. [15].....	55
Obr. 26 – Konstrukce absorpčních kleští. [2] .....	56
Obr. 27 – Pracoviště pro měření s absorpčními kleštěmi. [2].....	56
Obr. 28 – Absorpční kleště – Rohde&Schwarz MDS-21, MDS-22. [2] .....	57
Obr. 29 – Rámová anténa. [2].....	58
Obr. 30 – Nesymetrická vertikální prutová anténa. [2].....	58
Obr. 31 – Laděný symetrický půlvlnný dipól. [2].....	59

Obr. 32 – Logaritmicko periodická anténa. [2].....	59
Obr. 33 – Bikónická anténa. [2].....	60
Obr. 34 – Kónicko-logaritmická anténa. [2].....	60
Obr. 35 – Trychtýřové antény. [2].....	61
Obr. 36 – Parabolická kruhová anténa. [7] .....	61
Obr. 37 – Měření na volném prostranství. [2] .....	62
Obr. 38 - Přehled zkušebních metod.....	69
Obr. 39 - Zkušební pracoviště pro zkoušky odolnosti vůči vyzařovanému vysokofrekvenčnímu poli (absorpční obložení stropu a stěn není naznačeno). [2] .....	71
Obr. 40 - Vyzařování vzdáleného pole antény v programu COMSOL Multiphysics. [5] .....	75
Obr. 41 – Model vyvážené antény pro 6 MGz. [14] .....	76
Obr. 42 - Geometrický model antény v CAD prostředí Comsol. [14].....	76
Obr. 43 – Model elektrického pole kolem antény. [14] .....	76

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 - Kmitočtové spektrum některých zdrojů rušení. [22].....	18
Tab. 2 - Výběr harmonizovaných českých norem EMC – všeobecné normy, elektromagnetické prostředí. ....	30
Tab. 3 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – nízkofrekvenční rušení.....	30
Tab. 4 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – vysokofrekvenční rušení. ....	31
Tab. 5 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – odolnost proti rušení. ....	32
Tab. 6 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – společné normy pro odolnosti a vysokofrekvenční rušení. ....	33
Tab. 7 – Výběr harmonizovaných českých norem EMC – normy výrobků a skupin výrobků.....	33
Tab. 8 – normy řady IEC 801 pro měření a řízení průmyslových procesů. [22].....	67