

Testování odolnosti fotoaparátu vůči elektromagnetickému poli

Bc. Tomáš Říha

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Říha**
Osobní číslo: **A13449**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Počítačové a komunikační systémy**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Testování odolnosti fotoaparátu vůči
elektromagnetickému poli**
Téma anglicky: **Testing the Resistance of a Camera to Electromagnetic Fields**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte problematiku elektromagnetické kompatibility.
2. Podrobněji se věnujte problematice elektromagnetické susceptibility.
3. Seznamte se s kmenovou normou ČSN EN 61000-4-3.
4. Popište pracoviště uzpůsobené pro provádění měření podle normy ČSN EN 61000-4-3 a jeho vybavení.
5. Provedte laboratorní test odolnosti fotoaparátu vůči okolnímu amplitudově modulovanému elektromagnetickému poli.
6. Zhodnoťte dosažené výsledky.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **MAYER, Daniel. Aplikovaný elektromagnetismus: Úvod do makroskopické teorie elektromagnetického pole pro elektrotechnické inženýry. 2. Vyd. České Budějovice: Kopp, 2012, 538 s. ISBN 978-80-7232-436-1.**
2. **MAZÁNEK, Miloš a Pavel PECHAČ. Šíření elektromagnetických vln a antény. 2. Vyd. , Přepac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 259 s. ISBN 8001030326.**
3. **SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita: Principy a poznámky. 1. Vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2001, 156 s. ISBN 8021418737.**
4. **KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. EMC z hlediska teorie a aplikace. 1. Vyd. Praha: BEN – Technická literatura, 2006, 216 s. ISBN 80-7300-202-7.**
5. **ČSN EN 61000-4-3 Ed. 3 (333432) Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-3: Zkušební a měřicí technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – Zkouška odolnosti. Praha: Český normalizační institut, 2006, 51 s.**

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D.

Ústav počítačových a komunikačních systémů

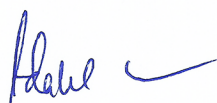
Datum zadání diplomové práce:

12. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2015

Ve Zlíně dne 6. února 2015



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Miroslav Matýsek, Ph.D.
ředitel ústavu

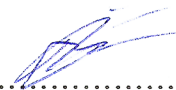
Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/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 diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/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 diplomovou/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 – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/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 diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/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 diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 18.5.2015


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou elektromagnetické kompatibility. Práce pojednává o odolnosti elektronických zařízeních vystavených účinkům elektromagnetického pole. Dále popisuje pracoviště uzpůsobené pro provádění měření podle normy ČSN EN 61000-4-3 a jeho vybavení. Součástí práce je měření elektromagnetické odolnosti fotoaparátu vůči elektromagnetickému poli.

Klíčová slova: Elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetická interference, elektromagnetická susceptibilita, elektromagnetické pole, EMC, EMI, EMS.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with electromagnetic compatibility. The thesis deals with the resistance of electronic equipment exposed to effects of electromagnetic field. It also describes the workplace adapted for carrying out measurements and its equipment according to the standard ČSN EN 61000-4-3. Part of this thesis is measurement of electromagnetic susceptibility of a camera exposed to effects of electromagnetic field.

Keywords: Electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, electromagnetic susceptibility, electromagnetic field, EMC, EMI, EMS.

Rád bych poděkoval Ing. Martinu Pospíšilíkovi, Ph.D. za vedení mé práce, vstřícný přístup a cenné rady, které mi poskytl během konzultací.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	11
1.1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA BIOLOGICKÝCH SYSTÉMŮ.....	11
1.2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ.....	12
1.3 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY.....	15
1.3.1 Elektromagnetická interference	15
1.3.2 Elektromagnetická susceptibilita	16
1.4 ZÁKLADNÍ POJMY ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	18
2 ELEKTROMAGNETICKÁ INTERFERENCE	20
2.1 ZDROJE RUŠENÍ	20
3 ELEKTROMAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA	23
3.1 ZPŮSOBY OMEZENÍ RUŠENÍ.....	23
3.1.1 Návrh a konstrukce	24
3.2 RUŠENÍ VEDENÍM	26
3.2.1 Odrušovací kondenzátory.....	26
3.2.2 Odrušovací tlumivky	27
3.2.3 Odrušovací filtry	29
3.3 RUŠENÍ VYZAŘOVÁNÍM	32
3.3.1 Stínění	32
3.3.2 Zemnění.....	36
3.4 MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI.....	42
3.4.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti.....	44
3.4.2 Zkoušky elektromagnetické odolnosti	45
3.4.3 Obecná metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti	46
3.4.4 Zkušební signály	48
4 POPIS PRACOVNÍHO MÍSTA PRO PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK	49
4.1 BEZODRAZOVÉ KOMORY	49
4.2 ZKUŠEBNÍ KONFIGURACE PRO ZAŘÍZENÍ NA STOLE.....	52
4.3 ZKUŠEBNÍ KONFIGURACE PRO ZAŘÍZENÍ NA PODLAZE	53
4.4 USPOŘÁDÁNÍ VODIČŮ	54
4.5 ZKUŠEBNÍ PŘÍSTROJE.....	54
4.6 ANTÉNY GENERUJÍCÍ POLE	55
II PRAKTICKÁ ČÁST	56
5 MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI	57
5.1 POPIS ZKOUŠENÉHO ZAŘÍZENÍ	58
5.2 POPIS ZKUŠEBNÍCH ZAŘÍZENÍ.....	60
5.2.1 Přehled zkušebních zařízení.....	60
5.2.2 Generátor signálu Rohde&Schwarz SMA100A	60
5.2.3 Soustava přepínačů Rohde&Schwarz OSP130 a Rohde&Schwarz OSP150	61
5.2.4 Zesilovač Amplifier Research 150W1000.....	62

5.2.5	Zesilovač Amplifier Research 80S1G4.....	63
5.2.6	Anténa Rohde&Schwarz HL046E	64
5.2.7	Čidlo elektromagnetického pole ETS–Lindgren HI6105	65
5.2.8	Komora Frankonia SAC–3 Plus.....	66
5.3	ZKUŠEBNÍ SESTAVA.....	67
5.4	POPIS POSTUPU ZKOUŠKY	68
5.5	MĚŘENÍ PŘI INTENZITĚ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE DO 10 V/M.....	70
5.6	MĚŘENÍ PŘI INTENZITĚ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE NAD 10 V/M.....	71
ZÁVĚR		76
CONCLUSION		78
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		80
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		82
SEZNAM OBRÁZKŮ		83
SEZNAM TABULEK.....		85
SEZNAM PŘÍLOH.....		86

ÚVOD

Elektromagnetická kompatibilita představuje vědeckotechnický obor, který v sobě integruje aplikační a technické poznatky z oblasti elektroniky a elektrotechniky. Elektronická a elektrotechnická zařízení ve svém okolí generují různé druhy elektromagnetického rušení. Takto uměle vytvořené elektromagnetické rušení může mít nepříznivý vliv na živé organismy nebo funkční činnost elektronických a elektrotechnických zařízení ve svém okolí.

S vývojem stále nových technologií, složitějších elektrických a elektronických zařízení, roste také vliv různých druhů elektromagnetického rušení. Problematiku elektromagnetické kompatibility je tak nutné respektovat již při návrhu, vývoji a výrobě elektronických a elektrotechnických zařízení.

Cílem elektromagnetické kompatibility je identifikovat tyto umělé zdroje elektromagnetického rušení, způsoby přenosu elektromagnetického rušení, měření elektromagnetického rušení a popis elektromagnetického rušení. Elektromagnetická kompatibilita se také zabývá technickými opatřeními, která zvyšují odolnost rušeného objektu vůči elektromagnetickému rušení.

Další důležitou součástí všech oblastí elektromagnetické kompatibility je tvorba příslušných norem, předpisů a standardů. Základní normy, předpisy a standardy stanovují mezní hodnoty různých druhů elektromagnetického rušení a úrovně odolnosti elektrických a elektronických zařízení vůči elektromagnetickému rušení. Respektování norem, předpisů a standardů týkajících se problematiky elektromagnetické kompatibility je důležitou podmínkou pro návrh, vývoj a výrobu elektronických a elektrotechnických zařízení a jejich prodej na trzích, kde jsou tato ustanovení platná.

Normy, předpisy a standardy dále stanovují základní metodiky měření různých typů elektromagnetického rušení a zkoušek odolnosti elektrických a elektronických zařízení vůči elektromagnetickému rušení. Jejich další součástí je popis zkušebních signálů pro zkoušky elektromagnetické odolnosti a způsoby vyhodnocení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Elektromagnetická kompatibilita (Electromagnetic Compatibility – EMC) vznikla jako samostatný vědeckotechnický obor v 60. letech 20. století v USA. Elektromagnetická kompatibilita je schopnost zařízení vykazovat správnou funkční činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetického rušení a naopak svou vlastní elektromagnetickou činností nesmí nepřípustně ovlivňovat své okolí, tzn. nesmí produkovat elektromagnetické rušení, které by bylo nepřípustně rušivé pro jiná zařízení. [1]

Každé zařízení tak může být příjemcem, ale i vysílačem elektromagnetického rušení. Zařízení musí být odolné vůči působení elektromagnetického rušení jiných zařízení a zároveň nesmí ovlivňovat normální funkci jiných zařízení nacházejících se ve společném elektromagnetickém prostředí. Elektromagnetickou kompatibilitu lze rozdělit do dvou hlavních oblastí:

- Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů.
- Elektromagnetická kompatibilita technických systémů.

[1]

1.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů se zabývá celkovým elektromagnetickým pozadím životního prostředí a přípustnými úrovněmi rušivých i užitečných elektromagnetických signálů s ohledem na jejich vliv na živé organismy. [2]

Vliv elektromagnetických polí na živý organismus je pozorován již delší dobu, avšak výsledky dosavadních biofyzikálních a biologických výzkumů v této oblasti, v souvislosti s ochranou pracovního a životního prostředí, nejsou jednoznačné. Biologické účinky elektromagnetického pole závisí zejména na:

- Charakteru elektromagnetického pole.
- Době působení elektromagnetického pole.
- Individuálních vlastnostech organismu.

[2] [3]

Adaptační, kompenzační, regenerační možnosti a schopnosti jsou u každého organismu individuální a proto každý organismus reaguje na působení elektromagnetického pole jinak. [3] Účinky se posuzují podle nesespecifických reakcí organismu. Tyto změny v organismu je velmi obtížné analyzovat a na základě jejich výsledku vytvořit obecně platné závěry. Z tohoto důvodu ve světě existuje jen málo klinických studií. [2] [3]

Mezi nežádoucí vlivy působící na organismus lze považovat přímé působení elektromagnetického pole v domácnostech a na pracovišti. [3] V těchto prostorech se nejčastěji vyskytuje různá elektronika, spotřebiče, bezdrátové komunikační sítě jako je např. GSM, Wi-Fi apod. Všechna tato zařízení působí na organismus různými intenzitami elektromagnetického pole. [2]

Výzkumná lékařská pracoviště se zabývají problematikou elektromagnetické kompatibility biologických systémů s cílem posoudit odolnost organismu vůči vlivům elektromagnetických polí. [2]

Obecně jsou pozorovány následující účinky elektromagnetických polí:

- Tepelné účinky: Způsobené působením vysokých úrovní mikrovlnných a vysokofrekvenčních elektromagnetických polí. Jejich působením dochází k ohřevu tkání.
- Netepelné účinky: Způsobené déletrvajícím působením nízkých úrovní elektromagnetických polí. Jejich působení má vliv zejména na centrální nervový systém, kardiovaskulární, srdečně cévní a imunitní systém.

[2]

Genetické, karcinogenní nebo výše uvedené účinky způsobené působením elektromagnetických polí zatím nebyly jednoznačně prokázány. V důsledku těchto skutečností existují v hygienických normách řádové rozdíly v přípustných dávkách elektromagnetického záření. [2] [3]

1.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Elektromagnetická kompatibilita technických systémů se zabývá vzájemným působením a koexistencí technických zařízení a systémů tzn. elektrotechnických a elektronických zařízení. [2]

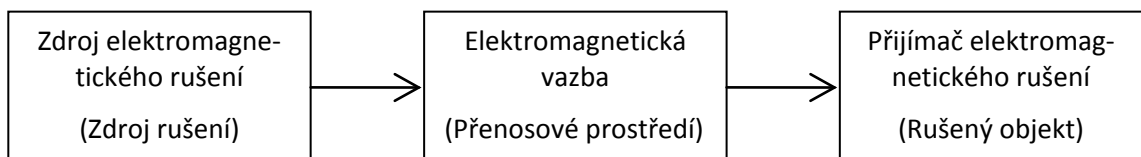
Ze systémového hlediska lze elektromagnetické rušení rozdělit na:

- Vnější rušení: Elektromagnetické rušení působící na zařízení z okolního prostředí.
- Mezisystémové rušení: Elektromagnetické rušení způsobené navzájem různými zařízeními.
- Vnitrosystémové rušení: Elektromagnetické rušení působící uvnitř zařízení.

[3]

Každé zařízení, ale i jejich určitá část, může být vysílačem, ale i zdrojem elektromagnetického rušení. Zařízení generující vyšší úroveň elektromagnetického rušení s vyšší odolností vůči elektromagnetickému rušení můžeme považovat za zdroj rušení a naopak zařízení generující nižší úroveň elektromagnetického rušení s nižší odolností vůči elektromagnetickému rušení můžeme považovat za rušený objekt. Zdroje rušení a rušený objekt jsou vzájemně vázány tzv. parazitní vazbou. [3]

Při zkoumání elektromagnetické kompatibility zařízení se vychází z tzv. základního řetězce elektromagnetické kompatibility. [2]



Obr. 1 Základní řetězec elektromagnetické kompatibility [2]

- Zdroje elektromagnetického rušení: Číslíkové systémy, elektrostatické výboje, energetické rozvody, motory, obloukové pece, oscilátory, počítače, polovodičové měniče, relé, spínače, svářečky, zářivky.
- Přenosové prostředí, elektromagnetická vazba: Energetické kabely, datové vodiče, napájecí vedení, signálové vodiče, stínění, vzdušný prostor, zemnění.
- Rušený objekt, přijímač rušení: Automatizační systémy, číslíková technika, měřicí přístroje, počítače, rozhlasové systémy, systémy přenosu dat, telekomunikační systémy, televizní přijímače.

[3] [4]

Základní řetězec elektromagnetické kompatibility zdůrazňuje systémový charakter elektromagnetické kompatibility a v obecném případě vždy vyšetřujeme všechny tři složky:

- Zkoumání vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity: Zdroje rušení můžeme rozdělit na přírodní a umělé. Mezi přírodní zdroje rušení patří např. elektromagnetické procesy v atmosféře, kosmické záření apod. Mezi umělé zdroje rušení patří např. elektronická zařízení a komunikační zařízení.
- Zkoumání elektromagnetických přenosových prostředí a vazeb: Zabývá se způsobem přenosu energie zdroje rušení na rušený objekt.
- Zkoumání rušivých účinků: Zabývá se klasifikací a podrobnou specifikací rušivých účinků na základě konstrukčních a technologických parametrů rušeného objektu a jeho elektromagnetickou odolností.

[2]

Ve skutečném prostředí se obvykle nejedná o působení jediného zdroje elektromagnetického rušení a jediného přijímače elektromagnetického rušení, ale o vzájemnou vazbu více systémů, které se ovlivňují. [2] Obvykle postupujeme tak, že jeden vybraný systém uvažujeme jako zdroj rušení a všechny ostatní systémy považujeme za rušené objekty. Následně hodnotíme vliv působení elektromagnetického rušení na ostatní systémy. Potom tento jeden vybraný systém považujeme za rušený objekt a všechny ostatní systémy považujeme za zdroje rušení. Následně hodnotíme důsledky působení elektromagnetického rušení na tento systém. Všechny systémy tak tvoří tzv. obklopující elektromagnetické prostředí. [4] Působení elektromagnetického rušení se může v daném systému projevit různým způsobem např. zhoršením parametrů přístroje nebo omezením funkčnosti. [2] [4]

Odstraněním kterékoliv složky ze základního řetězce elektromagnetické kompatibility by ztratila elektromagnetická kompatibilita svůj smysl, protože takové zařízení by bylo absolutně kompatibilní. V praxi se obvykle zaměřujeme na jednu ze tří složek základního řetězce elektromagnetické kompatibility. [2]

Výběr složky, pomocí které dosáhneme nejvyššího efektu, závisí na konkrétním zařízení a jeho funkci. [2] Rozhodneme se podle toho, zda signál generovaný zdrojem rušení nepředstavuje jeho funkční parametry např. rozhlasový vysílač nebo televizní vysílač nebo zda je signál generovaný zdrojem rušení rušivým vlivem např. generování harmonických složek nebo jiskření na kontaktech. [2] [4]

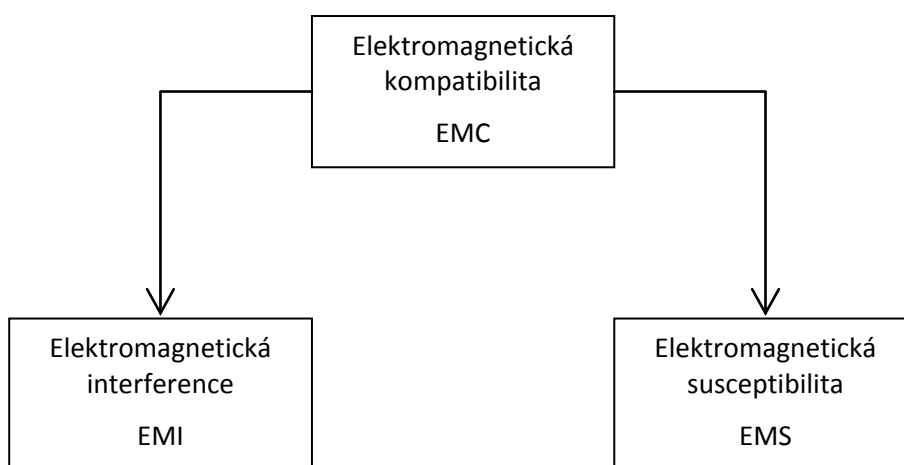
Na základě funkčních vlastností a parametrů zařízení pak směřujeme prostředky na minimalizaci těchto rušivých vlivů, např. minimalizujeme vliv na zdroj rušení, rušený objekt nebo na přenosovou cestu. [2] [4]

1.3 Základní rozdělení elektromagnetické kompatibility

Problematiku elektromagnetické kompatibility lze rozdělit do dvou základních skupin:

- Elektromagnetická interference.
- Elektromagnetická susceptibilita.

Výše uvedené základní skupiny elektromagnetické kompatibility zahrnují celou řadu společných charakteristik a postupů. Na jejich základě se pak vyhodnocuje celkový výsledek měření elektromagnetické kompatibility zařízení. [2] [3]



Obr. 2 Základní rozdělení elektromagnetické kompatibility [2]

1.3.1 Elektromagnetická interference

Elektromagnetická interference (Electromagnetic Interference – EMI) je schopnost zařízení generovat elektromagnetické rušení, které se přenáší do rušených objektů prostřednictvím elektromagnetické vazby. Elektromagnetická interference se zabývá zejména:

- Identifikací zdrojů elektromagnetického rušení.
- Identifikací přenosových cest.
- Měřením elektromagnetických rušivých signálů.
- Popisem elektromagnetických rušivých signálů.

[2]

Elektromagnetické kompatibility se dosahuje především omezením přenosových cest mezi zdrojem rušení a rušeným objektem nebo technickými opatřeními na straně zdroje rušení. Elektromagnetická interference se tak zabývá hlavně příčinami rušení a jejich odstraňováním. [2]

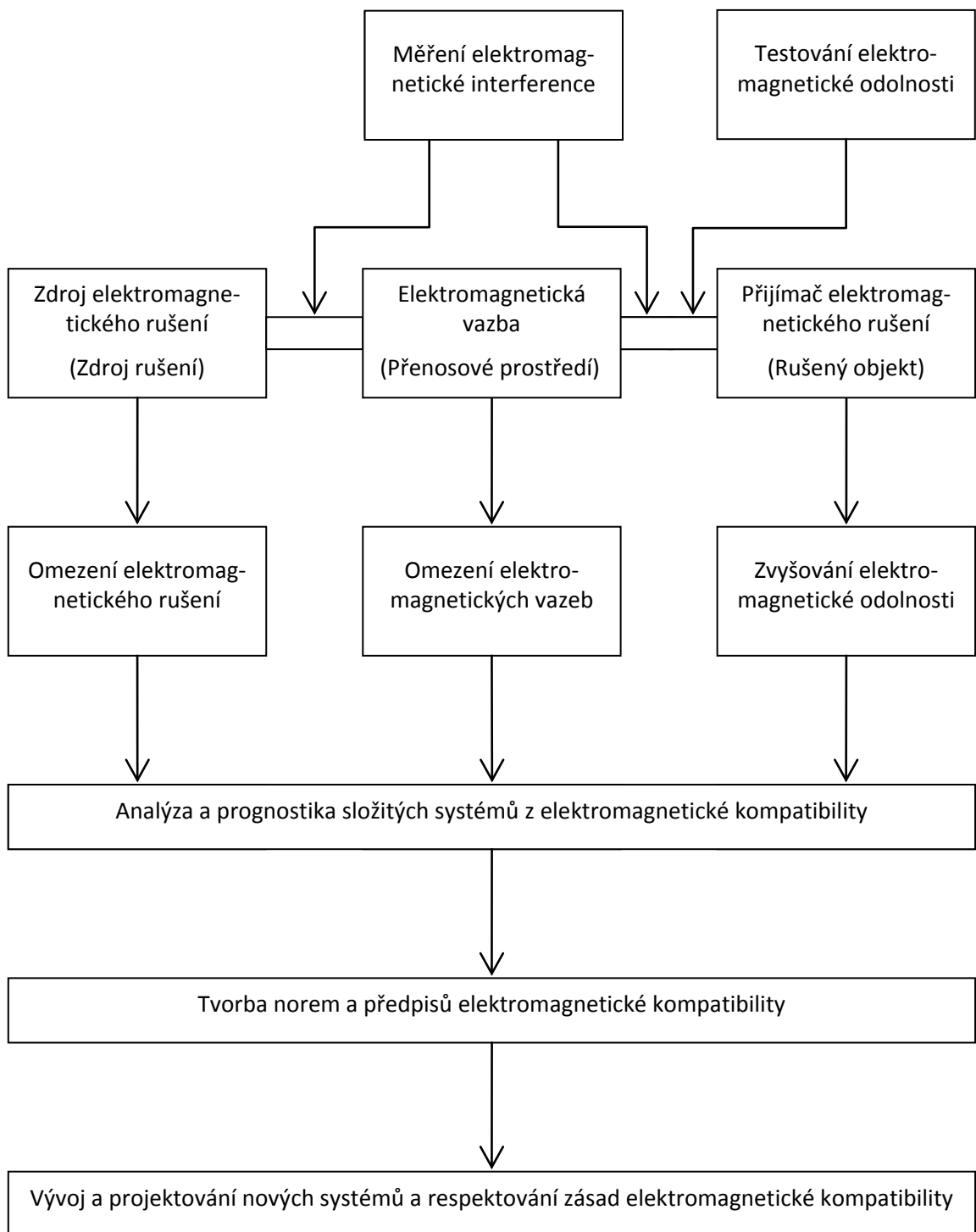
1.3.2 Elektromagnetická susceptibilita

Elektromagnetická susceptibilita (Electromagnetic Susceptibility – EMS) je schopnost zařízení vykazovat funkční činnost v prostředí, ve kterém se vyskytuje elektromagnetické rušení. Elektromagnetická susceptibilita se zabývá zejména:

- Technickými opatřeními, která zvyšují odolnost rušeného objektu vůči elektromagnetickému rušení.

[2]

Elektromagnetické kompatibility se dosahuje především aplikací technických opatření, která zvyšují odolnost rušeného objektu vůči elektromagnetickému rušení. Elektromagnetická susceptibilita se tak zabývá hlavně odstraňováním důsledků rušení, aniž by došlo k odstranění příčin rušení. [2]



Obr. 3 Podrobné rozdělení problematiky elektromagnetické kompatibility [4]

1.4 Základní pojmy elektromagnetické kompatibility

Pro každé zařízení definuje Mezinárodní elektrotechnický slovník ČSN IEC 50 základní pojmy týkající se elektromagnetické kompatibility:

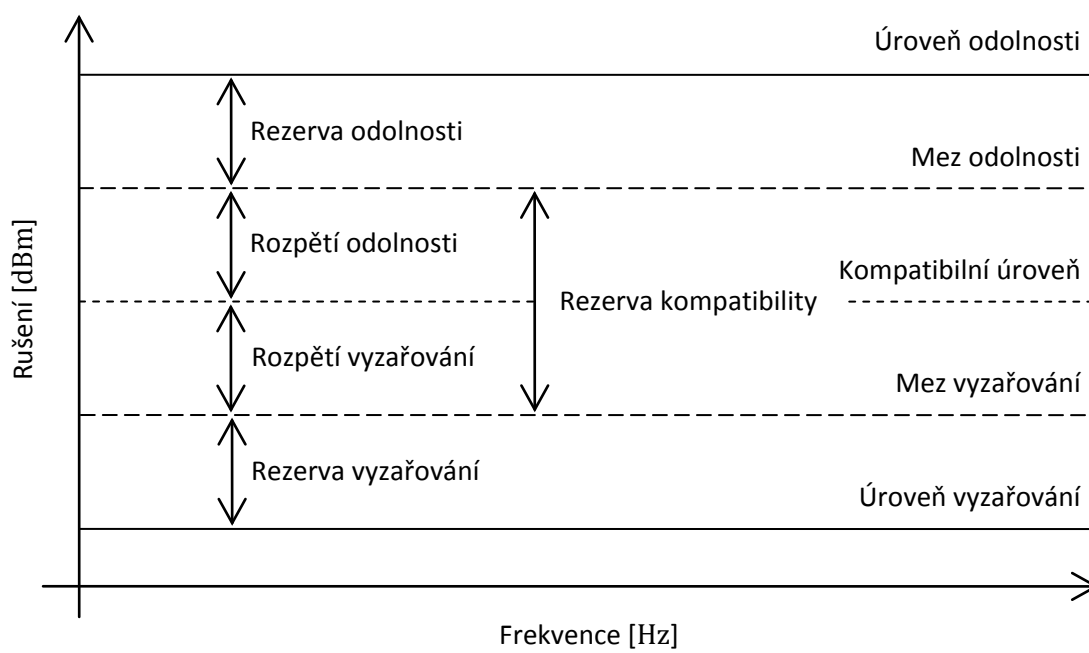
- Mez odolnosti: Představuje normou povolenou minimální úroveň odolnosti zařízení.
- Úroveň odolnosti: Představuje úroveň elektromagnetického rušení generovaného zařízením nebo systémem, při kterém nedochází k zhoršením parametrů přístroje nebo omezení funkčnosti.
- Rezerva odolnosti: Rozdíl meze odolnosti a úrovně odolnosti.
- Rozpětí odolnosti: Rozdíl kompatibilní úrovně a meze odolnosti.
- Mez vyzařování: Představuje normou povolenou maximální úroveň elektromagnetického rušení generovaného zařízením nebo systémem.
- Úroveň vyzařování: Představuje úroveň elektromagnetického rušení generovaného zařízením nebo systémem, měřeného určeným způsobem a vyjádřené např. v dBm¹ v závislosti na frekvenci.
- Rezerva vyzařování: Rozdíl meze vyzařování a úrovně vyzařování.
- Rozpětí vyzařování: Rozdíl kompatibilní úrovně a meze vyzařování.
- Kompatibilní úroveň: Představuje maximální úroveň elektromagnetického rušení, kterému bude vystaveno zařízení nebo systém.

[2] [5]

Aby testované zařízení splňovalo požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu, musí být úroveň elektromagnetického rušení generovaného zařízením nižší než mez vyzařování a úroveň elektromagnetické odolnosti zařízení musí být vyšší než mez odolnosti.

Další podmínkou je, aby mez odolnosti byla vyšší než mez vyzařování, aby bylo dosaženo dostatečného rozpětí elektromagnetické kompatibility zařízení. Velikosti rezerv nejsou nijak definovány a jejich stanovení záleží na návrhu a výrobci daného zařízení. [2]

¹ dBm představuje výkon vztahovaný k hodnotě 1 mW. ($P = 0$ dBm představuje výkon, který je přesně roven hodnotě 1 mW. Kladné nebo záporné hodnoty výkonu P vyjadřují, že výkon P je větší nebo menší než 1 mW.)



Obr. 4 Definice úrovní, mezi a rezerv odolnosti a vyzařování [2]

2 ELEKTROMAGNETICKÁ INTERFERENCE

Elektromagnetická interference (Electromagnetic Interference – EMI) je schopnost zařízení generovat rušivý signál, který se přenáší do rušených objektů prostřednictvím elektromagnetické vazby. Elektromagnetická interference se zabývá zejména:

- Identifikací zdrojů rušení.
- Identifikací přenosových cest.
- Měřením rušivých signálů.
- Popisem rušivých signálů.

[2]

2.1 Zdroje rušení

Zařízení generující vyšší úroveň elektromagnetického rušení s vyšší odolností vůči elektromagnetickému rušení nazýváme interferenčním zdrojem neboli zdrojem rušení. [3]

Zdroje rušení můžeme rozdělit na:

- Zdroje elektromagnetického rušení šířené vedením.
- Zdroje elektromagnetického rušení šířené vyzařováním.

[4]

Elektromagnetické rušení můžeme rozdělit do následujících skupin:

- Přírodní (přirozené) rušení: Rušení vytvořené vnějšími přírodními vlivy. Vzniku zdrojů přirozeného rušení obvykle nelze zabránit.
- Umělé (technické) rušení: Rušení vytvořené technickými prostředky. Vzniku zdrojů technického rušení obvykle lze zabránit.
- Funkční (užitečné) rušení: Žádoucí elektromagnetické rušení vytvořené základní funkcí zařízení.
- Nefunkční (parazitní) rušení: Nežádoucí elektromagnetické rušení vytvořené základní funkcí zařízení.

- Impulzní rušení: Působí na rušený objekt časovou posloupností jednotlivých impulzů a přechodových jevů.
- Spojité rušení: Působí na rušený objekt spojitě, nejde o časovou posloupnost jednotlivých impulzů a přechodových jevů.
- Kvazi–impulzní rušení: Kombinace impulzního a spojitého rušení.

[2] [4]

Elektromagnetické rušení vytvořené technickými prostředky můžeme rozdělit do následujících skupin:

- Šum (noise – N): Elektromagnetické rušení, které ovlivňuje tvar křivky napájecího napětí nebo užitečného signálu. Šum jako rušivý signál má obvykle periodický charakter. Zdrojem šumu jsou např. klasické svářečky, motory apod.
- Impulzy (spikes – S): Elektromagnetické rušení, které ovlivňuje tvar křivky napájecího napětí nebo užitečného signálu kladnými nebo zápornými impulzy. Impulzy jsou charakterizovány velkým poměrem velikosti amplitudy k době trvání. Zdrojem impulzů jsou např. kontaktní spínací přístroje apod.
- Přechodové jevy (transients – T): Elektromagnetické rušení, které ovlivňuje tvar obálky napájecího napětí nebo užitečného signálu. Přechodové jevy jsou charakterizovány dobou trvání od několika milisekund do několika sekund. Zdrojem přechodových jevů jsou např. náhlé změny zatížení způsobené při zapínání/vypínání zařízení velkých výkonů.

[2] [3]

Elektromagnetické rušení na základě šířky jejich frekvenčního spektra můžeme rozdělit do následujících skupin:

- Úzkopásmové rušení: Elektromagnetické rušení s úzkým rozsahem rušeného frekvenčního spektra.
- Šířkopásmové rušení: Elektromagnetické rušení s širokým rozsahem rušeného frekvenčního spektra.

[2]

Elektromagnetické rušení na základě jejich frekvence můžeme rozdělit do následujících skupin:

- Nízkofrekvenční rušení: Nízkofrekvenční rušení může být rozděleno na:
 - Energetické nízkofrekvenční rušení: Elektromagnetické rušení v pásmu 0 Hz – 2 kHz. Způsobuje zkreslení tvaru křivky napájecího napětí nebo užitečného signálu. Zdrojem rušení jsou téměř všechny nelineární zátěže připojené do napájecí sítě, které způsobují zkreslení tvaru křivky odebíraného proudu.
 - Akustické nízkofrekvenční rušení: Elektromagnetické rušení v pásmu do 10 kHz. Způsobuje rušení přenosových informačních systémů např. informační a sdělovací soustavy, měřicí a řídicí zařízení, rozhlas, telefon apod. Zdrojem rušení jsou měniče s polovodičovými součástkami, systémy pro číslicový přenos dat, radary apod.
- Vysokofrekvenční (rádiové) rušení: Elektromagnetické rušení v pásmu radiových frekvencí 10 kHz – 400 GHz. Zdrojem rušení jsou téměř všechny zdroje rušení, protože frekvence generovaného elektromagnetického rušení obvykle spadá do výše uvedené frekvenční oblasti.

[3]

3 ELEKTROMAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA

Elektromagnetická susceptibilita (Electromagnetic Susceptibility – EMS) je schopnost zařízení vykazovat funkční činnost v prostředí, ve kterém se vyskytuje elektromagnetické rušení. Elektromagnetická susceptibilita se zabývá zejména:

- Technickými opatřeními, která zvyšují odolnost rušeného objektu vůči elektromagnetickému rušení.

[2]

3.1 Způsoby omezení rušení

Problematika elektromagnetické kompatibility je velmi aktuální a vyžaduje komplexní přístup k jejímu řešení. Výrobci musí zajistit vzájemnou elektromagnetickou kompatibilitu všech instalovaných zařízení a navrhnout vhodné způsoby odrušení. [4]

Elektromagnetické rušení lze omezovat ve všech třech složkách základního řetězce elektromagnetické kompatibility viz (Obr. 1). Nejvýhodnějším způsobem je omezovat elektromagnetické rušení u samotného zdroje rušení, tím je zaručeno, že vyšetřovaný rušený objekt a ani další objekty ve společném elektromagnetickém prostředí nebudou rušeny. [2]

V praxi je často elektromagnetické rušení přijímáno spolu s užitečným signálem na vstupu přijímače. Pokud je elektromagnetické rušení přijímáno na stejném kmitočtu jako užitečný signál, je jediným způsobem omezit elektromagnetické rušení u samotného zdroje rušení. V ostatních případech můžeme elektromagnetické rušení omezovat na přenosových cestách, ale i na straně rušeného objektu. V případě, že je rušení funkčním parametrem zařízení nebo systému např. rozhlasový vysílač nebo televizní vysílač, nemůžeme omezovat elektromagnetické rušení u zdroje rušení. [2]

Technické prostředky používané k omezení elektromagnetického rušení v základním řetězci elektromagnetické kompatibility se nazývají odrušovací prostředky. Mohou být použity k omezení elektromagnetického rušení na straně zdroje rušení, ale i k zvýšení odolnosti na straně rušeného objektu. [2]

Mezi odrušovací prostředky patří:

- Odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry.
- Odrušovací tlumivky a jednoprvkové tlumivkové filtry.
- Odrušovací LC filtry.
- Přepět'ové ochranné prvky.
- Elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění.

[2]

Odrušovací prostředky volíme podle toho, o jaký typ elektromagnetické rušení se jedná. Rozlišujeme dva základní typy přenosu elektromagnetické rušení:

- Elektromagnetické rušení vedením: Mezi používané odrušovací prostředky patří odrušovací tlumivky a jednoprvkové tlumivkové filtry, odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry, odrušovací LC filtry a přepět'ové ochranné prvky.
- Elektromagnetické rušení vyzařováním: Mezi používané odrušovací prostředky patří elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění.

[2]

Vhodný odrušovací prostředek zvolíme na základě znalosti parametrů a funkce zařízení. Nevhodná volba odrušovacího prostředku může mít za následek zhoršení parametrů nebo funkční činnosti zařízení. V krajních případech může dojít až k ohrožení bezpečnosti obsluhy. Nevhodně zvolený odrušovací prostředek tak může zvýšit úroveň elektromagnetického rušení a navíc aplikace nevhodně zvolených prostředků nepřináší požadovaný efekt.

[2]

3.1.1 Návrh a konstrukce

Základním způsobem omezení elektromagnetického rušení je vhodný návrh a konstrukce základních součástí zařízení např. desky plošného spoje, uspořádání napájecího vedení, uspořádání propojení, uspořádání součástek apod. [4]

Vhodným návrhem a konstrukcí lze dosáhnout omezení elektromagnetického rušení a parazitních vazeb. Pokud jsou na desce plošného spoje umístěny analogové napájecí obvody spolu s digitálními, datovými nebo signálovými obvody, je vhodné napájet oba typy obvodů oddělenými zdroji napájení. [4]

Podobným způsobem postupujeme i v případě zemnění, které má být provedeno samostatně pro každý typ obvodů a spojeno jen v jednom zemním bodě tzn. na vstupních svorkách zdroje napájení nebo na zdroji napájení. Vhodný návrh a konstrukce základních součástí zařízení z hlediska elektromagnetické kompatibility nemusí nutně znamenat vyšší složitost návrhu. Využitím základních principů elektromagnetické kompatibility můžeme snížit požadavky na stínění obvodů nebo vodičů a na návrh a konstrukci krytu zařízení. [4]

Základní principy návrhu a konstrukce základních součástí zařízení z hlediska elektromagnetické kompatibility:

- Zdroj napájení musí obsahovat síťový odrušovací filtr nebo transformátor s jednoduchým nebo dvojitým uzemněním. Odrušovací filtr musí být umístěn tak, aby napájecí vodiče vstupovaly do zařízení pouze přes odrušovací filtr. Odrušovací filtr musí být vybaven krytem, který je spojen s krytem zařízení. Oddělovací transformátor musí být umístěn až za odrušovacím filtrem. Oddělovací transformátor může být vybaven krytem.
- Vodiče musí být umístěny tak, aby byly parazitní vazby co nejmenší. Vliv parazitních vazeb závisí zejména na délce vodičů, stínění a zemnění. Vodiče můžeme rozdělit do několika skupin:
 - Vodiče pro analogové signály přenášející proud nad 1 A v přechodovém nebo ustáleném stavu.
 - Vodiče pro analogové signály přenášející proud do 1 A v přechodovém nebo ustáleném stavu.
 - Vodiče pro digitální signály přenášející proud od 0,05 A do 1 A.
 - Vodiče propojující řídicí a signálové obvody.

[4]

Výše uvedené skupiny vodičů nesmí být společně vedeny v jednom svazku.

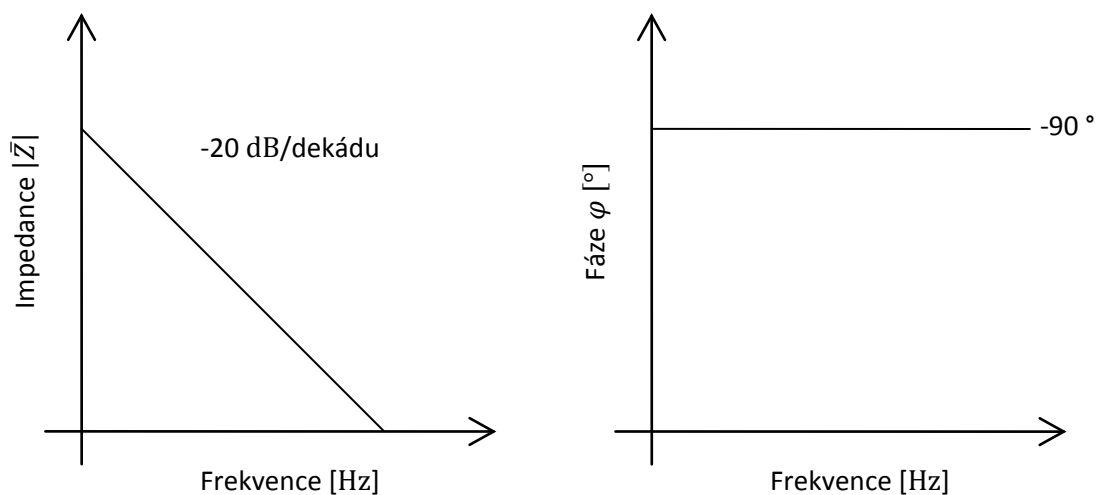
3.2 Rušení vedením

Rušení vedením je typem elektromagnetického rušení vysílaného zdrojem rušení po datových, napájecích nebo signálních vedeních. [4] Účinným prostředkem proti tomuto typu rušení jsou odrušovací kondenzátory, tlumivky a filtry, pomocí kterých můžeme omezit vyzařování elektromagnetického rušení na straně zdroje rušení nebo snížit dopad elektromagnetického rušení na rušený objekt. [2]

3.2.1 Odrušovací kondenzátory

Odrušovací kondenzátory představují pasivní odrušovací prostředky. Použity mohou být samostatně, spojené do určitých zapojení tzv. kondenzátorových filtrů nebo jako součást odrušovacích LC filtrů a RC článků. Odrušovací kondenzátory se zapojují paralelně k vnitřní impedanci rušeného objektu a zdroje napájení. [2]

Používají se k omezení vysokofrekvenčního elektromagnetického rušení. Princip funkce odrušovacích kondenzátorů je založen na jejich vlastnosti dosáhnou co nejmenší impedance se zvyšující se frekvencí. [4]



Obr. 5 Amplitudová a fázová frekvenční charakteristika ideálního kondenzátoru [6]

Kondenzátorové filtry jsou účinné, pokud je jejich kapacitní reaktance výrazně menší než vnitřní impedance rušeného objektu a zdroje napájení. Uplatnění tak nacházejí zejména v obvodech s vysokou impedancí. V obvodech s malou vnitřní impedancí rušeného objektu a zdroje napájení dochází k zhoršování odrušovacích parametrů. [2]

Důležitým parametrem odrušovacích kondenzátorů je parazitní indukčnost vývodů a jejich svodový odpor. Parazitní indukčnost vývodů způsobuje zhoršení odrušovacích parametrů, protože díky této parazitní indukčnosti vývodů se kondenzátor chová jako rezonanční obvod, s induktivním charakterem, kdy při zvyšování frekvence dochází k zhoršování odrušovacích parametrů. [3] [4]

Velikost kapacity odrušovacího kondenzátoru určíme na základě frekvence rušení, tzn. pro potlačení nízkofrekvenčních rušivých signálů, používáme kondenzátory s vyšší kapacitou. [2] [4] V případě širokopásmového rušení je vhodné použít více kondenzátorů menších hodnot spojených paralelně. [3] [4]

Dalšími důležitými parametry jsou parametry průrazu kondenzátoru, protože odrušovací kondenzátory provádí zkrat rušení na zem. [2]

Odrůšovacích kondenzátorů existuje velké množství, které můžeme rozdělit do dvou skupin podle bezpečnosti:

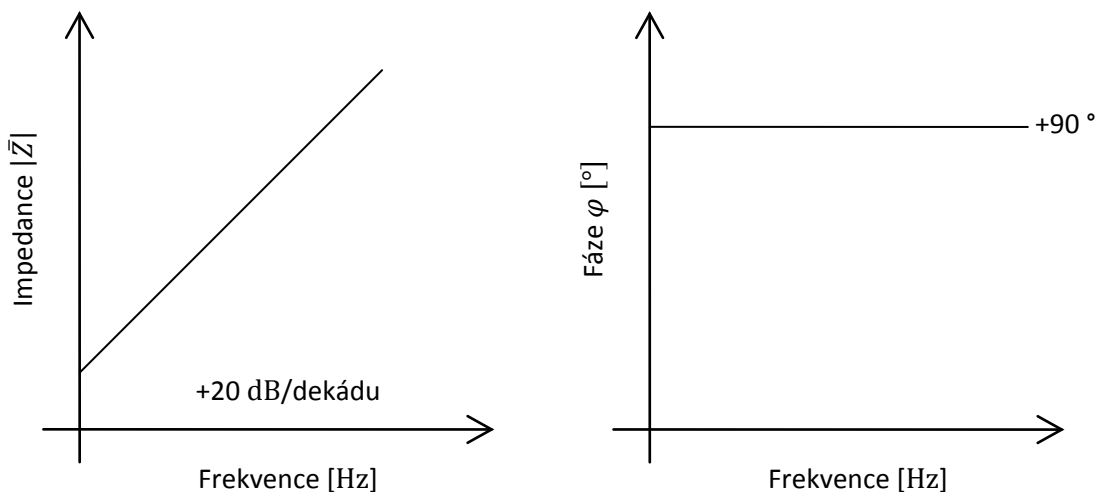
- Kondenzátory třídy X: Tyto odrušovací kondenzátory se používají v aplikacích, kde by mohl průraz kondenzátoru ohrozit zdraví obsluhy zařízení. Velikost kapacity není omezena a volí se podle požadovaných vlastností. Kondenzátory třídy X je možné dále dělit na:
 - Kondenzátory třídy X1: Tyto odrušovací kondenzátory se používají v aplikacích, kde přepět'ové špičky dosahují hodnot větší než 1,2 kV.
 - Kondenzátory třídy X2: Tyto odrušovací kondenzátory se používají v aplikacích, kde přepět'ové špičky dosahují hodnot menších než 1,2 kV.
- Kondenzátory třídy Y: Tyto odrušovací kondenzátory se zapojují mezi fázový a ochranný vodič nebo mezi fázový vodič a uzemněný kryt zařízení. Uplatnění nachází tedy v aplikacích, kde je omezena maximální přípustná hodnota svodového proudu.

[2] [4]

3.2.2 Odrušovací tlumivky

Odrůšovací tlumivky představují pasivní odrušovací prostředky. Použity mohou být samostatně nebo jako součást odrušovacích filtrů. Odrušovací tlumivky se zapojují do proudových obvodů rušeného objektu, jejich rozměry jsou tak odvozeny od velikosti protékajícího pracovního proudu. [2] [4]

Důležitým parametrem odrušovacích tlumivek je jejich indukčnost, která by měla být co nejvyšší. [4] Mezi další parametry patří ztrátový odpor vinutí a parazitní mezizávitová kapacita. Parazitní mezizávitová kapacita způsobuje zhoršení odrušovacích parametrů, protože díky této parazitní mezizávitové kapacitě se tlumivka chová jako rezonanční obvod s kapacitním charakterem, kdy při zvyšování frekvence dochází k zhoršování odrušovacích parametrů. [2] [4]



Obr. 6 Amplitudová a fázová frekvenční charakteristika ideální cívky [6]

Dalším důležitým parametrem je činitel jakosti, který ovlivňuje velikost ztrát a průběh kmitočtové závislosti. V odrušovací technice je snahou mít přechod bodem rezonance co nejpozdvolnější tzn. mít co nejmenší činitel jakosti. [3] [4] Činitel jakosti by měl být menší než jedna. V oblasti rezonančního kmitočtu, pak dochází k rozšíření šířky odrušovaného pásma. [2] [4]

Požadavky na odrušovací tlumivky:

- Velká indukčnost.
- Malá mezizávitová kapacita. (Vysoký rezonanční kmitočet.)
- Malý činitel jakosti. (Menší než jedna).
- Tvar magnetického jádra musí dosahovat nejvyšší indukčnosti při nejnižším počtu závitů.

[3] [4]

Konstrukční provedení a parametry tlumivky závisí na jejich použití a mohou se navzájem zásadně lišit. [3] Odrušovacích tlumivek existuje velké množství, které můžeme rozdělit do dvou skupin:

- Tlumivky pro potlačení symetrické složky rušení v napájecích obvodech: Tyto odrušovací tlumivky se zapojují do proudových vodičů, kterými protéká pracovní proud spolu s rušivým proudem. Magnetické jádro může být otevřené nebo uzavřené, další možností využití nemagnetického jádra nebo konstrukce odrušovacích tlumivek bez jádra.
- Tlumivky pro potlačení nesymetrické složky rušení v napájecích obvodech: Tyto odrušovací tlumivky využívají navinutí fázového a zpětného vodiče na stejném magnetickém jádru ve stejném směru tak, aby jejich protifázové rušivé proudy měly opačný směr magnetického toku. Výsledná indukčnost je tak téměř nulová, protože magnetické toky se navzájem vruší.

[2] [3] [4]

3.2.3 Odrušovací filtry

Odrušovací filtry představují dokonalejší formu ochrany proti rušení. Používají se nejčastěji ve formě odrušovacích RC článků nebo LC filtrů typu dolní propust. Tento typ filtrů propouští signály o kmitočtu menším než je mezní frekvence a naopak potlačuje signály s frekvencí vyšší než je mezní frekvence. [2] [4]

Odrušovací filtry můžeme rozdělit do několika skupin:

- C filtry: Odrušovací filtr sestavený z kombinace různých kondenzátorů.
- LC filtry: Odrušovací filtry sestavené z kombinace různých cívek a kondenzátorů. Většina LC filtrů je sestavena ze Zobelových základních L, π , T článků nebo jejich kombinací.

[4]

Důležitým parametrem odrušovacích filtrů je jejich útlum. Odrušovací filtr se připojuje ke zdroji rušení a jeho vstupní svorky slouží jako vstupní svorky rušeného objektu. [4]

Podle konstrukce můžeme rozdělit odrušovací filtry na:

- Normální: Odrušovací filtry s kovovým krytem krychlového nebo válcového tvaru. Kryt je spojen s ochranným vodičem sítě.
- Průchodkové: Odrušovací filtry skládající se z širokopásmových π článků, sestavených z kondenzátorů třídy X nebo Y a cívk s feromagnetickým jádrem

[4]

Sít'ové odrušovací filtry

Sít'ové odrušovací filtry představují filtr zapojený do sítě nebo na výstup zdroje napájení a na výstupu filtru je připojen rušený objekt. [2] Používají se pro odrušení počítačů, řídicích systémů, terminálů apod. [4]

Vlastnosti filtru závisí na vlastních parametrech filtru, ale i na impedančních parametrech zdroje napájení a rušeného objektu. Neurčitost impedančních parametrů zdroje napájení a rušeného objektu způsobuje problémy při návrhu filtru, jejímž důsledkem je, že filtr vykazuje velké odchylky v odrušovacích parametrech filtru v závislosti na impedančních parametrech obvodu, v kterém je zapojen. Rozdíly mezi skutečným útlumem získaným měřením a uváděnou katalogovou hodnotou útlumu tak mohou dosahovat až několika desítek dB. Impedance sítě závisí na typu a provedení. [2]

Mezi další skutečnosti, které způsobují problémy při návrhu filtru, patří:

- Indukčnost odrušovacích tlumivek filtru: Indukčnost nesmí být vyšší než hodnota, při které by docházelo k úbytkům napětí vyšším než 1 – 2 % hodnoty napájecího napětí.
- Konstrukce: Odrušovací filtr musí být navržen tak, aby nedocházelo k zhoršování provozních podmínek rušeného objektu a ani napájecího nebo sít'ového zdroje. Mezi další konstrukční parametry filtru patří zejména rozměry a váha filtru.
- Parazitní vlastnosti: Útlum odrušovacího filtru s rostoucí frekvencí v nepropustném pásmu neustále vzrůstá. Parazitní vlastnosti tlumivek odrušovacích tlumivek a odrušovacích kondenzátorů omezují frekvenční vlastnosti filtrů, ale i jeho útlum. Při určitých frekvencích může dojít k situaci, kdy dolní propust se vlivem parazitní kapacity odrušovacích tlumivek a parazitní indukčnosti odrušovacích kondenzátorů změní na horní propust a dochází tak k zhoršování odrušovacích parametrů filtru.

[2] [3]

Síťové odrušovací filtry se připojují do sítě nebo na výstup zdroje napájení a na výstupu filtru je připojen rušený objekt. Zapojení musí být takové, aby signál ze síťového nebo napájecího zdroje procházel pouze přes odrušovací síťový filtr a neprocházel parazitními cestami kolem filtru. Pro správnou činnost odrušovacího síťového filtru je důležitá jeho celková konstrukce tzn. jeho vnitřní konstrukce, ale i jeho umístění na rušeném objektu. Odrušovací síťové filtry jsou obvykle chráněny kovovými stínícími kryty, které jsou navíc vždy spojeny s ochranným vodičem sítě. [2]

Speciální druhy odrušovacích filtrů

Speciální odrušovací filtry představují skupiny odrušovacích filtrů, které byly konstruovány pro ochranu datových a telekomunikačních zařízení, ale i proti rušení velké intenzity. Obvykle mají větší útlum a širší pracovní frekvenční pásmo než síťové filtry a jsou sestaveny ze složitějších součástí. [3]

Tato skupina filtrů zahrnuje:

- Filtry LEMP²: Představují filtry konstruované pro ochranu před rušením vyvolaným přepětím, které bylo způsobeno bouřkou.
- Filtry NEMP³: Představují filtry konstruované pro ochranu před rušením vyvolaným jaderným výbuchem.

Tyto filtry jsou konstrukčně podobné odrušovacím síťovým filtrům, navíc mají na svém vstupu zapojeny filtrační články, několikasupňové přepětíové ochrany složené ze součástek, které brání vzniku přepětí, jako jsou např. bleskojistky, ochranné diody apod. Vyznačují se zejména velmi rychlou odezvou a vyšší napětíovou a proudovou zatížitelností. [3] Filtry jsou obvykle chráněny kvalitními kryty odolnými vůči elektromagnetickému rušení. [2]

² Lightning Electromagnetic Pulse: Elektromagnetické rušení vyvolané bleskem.

³ Nuclear Electromagnetic Pulse: Elektromagnetické rušení vyvolané jaderným výbuchem.

Další skupinou filtrů jsou:

- Filtry TEMPEST⁴: Představují filtry konstruované pro ochranu před únikem dat a informací přenášených zařízeními pro přenos dat a telekomunikačními zařízeními. [2] Vyznačují velkým útlumem, až 100 dB, zejména na frekvenci chráněného signálu. Skládají se z mnohastupňového řetězce odrušovacích LC filtrů. Filtry TEMPEST jsou obvykle chráněny kvalitními, hermeticky uzavřenými kryty odolnými vůči elektromagnetickému rušení. [3]
- Datové filtry: Představují filtry konstruované pro ochranu před rušením na datových, signálových a telekomunikačních vedeních.

[2] [4]

3.3 Rušení vyzařováním

Rušení vyzařováním je typem elektromagnetického rušení vysílaného zdrojem rušení v podobě elektromagnetických vln. Účinným prostředkem proti tomuto typu rušení je elektromagnetické stínění, pomocí kterého můžeme omezit vyzařování elektromagnetického rušení na straně zdroje rušení nebo snížit dopad elektromagnetického rušení na rušený objekt. [2]

3.3.1 Stínění

Elektromagnetické stínění představuje pasivní odrušovací prostředek, který vytváří tzv. účelovou stínicí bariéru. [3]

Elektromagnetické stínění umožňuje omezit vyzařování elektromagnetického rušení na straně zdroje rušení, ale i snížit dopad elektromagnetického rušení na rušený objekt. [2]

Technické prostředky používané k omezení rušení se nazývají stínění nebo stínicí kryty. Slouží zejména k snížení účinků kontinuálního nebo impulzního charakteru elektromagnetického pole ve vymezeném prostoru. Elektromagnetické stínění bychom měli používat až v případech, kdy nejsme schopni žádným jiným způsobem dosáhnout elektromagnetické kompatibility rušeného objektu. [2]

⁴ Temporary Emanation and Spurious Transmission: Přečodné úniky a nepravé přenosy. Technická opatření k zamezení úniku a zcizení elektromagneticky přenášených dat a informací.

Zařízení nebo systémy jsou obvykle vybaveny mechanickou konstrukcí nebo krytem, který vytváří základ pro uspořádání jednotlivých prvků a systémových vazeb mezi těmito prvky. Slouží také zejména k zvýšení odolnosti zařízení proti:

- Vnější klimatickým podmínkám jako je např. teplota, tlak, vlhkost apod.
- Vnější dynamickým vlivům jako je např. akustický tlak, rázy, vibrace apod.
- Vnější chemickým vlivům.
- Vnějšímu elektromagnetickému rušení.

[3]

Vhodnou volbou materiálu, geometrické topologie, konstrukce a technologického zpracování slouží mechanická konstrukce nebo kryt jako elektromagnetické stínění, které snižuje dopad elektromagnetického rušení na rušený objekt. Úkolem elektromagnetického stínění je zejména zabránit průniku elektromagnetického rušení do prostorů vzájemně mechanicky oddělených stínícími materiály. [3]

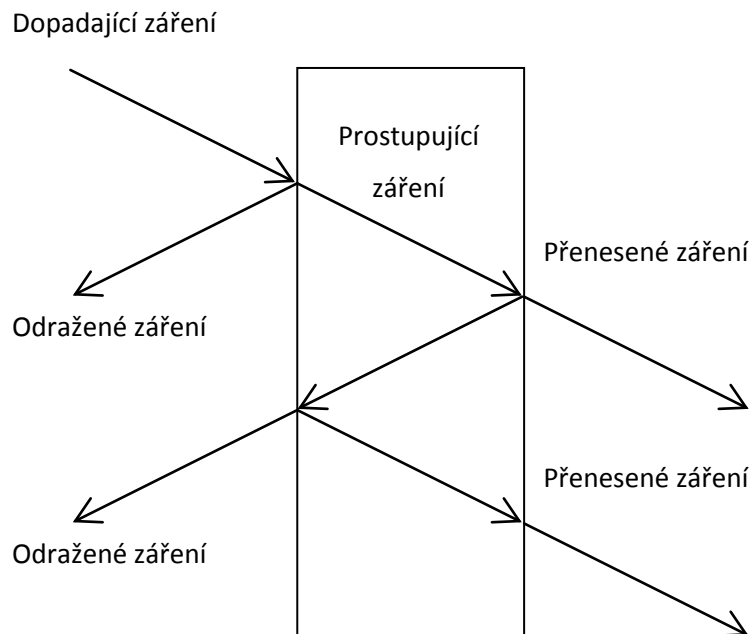
Při návrhu elektromagnetického stínění je potřeba brát v úvahu elektrické, ale také materiálové vlastnosti materiálu a jeho možnosti zpracování, protože elektromagnetické stínění, které je součástí mechanické konstrukce, musí vytvářet bariéry i proti šíření jiných druhů rušení jako jsou např. vibrace a vlhkost. Zvyšování odolnosti proti elektromagnetickému rušení může vést ke snižování odolnosti proti jiným vnějším vlivům a naopak, z tohoto důvodu je nutné při výběru vhodného materiálu udělat kompromis. Příkladem může být použití voštinových mřížek do ventilačních systémů, kdy dochází k zlepšení odolnosti vůči elektromagnetickému rušení při současném zhoršení ventilace prostoru. [3]

Pro vytváření elektromagnetického stínění se nejčastěji používají kovové materiály např. mřížky, plechy apod., další možnosti jsou např. vodivé polymery. Elektromagnetické pole se na rozhraní vzduchu a elektromagnetického stínění chová podle Snellova zákona⁵. [3]

Mezi stínění malých rozměrů lze zařadit stínící kryty elektroniky, informačních systémů, komunikačních systémů, měřících přístrojů a řídicích systémů, které mají obvykle krychlový tvar. [3]

Kromě stínění výše uvedených zařízení je nutné stínit také datové a signálové vodiče. [4]

⁵ Snellův zákon: Základní zákon popisující šíření elektromagnetického vlnění přecházející z jednoho prostředí do druhého.



Obr. 7 Mnohonásobné odrazy uvnitř stínění [6]

Nehomogenity materiálu

Při narušení homogenity elektromagnetického stínění dochází k průchodu elektromagnetického rušení přes vzniklou nehomogenitu materiálu elektromagnetického stínění. Typickými příklady jsou např. nedokonalé přepletování dílů kovového obložení, netěsnosti okolo oken a dveří a ventilační plochy ve stínících pláštích. Všechny tyto nehomogenity jsou významným parametrem, který ovlivňuje výslednou kvalitu elektromagnetického stínění. [3]

Hlavní příčiny netěsností můžeme shrnout do několika skupin:

- Otvory a otevřené stínící plochy: Dveře, netěsnosti v dosedacích a spojovacích prvcích, okna, přístupové panely, vstupní otvory pro vodiče a mechanické ovladače a vzduchová ventilace apod.
- Oblasti vysoké impedance stínění: Vodivě nedokonalá spojení jednotlivých částí stínění, vrstva rzi mezi kovovými pláty stínění, změna vodivosti mezi kovovým pláštěm a okenním výhledem v něm krytým vodivým sklem při požadavku vizuální kontroly apod.

- Vstupy vodičů, přípojných vedení a jiných propojovacích struktur: Datové, signálové a napájecí vodiče, topení, vodovod apod.

[2][3]

Průchod elektromagnetického rušení přes nehomogenitu materiálu nezávisí na ploše homogenity, ale jejím lineárním rozměru. Z tohoto vyplývá, že velké množství malých nehomogenit materiálu způsobí menší průchod elektromagnetického rušení než jedna velká nehomogenita materiálu o stejné celkové ploše. [3]

Na kvalitu elektromagnetického stínění mají vliv zejména otvory a technologické průcho-
dy, které jsou vytvářeny na homogenní stínící ploše. Při konstrukci elektromagnetického stínění vznikají, kromě úmyslně vytvářených montážních, prosvětlovacích, průvlekových a jiných podobných otvorů také průchozí netěsnosti, které vznikají v důsledku nedokonalého spojení dílčích stínících ploch elektromagnetického stínění. Tyto netěsnosti vznikají např. špatným opracováním kovových desek, čímž může dojít k výraznému snížení odrušova-
cích parametrů elektromagnetického stínění. [2]

Vliv těchto netěsností je možné potlačit např. dlouhým vzájemným překryvem kovových desek, čímž dojde k opětovnému zvýšení odrušovacích parametrů elektromagnetického stínění. [2]

Další netěsnosti mohou vznikat u elektromagnetického stínění přístrojového a skříňového typu v místech mechanických spojů. V takovýchto případech se ke zlepšení odrušovacích parametrů používá elastických a vysoce vodivých materiálů jako jsou např. různé pasty a silikony, které jsou nanášeny do míst spojení a mechanickým tlakem spojovacích částí vyplní vzniklé netěsnosti. Tato technika nachází uplatnění zejména v oblastech, kde je nutné z hlediska údržby, rozebrat elektromagnetické stínění a poté jej znovu sestavit. [2]

Vodivý kontakt musí být dodržen u často otevíraných prvků do zařízení, systému nebo dveří do místností. V zavřeném stavu tyto prvky musí zajišťovat dokonalou elektromagnetickou těsnost. Elektromagnetické těsnosti můžeme dosáhnout pomocí:

- Pohyblivých kontaktů.
- Pružinových kontaktů.

[2]

Okna musí zajistit dostatečnou prostupnost světla, pro osvětlení a pozorování a zároveň poskytovat dostatečnou ochranu proti elektromagnetickému rušení. Okna se konstruují dvěma způsoby:

- Mezi dvě transparentní plastické nebo skleněné plochy se vloží tenká kovová síťka.
- Na transparentní plastickou nebo skleněnou plochu se nanese tenký vodivý film. Možné je také provedení jako v předchozím případě, kdy tenký vodivý film vložíme mezi dvě transparentní plastické nebo skleněné plochy z důvodu zamezení opotřebení způsobeným vnějšími vlivy nebo mechanickým poškozením.

[3]

Tloušťka vrstvy nanášeného filmu se závisí na požadovaných odrušovacích parametrech. Filmy je možné nanášet několika způsoby:

- Vodivé nátěry.
- Vakuové napařování.
- Chemické nanášení.
- Obloukové rozprašování.

[3]

Technologie nanášení je zvolena tak, aby bylo dosaženo rovnoměrné a dostatečné vrstvy filmu, kvalitního přechodu mezi filmem a jinými prvky elektromagnetického stínění a stability filmu po dobu životnosti zařízení. [3]

V obou výše uvedených případech je nutné nalézt kompromis mezi tloušťkou stínění a světelnou propustností. Důležitým parametrem je dobrý vodivý kontakt mezi tenkým filmem nebo síťkou a kovovým pláštěm zařízení. Při návrhu plastového obalu s kovovým filmem postupujeme podobným způsobem jako v případě návrhu kovového stínícího pláště. [3]

3.3.2 Zemnění

Zemnění vytváří dočasné nebo trvalé vodivé spojení zařízení se zemí. Zemnění se vytváří zejména z:

- Ochranných důvodů.
- Provozních důvodů.

[3]

Zemní vodiče musí být vedeny nekratší cestou k společnému zemnímu bodu, který je spojen nejkratší cestou se zemním zařízením. Zemní vodiče musí mít dostatečný průřez a velmi malý odpor. Zemní vodiče můžeme podobně jako v případě normálních vodičů rozdělit do několika skupin:

- Zemní vodiče nízko úrovně obvodů.
- Zemní vodiče výkonových obvodů.
- Zemní vodiče konstrukcí.

[4]

Výše uvedené skupiny zemních vodičů připojujeme samostatně. [4]

Zemnění vytváříme jako ochranu proti stanovenému frekvenčnímu pásmu elektromagnetického rušení. Podle frekvenčního pásma dělíme stínění na:

- Nízkofrekvenční zemnění – NF: Nízkofrekvenčního zemnění se používá u výkonových zařízení a systémů v normalizovaných soustavách $3 \times 230/400$ V s frekvencí 50 Hz. Případně v normalizovaných soustavách s kmitočty 400, 500 Hz a 1 kHz.
- Vysokofrekvenční zemnění – VF: Vysokofrekvenčního zemnění se používá u výkonových zařízení a systémů v normalizovaných soustavách s kmitočty nad 10 kHz.

[3]

Nízkofrekvenční zemnění

Nízkofrekvenčního zemnění se používá u výkonových zařízení a systémů v normalizovaných soustavách $3 \times 230/400$ V z následujících důvodů:

- Ustálení napětí soustavy proti zemi.
- Ochrana před průnikem napětí u sítě nad 1 000 V do sítě s napětím pod 1 000 V.
- Ochrana před atmosférickým rušením.

[3]

Požadavky na nízkofrekvenční zemnění se stanovují podle mezních hodnot celkového odporu uzemnění. [3]

Ochranné zemnění propojuje všechny neživé části zařízení a systémů, které při bezporuchovém provozu proud nevedou, tzn. izolátory, kovové části, pláště apod. V případě poruchy se, ale může na těchto částech objevit napětí, které by mohlo být pro obsluhu zařízení nebezpečné. V takovýchto případech je nutné zabezpečit, aby odpor uzemnění byl co nejmenší. Abychom omezili riziko dotykového a krokového napětí, je vhodné vytvořit společnou uzemňovací soustavu, která zajišťuje vyrovnaní potenciálu a zmenšení nebezpečí dotykového a krokového napětí. Riziko dotykového a krokového napětí lze omezit pomocí obvodových zemničů a zhušťování mřížových sítí. Optimální velikost ok sítě je 4×4 až 8×8 m. [3]

V praxi se pro uzemnění zařízení nejčastěji používají:

- Strojené zemniče: Jako strojené zemniče se používají kovové desky, pásy, trubky apod.
- Náhodné zemniče: Jako náhodné zemniče se používají ocelové konstrukce budov, uzemněná kovová vodovodní potrubí, uzemněné kovové pláště kabelů apod.

[3]

Konstrukce a technologické zpracování nízkofrekvenčního zemnění musí zajišťovat zejména stálost a životnost s ohledem na kvalitu spojování svodů a zemničů, změny povrchu vodivých částí a omezení vlivu koroze. Korozní vlivy je možné omezit volbou vhodné kombinace spojovacích materiálů. [3]

K posouzení účinnosti nízkofrekvenčního zemnění se používá hodnota přechodového odporu mezi zemničem a zemí. Pro nízkofrekvenční zemničí soustavu je důležitým parametrem rezistence, požadavky na frekvenčně závislé složky impedance tzn. induktivní reaktance a kapacitní reaktance se obvykle neuvádějí, protože jejich vliv lze pro malé frekvence zanedbat. Pro vysoké frekvence nelze vliv frekvenčně závislých složek zanedbat a proto je řešení vysokofrekvenčního zemnění složitější. Vliv frekvenčně závislých složek je možné omezit na přípustnou úroveň za podmínky, že hodnota úhlové frekvence v uvažované části spektra bude menší než rezonanční frekvence. Tuto podmínku může splnit např. zmenšením indukčnosti a kapacity spojovacích pásků např. zmenšením jejich délky a zvětšením jejich šířky, čímž dosáhneme zvýšení rezonanční frekvence. [3]

Vysokofrekvenční zemnění

Cílem zemněního systému vyhovujícího požadavku na elektromagnetickou kompatibilitu je vytvoření účinné absorpční struktury, pro elektrický náboj, který se mění v závislosti na velikosti užitečného a rušivého proudu protékajícího systémem, aniž by docházelo k nepřipustným změnám zemněního potenciálu.

V obvodových schématech je absorberem obvykle:

- Kostra.
- Zemní bod.
- Zemní linka.

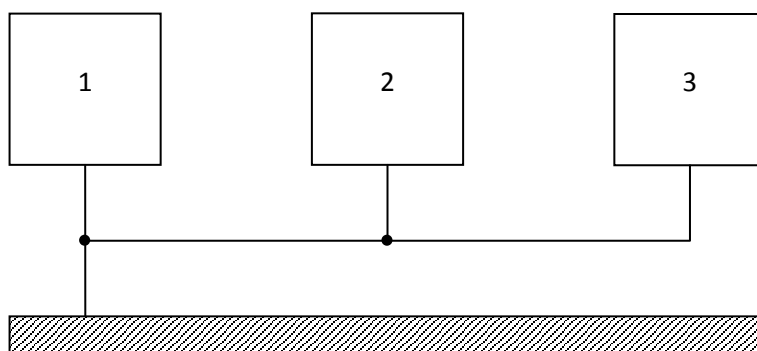
[3]

Ideální zemní plocha musí mít vysokou kapacitu a malou připojovací indukčnost jednotlivých funkčních prvků. Kapacita zemní plochy musí absorbovat všechny signály, aniž by přišla o schopnost další absorpce, z tohoto důvodu musí být absorpční plocha vyrobena z materiálu s nízkou impedancí a s dostatečnými rozměry.

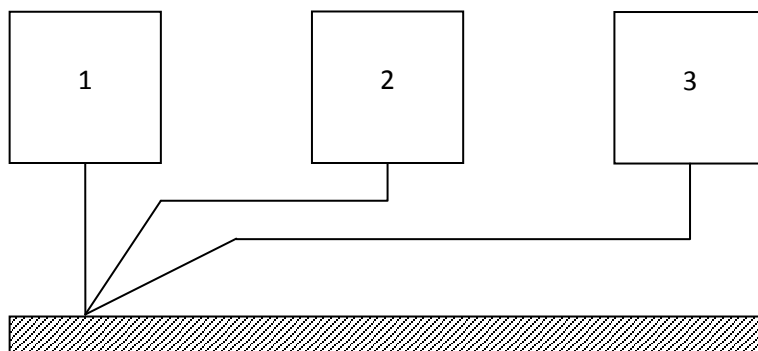
Používají se tři způsoby zemnění:

- Jednobodový zemní systém.
- Mnohabodový zemní systém.
- Systém s plovoucí zemí.

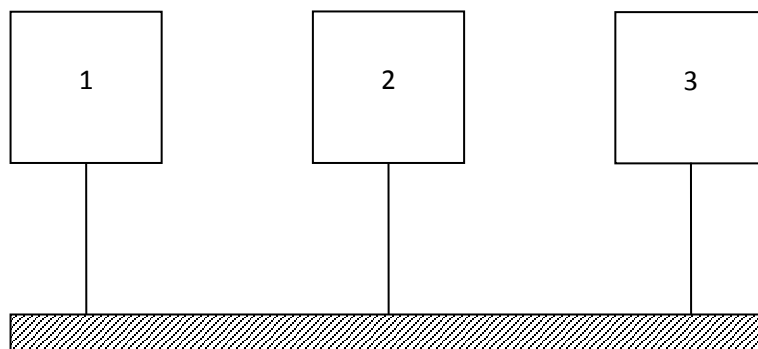
[3] [7]



Obr. 8 Jednobodový zemní systém – sériové zapojení [7]



Obr. 9 Jednobodový zemnicí systém – paralelní zapojení [7]



Obr. 10 Mnohabodový zemnicí systém [7]

Při návrhu spojovacích vodičů v soustavě vysokofrekvenčního zemnění musí být uvažovány následující skutečnosti:

- Vodiče používané v soustavě vysokofrekvenčního zemnění mají konečnou indukativní reaktanci, proto, abychom dosáhli nízké impedance, musí být vodiče krátké a široké. Další důležitou podmínkou je, aby byly vodiče pevně spojeny se zemnicí plochou. Všechny spoje by neměly být umístěny na okraji zemnicí plochy a měly by být umístěny v místech s minimálními hodnotami rozdílů potenciálů, které jsou vytvářeny svodovými proudy. Vodiče je proto výhodné vést tak, aby bylo možné využít míst s nízkým potenciálem na zemnicí ploše.

- Proud procházející vodičem vytváří magnetický tok okolo vodiče. Z tohoto důvodu, musí být zemnění stíněných částí provedeno tak, aby stínění nebylo použito jako zpětný vodič, tzn. zemnicí systém musí být izolován od stínění kromě zemnicího bodu. Zemnicí bod je jediným zemnicím spojením pro stínění.
- Jednobodové zemnění se používá i pro stínění vodičů. U vodičů s rostoucí pracovní frekvencí dochází ke zvyšování indukční reaktance vodiče. Z tohoto důvodu musí být délka spojovacího vodiče stínění menší než jedna šestina vlnové délky nejvyšší pracovní frekvence. V případě, že tuto podmínku nelze dodržet, můžeme stínění vodiče uzemnit na obou koncích vodiče, ale nesmíme přitom zapomenout na to, že stínění nesmí být zpětným vodičem. Další možností je vytvořit vícebodové zemnění stínění vodiče v intervalech menších, než je jedna šestina vlnové délky nejvyšší pracovní frekvence. Stíněné části desky plošného spoje by měly být stíněny přímo na stínící kryt, za této podmínky je dosaženo minimalizace vlivu indukční reaktance a maximalizace oddělovacích a stínících parametrů.
- Rezonanční kmitočet indukční reaktance spolu s kapacitní reaktancí velmi často spadá do pásma pracovních frekvencí. Tyto frekvence je možné zvýšit např. snížením rezistence, tzn. je vhodné rozmístit obvodové prvky tak, aby byla zpětná zemnicí cesta krátká. Další podmínkou je, aby bylo dosaženo minimálního křížení s jinými signálovými a zemnicími cestami z důvodu minimalizace vzájemných vazeb.
- Vazební cesty se začínají uplatňovat při vyšších frekvencích s rostoucím rezonančním potenciálem a s rostoucím vlivem skin efektu⁶. Hodnota povrchové impedance zemnicího vodiče závisí na úhlové frekvenci. S rostoucí úhlovou frekvencí je nutné pro minimalizaci povrchové impedance např. zmenšovat tloušťku a zvětšovat šířku zemnicího pásku. Povrchová impedance závisí kromě geometrie uspořádání také na materiálových konstantách.
- Zemnění použité pro signální vodiče musí být odděleny od zemnění pro silové napájení. Pro zmenšení vlivu rozdílných potenciálů se používá:
 - Oddělené zemnění pro signálová, stejnosměrná a střídavá napětí.
 - Přímé připojení zemnění k vodiči s nejmenší impedancí.

⁶ Skin efekt: Povrchový jev, při kterém dochází k vytlačování elektrického proudu k povrchu vodiče.

- Zamezení vytváření rozvětvených zemních sběrnic nebo vedlejších zemních smyček.
- Zamezení vytváření velkého počtu sériových spojů v zemnicí sběrnici a vytvoření kvalitního elektrického propojení.
- Vysokofrekvenční zemnění musí respektovat neporušenost stínění z hlediska průniku vysokofrekvenčního rušení.

[3]

3.4 Měření elektromagnetické odolnosti

Elektromagnetická susceptibilita rozlišuje dva základní typy elektromagnetické odolnosti zařízení:

- Externí elektromagnetická odolnost: Elektromagnetické rušení působící na zařízení nebo systém z okolního prostředí.
- Interní elektromagnetická odolnost: Elektromagnetické rušení působící uvnitř zařízení.

[2]

Zkoumaná zařízení a systémy můžeme rozdělit do několika skupin:

- Rozlehlé (dálkové) systémy: Jednotlivé části systému jsou od sebe vzdáleny. Externí elektromagnetickou odolnost tvoří odolnost těchto systémů vůči atmosférickým vlivům a rušení vznikající v napájecí síti. Interní elektromagnetickou odolnost tvoří odolnost vůči rušivým signálům vznikající při funkční činnosti jednotlivých částí systému, které se mohou šířit prostřednictvím datových a signálových cest. Mezi rozlehlé systémy můžeme zařadit např. dálková a místní vedení, přenosové systémy apod.
- Místní (lokální) systémy: Jednotlivé části systému se nachází uvnitř jedné budovy nebo místnosti. Zdrojem elektromagnetického rušení může být rušení vznikající v napájecí síti, ale i rušení, které vniká při vlastní funkční činnosti nebo funkční činnosti ostatních částí systému. Mezi místní systémy můžeme zařadit např. informační systémy, řídicí systémy, výpočetní systémy apod.

- Přístrojové systémy: Jednotlivé systémy přístrojového typu. Interní elektromagnetická odolnost závisí zejména na konstrukci a technologickém provedení:
 - Návrh obvodu a volba aktivních a pasivních elektronických prvků.
 - Návrh plošného spoje, uspořádání elektronických prvků a kabeláže.
 - Rozložení napájecí a signálové soustavy přístroje.
 - Návrh stínění a zemnění přístroje.
 - Volba typu napájení.
 - Volba stykových prvků na rozhraní.
 - Volba vhodného programového vybavení.

Mezi přístrojové systémy můžeme zařadit např. elektroniku, měřicí přístroje, počítače apod.

[2] [4]

Při zkoumání elektromagnetické odolnosti výše uvedených systémů vždy zkoumáme jak externí, tak interní zdroje elektromagnetického rušení. [4] Vzhledem k tomu, že existuje velké množství zdrojů elektromagnetického rušení viz kapitola 2.1, uvažujeme při zkoumání elektromagnetické odolnosti zařízení jen ty nejpravděpodobnější zdroje elektromagnetického rušení. [2] [4]

Místo, kterým vniká elektromagnetické rušení do zkoumaného zařízení, nazýváme branou průniku. Branou průniku mohou být např. komunikační a řídicí vodiče, svorky napájecího zdroje apod. [4] Pro zkoumané zařízení nebo systém je pak stanovena mez odolnosti pro každý vybraný typ rušení v závislosti na elektromagnetickém prostředí, ve kterém se nachází. [2] [4]

Pro posouzení výsledné elektromagnetické odolnosti zařízení vycházíme z následujících pravidel:

- Interní elektromagnetická odolnost systému závisí na interní odolnosti jednotlivých částí systému.
- Výsledná interní elektromagnetická odolnost systému je určena částí systému s nejnižší odolností proti elektromagnetickému rušení.

- Výsledná externí elektromagnetická odolnost systému může záviset na interní elektromagnetické odolnosti, protože může docházet k sčítání různých vlivů elektromagnetického rušení a snížit tak celkovou odolnost proti elektromagnetickému rušení.

[2] [4]

3.4.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti

Při zkoumání elektromagnetické odolnosti zařízení musíme předem znát nebo stanovit kritérium elektromagnetické odolnosti tzn. definované meze, při kterých dochází k narušení funkcí zkoumaného zařízení. Tyto meze mohou být definovány:

- Kvalitativně: Kvalitativní mez je definována změnou stavu nebo funkční činnosti zkoumaného zařízení. Změna funkční činnosti zkoumaného zařízení je definována jako zhoršení funkční činnosti během působení elektromagnetického rušení nebo jako důsledek působení elektromagnetického rušení, po jeho odstranění. Není zde měřena žádná elektrická veličina.
- Kvantitativně: Kvantitativní mez odolnosti je definována dosažením určitých hodnot elektrických veličin. Využívá se během vývoje elektronického zařízení, kdy zkoumáme vliv elektromagnetického rušení ve vybraných místech zapojení. Hodnotu sledované elektrické veličiny stanovíme analyticky nebo empiricky tak, aby neměla vliv na hodnotu užitečného signálu nebo nezpůsobovala nežádoucí změny stavů apod.

[2]

Rozlišujeme pět základních funkčních kritérií⁷:

- Funkční kritérium A: Zařízení nebo systém vykazuje správnou funkční činnost, v průběhu zkoušky a zároveň i po jejím ukončení.

⁷ Norma ČSN EN 61000-4-3 definuje čtyři funkční kritéria, která odpovídají zde uvedeným kritériím A, B, D a E.

- Funkční kritérium B: Zařízení nebo systém vykazuje správnou funkční činnost, v průběhu zkoušky dochází k změně funkční činnosti. Nesmí dojít k změně obsahu paměti nebo stavu zařízení. Po ukončení zkoušky se musí automaticky obnovit správná funkční činnost zařízení.
- Funkční kritérium C: Zařízení nebo systém vykazuje správnou funkční činnost, v průběhu zkoušky není plněna jedna nebo více funkčních činností zařízení. Po ukončení zkoušky se musí automaticky obnovit správná funkční činnost zařízení.
- Funkční kritérium D: Zařízení nebo systém vykazuje správnou funkční činnost, v průběhu zkoušky není plněna jedna nebo více funkčních činností zařízení. Po ukončení zkoušky se správná funkční činnost zařízení neobnoví automaticky. Správná funkční činnost zařízení musí být obnovena jednoduchým zásahem operátora.
- Funkční kritérium E: Zařízení nebo systém vykazuje správnou funkční činnost, v průběhu zkoušky není plněna jedna nebo více funkčních činností zařízení. Po ukončení zkoušky se správná funkční činnost zařízení neobnoví automaticky. Správná funkční činnost zařízení musí být obnovena opravou nebo výměnou části zařízení.

[2] [3]

Funkční kritéria je nutné v závislosti na konkrétním typu zařízení přesněji specifikovat tzn. charakterizovat změny funkční činnosti a typy jednotlivých poruch. [4] Výše uvedená funkční kritéria se používají pouze v některých oblastech elektromagnetické kompatibility.

V některých případech je totiž velmi složité rozlišit a posoudit, které kritérium zkoumané zařízení splňuje. V některých normách dokonce nemusí vybraná funkční kritéria existovat.

[2]

3.4.2 Zkoušky elektromagnetické odolnosti

Zkoušky elektromagnetické odolnosti zařízení se provádí ve vhodném elektromagnetickém prostředí. Reálné provozní prostředí zařízení není vhodné pro zkoušky elektromagnetické odolnosti, protože elektromagnetické rušení může být časově náhodně proměnné a nelze tak zajistit reprodukovatelnost naměřených výsledků. Z toho důvodu se zkoušky elektromagnetické odolnosti provádějí v umělém prostředí, v kterém je možné zajistit reprodukovatelnost naměřených výsledků. [4]

Reprodukovatelnosti naměřených výsledků je dosaženo:

- Nastavením parametrů umělého zdroje elektromagnetického rušení.
- Nastavením zkoušeného zařízení.
- Obvodové a blokové uspořádání pracoviště pro provádění měření.
- Prostorovým uspořádáním pracoviště pro provádění měření.

[2] [4]

Zkoušky elektromagnetické odolnosti se neprovádí pouze u hotových zařízení, ale i během jejich vývoje. [4]

3.4.3 Obecná metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti

Základním parametrem stanovení spolehlivost jednotlivých zařízení, systémů nebo jejich součástí je sledování vlastností elektromagnetické odolnosti. Tyto vlastnosti vychází z technických parametrů, zařízení, stanovených výrobcem. [4]

Elektromagnetická odolnost zařízení se stanovuje specifikací následujících parametrů:

- Brány průniku elektromagnetického rušení.
- Kategorie požadované odolnosti.
- Provozní stav zařízení, při kterém je elektromagnetická odolnost měřena.
- Přípustné účinky působení elektromagnetického rušení.
- Elektromagnetické rušení, které mohou zařízení nebo systém v provozních podmínkách ohrozit.

[4]

Výše uvedené parametry elektromagnetické odolnosti by měli stanovovat odborníci pro otázky elektromagnetické kompatibility, provozovatelé zařízení a výrobce. [4]

Zkoušky odolnosti mají definovaný průběh:

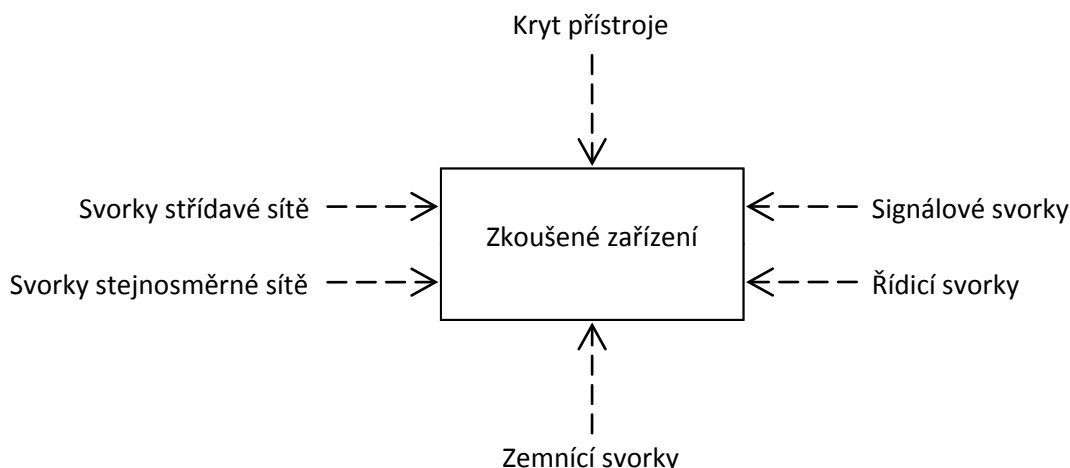
1. Stanovení požadavků zkoušky elektromagnetické odolnosti.
2. Provedení stanovených testů a zkoušek podle specifikace.
3. Vyhodnocení výsledků měření po každé zkoušce.
4. Vypracování dokumentace o každé vykonané zkoušce.

[2]

Před každou zkouškou elektromagnetické odolnosti je nutné provést následující kroky:

- Nastavit zdroje umělého elektromagnetického rušení: Na zkoušeném zařízení se neprovádějí všechny zkoušky elektromagnetické odolnosti. Při výběru vhodných zkoušek elektromagnetické odolnosti vycházíme z konkrétní situace a požadavků na zkoušené zařízení nebo systém. Realizují se pouze ty zkoušky elektromagnetické odolnosti, které simulují podmínky, které by mohly během provozu zařízení nastat. Základní druhy elektromagnetického rušení jsou odvozeny od skutečného elektromagnetického rušení, které se v reálném prostředí vyskytuje.
- Nastavit správnou konfiguraci a stav zkoušeného zařízení: Elektromagnetická odolnost zkoušeného zařízení musí být prokázána ve všech jeho provozních stavech. Nastavení konfigurace zkoušeného zařízení vychází z požadavku dosažení největší elektromagnetické citlivosti. Zkoušky elektromagnetické odolnosti se nejčastěji provádějí ve frekvenčním pásmu, které odpovídá jejich normální funkční činnosti.
- Nastavit možné přenosové cesty pro vstup elektromagnetického rušení do zkoušeného zařízení: Zkoušky elektromagnetické odolnosti se provádějí pro každý zjištěný vstup zařízení. Zkoušky elektromagnetické odolnosti se provádějí na vstupech, které jsou během normální funkční činnosti zařízení dostupné. Zkoušky elektromagnetické odolnosti se provádějí na jednotlivých vstupech samostatně a v libovolném pořadí.
- Určit požadovanou odolnost proti elektromagnetickému rušení zařízení: Požadovaná odolnost proti elektromagnetickému rušení závisí na vlastnostech prostředí, v kterém bude zařízení nebo systém pracovat.
- Určit požadovanou kategorii funkčních kritérií: Funkční kritéria je nutné v závislosti na konkrétním typu zařízení přesněji specifikovat tzn. charakterizovat změny funkční činnosti a typy jednotlivých poruch.

[2]



Obr. 11 Základní typy vstupů rušivých signálů do zkoušeného zařízení [2]

3.4.4 Zkušební signály

Zkušební signály pro zkoušky elektromagnetické odolnosti jsou generovány generátorem zkušebního elektromagnetického rušení. Generované zkušební elektromagnetické signály musí svými parametry, tzn. amplitudou, časovým průběhem a frekvencí napodobit skutečné elektromagnetické rušení. [2]

Generátory zkušebního elektromagnetického rušení můžeme rozdělit do následujících skupin:

- Generátory simulující poruchy v napájecí síti: Harmonické a mezipharmonické síťové napětí, impulsní poruchy, kolísání napájecího napětí, krátkodobé poklesy napájecího napětí, krátká přerušení napájecího napětí, rázové impulsy apod.
- Generátory simulující nízkoenergetické a vysokoenergetické impulzy: Tlumené oscilační vlny, skupiny rychlých přechodových jevů, vysokoenergetické rázové impulsy apod.
- Generátory simulující impulzy při vybíjení statické elektřiny: Elektrostatické výboje apod.
- Generátory magnetických polí: Magnetická pole apod.
- Generátory vysokofrekvenčních harmonických signálů: Vysokofrekvenční elektromagnetická pole apod.

[2]

4 POPIS PRACOVIŠTĚ PRO PROVÁDĚNÍ ZKOUŠEK

Většina zařízení je ovlivňována elektromagnetickým zářením. Elektromagnetické záření je obvykle generováno zdroji pro všeobecné účely, jako jsou malé sestavy vysílač/přijímač, které zajišťují bezpečnost, provoz, údržbu, rádiové a televizní vysílače a různé průmyslové zdroje elektromagnetického rušení. [8]

Elektromagnetické prostředí je určeno intenzitou elektromagnetického pole. Intenzitu elektromagnetického pole je bez vhodných přístrojů velmi složité měřit a vzhledem k účinkům jiných zařízení a okolních konstrukcí, které deformují nebo odrážejí elektromagnetické vlny, je velmi složité vypočítat vlastnosti elektromagnetického pole běžnými rovnicemi a vzorci. [8]

Tab. 1 Zkušební úrovně vztahující se na všeobecné účely [8]

Úroveň	Intenzita zkušebního pole V/m
1	1
2	3
3	10
4	30
X	Zvláštní
Poznámka: X je neomezená zkušební úroveň a její přidružená intenzita může mít jakoukoliv hodnotu. Tato zkušební úroveň může být dána v normě výrobku.	

4.1 Bezodrazové komory

Zkoušky elektromagnetické odolnosti musí být vzhledem k velikosti generovaného elektromagnetického pole prováděny ve stíněném prostoru tak, aby byly v souladu s různými národními a mezinárodními právními předpisy, které zakazují rušení rádiové komunikace. [8]

Většina zkušebních zařízení používaných k měření a sběru dat, je citlivá na místní elektromagnetického pole generované během provádění zkoušky elektromagnetické odolnosti. Stíněný kryt poskytuje nezbytnou „přehradu“ mezi zkoušeným zařízením a požadovanými zkušebními přístroji. [8]

Vzájemné propojení mezi zkoušeným zařízením a požadovanými zkušebními přístroji musí dostatečně tlumit elektromagnetické rušení a zachovat tak integritu signálů zkoušeného zařízení. [8]

Zkušební komora se obvykle skládá z absorberů stíněného prostoru. Rozměry zkušební komory musí být dostatečně velké pro umístění zkoušeného zařízení a zároveň musí umožňovat dostatečnou kontrolu nad intenzitou elektromagnetického pole. [8]

Základní typy zkušebních komor:

- Bezodrazové komory: Bezodrazové komora, kde jsou všechny vnitřní povrchy pokryty absorberý, které redukují odrazy od vnitřních povrchů.
- Polo–bezodrazové komory: Bezodrazová komora, kde jsou všechny vnitřní povrchy pokryty absorberý, kromě podlahy, která musí být odrazová.
- Modifikované polo–bezodrazové komory: Bezodrazová komora s přidavnými absorberý umístěnými na zemi.
- Úplně bezodrazové komory: Bezodrazové komora, kde jsou všechny vnitřní povrchy pokryty absorberý, včetně země.

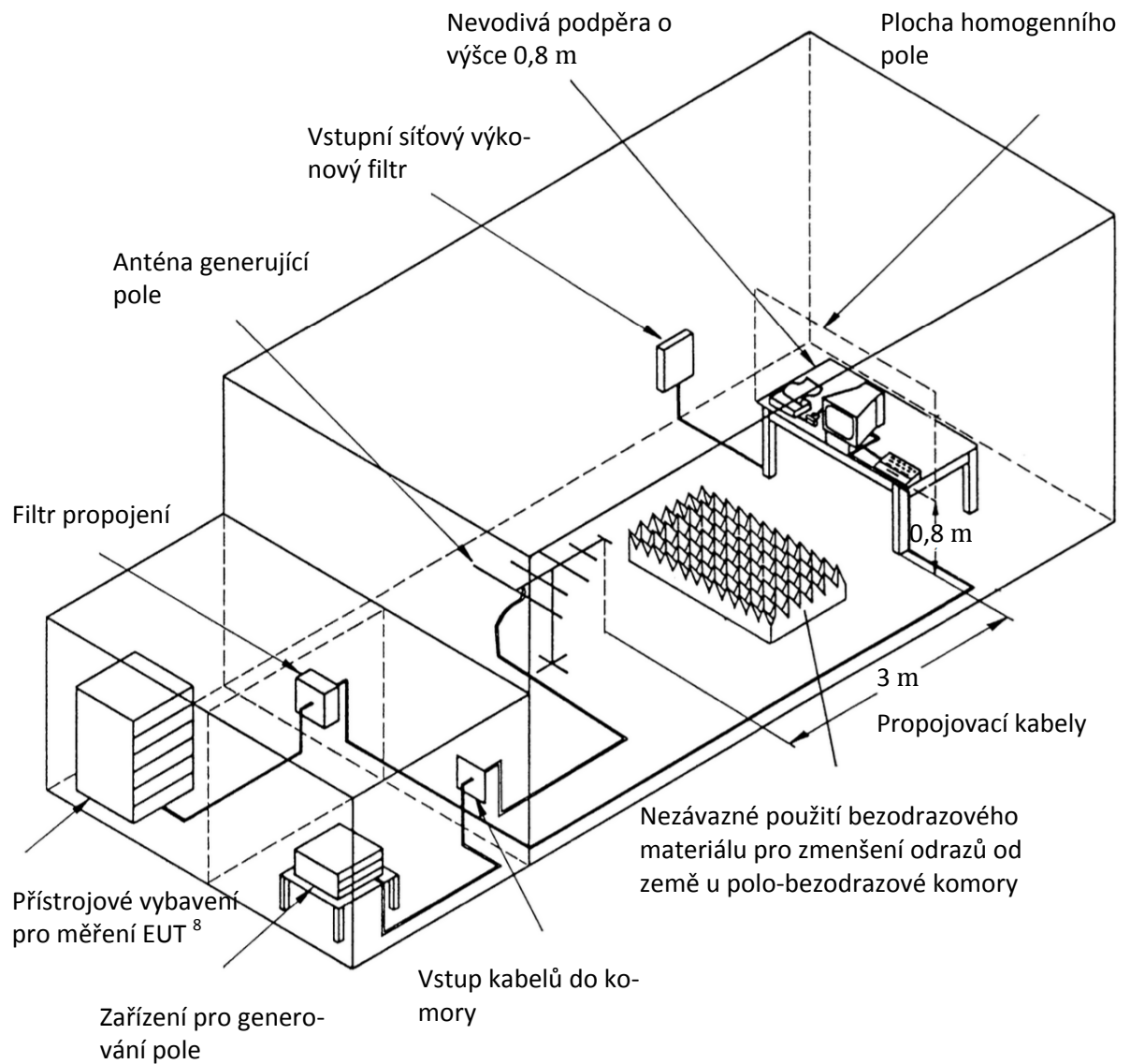
[8]

Bezodrazové komory jsou méně účinné při nižších frekvencích. [8]

Všechny zkoušky elektromagnetické odolnosti musí být prováděny v konfiguraci, které nejvíce odpovídá skutečným podmínkám. Zapojení musí být v souladu s doporučenými postupy výrobce. Zkoušené zařízení musí být umístěno ve zkušební komoře ve vlastním krytu a se všemi odnímatelnými částmi, pokud není uvedeno jinak. V případě, že zařízení je určeno pro montáž do panelu, stojanu nebo skříně, musí být testováno v této konfiguraci.

[8]

Kovová zemní rovina není vyžadována. Pokud je vyžadován prostředek k podepření zkoušeného zařízení nebo systému musí být vyroben z nekovového nebo nevodivého materiálu. Uzemnění krytu musí odpovídat způsobu instalace doporučeného výrobcem. [8]

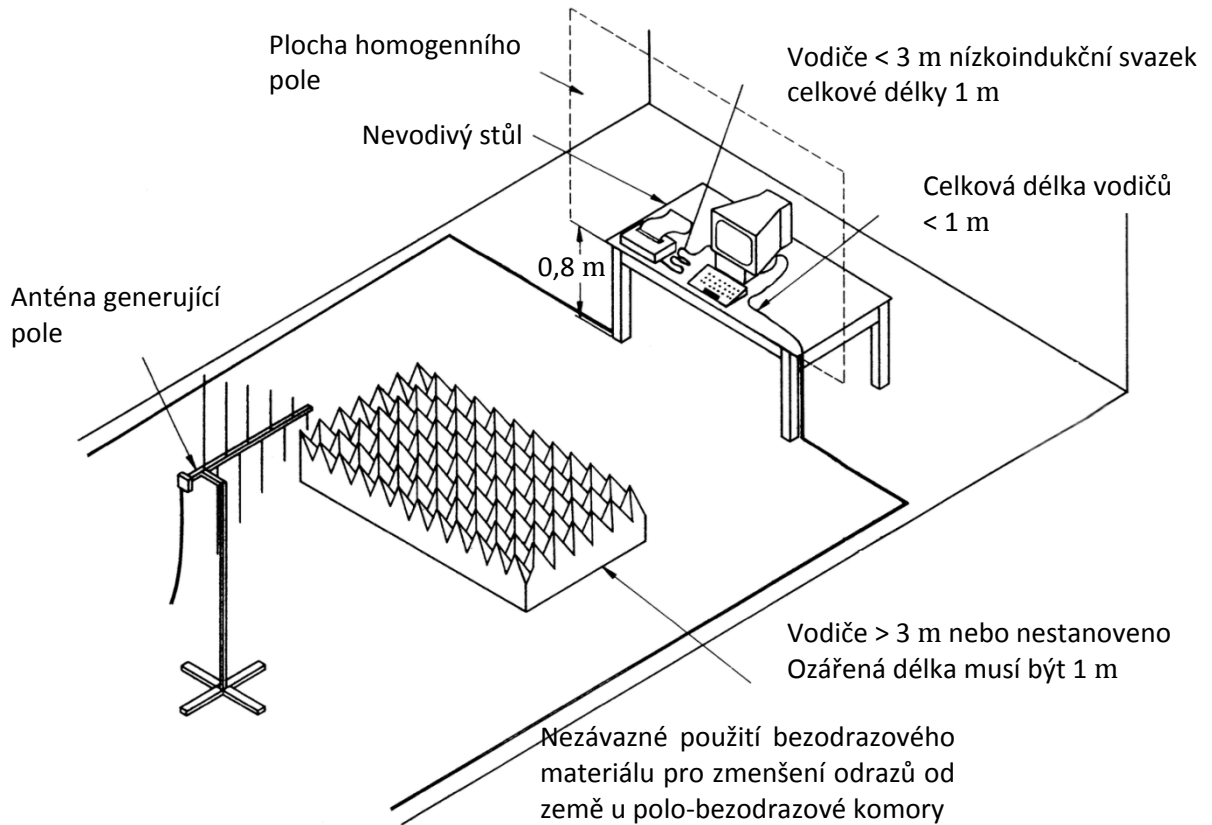


Obr. 12 Bezodrazová komora se zkoušeným zařízením a požadovanými zkušebními přístroji [8][9]

⁸ Equipment Under Test: Zkoušené zařízení.

4.2 Zkušební konfigurace pro zařízení na stole

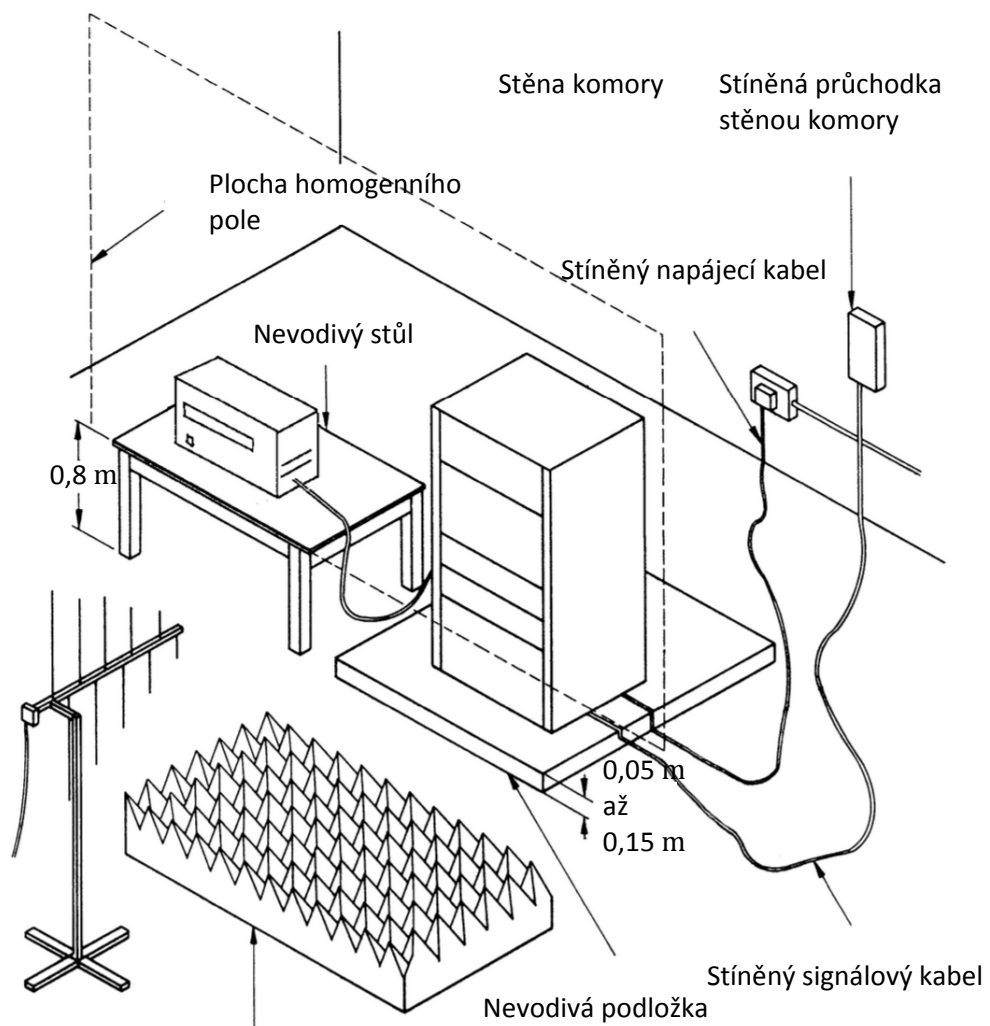
Zkoušené zařízení se umístí do zkušební komory na nevodivý stůl do výšky 0,8 m. Následně je k zařízení připojeno napájení, případně další datová a signálová vedení dle příslušných pokynů k instalaci. [8] [9]



Obr. 13 Bezodrazová komora se zkoušeným zařízením – Zkušební konfigurace pro zařízení na stole [8]

4.3 Zkušební konfigurace pro zařízení na podlaze

Zkoušené zařízení musí být upevněno na nevodivém povrchu ve výšce 0,05 m až 0,15 m nad nosnou rovinou. Použití nevodivého povrchu zabraňuje náhodnému uzemnění zkoušeného zařízení a zkreslení elektromagnetického pole. Zkoušené zařízení, které není příliš těžké nebo velké nebo jeho výška neohrožuje bezpečnost, může stát na nevodivém povrchu ve výšce 0,8 m. Následně je k zařízení připojeno napájení, případně další datová a signálová vedení dle příslušných pokynů k instalaci. [8] [9]



Nezávazné použití bezodrazového materiálu pro zmenšení odrazů od země u polo-bezodrazové komory

Obr. 14 Bezodrazová komora se zkoušeným zařízením – Zkušební konfigurace pro zařízení na podlaze [8]

4.4 Uspořádání vodičů

Vodiče musí být připojeny ke zkoušenému zařízení a umístěny na zkušební ploše podle montážního návodu výrobce a musí co nejvíce kopírovat typickou instalaci zkoušeného zařízení. Používají se konektory a vodiče specifikované výrobcem. [8]

Pokud není specifikován vodič pro vstup ne výstup z testovaného zařízení, musí být použity nestíněné paralelní vodiče. [8]

Pokud specifikace výrobce vyžaduje vodiče o délce menší nebo rovno 3 m, použijme vodič o dané specifikované délce. Pokud specifikace výrobce vyžaduje vodiče o délce větší 3 m nebo délka vodiče není specifikována, použijme vodič o délce, která bude co nejvíce kopírovat typickou instalaci zkoušeného zařízení. Pokud je to možné, minimálně 1 m vodiče musí být vystaven elektromagnetickému poli. Zbývající část vodiče propojující zkoušené zařízení může být svázána do svazku s nízkou indukčností o délce 30 až 40 cm. [8]

Pokud výbor výrobku určí, že přebytečná délka kabelu musí být oddělena, pak metoda použitá pro oddělení kabelu nesmí ohrozit provoz zkoušeného zařízení. [8]

4.5 Zkušební přístroje

Doporučeny jsou následující zkušební přístroje:

- Antény generující pole: Bikónická anténa, logaritmicko–periodická anténa, trychtýřová anténa a anténa s dvojitým vlnovodem. Mohou být použity i další typy antén, které vyhovují požadavkům na zkoumané frekvenční pásmo.
- Bezodrazová komora: Rozměry zkušební komory musí být dostatečně velké pro umístění zkoušeného zařízení a zároveň musí umožňovat dostatečnou kontrolu nad intenzitou elektromagnetického pole tzn. homogenitu a velikost. Pro utlumení odrazů v bezodrazových komorách, kde nejsou vnitřní povrchy pokryty absorbéry, mohou být použity dodatečné absorbéry.
- Filtry EMI: Filtry nesmí způsobovat parazitní rezonance na připojeném vedení.
- Filtry typu dolní propust': Filtry slouží pro vyloučení problémů způsobených harmonickými složkami.

- Izotropní čidlo pole: Čidlo s hlavním zesilovačem, optoelektronikou a spojovacím vedením vláknové optiky vedoucí k indikátoru mimo komoru, musí být odolné vůči intenzitě měřeného elektromagnetického pole. Může být použito vedení s filtrovaným signálem.
- Pomocné zařízení k záznamu úrovní výkonu: Nutné pro řízení generování a nastavení intenzity elektromagnetického pole pro účely zkoušky.
- Výkonové zesilovače: Zajišťují napájení antény, která vytváří požadovanou intenzitu elektromagnetického pole a pro zesilování modulovaného a nemodulovaného signálu.
- Vysokofrekvenční generátory: Generátory musí být schopny generovat zkoumané frekvenční pásmo. Musí umožňovat nastavení amplitudy, frekvence a modulace. V případě vysokofrekvenčních syntezátorů musí být programovatelné s frekvenčně závislými velikostmi skokových změn a časovými prodlevami.

[8]

4.6 Antény generující pole

Antény používané pro generování elektromagnetického pole:

- Bikónická anténa: Anténa se skládá z koaxiálního vinutého symetrizačního členu (balunu) a trojrozměrného prvku. Poskytuje široký frekvenční rozsah. Křivka činitele jakosti antény je v podstatě hladká křivka, která typicky vzrůstá s frekvencí. Může být použita pro vysílání, ale i přijímání.
- Logaritmicke–periodická anténa: Anténa se skládá z pole dipólů různých délek připojených na přenosové vedení. Poskytuje široký frekvenční rozsah. Vyznačují se poměrně vysokým ziskem a nízkým poměrem stojatých vln.
- Trychtýřová anténa a anténa s dvojitým vlnovodem: Antény slouží pro generování lineárně polarizovaného elektromagnetického pole. Používají se při frekvencích nad 1 000 MHz.

[8] [10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI

Při měření elektromagnetické odolnosti se postupuje podle postupů uvedených v příslušných normách řady ČSN EN 61000–4. Měření elektromagnetické odolnosti vůči vyzařovanému vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli probíhá podle normy ČSN EN61000–4–3.

Základními zjišťovanými parametry měřeného zařízení jsou elektromagnetická odolnost a spolehlivost. Pro dosažení požadovaných parametrů musí být provedeno dostatečné množství zkoušek elektromagnetické odolnosti. Mezi běžně používané zkoušky elektromagnetické odolnosti patří:

- Typové zkoušky.
- Výrobní zkoušky.
- Zkoušky návrhu během vývoje.
- Přejímací zkoušky.

[11]

Při měření elektromagnetické odolnosti postupujeme podle postupů uvedených v příslušných normách. Výběr normy pro měřené zařízení probíhá s následující prioritou:

- Specializovaná norma výrobku.
- Norma skupiny výrobků.
- Kmenová norma.

[11]

Při měření elektromagnetické odolnosti se zaměřujeme na poslední část řetězce elektromagnetické kompatibility, tzn. na rušený objekt viz (Obr. 2). Zbylé části řetězce elektromagnetické kompatibility musíme pro potřeby zkoušky elektromagnetické odolnosti vytvořit uměle. [11]

Zkoušky elektromagnetické odolnosti se skládají z následujících částí:

- Stanovení zkušebních mezí a úrovní.
- Popis zkušebního zařízení.
- Popis zkušební sestavy.
- Popis postupu zkoušky.
- Vyhodnocení výsledků.
- Protokol o zkoušce.

[11]

Zkouška elektromagnetické odolnosti probíhala v prostorách Vědecko–technického parku – Informačních a komunikačních technologií Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

Předmětem měření elektromagnetické odolnosti bylo testování odolnosti digitálního fotoaparátu vůči elektromagnetickému poli. Měření probíhalo v modifikované polo–bezodrazové komoře. Digitální fotoaparát byl vystaven amplitudově modulovanému elektromagnetickému poli.

5.1 Popis zkoušeného zařízení

Zkoušeným zařízením byl digitální fotoaparát. Jde o digitální zrcadlovku Nikon – D40 s objektivem NIKKOR AF–S 18 – 55 mm. Základní parametry digitálního fotoaparátu jsou popsány v tabulce viz (Tab. 2).



Obr. 15 Nikon D40 [12]

Tab. 2 Základní parametry digitálního fotoaparátu Nikon – D40 [13]

Parametry snímače APS-C	
Efektivní počet pixelů	6,1 Mpx
Obrazový snímač	23,7 × 15,6 mm, Celkový počet pixelů 6,24 milionu
Rozlišení fotografií	3008 × 2000, 2256 × 1496, 1504 × 1000
Poměr stran	3:2
Typ barevného filtru	RGB
Formát záznamu	NEF (RAW) komprimovaná 12 bitová data, JPEG standardní algoritmus JPEG
Optika fotoaparátu	
Ohnisková vzdálenost	18 – 55 mm
Rozsah clonových hodnot	f/3,5 – 22 (ohnisková vzdálenost 18 mm), f/5,6 – 38 (ohnisková vzdálenost 55 mm)
Zaostřování	
Režimy zaostřování	Single servo (AF-S), Continuous servo (AF-C), Automatická volba AF-S/AF-C (AF-A), Manuální (M)
Ostřicí vzdálenost	28 cm – Nekonečno
Elektronická část	
Citlivost ISO	200, 400, 800, 1600, HI1 (ISO 3200), AUTO ISO
Rychlost závěrky	30 – 1/4 000 s, Bulb
Ostatní	
Digitální výstup	USB 2.0, Video Out
Paměťové karty	SD/SDHC
Napájení	Li-Ion akumulátor EN-EL9, 7,4 V 1 000 mAh
Hmotnost	475 gramů (bez baterie a paměťové karty) + 205 gramů (objektiv)
Rozměry (Š x V x H)	126 mm × 94 mm × 64 mm

5.2 Popis zkušebních zařízení

5.2.1 Přehled zkušebních zařízení

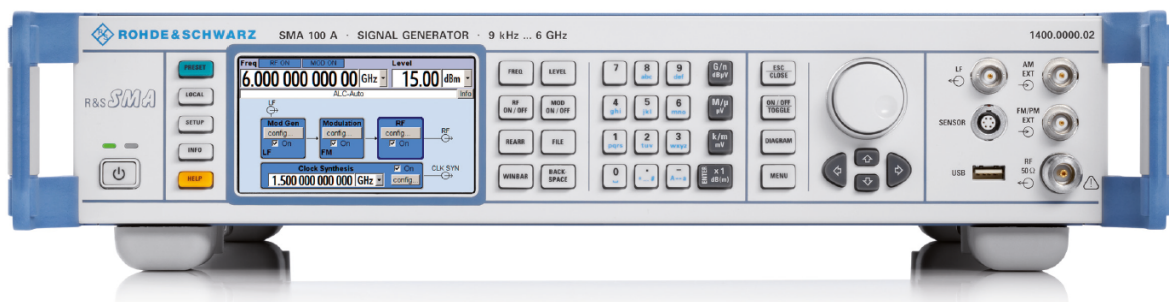
Pro měření byly použity následující zkušební zařízení.

Tab. 3 Zkušební zařízení

Název	Výrobce	Typ
Generátor signálu	Rohde&Schwarz	SMA100A
Soustava přepínačů	Rohde&Schwarz	OSP130
Soustava přepínačů	Rohde&Schwarz	OSP150
Zesilovač	Amplifier Research	150W1000
Zesilovač	Amplifier Research	80S1G4
Anténa	Rohde&Schwarz	HL046E
Čidlo elektromagnetického pole	ETS–Lindgren	HI6105
Konvertor Optika – USB	ETS–Lindgren	HI6113
Komora	Frankonia	SAC–3 PLUS

5.2.2 Generátor signálu Rohde&Schwarz SMA100A

Generátor signálu R&S SMA100A se vyznačuje vysokou přesností generovaného signálu s velmi vysokou rychlostí nastavení. Uplatnění nachází v celé řadě aplikací od vývoje, výroby, provozu až po údržbu zařízení a systémů. Může generovat signály se spojitou vlnou, v kmitočtovém rozsahu od 9 kHz až 6 GHz, s využitím amplitudové nebo pulsní modulace. Generátor signálu nabízí moderní grafické uživatelské rozhraní pro rychlé a intuitivní ovládání. Základní parametry generátoru signálu jsou popsány v tabulce viz (Tab. 4). [14]



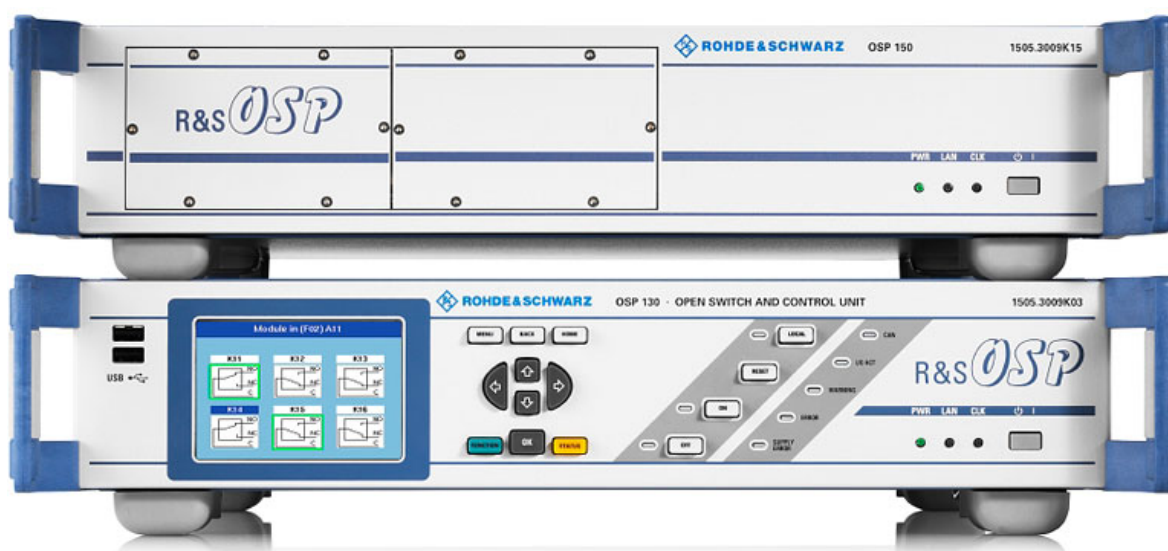
Obr. 16 Generátor signálu Rohde&Schwarz SMA100A [14]

Tab. 4 Základní parametry generátoru signálu Rohde&Schwarz SMA100A [14]

Frekvence	
Frekvenční rozsah	9 kHz – 3 GHz
Čas nastavení	< 1,2 ms
Modulace	
Amplitudová	Ano
Pulsní	Ano
Ostatní	
Rozhraní	IEEE 488.2, LAN (10/100BaseT), 2 × USB, 1 × USB slave

5.2.3 Soustava přepínačů Rohde&Schwarz OSP130 a Rohde&Schwarz OSP150

Soustava přepínačů R&S OSP slouží jako RF přepínač pro automatické přepnutí cesty ve složitých RF testovacích systémech, jako jsou systémy pro zkoušky elektromagnetické kompatibility. Soustava přepínačů je vybavena displejem s ovládacím panelem. Jednotlivé spínací a řídicí moduly R&S OSP130 a všechny připojené rozšiřující moduly R&S OSP150 mohou být manuálně ovládány pomocí ovládacího panelu. Modularita soustavy přepínačů zajišťuje rychlé nastavení testovacích a měřicích sestav pro celou řadu aplikací od výroby, laboratorní použití až po vývoj. [15]



Obr. 17 Soustava přepínačů Rohde&Schwarz OSP130 a Rohde&Schwarz OSP150 [15]

5.2.4 Zesilovač Amplifier Research 150W1000

Zesilovač AR 150W1000 širokopásmový zesilovač. Uplatnění nachází v celé řadě aplikací od antén, kalibrace a testování zařízení a systémů až po zkoušky elektromagnetické kompatibility. Zesilovač je vybaven displejem a ovládacím panelem. Displej zobrazuje informace o výkonu a stavu zesilovače. Základní parametry zesilovače jsou popsány v tabulce viz (Tab. 5). [16]



Obr. 18 Zesilovač Amplifier Research 150W1000 [16]

Tab. 5 Základní parametry zesilovače Amplifier Research 150W1000 [16]

Výkon	
Jmenovitý výkon	150 W
Frekvence	
Frekvenční odezva	80 MHz – 1GHz
Impedance	
Vstupní impedance	50 Ω
Výstupní impedance	50 Ω
Modulace (Závisí na vstupním signálu.)	
Amplitudová	Ano
Frekvenční	Ano
Pulsní	Ano
Zisk	
Zisk (Při max. nastavení.)	52 dB minimálně
Ostatní	
Rozhraní	BNC, IEEE 488, RS-232

5.2.5 Zesilovač Amplifier Research 80S1G4

Zesilovač AR 80S1G4 širokopásmový zesilovač. Uplatnění nachází v celé řadě aplikací od komunikačních technologií CDMA, GSM, TDMA, W-CDMA atd. až po zkoušky elektromagnetické kompatibility. Zesilovač je vybaven displejem a ovládacím panelem. Displej zobrazuje informace o výkonu a stavu zesilovače. Základní parametry zesilovače jsou popsány v tabulce viz (Tab. 6). [17]



Obr. 19 Zesilovač Amplifier Research 80S1G4 [17]

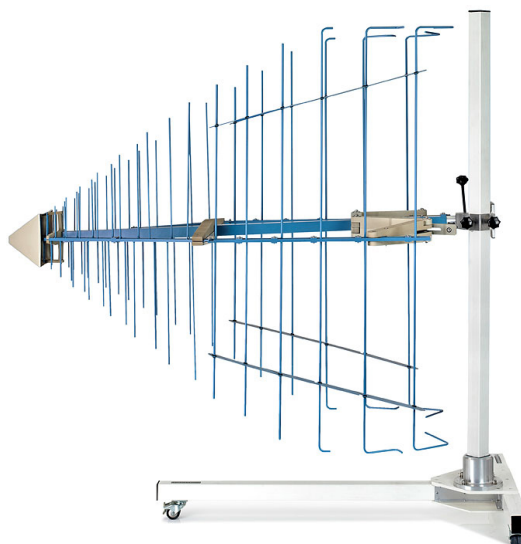
Tab. 6 Základní parametry zesilovače Amplifier Research 80S1G4 [17]

Výkon	
Jmenovitý výkon	80 W
Fekvence	
Frekvenční odezva	700 MHz – 4,2 GHz
Impedance	
Vstupní impedance	50 Ω
Výstupní impedance	50 Ω
Modulace (Závisí na vstupním signálu.)	
Amplitudová	Ano
Frekvenční	Ano
Pulsní	Ano
Zisk	
Zisk (Při max. nastavení.)	49 dB minimálně

Ostatní	
Rozhraní	BNC, Ethernet, IEEE 488, RS-232, USB 2.0

5.2.6 Anténa Rohde&Schwarz HL046E

Anténa R&S HL046E nachází uplatnění při zkouškách elektromagnetické susceptibility. Skládá ze dvou logaritmicko-periodických antén uspořádaných do tvaru písmene V a zapojených paralelně. V důsledku této konstrukce je dosaženo vysoké selektivity v horizontální rovině a vzory záření jsou prakticky rotačně symetrické. Anténa má široký frekvenční rozsah a je vhodná pro použití ve zkušebních komorách. Anténa je namontována na vozíku, jehož výšku lze plynule nastavit v rozmezí přibližně 1 m až 1,75 m nad zemí. Polarizace je nastavitelná ručně. Základní parametry antény jsou popsány v tabulce viz (Tab. 7). [18]



Obr. 20 Anténa Rohde&Schwarz HL046E [18]

Tab. 7 Základní parametry antény Rohde&Schwarz HL046E [18]

Fekvence	
Frekvenční rozsah	80 MHz – 3 GHz
Polarizace	Lineární
Impedance	
Vstupní impedance	50 Ω
Zisk	
Zisk	> 8 dBi

Ostatní	
Poměr stojatých vln	< 2
Rozhraní	N konektor
Hmotnost bez vozíku	17 kg
Hmotnost s vozíkem	29,5 kg
Rozměry bez vozíku (Š x V x H)	0,85 m × 1,50 m × 1,81 m
Rozměry s vozíkem (Š x V x H)	0,86 m × 1,90 m – 2,60 m × 1,89 m

5.2.7 Čidlo elektromagnetického pole ETS–Lindgren HI6105

Čidlo elektromagnetického pole ETS–Lindgren HI6105 je izotropní⁹ čidlo s jedním měřicím rozsahem 0,5 až 800 V/m. Data o intenzitě elektromagnetického pole lze číst průběžně v celém měřicím rozsahu. Hodnoty pro jednotlivé osy (X, Y, Z), lze číst samostatně, anebo mohou být sčítány. Sonda komunikuje s počítačem prostřednictvím konvertoru optika–USB ETS–Lindgren HI6113. Základní parametry čidla elektromagnetického pole jsou popsány v tabulce viz (Tab. 8). [19]



Obr. 21 Čidlo elektromagnetického pole ETS–Lindgren HI6105 [19]

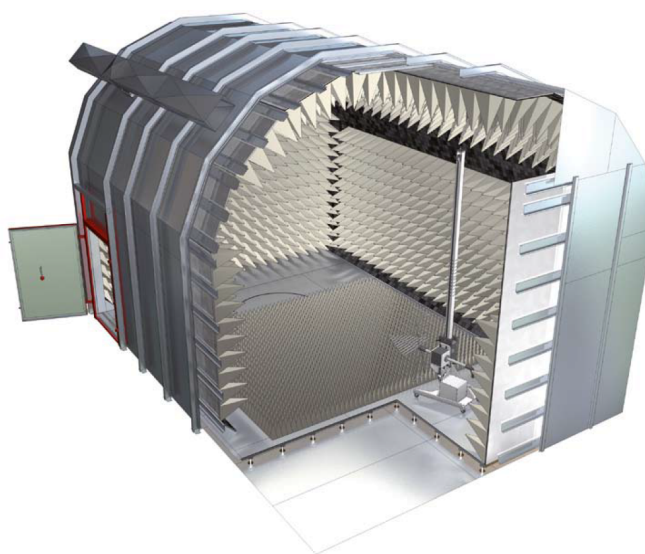
⁹ Izotropní: Ve všech směrech má stejné vlastnosti.

Tab. 8 Základní parametry čidla elektromagnetického pole ETS–Lindgren HI6105 [19]

Fekvence	
Frekvenční rozsah	100 kHz – 6 GHz
Rozsah	
Detekční schopnosti	Izotropní (Čtení v osách X, Y, Z.)
Měřicí rozsah	0,5 – 800 V/m (Jeden rozsah.)
Rozlišení	0,01 V/m
Ostatní	
Délka krytu senzoru	43 mm
Rozhraní	FC konektor, SC konektor
Hmotnost	80 g
Rozměry (Š x V x H)	32 mm × 32 mm × 32 mm

5.2.8 Komora Frankonia SAC–3 Plus

Komora Frankonia SAC–3 Plus je polo–bezodrazová komora pro měřicí vzdálenosti 3 m. Střecha komory je ve tvaru kopule. Obložení střechy tvoří optimalizovaně uspořádané feritové a hybridní absorbéry pro minimalizaci odrazů, vhodné pro kmitočtová pásma od 26 MHz do 18 GHz. Součástí komory je anténní stožár s nastavitelnou pozicí v rozsahu 1 až 4 m. Základní parametry komory jsou popsány v tabulce viz (Tab. 9). [20]



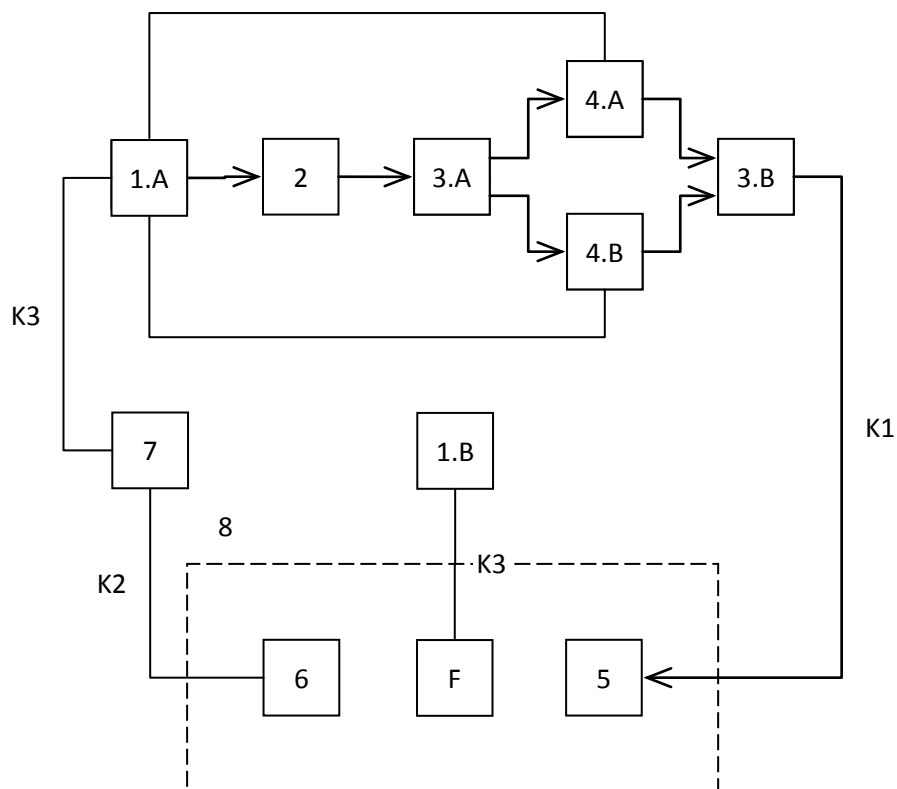
Obr. 22 Komora Frankonia SAC–3 Plus [20]

Tab. 9 Základní parametry komory Frankonia SAC-3 Plus [20]

Fekvence	
Frekvenční rozsah	24 MHz – 18 GHz
Absorbéry	
Stěny/Strop	Feritové a hybridní absorbéry
Podlaha	Přenosné pyramidové absorbéry
Ostatní	
Měřicí vzdálenost	3 m
Rozměry (Š x V x H)	6,53 m × 6 m × 8,48 m

5.3 Zkušební sestava

Pro měření byla použita následující zkušební sestava.



Obr. 23 Zkušební sestava

Tab. 10 Popis zkušební sestavy

Zkušební zařízení	
1.A	Počítač – Program EMC32
1.B	Počítač – Program pro ovládání digitálního fotoaparátu
2	Generátor signálu AR SMA100A
3.A	Soustava přepínačů R&S OSP130
3.B	Soustava přepínačů R&S OSP150
4.A	Zesilovač AR 150W1000
4.B	Zesilovač AR 80S1G4
5	Anténa R&S HL046E
6	Čidlo elektromagnetického pole HI6105
7	Konvertor Optika – USB HI6113
8	Komora Frankonia SAC–3 PLUS
F	Digitální fotoaparát Nikon D40
Propojení	
K1	Koaxiální kabel
K2	Optický kabel
K3	Nestíněný USB kabel

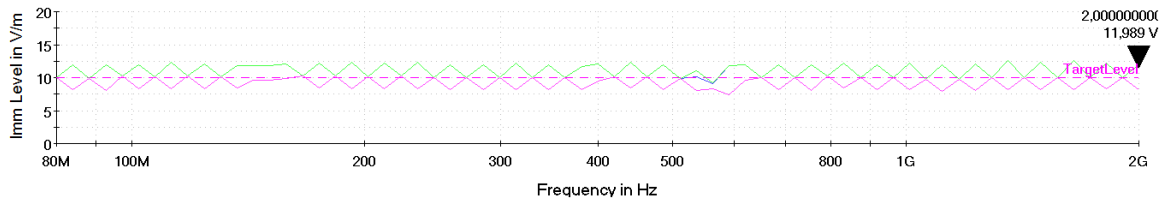
5.4 Popis postupu zkoušky

Zkoušky elektromagnetické odolnosti zařízení se provádí ve vhodném prostředí. Elektromagnetické a klimatické podmínky musí být takové, aby byla zaručena správná funkční činnost zkoušeného zařízení.

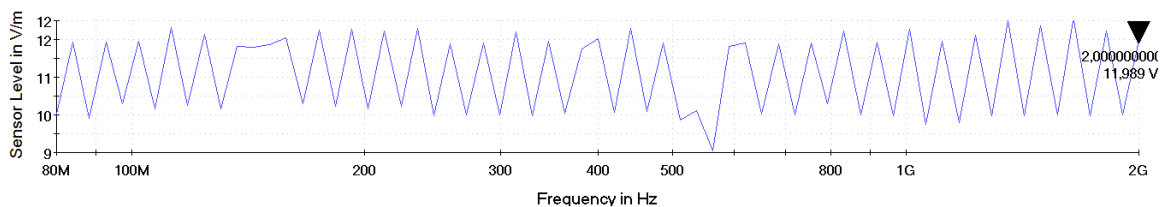
Pro všeobecné účely stanovuje norma ČSN EN 61000–4–3 frekvenční rozsah 80 MHz až 1 000 MHz bez mezer, při stanovených zkušebních úrovních intenzity zkušební pole viz (Tab. 1). Pro měření byla zvolena zkušební konfigurace pro zařízení na stole viz kapitola 4.2.

Aby byla zajištěna homogenita zkušebního pole, bylo provedeno několik zkušebních měření intenzity zkušebního pole. Vysílací anténa byla umístěna ve vzdálenosti 3 m od čidla elektromagnetického pole. Čidlo elektromagnetického pole bylo umístěno ve výšce 1 m v místech, předpokládaného umístění měřeného zařízení. Prostor před anténou byl vyskládán absorberů pro minimalizaci odrazů zkušebního pole od podlahy.

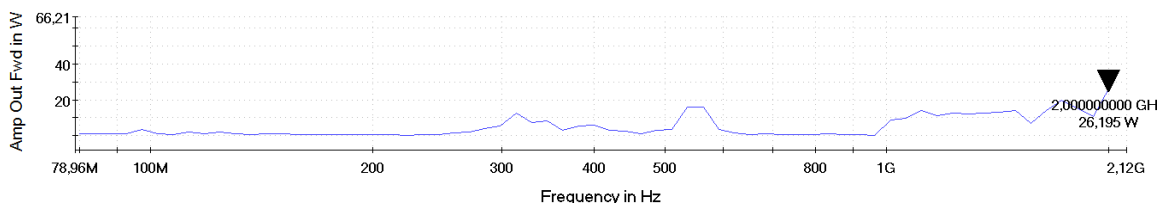
Čidlo elektromagnetického pole bylo vystaveno vysokofrekvenčnímu signálu modulovanému sinusovým signálem o kmitočtu 1 kHz s hloubkou modulace 80 %. Příklad zkušebního měření intenzity elektromagnetického pole pro hodnotu intenzity 10 V/m je znázorněn na následujících obrázcích.



Obr. 24 Nastavená hodnota intenzity elektromagnetického pole



Obr. 25 Naměřená hodnota intenzity elektromagnetického pole



Obr. 26 Výstupní výkon zesilovače

Měřeným zařízením byl digitální fotoaparát Nikon D40. Digitální fotoaparát byl propojen s počítačem pomocí USB kabelu, aby jej bylo možné ovládat z měřicí místnosti. Před začátkem měření byly ověřeny základní funkce digitálního fotoaparátu a pomocí programu na počítači bylo pořízeno několik referenčních snímků. Předpokládanými účinky vysokofrekvenčního elektromagnetického pole na digitální fotoaparát jsou vyšší úroveň jasu a šumu ve fotografii a ztráta komunikace s digitálním fotoaparátem.

Po každém měření byly vyhodnocovány následující parametry:

- Funkce digitálního fotoaparátu.
- Kvalita fotografie.
- Komunikace s digitálním fotoaparátem.

5.5 Měření při intenzitě elektromagnetického pole do 10 V/m

Parametry nastavení a výsledky měření jsou znázorněny v následujících tabulkách.

*Tab. 11 Parametry modulace – Hloubka modulace
80 %*

Typ modulace	Amplitudová
Modulační signál	Sinusoida
Frekvence	1 kHz
Hloubka modulace	80 %

Tab. 12 Výsledky měření pro intenzitu elektromagnetického pole 2 V/m

Úhel fotoaparátu	0 °		90 °	
Frekvenční rozsah	80 MHz – 2 GHz		80 MHz – 2 GHz	
Intenzita zkušebního pole	2 V/m		2 V/m	
Polarizace	Vertikální	Horizontální	Vertikální	Horizontální
Výsledek zkoušky	A	A	A	A

Tab. 13 Výsledky měření pro intenzitu elektromagnetického pole 10 V/m

Úhel fotoaparátu	0 °		90 °	
Frekvenční rozsah	80 MHz – 2 GHz		80 MHz – 2 GHz	
Intenzita zkušebního pole	10 V/m		10 V/m	
Polarizace	Vertikální	Horizontální	Vertikální	Horizontální
Výsledek zkoušky	A	A	A	A

Z výsledků měření vyplývá, že při nízkých intenzitách elektromagnetického pole 2 a 10 V/m digitální fotoaparát vykazuje správnou funkční činnost bez zjevných poruch. Na správnou funkční činnost digitálního fotoaparátu nemá vliv ani vzájemná poloha antény a digitálního fotoaparátu a ani polarizace elektromagnetické vlny. Funkce digitálního fotoaparátu, kvalita fotografie nebo komunikace s digitálním fotoaparátem nebyla žádným způsobem ovlivněna.

5.6 Měření při intenzitě elektromagnetického pole nad 10 V/m

Parametry nastavení a výsledky měření jsou znázorněny v následujících tabulkách.

Tab. 14 Parametry modulace – Hloubka modulace 80 %

Typ modulace	Amplitudová
Modulační signál	Sinusoida
Frekvence	1 kHz
Hloubka modulace	80 %

Tab. 15 Výsledky měření pro intenzitu elektromagnetického pole 30 V/m

Úhel fotoaparátu	0 °		90 °	
Frekvenční rozsah	80 MHz – 2 GHz		80 MHz – 2 GHz	
Intenzita zkušebního pole	30 V/m		30 V/m	
Polarizace	Vertikální	Horizontální	Vertikální	Horizontální
Výsledek zkoušky	B	A	B	B

Tab. 16 Výsledky měření pro intenzitu elektromagnetického pole 50 V/m

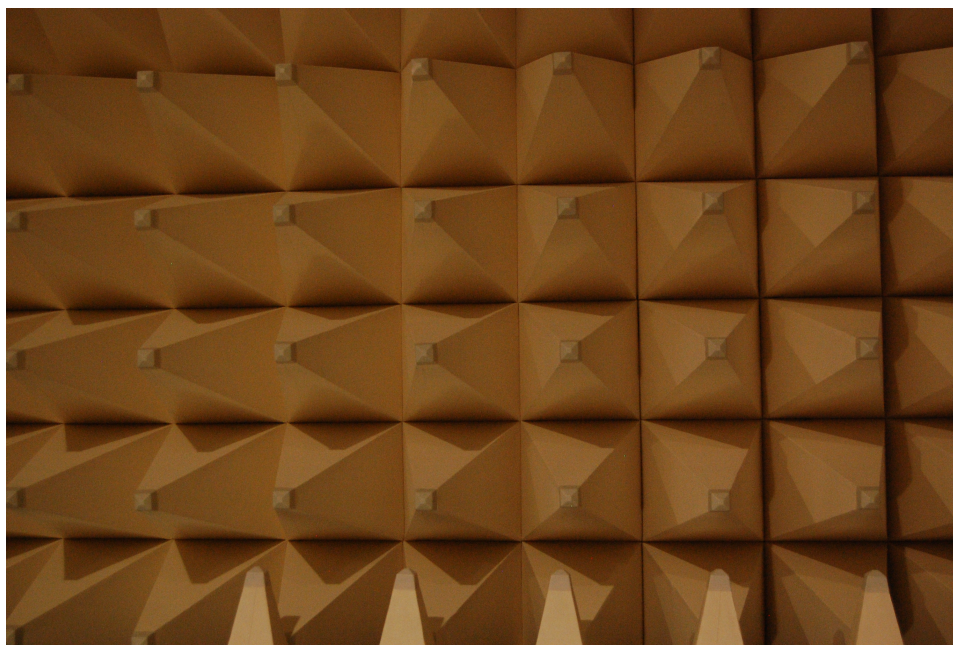
Úhel fotoaparátu	0 °		90 °	
Frekvenční rozsah	80 MHz – 2 GHz		80 MHz – 2 GHz	
Intenzita zkušebního pole	50 V/m		50 V/m	
Polarizace	Vertikální	Horizontální	Vertikální	Horizontální
Výsledek zkoušky	B	B	B	B

Z výsledků měření vyplývá, že při vysokých intenzitách elektromagnetického pole 30 a 50 V/m dochází k ovlivnění funkční činnosti digitálního fotoaparátu a komunikace. Ve všech případech kromě jediného případu, kdy byla nastavena intenzita elektromagnetického pole 30 V/m, vzájemná poloha antény a digitálního fotoaparátu byla 0 ° a polarizace elektromagnetické vlny byla horizontální, docházelo k časté ztrátě komunikace mezi digitálním fotoaparátem a počítačem. Při frekvencích nad 112 MHz docházelo k úplným ztrátám komunikace mezi digitálním fotoaparátem a počítačem. Po ukončení zkoušky se automaticky obnovila správná funkční činnost digitálního fotoaparátu a komunikace.

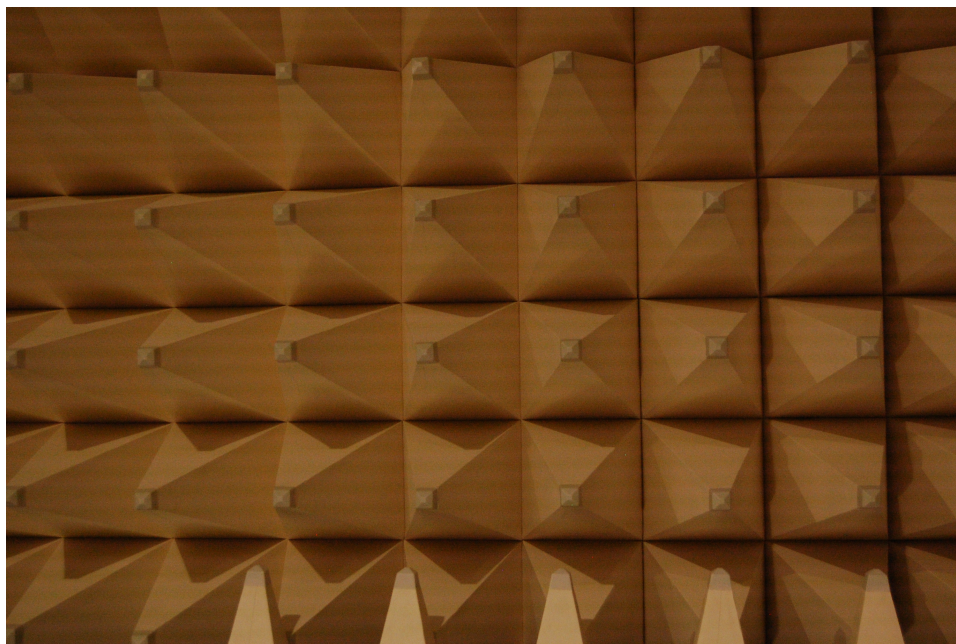
Při frekvenci 82 MHz, v případě kdy byla nastavena intenzita elektromagnetického pole 30 V/m, vzájemná poloha antény a digitálního fotoaparátu byla 90 ° a polarizace elektromagnetické vlny byla horizontální, se na fotografii objevily horizontální pruhy. Nastavení digitálního fotoaparátu je znázorněno v následující tabulce. Pořízené fotografie jsou znázorněny v následujících obrázcích.

Tab. 17 Nastavení digitálního fotoaparátu

Nastavení clony	f 4,5
Délka expozice	1/100
ISO	1 600
Ohnisková vzdálenost	31 mm



Obr. 27 Referenční fotografie

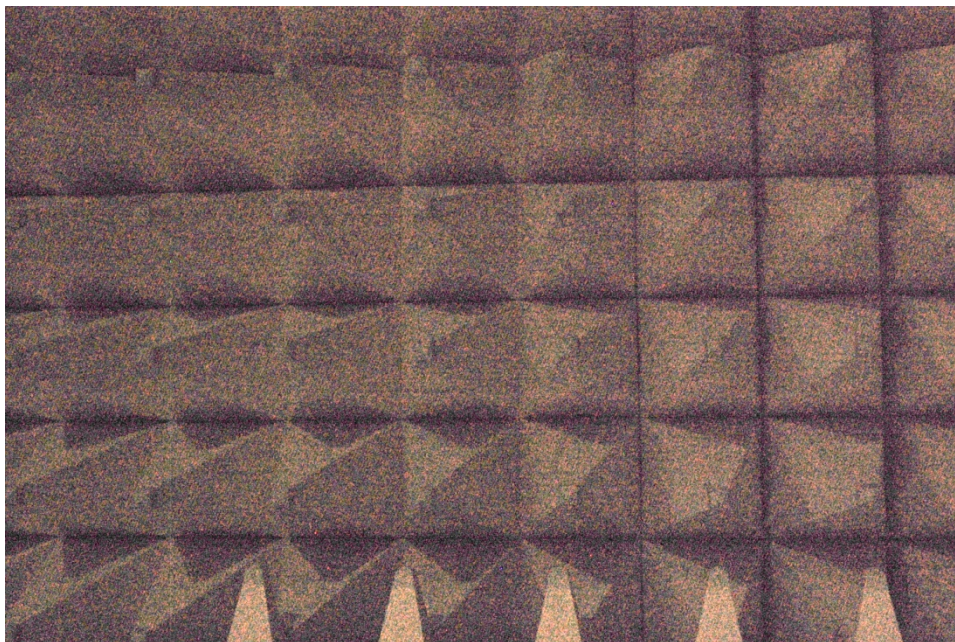


Obr. 28 Fotografie pořízená při měření - intenzita elektromagnetického pole 30 V/m

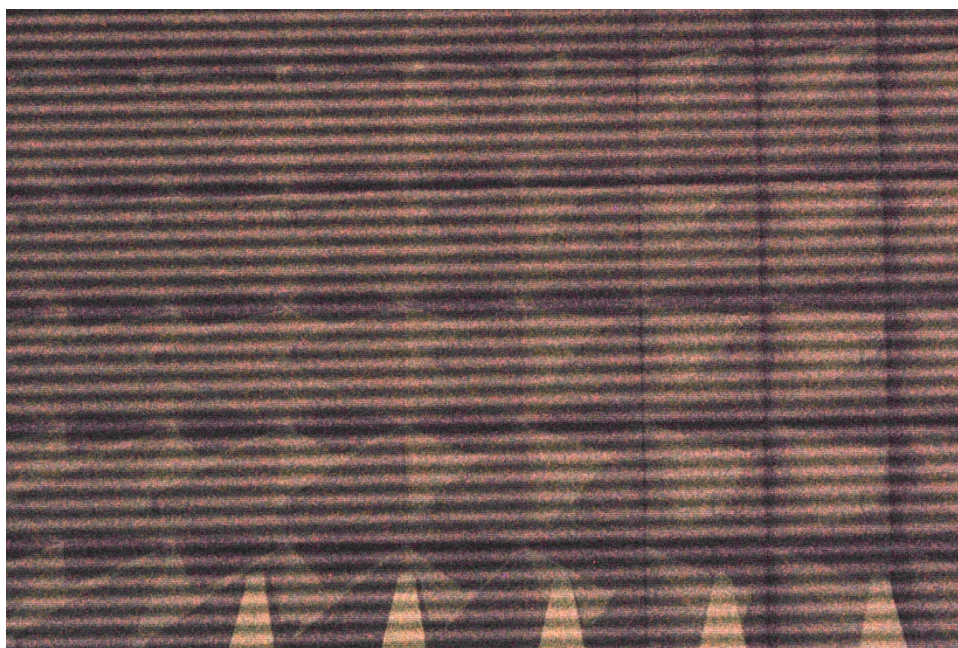
Podobného výsledku bylo dosaženo i při vyšší intenzitě elektromagnetického pole. Ostatní parametry byly stejné jako u předchozího měření. Při frekvenci 82 MHz, kdy byla nastavena intenzita elektromagnetického pole 50 V/m, vzájemná poloha antény a digitálního fotoaparátu byla 90° a polarizace elektromagnetické vlny byla horizontální, se na fotografii opět objevily horizontální pruhy. Nastavení digitálního fotoaparátu je znázorněno v následující tabulce. Pořízené fotografie jsou znázorněny v následujících obrázcích. Vzhledem k použitému nastavení digitálního fotoaparátu byly fotografie upraveny, aby byly pruhy více zřetelné.

Tab. 18 Nastavení digitálního fotoaparátu

Nastavení clony	f 8,0
Délka expozice	1/640
ISO	1 600
Ohnisková vzdálenost	31 mm

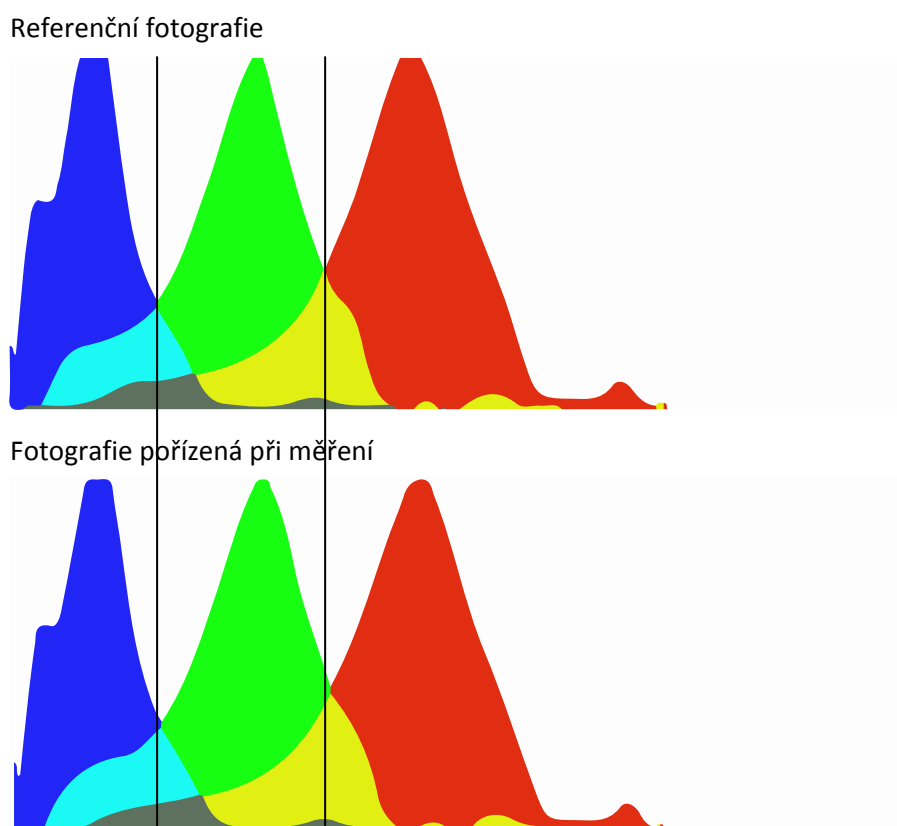


Obr. 29 Referenční fotografie



Obr. 30 Fotografie pořízená při měření - intenzita elektromagnetického pole 50 V/m

Horizontální pruhy ve fotografii se podařilo vyvolat pouze dvakrát a to pouze při vysokých intenzitách elektromagnetického pole (30 a 50 V/m). Při nižších intenzitách elektromagnetického pole (2 a 10 V/m) nebyly fotografie žádným způsobem ovlivněny.



Obr. 31 Porovnání histogramů

Další fotografie pořízené pouze při vysokých intenzitách elektromagnetického pole (30 a 50 V/m) neobsahovaly žádnou vadu. Některé fotografie vykazovaly pouze nepatrný barevný nebo jasový posun.

Z výše uvedených výsledků měření vyplývá, že digitální fotoaparát Nikon – D40 s objektivem NIKKOR AF-S 18 – 55 mm splňuje funkční kritérium B.

ZÁVĚR

Diplomová práce pojednává o odolnosti elektronických zařízení vystavených účinkům elektromagnetického pole. V teoretické části jsem se věnoval problematice elektromagnetické kompatibility, kterou jsem rozdělil do tří kapitol.

V první kapitole jsem se věnoval obecné problematice elektromagnetické kompatibility a jejích dopadů na biologické a technické systémy. U biologických systémů jsou nejčastěji pozorovány tzv. tepelné a netepelné účinky. Tepelné účinky jsou způsobeny působením vysokých úrovní vysokofrekvenčních polí. Zatímco netepelné účinky jsou způsobeny působením nízkých úrovní různých typů elektromagnetických polí. U technických systémů nejčastěji dochází ke zhoršení funkčních parametrů. Každý technický systém může být zdrojem elektromagnetického rušení, ale i rušeným objektem. Závisí zejména na jeho funkčních parametrech a jeho odolnosti vůči elektromagnetickému rušení. Zdroje elektromagnetického rušení a rušený objekt jsou vzájemně vázány tzv. parazitní vazbou. A proto při posuzování elektromagnetické kompatibility technických systémů vycházíme z tzv. základního řetězce elektromagnetické kompatibility.

V druhé kapitole jsem se věnoval problematice elektromagnetické interference. Elektromagnetická interference se zabývá zejména identifikací, měřením a popisem zdrojů elektromagnetického rušení. Elektromagnetické rušení můžeme rozdělit do mnoha skupin např. podle způsobu šíření, zdroje rušení (přírodní a umělé), frekvence nebo rušeného frekvenčního spektra.

Ve třetí kapitole jsem se věnoval problematice elektromagnetické susceptibility. Elektromagnetická susceptibilita se zabývá technickými opatřeními, která zvyšují odolnost rušeného objektu vůči elektromagnetickému rušení. Základním způsobem omezení elektromagnetického rušení je vhodný návrh a konstrukce základních součástí zařízení. Mezi odrušovací prostředky patří odrušovací kondenzátory a tlumivky, odrušovací filtry, přepěťové ochranné prvky a elektromagnetické stínění.

V praktické části jsem se věnoval problematice měření elektromagnetické odolnosti zařízení vystavených účinkům elektromagnetického pole. Zkoušky elektromagnetické odolnosti zařízení se provádí ve vhodném prostředí. Elektromagnetické a klimatické podmínky musí být takové, aby byla zaručena správná funkční činnost zkoušeného zařízení. Zkoušky elektromagnetické odolnosti se proto provádějí v tzv. bezodrazových komorách, které se skládají z absorberů

stíněného prostoru. Pro generování elektromagnetického pole se používají různé typy antén, jako jsou bikónické, logaritmicko–periodické a trychtýřové antény.

Při měření elektromagnetické odolnosti se postupuje podle postupů uvedených v příslušných normách. Cílem mé diplomové práce bylo měření elektromagnetické odolnosti vůči vyzařovanému vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli. Měřeným zařízením byl digitální fotoaparát Nikon – D40 s objektivem NIKKOR AF–S 18 – 55 mm. Měření probíhalo v modifikované polo–bezodrazové komoře. Digitální fotoaparát byl vystaven vysokofrekvenčnímu signálu modulovaného sinusovým signálem o kmitočtu 1 kHz s hloubkou modulace 80 %. Intenzita elektromagnetického pole byla zvyšována postupně od 2 do 50 V/m. Dále byla měněna vzájemná poloha antény a digitálního fotoaparátu a polarizace elektromagnetické vlny. Při nízkých intenzitách elektromagnetického pole 2 a 10 V/m digitální fotoaparát vykazoval správnou funkční činnost bez zjevných poruch. Při vysokých intenzitách elektromagnetického pole 30 a 50 V/m dochází k ovlivnění funkční činnosti digitálního fotoaparátu a komunikace. Nejčastěji pozorovaným jevem byla ztráta komunikace digitálního fotoaparátu s počítačem. Ve dvou případech se na fotografii objevily horizontální pruhy. Ostatní fotografie vykazovaly pouze nepatrný barevný nebo jasový posun. Po ukončení zkoušky se ale vždy automaticky obnovila správná funkční činnost digitálního fotoaparátu a komunikace. Z výsledků měření vyplývá, že digitální fotoaparát splňuje funkční kritérium B.

CONCLUSION

The diploma thesis deals with susceptibility of electronic equipment exposed to effects of electromagnetic field. In the theoretical part I dealt with general problems of electromagnetic compatibility which I divided into main three chapters.

In the first chapter I dealt with general problem of electromagnetic compatibility and its impacts on biological and technical systems. For the biological systems are the most commonly observed effects so called non-thermal and thermal effects. The thermal effects are caused by exposure to high levels of high frequency fields. The non-thermal effects are caused by exposure to low levels of various types of electromagnetic fields. For the technical systems is the most commonly observed effect deterioration of functional parameters. Any technical system can be a source of electromagnetic interference, but also a receptor of electromagnetic interference. It mainly depends on its functional characteristics and on its susceptibility to electromagnetic interference. Sources of electromagnetic interference and receptor of electromagnetic interference are coupled to each other with so called parasitic coupling. And that is the reason why, we have to start from a so called chain of electromagnetic compatibility, when assessing the electromagnetic compatibility of the technical systems.

In the second chapter, I dealt with problem of electromagnetic interference. Electromagnetic interference deals with the identification, measurement and description of sources of electromagnetic interference. Electromagnetic interference can be divided into many groups e.g. by a way of propagation, by sources of electromagnetic interference (natural and artificial), by frequency or by an interfered frequency spectrum.

In the third chapter, I dealt with problem of electromagnetic susceptibility. Electromagnetic susceptibility deals with technical measures that increase resistance of receptor of electromagnetic interference. The basic way to reduce electromagnetic interference is a proper design and construction of basic components. Electromagnetic interference suppressors are e.g. suppression capacitors, inductor, noise filter, surge protection devices and electromagnetic shielding.

In the practical part I dealt with problem of measuring the electromagnetic susceptibility of a device exposed to electromagnetic fields. Tests of electromagnetic susceptibility of the device are performed in a suitable environment. Electromagnetic and climatic conditions must be such as to ensure proper function of the equipment under test. Tests of electro-

magnetic susceptibility are therefore carried out in so called anechoic chambers, which consist of absorbers shielded area. To generate electromagnetic fields we have different types of antennas such as biconic, log-periodic and horn antennas.

Measurement of electromagnetic susceptibility is carried out according to the procedures set out in relevant standards. The goal of my diploma thesis was to measure electromagnetic susceptibility to radiated high-frequency electromagnetic field. Measured device was a digital camera Nikon – D40 with NIKKOR AF-S 18 – 55 mm lens. Measurements took place in a modified semi-anechoic chamber. The digital camera was exposed to high frequency signal modulated with sinusoidal signal with a frequency of 1 kHz and modulation depth of 80 %. The intensity of the electromagnetic field was increased gradually from 2 to 50 V/m. Also was changed the relative position of the antenna and a digital camera and polarization of electromagnetic waves. At low intensity of electromagnetic field 2 and 10 V/m digital camera showed the correct functional activity without apparent failures. At high intensities of electromagnetic fields 30 and 50 V/m are affected functional activities of the digital camera and communication between camera and computer. The most commonly observed phenomenon was a loss of communication between digital camera and computer. In two cases photos contained horizontal stripes. Other photos showed only a slight colour or brightness shift. Correct functions of the digital camera and communication was always automatically renewed after completion of the test. The results of the measurement shows, that digital camera meets the functional criterion B.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita: Principy a metody. 1. Vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2001, 156 s. ISBN 8021418737.
- [2] DŘÍNOVSKÝ, Jiří, Tomáš FRÝZA, Jiří SVAČINA, Zdeněk KEJÍK a Václav RŮŽEK. *Encyklopedie elektromagnetické kompatibility* [online]. 2009 [cit. 2015–01–28]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/>.
- [3] VACULÍKOVÁ, Polina a Emil VACULÍK. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: Praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického VF rušení. 1. Vyd. Praha: Grada, 1998, 487 s. ISBN 8071695688.
- [4] SVOBODA, Jaroslav. Základy elektromagnetické kompatibility. 1. Vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1993, 99 s. ISBN 80–010–0982–3.
- [5] ČSN IEC 50 (161). Mezinárodní elektrotechnický slovník: Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita. Praha: Český normalizační institut, 1993. 52 s.
- [6] PAUL, Clayton R. Introduction to electromagnetic compatibility. 2. Vyd. Hoboken: John Wiley, 2006, 983 s. ISBN 04-717-5500-1.
- [7] OTT, Henry W. Electromagnetic compatibility engineering. Hoboken: Wiley, 2009, 843 s. ISBN 978-0-470-18930-6.
- [8] ČSN EN 61000–4–3 Ed. 3 (333432) Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4–3: Zkušební a měřicí technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – Zkouška odolnosti. Praha: Český normalizační institut, 2006, 51 s.
- [9] KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. EMC z hlediska teorie a aplikace. 1. Vyd. Praha: BEN - Technická literatura, 2006, 216 s. ISBN 80-7300-202-7.
- [10] MAZÁNEK, Miloš a Pavel PECHAČ. Šíření elektromagnetických vln a antény. 2. Vyd. , Přepřac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 259 s. ISBN 8001030326.
- [11] ČSN EN 61000–4–1 (333432) Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4–1: Zkušební a měřicí technika – Přehled o souboru IEC 61000–4. Praha: Český normalizační institut, 2001, 19 s.
- [12] Fotografie produktů. Nikon Local Representation – Czech republic [online]. 2007 [cit. 2015–03–01]. Dostupné z: <http://www.nikon-foto.cz>

- [13] NIKON INC. The Nikon Guide to Digital Photography with D40 digital camera [online]. 16.11.2006, 139 s. [cit. 1.3.2015]. Dostupné z: http://www.nikonusa.com/pdf/manuals/kie88335f7869dfuejdl=cww2/D40_en.pdf
- [14] ROHDE&SCHWARZ GMBH&CO. KG. R&S@SMA100A Signal Generator [online]. 28.9.2013, 15 s. [cit. 1.3.2015]. Dostupné z: http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/SMA100A_bro_en_5213-6412-12_v0700.pdf
- [15] ROHDE&SCHWARZ GMBH&CO. KG. R&S@OSP Open Switch and Control Platform [online]. 27.1.2015, 4 s. [cit. 1.3.2015]. Dostupné z: http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/OSP_bro_en_5214-1437-12_v0700.pdf
- [16] AMPLIFIER RESEARCH RF/MICROWAVE INSTRUMENTATION. Model 150W1000 Spec Sheet [online]. 29.1.2007, 2 s. [cit. 1.3.2015]. Dostupné z: <http://www.arworld.us/post/150W1000.pdf>
- [17] AMPLIFIER RESEARCH RF/MICROWAVE INSTRUMENTATION. Model 80S1G4 Spec Sheet [online]. 28.7.2011, 2 s. [cit. 1.3.2015]. Dostupné z: <http://www.arww-rfmicro.com/post/80S1G4.pdf>
- [18] ROHDE&SCHWARZ GMBH&CO. KG. R&S@HL046E High Gain LogPeriodic Antenna [online]. 30.7.2014, 2 s. [cit. 1.3.2015]. Dostupné z: http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/HL046E_cat_2015_84-85.pdf
- [19] ETS-LINDGREN. EMC Field Probes User Manual [online]. 25.2.2013, 152 s. [cit. 1.3.2015]. Dostupné z: <http://www.ets-lindgren.com/manuals/HI-6105.pdf>
- [20] FRANKONIA. 3/5m Semi-Anechoic-Chamber SAC-3/-5 Plus [online]. 2.12.2011, 2 s. [cit. 1.3.2015]. Dostupné z: http://www.frankoniagroup.com/downloads/Anechoic_Chambers/SAC3_5.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN	Chráněné označení českých technických norem.
EMC	Elektromagnetická kompatibilita.
EMI	Elektromagnetická interference.
EMS	Elektromagnetická susceptibilita.
EUT	(Equipment Under Test) Zkoušené zařízení.
IEC	(International Electrotechnical Commission) Mezinárodní elektrotechnická komise.
LEMP	(Lightning Electromagnetic Pulse) Elektromagnetické rušení vyvolané bleskem.
NEMP	(Nuclear Electromagnetic Pulse) Elektromagnetické rušení vyvolané jaderným výbuchem.
TEMPEST	(Temporary Emanation and Spurious Transmission) Přechodné úniky a nepravé přenosy. Technická opatření k zamezení úniku a zcizení elektromagneticky přenášených dat a informací.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Základní řetězec elektromagnetické kompatibility [2].....	13
Obr. 2 Základní rozdělení elektromagnetické kompatibility [2]	15
Obr. 3 Podrobné rozdělení problematiky elektromagnetické kompatibility [4].....	17
Obr. 4 Definice úrovní, mezí a rezerv odolnosti a vyzařování [2]	19
Obr. 5 Amplitudová a fázová frekvenční charakteristika ideálního kondenzátoru [6].....	26
Obr. 6 Amplitudová a fázová frekvenční charakteristika ideální cívky [6].....	28
Obr. 7 Mnohonásobné odrazy uvnitř stínění [6].....	34
Obr. 9 Jednobodový zemnicí systém – sériové zapojení [7]	39
Obr. 10 Jednobodový zemnicí systém – paralelní zapojení [7].....	40
Obr. 11 Mnohabodový zemnicí systém [7]	40
Obr. 12 Základní typy vstupů rušivých signálů do zkoušeného zařízení [2].....	48
Obr. 13 Bezodrazová komora se zkoušeným zařízením a požadovanými zkušebními přístroji [8][9].....	51
Obr. 14 Bezodrazová komora se zkoušeným zařízením – Zkušební konfigurace pro zařízení na stole [8]	52
Obr. 15 Bezodrazová komora se zkoušeným zařízením – Zkušební konfigurace pro zařízení na podlaze [8]	53
Obr. 16 Nikon D40 [12].....	58
Obr. 17 Generátor signálu Rohde&Schwarz SMA100A [14]	60
Obr. 18 Soustava přepínačů Rohde&Schwarz OSP130 a Rohde&Schwarz OSP150 [15]	61
Obr. 19 Zesilovač Amplifier Research 150W1000 [16].....	62
Obr. 20 Zesilovač Amplifier Research 80S1G4 [17]	63
Obr. 21 Anténa Rohde&Schwarz HL046E [18].....	64
Obr. 22 Čidlo elektromagnetického pole ETS–Lindgren HI6105 [19]	65
Obr. 23 Komora Frankonia SAC–3 Plus [20].....	66
Obr. 24 Zkušební sestava.....	67
Obr. 25 Nastavená hodnota intenzity elektromagnetického pole	69
Obr. 26 Naměřená hodnota intenzity elektromagnetického pole	69
Obr. 27 Výstupní výkon zesilovače.....	69
Obr. 28 Referenční fotografie.....	72
Obr. 29 Fotografie pořízená při měření - intenzita elektromagnetického pole 30 V/m.....	73

Obr. 30 Referenční fotografie	74
Obr. 31 Fotografie pořízená při měření - intenzita elektromagnetického pole 50 V/m	74
Obr. 32 Porovnání histogramů	75

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Zkušební úrovně vztahující se na všeobecné účely [8]	49
Tab. 2 Základní parametry digitálního fotoaparátu Nikon – D40 [13].....	59
Tab. 3 Zkušební zařízení.....	60
Tab. 4 Základní parametry generátoru signálu Rohde&Schwarz SMA100A [14].....	61
Tab. 5 Základní parametry zesilovače Amplifier Research 150W1000 [16]	62
Tab. 6 Základní parametry zesilovače Amplifier Research 80S1G4 [17].....	63
Tab. 7 Základní parametry antény Rohde&Schwarz HL046E [18]	64
Tab. 8 Základní parametry čidla elektromagnetického pole ETS–Lindgren HI6105 [19]	66
Tab. 9 Základní parametry komory Frankonia SAC–3 Plus [20].....	67
Tab. 10 Popis zkušební sestavy	68
Tab. 11 Parametry modulace – Hloubka modulace 80 %.....	70
Tab. 12 Výsledky měření pro intenzitu elektromagnetického pole 2 V/m.....	70
Tab. 13 Výsledky měření pro intenzitu elektromagnetického pole 10 V/m.....	70
Tab. 14 Parametry modulace – Hloubka modulace 80 %.....	71
Tab. 15 Výsledky měření pro intenzitu elektromagnetického pole 30 V/m.....	71
Tab. 16 Výsledky měření pro intenzitu elektromagnetického pole 50 V/m.....	71
Tab. 17 Nastavení digitálního fotaparátu.....	72
Tab. 18 Nastavení digitálního fotaparátu.....	73

SEZNAM PŘÍLOH

P I CD

P II Fotografie z měření

PŘÍLOHA P I: CD

CD obsahuje:

- Elektronickou podobu diplomové práce.

PŘÍLOHA P II: FOTOGRAFIE Z MĚŘENÍ



