

Elektromagnetické pole periferií výpočetní techniky

Martin Kiš

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Kiš**
Osobní číslo: **A14103**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Elektromagnetické pole periférií výpočetní techniky**
Téma anglicky: **The Electromagnetic Fields of Computer Peripherals**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou elektromagnetické kompatibility elektronických zařízení.
2. Seznamte se s normou ČSN EN 55022 v platném znění. Zaměřte se zejména na meze rušení výpočetní techniky vyzařováním do prostoru v rozsahu frekvencí nad 30 MHz.
3. Seznamte se s Laboratoří EMC na FAI UTB a přístrojovým vybavením určeným k měření rušivého elektromagnetického pole.
4. Proveďte srovnání vyzařovaného rušivého pole na 3 vzorcích sestav výpočetní techniky (počítač, monitor, myš, klávesnice).
5. Zkoumejte, zda se naměřené hodnoty mění v závislosti na vytížení měřených sestav.
6. Zpracujte naměřené výsledky a formulujte závěr z měření.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. MYSLÍK, Jiří. Elektromagnetické pole. Základy teorie. Praha: BEN – technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-43-0.
2. MAYER, Daniel. Aplikovaný elektromagnetismus. České Budějovice: Kopp, 2012. ISBN 978-80-7232-436-1.
3. TRNKA, Zdeněk. Teoretická elektrotechnika: Učebnice pro elektrotechn. fakulty. 4., upr. a dopln. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1972.
4. SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita. Brno: Vysoké učení technické, 2002.
5. VACULÍKOVÁ, Polina a Emil VACULÍK. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení : ČSN-ČSN EN-ČSN IEC-ČSN CISPR-ČSN ETS. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-7169-568-8.
6. OTT, Henry, W. Electromagnetic compatibility engineering. Hoboken: Wiley, c2009. ISBN 978-0-470-18930-6.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D.

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

24. května 2017

Ve Zlíně dne 24. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Jméno, příjmení: Martin Kiš

Název bakalářské práce: Elektromagnetické pole periferii výpočetní techniky


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 s přípoštěním 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, považuji 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, dne 4. 5.


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá v první části teorií elektromagnetické kompatibility (EMC), která v současné době zasahuje do celé řady technických oborů. Negativní vliv elektromagnetické interference (EMI), což je jedno z odvětví EMC, může mít za následek rušení jiných užitečných signálů v oblasti například radiokomunikace. Tato práce je zaměřena na EMC počítačových periférií, které jako každý elektrotechnický produkt vyzařují EMI do okolí. Ve druhé části bude popsána praktické realizace měření vyzářeného signálu na třech sestavách s počítačem. Vyzářený signál bude změřen pomocí antény. Úrovně naměřených signálů ze stejných sestav následně budou mezi sebou porovnané.

Klíčová slova: elektromagnetická kompatibilita, počítačové periferie, waterfall diagram

ABSTRACT

First part of this work deals with electromagnetic compatibility theory, which currently intervenes into many technical fields. Negative influence of electromagnetic interference (EMI), which is one of the EMC's part, may cause interference with another useful signals. This work is focuses on EMC of computer peripherals, which like any other electrical product emit EMI into environment. In second part of this work will be describe the practical implementation of the measurement of the radiated signal on three sets with the computer. The radiated signal will be measured by antenna. The levels of measured signals of the same sets will be compared to each other.

Keywords: electromagnetic compatibility, computer peripherals, waterfall diagram

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Martinu Pospíšilíkovi Ph.D. za odborné vedení, rady a připomínky v rámci celého průběhu zpracování této bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ZÁKLADNÍ POJMY	11
1.1 ZÁKLADNÍ VELIČINY	11
1.2 ELEKTROSTATICKÉ POLE	12
1.3 MAGNETICKÉ POLE	12
1.4 ELEKTROMAGNETICKÉ POLE	13
1.4.1 První Maxwellova rovnice	13
1.4.2 Druhá Maxwellova rovnice	14
1.4.3 Třetí Maxwellova rovnice	15
1.4.4 Čtvrtá Maxwellova rovnice	16
1.5 ELEKTROMAGNETICKÉ VLNĚNÍ	16
2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	18
2.1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA BIOLOGICKÝCH SYSTÉMŮ.....	18
2.2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ	19
2.2.1 Elektromagnetické interference	20
2.2.2 Elektromagnetická susceptibilita	20
2.3 NĚKTERÉ ZÁKLADNÍ POJMY EMC	21
3 RUŠIVÉ SIGNÁLY	23
3.1 ŠÍŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ.....	24
3.1.1 Kontaktní šíření	25
3.1.2 Šíření pomocí vazeb	25
3.1.2.1 Kapacitní vazba.....	26
3.1.2.2 Induktivní vazba	26
3.1.3 Vyzařování	26
4 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ	27
4.1 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ PO VEDENÍ	28
4.1.1 Měření s umělou zátěží	28
4.1.2 Měření s napěťovou sondou.....	29
4.1.3 Měření s proudovou sondou.....	29
4.1.4 Měření s absorpčními kleštěmi	30
4.2 MĚŘENÍ POMOCÍ ANTÉN	31
4.2.1 Rámové (smyčkové) antény	31
4.2.2 Prutová anténa	32
4.2.3 Symetrický dipól	32
4.2.4 Symetrický půlvlnný dipól	33
4.2.5 Bikonické antény.....	33
4.2.6 Logaritmicko-periodická anténa	34
4.2.7 Kónicko-logaritmická anténa	34
4.2.8 Trychtýřová anténa.....	35
5 NORMY	36

5.1	ZÁKLADNÍ DĚLENÍ NOREM.....	36
5.2	NORMY PRO NÍZKOFREKVENČNÍ RUŠENÍ.....	36
5.3	NORMY PRO VYSOKOFREKVENČNÍ RUŠENÍ	36
5.3.1	ČSN EN 55022.....	37
6	POČÍTAČOVÉ PERIFERIE	38
6.1	VSTUPNÍ POČÍTAČOVÉ PERIFERIE.....	38
6.1.1	Klávesnice	38
6.1.2	Myš.....	40
6.2	VÝSTUPNÍ POČÍTAČOVÉ PERIFERIE	40
6.2.1	Monitor.....	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	43
7	POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	44
7.1	BIKONICKÁ ANTÉNA.....	44
7.2	RÁDIO	44
8	MĚŘENÉ PŘÍSTROJE	45
8.1	POČÍTAČ	45
8.2	MONITOR	45
8.3	KLÁVESNICE	46
9	MĚŘENÍ V ČÁSTEČNĚ BEZODRAZOVÉ KOMOŘE	47
9.1	MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE ZATÍŽENÉHO A NEZATÍŽENÉHO PC	47
9.2	MĚŘENÍ MONITORU 1	50
9.2.1	Měření celých obrázků	50
9.2.2	Měření proměnné RGB	52
9.3	MĚŘENÍ KLÁVESNICE	53
9.4	MĚŘENÍ MONITORU 2	55
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	60
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67

ÚVOD

Elektromagnetická kompatibilita, zkráceně EMC, je zde již nějakou dobu. Za tuto dobu se projevila jako jedno z nejdůležitějších elektrotechnických odvětví. Protože v přirozeném životě každý elektrický výrobek vyzařuje do okolí nějaký rušivý signál, který může nepříznivě ovlivňovat nebo dokonce poškodit jiné elektrické přístroje. V ideálním světě by byl každý elektrický výrobek naprosto elektricky kompatibilní, což znamená, že by nevyzařoval žádný rušivý signál do okolí a nebylo by možné jej ovlivnit vnějším rušivým signálem. Elektrická kompatibilita technických systémů se dělí na dvě odvětví a to na elektromagnetickou interferenci (EMI) a elektromagnetickou susceptibilitu (EMS). Odvětví EMI se zabývá vyzařování měření a vyhodnocování vyzařovaného elektromagnetického signálu do okolí. EMS česky elektromagnetická odolnost se zabývá odolnosti elektrických přístrojů proti rušivým signálům. Proto jsou v tomto oboru normy, které musí splňovat každý elektrický přístroj.

V teoretické části této práce se bude pojednávat o elektromagnetické kompatibilitě, o dělení na elektromagnetickou kompatibilitu technických systémů a elektromagnetickou kompatibilitu biologických systémů. Jedna z částí se bude věnovat rušivým signálům a to hlavně jejich šíření, které je možné pomocí vazby, vyzařování nebo kontaktu, a jejich měření jak pomocí antén, nebo jinými zařízeními pro měření rušivých signálů po vedení. Neoddělitelnou částí elektromagnetické kompatibility jsou i normy, které zde budou rozděleny a popsány. Tato práce se zabývá i počítačovými periferiemi, které zde budou rozděleny na vstupní periferie, kde bude popsán princip funkčnosti myši a klávesnice, a výstupní periferie, kde bude popsán princip funkčnosti CRT monitoru a LCD monitoru.

V praktické části této práce bude provedeno měření v bezodrazové komoře. Zde bude měřena úroveň vyzařovaného signálů na celkem třech sestavách počítač a periferie. Jednou bude měřen i samotný počítač. Všechny měření budou provedeny za stejných podmínek. Výsledky ze stejného měření budou vždy mezi sebou porovnány a vyhodnoceny.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ POJMY

Jako první je nejprve potřeba definovat některé základní pojmy elektrotechniky, které souvisí s elektromagnetickým polem potažmo elektromagnetickou kompatibilitou.

1.1 Základní veličiny

Mezi základní veličiny elektrotechniky patří elektrický náboj, který se značí Q . Je to základní vlastnost hmoty, kterou nelze vytvořit ani zničit, ale lze jej pouze odvést. Jednotkou je 1 coulomb [C]. Nejmenší takzvaný elementární náboj se značí e a jeho hodnota je $1,602 \cdot 10^{-19}$ C. Další základní veličina je napětí, které se značí U . Napětí je definované jako práce pro přesun jednoho kladného náboje z bodu A do bodu B. Jednotkou elektrického napětí je 1 volt [V]. Elektrický proud se značí písmenem I a jednotkou je 1 ampér [A]. Proud je definovaný dle SI jako: Jeden ampér je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přírými, rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti jeden metr vyvolá mezi nimi stálou sílu o velikosti $2 \cdot 10^{-7}$ N na jeden metr vodiče. Elektrický výkon je definován jako časová změna elektrické práce. Jednotkou je 1 watt [W] a značí se P . Dále intenzita elektrického pole se značí E , a jednotkou je volt na metr [Vm^{-1}]. Intenzita magnetického pole se značí pomocí písmene H a základní jednotkou je ampér na metr [Am^{-1}]. [17] V elektromagnetické kompatibilitě jsou hodnoty nejčastěji vyjádřeny pomocí decibelů [dB]. Decibely se využívají tam, kde se hodnoty mění ve velkém rozsahu. Zároveň decibely jsou logaritmickou jednotkou. Byla pojmenována po vynálezci telefonu A. G. Bellovi, který zjistil, že ucho vnímá tlak logaritmicky. [4] Pomocí decibelů lze vyjádřit napětí, proud i elektrický výkon. Vypočítají se pomocí vzorců:

$$dB = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \quad (1)$$

$$dB = 20 \log \frac{I_2}{I_1} \quad (2)$$

$$dB = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (3)$$

Často se hodnoty vztahují k určité takzvané referenční hodnotě.

$$dBmV = 20 \log \frac{U_2}{1mV} \quad (4)$$

$$dBmA = 20 \log \frac{I_2}{1mA} \quad (5)$$

$$dBmW = 10 \log \frac{P_2}{1mW} \quad (6)$$

1.2 Elektrostatické pole

Kdekoliv v prostoru kde na sebe působí dva náboje, vzniká také elektrostatické pole. Síla tohoto pole je definována Coulombovým zákonem, který zní:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1Q_2}{r^2} \quad (7)$$

Q – náboj

r – vzdálenost mezi náboji

ϵ_0 – permitivita vakua ($8,855 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$)

ϵ_r – relativní permitivita homogenního prostředí

Když se na povrchu tělesa akumulují náboje, které se odpuzují a přitahují v závislosti na působící síle mezi nimi, vzniká elektrické napětí. Čím větší je napětí tím větší je elektrostatické pole, respektive intenzita elektrostatického pole, která se značí E a v praxi se nejčastěji používá jednotka Vm^{-1} , ale podle jednotek SI je základní jednotka definovaná jako NC^{-1} (newton na coulomb). Elektrostatické pole je popisováno vektory elektrostatické intenzity v každém bodě. Elektrostatické pole existuje, jestliže se vektory elektrické intenzity s časem nemění. [1]

1.3 Magnetické pole

Jako první byl objeven permanentní magnet, takzvaný magnetovec. U jakéhokoliv magnetu platí, že je dipól to znamená, že magnet má dva póly, takzvané severní a jižní. Oba póly jsou neoddělitelné. Magnetické pole tedy vzniká pohybem elektronů kolem jádra atomu perma-

rentního magnetu. Magnetické pole v elektrotechnice vzniká pohybem nábojů, tedy proudem elektrického proudu. Podobně jako tomu je u elektrického pole je i zde definována síla dvou bodových magnetů, které na sebe vzájemně působí: [2]

$$F = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi} \cdot \frac{m_1 m}{r^2} \quad (8)$$

m – hmotnost

r – vzdálenost

μ_0 – permeabilita vakua ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$)

μ_r – relativní permeabilita

Elektrické pole bylo definováno vektorem elektrické intenzity, naproti tomu je magnetické pole definováno magnetickou indukcí B a jednotkou je tesla (T). Stejně jako u elektrického pole vektory magnetické indukce definují magnetické pole. Čím větší je elektrický proud, který prochází vodičem tak tím větší je i magnetická indukce a tím pádem je i silnější magnetické pole.[2]

1.4 Elektromagnetické pole

Elektromagnetické pole je spojení pole magnetického a pole elektrického. K popisu elektromagnetických polí se v makroskopickém pohledu využívá Maxwellových rovnic, kde se právě popisují vzájemné vazby a závislosti magnetického a elektrického pole. Jsou čtyři typy případy Maxwellových rovnic. [2] Mezi asi nejznámější působení elektromagnetismu lze zařadit světlo. Pomocí elektromagnetického pole můžeme přenášet i elektrickou energii pomocí tak, zvaného zákona elektromagnetické indukce. Který říká, že při pohybu vodiče v časově proměnném magnetickém poli se ve vodiči indukuje elektrické napětí. Proud bude mít v tomto případě velikost, jako kdyby byl připojen ke zdroji elektromotorického napětí. [3]

1.4.1 První Maxwellova rovnice

První Maxwellově rovnici se také říká zákon celkového proudu nebo také Zobecněný Ampérův zákon, který popisuje vztah magnetického pole a elektrického proudu. V integrálním tvaru vypadá rovnice následovně:

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = I + \frac{d\vec{\psi}}{dt} \quad (9)$$

Otáčení vektoru intenzity magnetického pole \vec{H} po uzavřené křivce C je rovna součtu vodičového proudu a posuvného proudu $\frac{d\vec{\psi}}{dt}$, kde ψ je tok elektrického pole plochou S . Jinak I a ψ jsou definované následovně: [3]

$$I = \int_S \vec{j} \cdot d\vec{S} \quad (10)$$

$$\vec{\psi} = \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} \quad (11)$$

Křivka C a S jsou vzájemně orientované pravotočivě.

Maxwellova rovnice v diferenciálním tvaru vypadá následovně:

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} \quad (12)$$

Tato rovnice říká, že rotace intenzity magnetického pole \vec{H} je rovna hustotě vodičového proudu \vec{j} a hustotě posuvného nebo také Maxwellova proudu $\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$. Maxwellův posuvný proud ve své době předpověděl magnetické vlny. [2]

1.4.2 Druhá Maxwellova rovnice

Druhá Maxwellova rovnice pojednává o zákonu elektromagnetické indukce, který pojednává o vzniku elektrického napětí za působení magnetického indukčního toku, a Faradayově indukčním zákoně. V integrálním tvaru rovnice vypadá následovně:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\vec{\Phi}}{dt} \quad (13)$$

$$\vec{\Phi} = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (14)$$

Interpretace rovnice (13) je podobná jako v případě první Maxwellovy rovnice, tedy otáčení vektoru elektrické intenzity E po křivce C se rovná záporné časové derivaci indukčního magnetického toku. Křivka C musí jako v předešlém případě obepínat plochu S , obě jsou vzájemně orientovány pravotočivě. [3] Diferenciální tvar druhé Maxwellovy rovnice vypadá následovně:

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \quad (15)$$

Rovnice (15) říká, že rotace vektoru intenzity elektrického pole se rovná záporné derivaci magnetické indukce. Je to rovnice, která popisuje vztah mezi elektrickým a magnetickým polem. [2]

1.4.3 Třetí Maxwellova rovnice

Ze třetí Maxwellovy rovnice vychází Gaussův zákon elektrostatiky, který se využívá pro výpočet intenzity elektrostatického pole v různých bodech prostoru. Třetí Maxwellova rovnice v integrálním tvaru vypadá následovně:

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q \quad (16)$$

$$Q = \int_V \rho dV \quad (17)$$

Rovnice (16) říká, že když libovolnou orientovanou plochou S prochází elektrický indukční tok, který je roven celkovému náboji v oblasti V , která je ohraničena plochou S . Znak ρ , který se vyskytuje v rovnici (17) a v rovnici (18), je hustota volného náboje a základní jednotka je Cm^{-3} . [3] Třetí Maxwellova rovnice v diferenciálním tvaru vypadá následovně:

$$\operatorname{div}\vec{D} = \rho \quad (18)$$

V rovnici (18) se říká, že divergence vektoru D , což je elektrický indukční tok, je rovna objemové indukce. Neboli siločáry začínají a končí u elektrického náboje. Dále z této rovnice vychází, že daný elektrický náboj působí i na jiné náboje svou silou. [2]

1.4.4 Čtvrtá Maxwellova rovnice

Ze čtvrté Maxwellovy rovnice vychází zákon spojitosti indukčního toku. V integrálním tvaru vypadá rovnice následovně:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (19)$$

Tato rovnice (19) říká, že jakýkoliv magnetický tok B libovolnou uzavřenou plochou S je vždy roven nule. [3] V diferenciálním tvaru vypadá rovnice následovně:

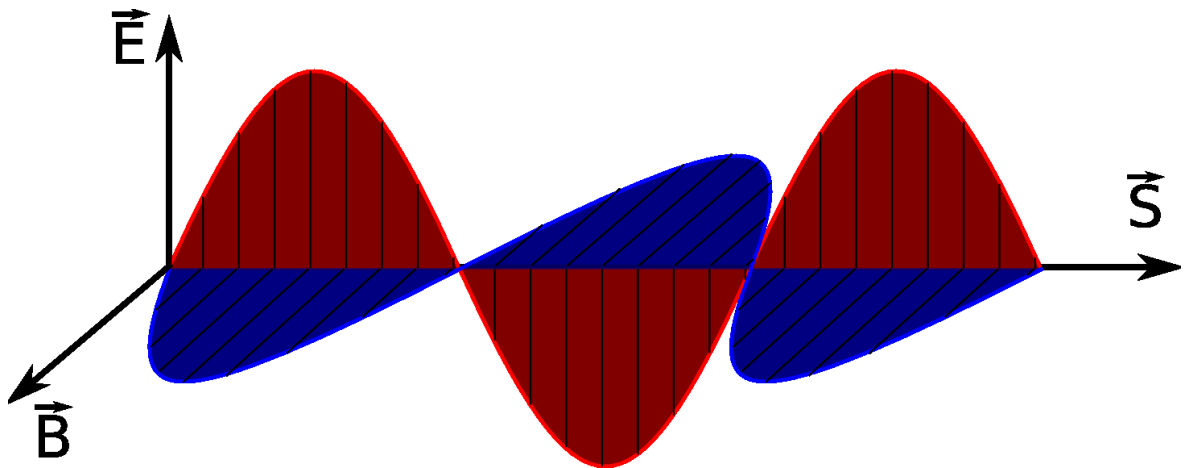
$$\operatorname{div}\vec{B} = 0 \quad (20)$$

Rovnice (20) říká, že vektor magnetického toku diverguje k nule. Neboli také uvádí nemožnost existence magnetických monopolů. [2]

1.5 Elektromagnetické vlnění

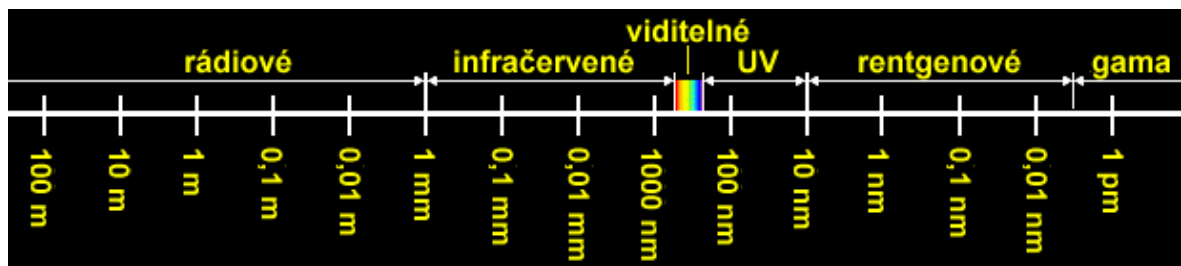
Teoreticky bylo elektromagnetické vlnění dokázáno Jamesem Clerkem Maxwellem na základě obecných rovnic elektromagnetického pole. Až po jeho smrti v roce 1887 dokázal existenci elektromagnetických vln Heinrich Hertz pomocí experimentu. Tento objev měl velký význam pro techniku a to hlavně v oboru sdělování informací. Také díky tomuto experimentu se podařilo pochopit podstatu světla, které je elektromagnetické vlnění. [4]

Elektromagnetické vlnění je vlastně elektromagnetické pole, které se šíří prostorem rychlostí světla. Je to šíření intenzity elektrického pole \vec{E} a magnetické indukce \vec{B} , které jsou kolmé na směr šíření vlny. Šíření elektromagnetické vlny je zobrazeno na obrázku (1). Z tohoto obrázku lze také vidět, že elektrická složka vlnění přechází v magnetickou složku vlnění a naopak. [4]



Obr. 1: Šíření elektromagnetické vlny [6]

Toto vlnění lze rozdělit podle kmitočtu, respektive podle frekvence. A to od 0 Hz až do frekvence 10^{20} Hz, což je vlnová délka 10^{-12} m. [4] Vlny se rozdělují podle vlnové délky a to na dlouhé, střední, krátké, ultrakrátké, decimetrové, centimetrové, milimetrové. Spektrum elektromagnetickému vlnění je zobrazeno na obrázku (2).



Obr. 2: Spektrum elektromagnetického vlnění [5]

2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Název elektromagnetická kompatibilita vznikl z anglického electromagnetic compatibility, odtud také vznikla zkratka EMC, což se používá jako mezinárodní zkratka. V češtině se dříve používalo místo elektromagnetické kompatibility elektromagnetická slučitelnost. [7]

Pod pojmem elektromagnetická kompatibilita je možno si představit správné fungování přístroje v místě kde působí jiné elektromagnetické přístroje, ale také vyzařování signálů do okolí. To znamená, že EMC vyjadřuje schopnost správné funkčnosti ve společném elektromagnetickém poli. [18] EMC se dále může dělit na dvě podsložky a to EMC biologických systémů a EMC technických systémů. [7] U EMC technických systémů jsou dále důležité dva aspekty a to elektromagnetická interference, což je vyzařování signálů do okolí to znamená rušení. Druhým aspektem je elektromagnetická susceptibilita, což je odolnost nebo také imunita proti elektromagnetickému rušení.

Elektromagnetická kompatibilita vznikla již v 60. letech 20. století, kde zpočátku byla v hledáčku jen úzkého okruhu elektrotechniků. A to hlavně v odvětví kosmonautiky a vojenství. [7] Později se EMC dostalo do povědomí širší veřejnosti a to hlavně z důvodu rozvoje mikroprocesorové techniky, telekomunikačních sítí a satelitů. V dnešní době je elektromagnetická kompatibilita velice hojně využívána. [18]

To dává i zapravdu panu H. M. Schlickemu, který byl jedním ze zakladatelů EMC jako samostatného vědního oboru a řekl: „Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý, bude však prakticky bezcenný, jestliže nebude zároveň elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat správně v každé době a za všech okolností.“ [18]

2.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

Elektromagnetická kompatibilita biologických se zabývá vlivem elektromagnetických signálů na živé organismy především na člověka. [7] V této oblasti výzkumu EMC nejsou výsledky jednoznačné, protože každý biologický organismus je jinak citlivý na elektromagnetické záření, každý je mu vystaven po jinou dobu. [8]

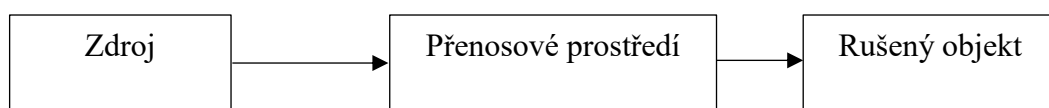
Ale přitom je člověk vystaven elektromagnetickému záření prakticky nepřetržitě. Přičemž jsou studie, které prokazují nežádoucí vlivy záření na člověka. Někteří lidé dokonce trpí elektrohypersenzitivitou, což znamená, že jsou více náchylní na elektromagnetické pole. [8] Také je nežádoucí, ale v některých případech nutné, vystavit člověka přímému působení

elektromagnetického pole, jako jsou například profese, při kterých se operuje s anténami a podobně. [7] Ale také dlouhodobé vystavení se elektromagnetickému poli v našem každodenním životě, jako je například Wi-Fi nebo GSM.

Nejvíce se elektromagnetickou kompatibilitou biologických systémů zabývají v lékařství, kde chtějí zjistit odolnost člověka na elektromagnetické pole. [7] Vlivy EMC na člověka lze rozdělit na dvě části a to na tepelné a netepelné. Tepelné účinky jsou za předpokladu působení na organismus vysokofrekvenčních a mikrovlnných polí. [8] Netepelné účinky jsou vyvolány elektromagnetickým polem, které působí na centrální nervový systém, kardiovaskulární, nervové srdečně cévní systémy.

2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Elektromagnetická kompatibilita technických systémů je druhá část, kterou se zabývá EMC. Tato část se zabývá soužitím technických systémů a elektronických systémů. Elektromagnetická kompatibilita se zabývá takzvaným základním řetězcem EMC, který se skládá ze tří částí zdroj, přenosové prostředí, rušený objekt, tak jak jsou zakresleny na obrázku 3. [7]



Obr. 3: Základní řetězec EMC

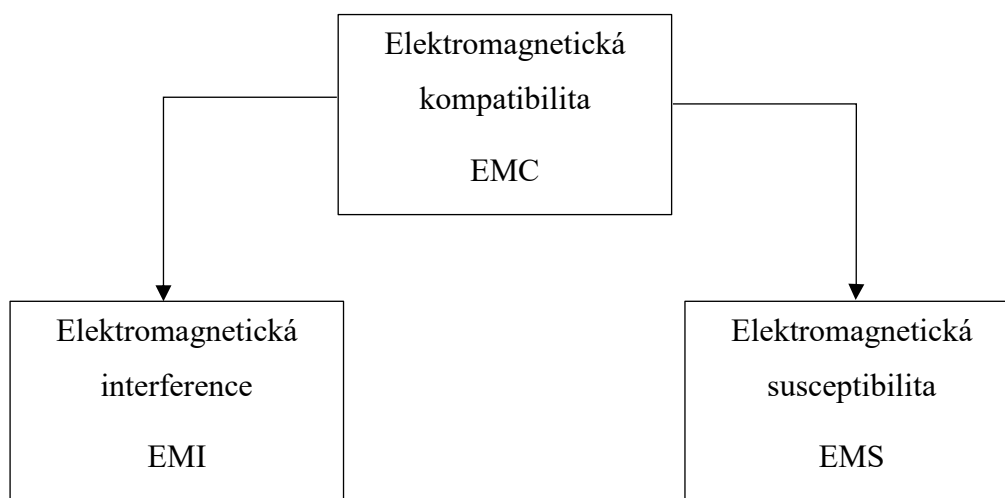
První na obrázku je zdroj elektromagnetického rušení. V této části se zkoumá vznik elektromagnetického rušení. Zdrojů může být celá řada jako například přírodní, pod kterými si lze představit například výboj blesku. U těchto zdrojů rušení je špatné to, že se z větší části nedají předpovídat. Dalším zdrojem mohou být umělé zdroje, což jsou zdroje rušení, které jsou tvořeny jinými například jinými stroji. Funkční a nefunkční zdroje rušení jsou další dva zdroje rušení. Funkční zdroje jsou již součástí systému například radiové přijímače. Naproti tomu nefunkční zdroje jsou parazitní zdroje, což znamená, že systém během své práce produkuje elektromagnetické rušení. [9]

Druhou částí řetězce je přenosové prostředí, které se zabývá přenosem elektromagnetické rušení. Elektromagnetické rušení se může přenášet například pomocí vzdušného prostoru, energetických kabelů nebo i signálových či datových vodičů. [7]

Třetí a poslední částí je rušený objekt. V této části řetězce se řeší, jak je rušený objekt ovlivňován elektromagnetickým rušením. Dále se zde probírá ochrana proti elektromagnetickému rušení v podobě analýzy konstrukce či technologie systému. [7]

Ve skutečnosti je spojitost mezi jednotlivými prvky řetězce složitější. Zdroj rušení může ovlivňovat více rušených objektů a naopak jeden rušený objekt může být ovlivňován více zdroji rušení, přičemž objekty se mohou ovlivňovat i navzájem. V praxi se nejčastěji jen objekt označí jako zdroj elektromagnetického rušení a další za rušené objekty. Základní řetězec EMC je tedy spíše metodický, ale jestliže by se odstranil jeden prvek z řetězce, ztratila by elektromagnetická kompatibilita svůj smysl, protože by byl systém plně kompatibilní. [7]

Elektromagnetickou kompatibilitu je možno rozdělit na dvě základní podskupiny a to na elektromagnetickou interferenci, což je rušení, a elektromagnetickou susceptibilitu, což je odolnost nebo také imunita proti elektromagnetickému rušení. [9]



Obr. 4: Základní členění EMC [7]

2.2.1 Elektromagnetické interference

Elektromagnetické interference, neboli ve zkratce EMI, je elektromagnetické rušení. Což znamená, že je zde zájem o zdroj elektromagnetického rušení. Elektromagnetické rušení je proces, při kterém se energie zdroje rušení přenáší pomocí elektromagnetické vazby k rušenému objektu. Snaží se tedy najít škodlivé přenosy a snaží se je odstranit. Na elektromagnetickou interferenci si klade větší důraz než na elektromagnetickou susceptibilitu. [9]

2.2.2 Elektromagnetická susceptibilita

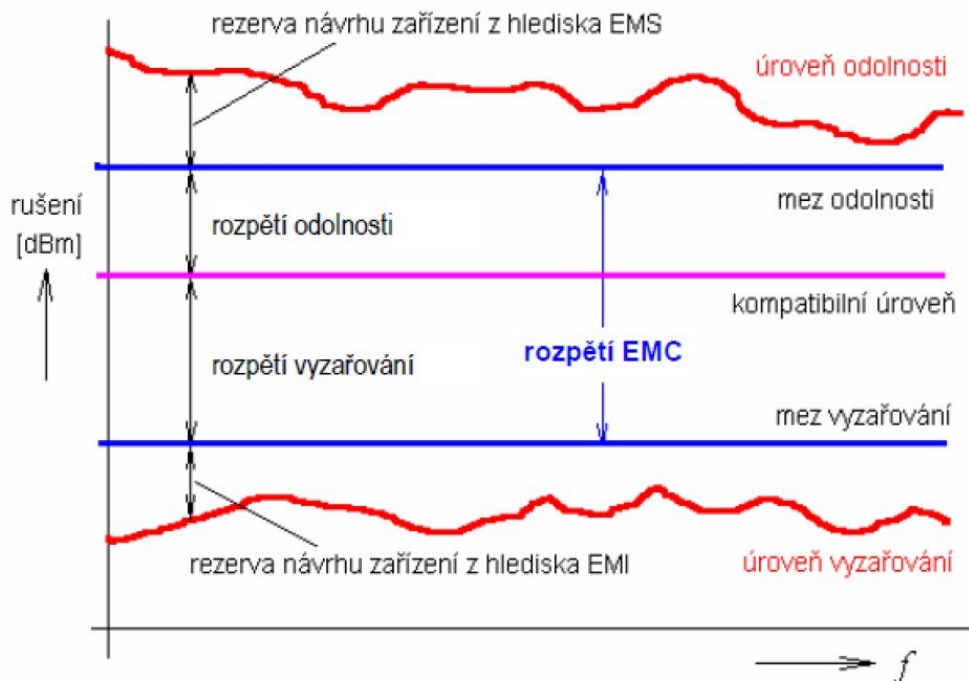
Elektromagnetická susceptibilita znamená, elektromagnetická citlivost nebo odolnost proti rušení. Elektromagnetická susceptibilita má zkratku EMS. Dle definice vyjadřuje schopnost systému pracovat bez poruch v místě elektromagnetického rušení. Oblastí zájmu elektromagnetické susceptibility je tedy odstraňování důsledků elektromagnetického rušení pomocí nějakých technických opatření například pomocí stínění. [7]

Elektromagnetická odolnost lze rozdělit na dvě kritéria a to kritérium kvantitativní a kritérium kvalitativní. Kvantitativní kritérium množství signálu, které systém přijme, a nenaruší chod systému. Pro běžného člověka je ale zásadnější kvalitativní kritérium, které se zabývá změnou signálu po přijetí rušivého signálu. V praxi se následně kritéria dělí na pět částí: [7]

- Funkční kritérium A – Systém je elektromagneticky kompatibilní, tedy elektromagnetické rušení nějak neovlivnilo systém
- Funkční kritérium B – Elektromagnetické rušení ovlivní stav systému v jedné funkci. Funkce mimo své tolerance. Po ukončení rušení se systém automaticky vrátí opět do plně funkčního a bezchybného stavu
- Funkční kritérium C – Elektromagnetické rušení ovlivní stav systému v jedné nebo více funkcích. Funkce jsou plněny špatně nebo nejsou plněny vůbec. Po ukončení rušení se systém automaticky vrátí do funkčního a bezchybného stavu.
- Funkční kritérium D – Elektromagnetické rušení ovlivní stav systému v jedné nebo více funkcích. Funkce jsou plněny špatně nebo nejsou plněny vůbec. Po ukončení rušení se systém automaticky nevrátí do funkčního stavu, ale je vyžadován zásah operátora systému.
- Funkční kritérium E - Elektromagnetické rušení ovlivní stav systému v jedné nebo více funkcích. Funkce jsou plněny špatně nebo nejsou plněny vůbec. Po ukončení rušení je nutno systém opravit aby byl opět funkční.

2.3 Některé základní pojmy EMC

Každý systém je vysílačem i přijímačem elektromagnetického rušení. Základní pojmy elektromagnetické kompatibility jsou definovány v Mezinárodním elektrotechnickém slovníku ČSN IEC 50 v kapitole 161. [7]

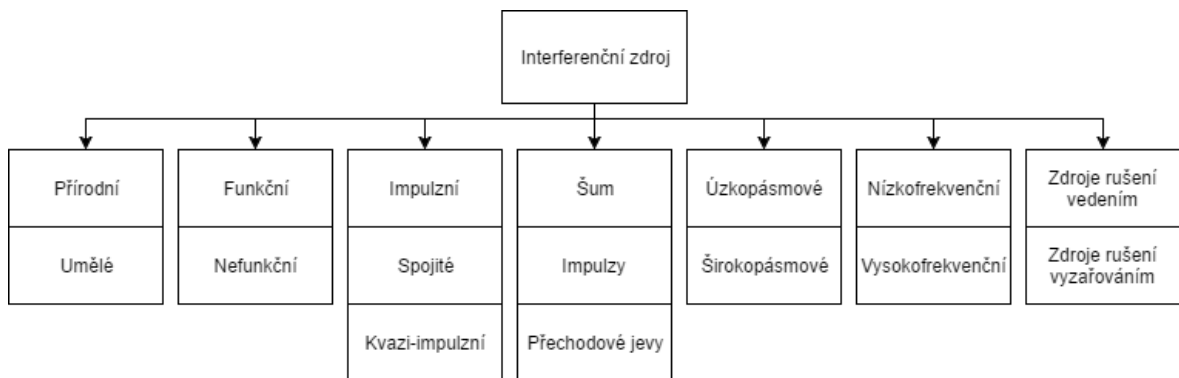


Obr. 5: Definice úrovní a mezi vyzařování a odolnosti [7]

- Úroveň vyzařování – Rušení, které je vyzařované systémem.
- Mez vyzařování – Maximální předepsaná hodnota vyzářeného rušení.
- Rezerva návrhu zařízení z hlediska EMI – Rozdíl úrovně vyzařování a meze vyzařování.
- Úroveň odolnosti – Maximální rušení, kdy ještě systém dokáže v pořádku pracovat.
- Mez odolnosti – Minimální předepsaná hodnota odolnosti
- Rezerva návrhu zařízení z hlediska EMS – Rozdíl úrovně odolnosti a meze odolnosti.
- Rozpětí EMC – Rozdíl meze odolnosti a meze vyzařování. Je to maximální předepsaná hodnota celkového rušení, která může ovlivnit zařízení. Volí se tak aby byla překročena jen zřídka.
- Rozpětí vyzařování – Rozdíl kompatibilní úrovně a meze vyzařování.
- Rozpětí odolnosti – Rozdíl kompatibilní úrovně a meze odolnosti.

3 RUŠIVÉ SIGNÁLY

V elektrotechnice je každým systémem zdrojem a i příjemcem elektromagnetického rušení. Ale jako zdroje rušivých signálů se berou hlavně systémy, kde je vyzářených signálů mnohem větší množství. Tyto zdroje se nazývají interferenční zdroje nebo zdroje elektromagnetického rušení. [7]



Obr. 6: Zdroje interference

- Přírodní zdroje rušení – Zdroj tohoto rušení nemůžeme ovlivnit. Můžeme mu pouze předcházet.
- Umělé zdroje rušení – Zdroje rušení, které vytváří lidé. Tyto zdroje jsou v našem zájmu co nejvíce potlačit.
- Funkční zdroje rušení – Toto jsou zdroje rušení, které při svém provozu vyzářují do okolí žádoucí elektromagnetický signál, ale tento signál může ovlivnit negativně jiné systémy. Příkladem může být například rádio.
- Nefunkční zdroje rušení – Může se jim říkat i parazitní zdroje rušení. Tyto systémy při svém provozu vyzářují nežádoucí elektromagnetický signál.
- Impulzní zdroje rušení – Rušení se objevuje pouze v určitých pulzech.
- Spojité zdroje rušení – Zdroj rušení neustále působí svou činností.
- Kvazi-impulzní zdroje rušení – Rušení, které spojuje impulzní a spojitý zdroj.
- Šum – Anglicky se mu říká noise (N). Toto rušení mění tvar signálu. V elektrotechnice se pojem šum používá pro náhodný signál.
- Impulzní – Anglicky se jim říká spike (S). U tohoto rušení je velký rozdíl mezi dobou trvání pulzu a jeho amplitudou. Impulzy se připojují na signál a tím pádem mění kladné ale i záporné špičky. Impulzní rušení vzniká hlavně při nějakém přepínání.

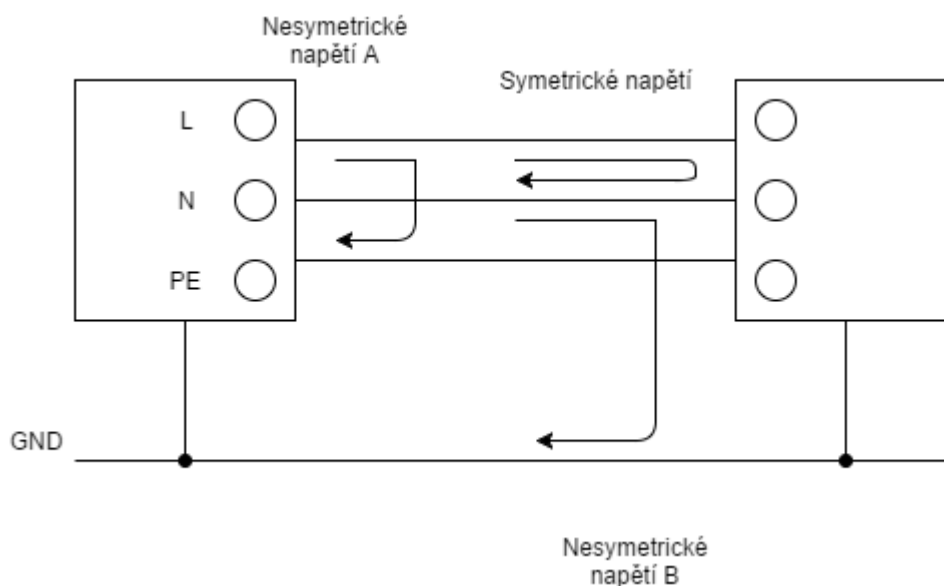
- Přejchodové jevy – Anglicky se jim říká transients (T). Tyto náhodné jevy mohou trvat od jednotek milisekund až po sekundy. Nejsou periodické, jsou spíše odezvou na změnu stavu.
- Úzkopásmové zdroje šumu – Mají spojitost s kmitočtovým pásmem. Jsou to například televizní nebo rozhlasové signály, které mohou negativně ovlivnit jiné signály. Bránit se proti tomuto zdroji šumu lze pomocí stínění.
- Širokopásmové zdroje šumu – Mezi tyto zdroje patří hlavně šum z průmyslu a je jedno, jakého typu je (impulzní, spojitý, kvazi-impulzní). Do této kategorie lze zařadit i přírodní zdroje rušení.
- Nízkofrekvenční rušení – Toto rušení lze rozdělit na dvě oblasti a to:
 - Energetické nízkofrekvenční rušení – Působí ve frekvenčním pásmu od 0 – 2 kHz. Hlavně negativně ovlivňuje průběh napájecího napětí. Důvodem tohoto rušení jsou nelineární zátěže.
 - Akustické nízkofrekvenční rušení – Působí ve frekvenčním pásmu od 0 - 10 kHz. Negativně ovlivňuje hlavně sdělovací technologie, jako jsou telefony a podobně. Velmi mnoho elektronických systémů generuje toto rušení pro příklad zdroje nebo radary.
- Vysokofrekvenční zdroje rušení – Lze jim také říkat rádiové zdroje rušení. Působí ve frekvenčním pásmu od 10 kHz – 400 GHz. Do této skupiny patří téměř všechny ostatní skupiny.
- Zdroje rušení šířené vedením – Do této skupiny spadají zdroje rušení, které se šíří vedením.
- Zdroje rušení šířené vyzařováním – Do této skupiny patří zdroje rušení, které se šíří vyzařováním.

3.1 Šíření rušivých signálů

Šíření rušivých signálů je důležitou podmínkou samotného rušení. Rušivý signál se musí dostat od zdroje rušení k příjemci rušení, tak jak je to naznačeno na obrázku číslo 3. Rušivé signály se mohou šířit třemi způsoby a to kontaktně, bezkontaktně nebo vyzařováním. [7]

3.1.1 Kontaktní šíření

Tomuto šíření lze také říkat šíření po vedení. K tomuto typu šíření je potřeba, aby v obvodu byly nějaké datové nebo napájecí vodiče, tedy aby bylo v obvodu přítomno galvanické propojení. Které je velmi dobré pro vedení elektrického proudu. Toto šíření může být také dvojího typu a to symetrické a nesymetrické. Symetrické rušení je rušení mezi dvěma vodiči. Toto rušivé napětí je vyvoláno rušivým zdrojem napětí. Toto napětí vytváří proud, který je uzavřen ve smyčce, kterou tvoří zmíněný vodiče. Schematicky je toto rušení zobrazeno na obrázku číslo 7. Mezi pracovními vodiči a nějakým vztaženým bodem, na obrázku číslo 7 je to zem, vzniká nesymetrické rušení. Toto napětí vyvolává podobně, jako v případě symetrického napětí vytvoří proud, který je v uzavřené smyčce vedení a v tomto případě zemí. Na obrázku číslo 7 jsou dva případy. Příklad nesymetrického napětí A ukazuje jak je rušivý proud ve smyčce mezi ochranným vodičem PE a fází L. Příklad nesymetrického napětí B ukazuje jak je rušivý proud ve smyčce mezi zemí GND a nulovým vodičem N. Většinou dochází k oběma rušením najednou. [10]



Obr. 7 Ukázka symetrického a nesymetrického napětí

3.1.2 Šíření pomocí vazeb

Toto šíření vzniká při vzájemné blízkosti vodičů, například více vodičů v jednom kabelu. Mezi vodiči totiž vzniká indukční a kapacitní vazba. [10]

3.1.2.1 Kapacitní vazba

Když jsou přítomny parazitní kapacity mezi vodiči, je i možnost vzniku kapacitní vazby. Tato vazba může, ale i vznikat kolem jednotlivých částí obvodů. Velikost této vazby je ovlivňována vzájemnou vzdáleností. Z průmyslného hlediska jsou důležité tři typy kapacitních vazeb. První z nich je kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů. Tato vazba je příkladem rušení oddělených částí obvodu. Druhým typem je kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem. U této vazby mají rušený a rušící obvod společný nějaký vodič. Nejčastěji se tomu tak děje v případě číslicových a analogových obvodů. Posledním typem vazby je takzvaná kapacita vůči zemi. Je v obvodech, kde je velká kapacita mezi vodiči a zemí. V tomto případě se rušivé napětí pomocí parazitních proudů a parazitních vazebních kapacit dostává přes zem ze zdroje rušení do rušeného obvodu. [7]

3.1.2.2 Induktivní vazba

Kolem jakéhokoliv vodiče vzniká magnetické pole, jestliže tímto vodičem prochází elektrický proud. Toto magnetické pole se mění v závislosti na elektrickém proudu. V jiném vodiči, který je v magnetickém poli tohoto vodiče se dle Faradayova zákona indukuje rušivé napětí. Tato vazba je nejnebezpečnější při náhlých změnách, které jsou nejčastěji zapříčiněny přírodními zdroji rušení, jako je například bleskový výboj. Obrana proti induktivní vazbě je podobná, jako v případě kapacitní vazby a to zabránit aby dva vodiče byly příliš dlouho paralelně. Dále co nejvíce od sebe vzdálit oba obvody nebo vodiče. Tyto dvě pravidla pomohou i v případě kapacitní vazby. Dále u rušeného obvodu co nejvíce zmenšit proudovou smyčku. [7]

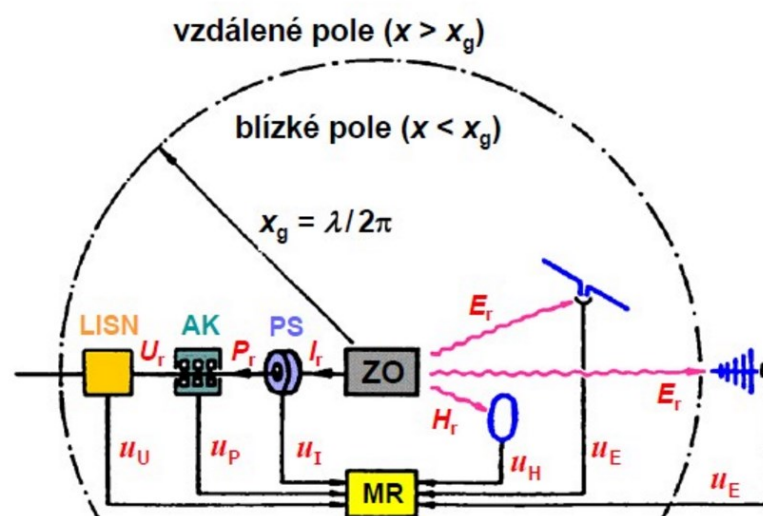
3.1.3 Vyzařování

Vyzařování působí na mnohem větší vzdálenost než tomu je u kapacitních nebo induktivních vazeb. Šíření zde probíhá pomocí elektromagnetické vlny. Nejčastěji elektromagnetické vlny vysílají vysílače nebo průmysl. Elektromagnetické vlny mohou rušit například radiové přijímače. Princip rušení je podobný jako v případě induktivní vazby, tedy pomocí elektromagnetické vlny se ve vodiči indukuje rušící napětí. [10] Nejúčinnější ochranou proti tomuto šíření je pomocí stínění, která zeslabí elektromagnetickou vlnu. Toto stínění elektromagnetickou vlnu z části absorbuje a z části odrazí. Elektromagnetická vlna se může šířit i v samotném zařízení. A to pouze jestliže je vlnová délka vlny menší než příčné rozměry přístroje. V tomto případě slouží kovový kryt přístroje jako vlnovod, kterým se šíří elektromagnetické vlnění. [7] Takováto vazba se nazývá vlnová vazba.

4 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Neoddělitelnou součástí a zároveň nejdůležitější problematiky týkající se elektromagnetické kompatibility je měření rušivých signálů. Při měření nás nejvíce zajímá elektromagnetická interference. Touto zkouškou by mělo projít každé zařízení. Přičemž vyzářená energie by se měla vejít do určitých norem. Normy jsou popsány v následující kapitole. V těchto normách je i postup měření, který by měl být reprodukovatelný. Reprodukovatelnost znamená, že je použita stejná metoda měření, ale jiný operátor a jiné měřicí zařízení. Při měření rušivých signálů se musí počítat s tím, že samotný měřicí přístroj bude se největší pravděpodobností znehodnocovat výsledky. [7]

Měřicí přístroj se musí vybrat podle toho, co je měřeno, tedy jestli jsou měřeny rušivé signály na vedení, vazbou nebo vyzářováním. U každého tohoto měření je oblast zájmu jiná. Například u měření rušivých signálů na vedení je měřeno rušivé napětí U_r nebo rušivý proud I_r popřípadě rušivý výkon P_r . U rušivých signálů, které se šíří vazbou, je oblast zájmu hlavně intenzita rušivého elektrického pole E_r popřípadě intenzita rušivého magnetického pole H_r . U vyzářených rušivých signálů se měří intenzita rušivého elektrického pole E_r , intenzita rušivého magnetického pole H_r , anebo hustota vyzářeného výkonu p_r . Je jasné, že jednotlivé změřené veličiny lze převést na jiné. Na obrázku číslo 8 jsou zobrazeny způsoby měření rušivých signálů. U všech měřicích přístrojů je požadavek na to, aby zachycovali pouze vyzářování ze zkoušeného objektu. Měřený přístroj nesmí reagovat ani na rušivé signály, které vyzářuje sám o sobě. Pro správné měření je nutné vybrat správný přístroj a místo měření. [7]



Obr. 8: Metody měření [7]

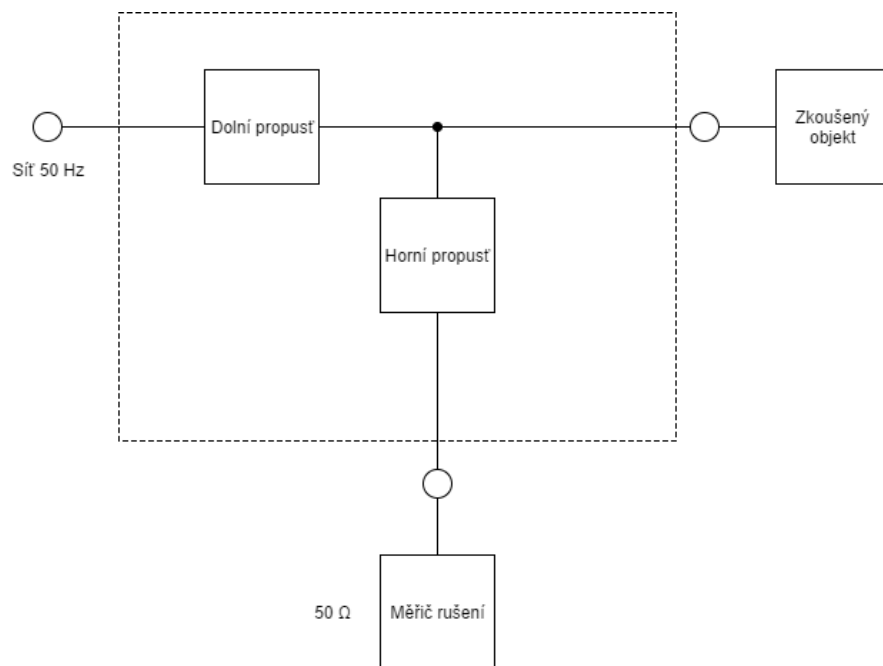
4.1 Měření rušivých signálů po vedení

Měření rušivých signálů po vedení lze rozdělit na několik částí. A to podle toho čím se měří: [7]

- Měření s umělou zátěží
- Měření s napěťovou sondou
- Měření s proudovou sondou
- Měření s absorpčními kleštěmi

4.1.1 Měření s umělou zátěží

Umělá síť je často známá i pod zkratkou LISN, které vychází z anglického sousloví Line Impedance Stabilizing Network. Využívá se k měření rušivých signálů, které putují z rozvodné sítě. Na obrázku číslo 9 je schématické rozložení LISN. Kde jak je vidět jsou tři svorky. Na jedné svorce je připojená síť, na druhé svorce je připojený měřič rušení a na třetí svorce je zkoušený objekt. Toto schéma je základní. V reálu je ale zapojený každý vodič rozvodné sítě, tedy je zapojen nulový vodič ochranný vodič a fáze. Pro třífázové soustavy to platí také. Zátěž v měřicího objektu se volí tak, aby se simulovala impedance vnější napájecí sítě. [7]



Obr. 9: Blokové schéma LISN

Blokové schéma na obrázku 9 plní následující tři funkce: [7]

1. Umožňuje, aby byl zkoušený objekt a měřič rušení připojen po dobu rozsahu měřených kmitočtů horní propusti. Horní propust často tvoří pouze kondenzátor, který se často volí o hodnotě několik set nF.
2. Blok dolní propusti zajišťuje, aby se na vstup do zkoušeného objektu dostalo napájecí napětí o maximální frekvenci 50 Hz. Tím pádem je měření zkoušeného objektu neovlivňují vnější síťové rušivé signály. Přičemž útlum dolní propusti musí být nejméně -30 dB v daném frekvenčním pásmu. Tuto dolní propust tvoří jen jeden LC článek.
3. LISN dále zajišťuje impedanční přizpůsobení. A to pro měřič rušení a pro měřený objekt. Svorka u měřiče rušení je přizpůsobena tak, aby se rovnala impedanci měřicího přístroje. Na obrázku tedy bude impedance této svorky 50 Ω . Svorka měřeného objektu je přizpůsobena tak, aby simulovala impedanci příslušné napájecí sítě. Na toto přizpůsobení jsou normy, konkrétně norma ČSN EN 55016-1-1.

Při měření je normou, konkrétně normou CISPR 16-1-1, i specifikováno rozložení pracoviště pro měření.

4.1.2 Měření s napěťovou sondou

Měřit s napěťovou sondou lze všude kromě napájecích svorek měřeného přístroje. Napěťová sonda se připojuje přímo na měřené místo. Napěťová sonda má vysokou vstupní impedanci, takže se používá k měření všude ve vysoko impedančních obvodech. Jedním z nejdůležitějších parametrů napěťové sondy je maximální velikost vstupního napětí, na které bude sonda připojena. Většina sond se dnes vyrábí na vstupní maximální střídavé napětí 250 V. Ilustrace napěťové sondy je na obrázku číslo 10. [7]



Obr. 10: Napěťová sonda [19]

4.1.3 Měření s proudovou sondou

Někdy se proudové sondě říká také proudový transformátor nebo proudové kleště. Tyto zařízení se používají k měření rušivého proudu ve vodiči. Hlavní součástí proudových kleští je

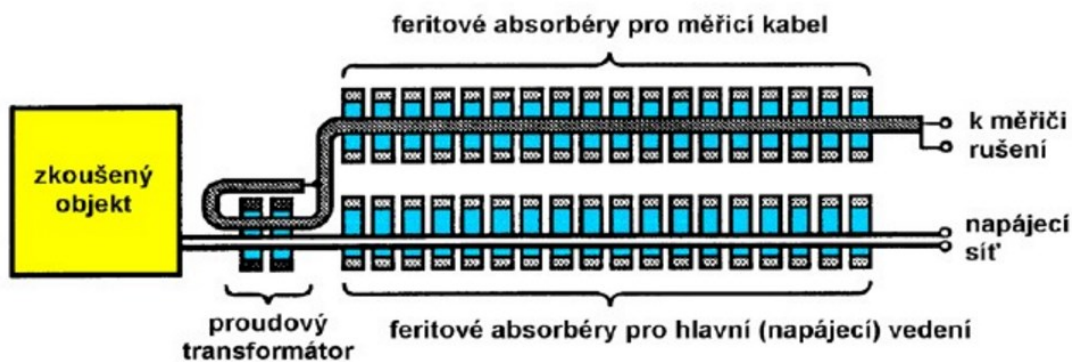
toroidní transformátor, který je rozdělen na dvě části z důvodu vložení měřeného vodiče do proudových kleští. Rušivý proud procházející vodičem je poté převeden na sekundární vinutí sondy, kde je připojený měřič rušení. Citlivost sondy je dána počtem závitů a permeabilitou toroidního jádra. A maximální pracovní frekvence je dána vlastní rezonancí indukčnosti a parazitními kapacitami ve vlnění. Další parametry proudové sondy jsou například maximální nízkofrekvenční a stejnosměrný proud nebo impedance sekundárního obvodu a maximální velikost rušivého proudu. Ilustrace proudové sondy je na obrázku číslo 11. [7]



Obr. 11: Proudová sonda [20]

4.1.4 Měření s absorpčními kleštěmi

Absorpčním kleštím se i jinak říká absorpční transformátor nebo absorpční odbočnice. Je to kombinace vysokofrekvenční proudové sondy a přizpůsobené zátěže. Používá se k měření výkonu rušivého proudu ve frekvencích od 30 MHz do 1 GHz. Mimo jiné kleště jsou tvořeny ještě feritovými kroužky, které jsou kolem zkoušeného a měřícího kabelu. Kroužky kolem zkoušeného kabelu absorbují rušivý výkon signálu. Zatímco kroužky kolem měřícího kabelu absorbují proud na povrchu vodiče, který by se jinak dostal do měřiče rušení. Absorpční kleště jsou velmi přesné a měření s nimi lze i automatizovat. [7]



Obr. 12: Konstrukce absorpčních kleští [7]

4.2 Měření pomocí antén

Antény se používají pro měření rušivých signálů od frekvencí 10 kHz do 100 MHz a více. Hlavně se měření pomocí antén využívá při měření s frekvencemi nad 300 MHz, protože je od těchto frekvencí je velmi složité nebo i nemožné měřit rušivý proud nebo rušivé napětí. K měřicímu přístroji se přidávají různé typy antén v závislosti na měřeném kmitočtu. Tyto antény jsou v tabulce číslo 1. [7]

Tab. 1: Tabulka měřících antén

Druh antény	Rozsah kmitočtu	Měřicí složku
Rámová (smyčková) anténa	9 kHz – 30 MHz	H
Prutová anténa (monopól)	9 kHz – 30 MHz	E
Symetrické (laděné) dipóly	30 MHz – 1 GHz	E
Bikónická anténa	20 MHz – 300 MHz	E
Logaritmicko-periodická anténa	200 MHz – 3 GHz	E
Kónicko-logaritmická anténa	200 MHz – 3 GHz	E
Složená širokopásmová anténa	30 MHz – 2 GHz	E
Trychtýřové antény	1 GHz – 40 GHz	E, H

4.2.1 Rámové (smyčkové) antény

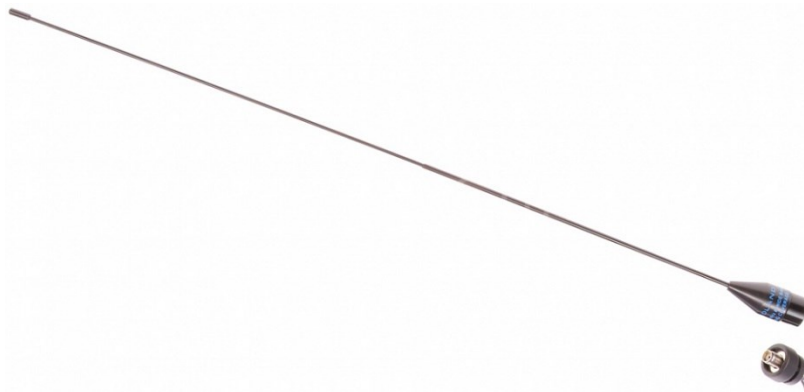
Tyto antény se používají v nejnižším kmitočtovém pásmu a měří rušivé magnetické pole. Smyčkové antény mají největší rozměry 60 x 60 cm. Pro odstranění parazitního vlivu elektrické složky pole je zde do kovového stínění umístěna cívka. Jsou dva druhy antén a to pasivní a aktivní podle toho jestli jsou k nim přidány zesilovače pro dané frekvenční pásmo. [7]



Obr. 13: Rámová anténa [7]

4.2.2 Prutová anténa

Prutové anténě lze také říkat tyčová anténa nebo také monopól. Využívají se k měření rušivého elektrického pole. Doporučená délka těchto antén je 1 metr. Měření tímto typem antén je nepřesné v blízkém poli rušivého zdroje, protože zde působí i kapacitní vazba mezi anténou a zdrojem rušení. Ale i tak se touto anténou měří, protože při zadaných podmínkách je měření reprodukovatelné. [7]



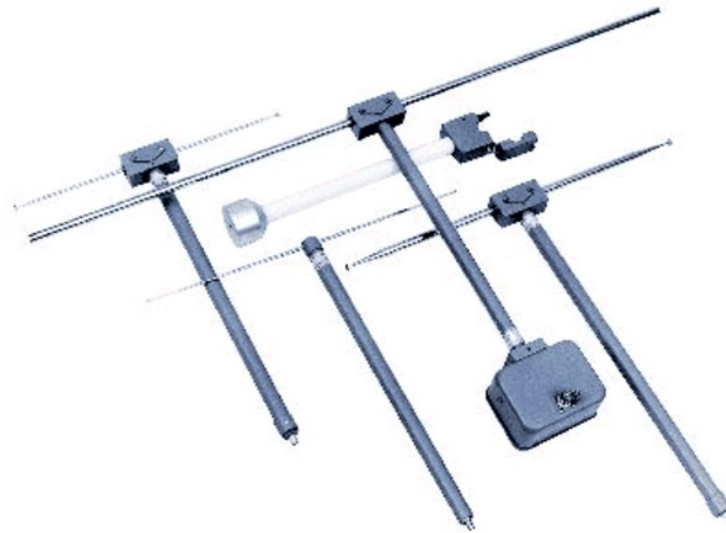
Obr. 14: Prutová anténa [11]

4.2.3 Symetrický dipól

Symetrický dipól se nejčastěji užívá k laboratorním měřením, protože dokáže v blízkém poli rušivého zařízení určit směr měřeného rušivého pole elektrické intenzity. Dokáže zjistit i směr siločar. Ve venkovních měřeních se místo těchto antén používají prutové antény. [7]

4.2.4 Symetrický půlvlnný dipól

Tato anténa pracuje ve frekvencích od 30 MHz do 80 MHz. Pro vyšší frekvence, tedy až do 1 GHz, slouží tyto antény pro kalibraci. Ramena těchto antén jsou velké, protože musí korespondovat s danou měřenou frekvencí. Dále antény musí být připojeny k napájení. Z toho plyne, že tyto antény nejsou vhodné do provozního měření. [7]



Obr. 15: Symetrický dipól [7]

4.2.5 Bikonické antény

Používají se pro měření elektromagnetického rušení od 20 MHz do 300 MHz. Tento typ antén je typ širokopásmového zkráceného dipólu. V elektromagnetickém poli měří elektrickou složku. [7]



Obr. 16: Bikonická anténa [7]

4.2.6 Logaritmicko-periodická anténa

Tento typ antén se používá ve frekvenční oblasti od 200 MHz do 3 GHz. Jsou složeny z unipólů, které jsou fázově napájeny. Tyto unipóly jsou od sebe vzdáleny vzdáleností, která vychází z podílu logaritmů jejich rezonančních frekvencí. Díky tomu je vstupní impedance antén konstantní. Měření probíhá pouze v polarizační rovině kde je největší rušení elektrické složky elektromagnetického pole. [7]



Obr. 17: Logaritmicko-periodická anténa [7]

4.2.7 Kónicko-logaritmická anténa

Kónicko-logaritmické antény jsou speciální typem složených širokopásmových antén. Pracuje ve frekvencích od 200 MHz do 3 GHz. Tento typ antén je určen pro vysílání nebo přijímání kruhové polarizovaného elektromagnetického pole. Kónicko-logaritmická anténa se používá k měření EMC spíše ve vojenství, naproti tomu ve veřejném sektoru normy předepisují měření pouze lineárních vln, zatímco ve vojenství jsou vlny kruhové. [7]



Obr. 18: Kónicko-logaritmická anténa [7]

4.2.8 Trychtýřová anténa

Pro nejvyšší frekvence se používají tak zvané trychtýřové antény. Jednotlivé antény jsou celkem úzkopásmové, ale jejich pásmo lze rozšířit pomocí konstrukčních úprav. Pro větší rozsah je nutné použít více antén, kde bude každá anténa pokrývat část kmitočtového pásma. [7]



Obr. 19: Trychtýřové antény v pyramidovém zapojení [7]

5 NORMY

S přibývajícím množstvím elektrických přístrojů začaly vznikat normy, což je soubor technických předpisů pro elektromagnetickou kompatibilitu. Zajišťují opakovatelnost měření nebo shodnou terminologii. Podobně jako u zdrojů rušení i zde se dělí normy na tři základní skupiny a to nízkofrekvenční, vysokofrekvenční a impulsní. Nízkofrekvenční rušení je hlavně myšleno zhoršením napájení přístroje díky rušení, které se šíří po síti. Vysokofrekvenční rušení většinou nesouvisí s napájecím napětím, ale hlavně má za následek znehodnocování užitečného signálu, na který se může nasuperponovat šum. V impulzním rušení je tvořeno většinou náhodnými špičkami signálu. Normy děleny na tři typy podle toho kde se s nimi setkáme. [12]

5.1 Základní dělení norem

Základní normy definují elektromagnetickou kompatibilitu. Dále zavádějí základní podmínky a pravidla pro testování. Ale zde se nestanovuje kritérium pro vyhodnocování, ani odolnosti a podobně. [12]

Kmenové normy obsahují soubor minimálních požadavků pro výrobky. Dále se tyto normy týkají jednotlivých prostředí a testování pro daný výrobek či systémy. Tyto normy neplatí, pokud jsou pro výrobky nějaké speciální normy. [12]

Normy výrobků musí být v souběhu s normami základními a kmenovými. Zde jsou zadány detaily testování elektromagnetické kompatibility a také samotné detaily na výrobky. Jiné budou požadavky na výrobek, který se bude používat v průmyslu a jiný který se bude používat ve zdravotnictví. [12]

5.2 Normy pro nízkofrekvenční rušení

Tyto normy spadají do norem IEC 1000 a potom do EN 61000, kde se dále dělí na devět částí. Od obecných definic přes popisy prostředí a kompatibilních úrovní, mezi rušení a odolností po zkušební a měřicí techniku a směrnice vlivů. Každá taková norma je pak dále ještě rozdělena do dalších oddílů, které se uvádějí do technických zpráv. [12]

5.3 Normy pro vysokofrekvenční rušení

Normy pro vysokofrekvenční rušení vycházejí z mezinárodních norem, které jsou známé pod zkratkou CISPR a také z evropských norem, pro které je zkratka EN. Vznikly tedy normy ČSN CISPR, ČSN EN 61000 a ČSN EN 55000. V těchto normách jsou samozřejmě již zahrnuty základní normy, kmenové normy a výrobkové normy. [12]

5.3.1 ČSN EN 55022

Tato norma se přesně jmenuje:

„Zařízení informační techniky – Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení – Meze měření a metody měření.“

Tato norma definuje postupy měření výpočetní techniky, která pracuje ve frekvenčním pásmu od 9 kHz do 400 GHz. V kmitočtovém pásmu od 150 kHz do 1 GHz jsou hodnoty rušivých elektromagnetických signálů. Z toho lze vidět, že se tato norma zaměřuje hlavně na elektromagnetickou interferenci. Přístroje jsou dále rozděleny do dvou tříd a to třídy A a třídy B. Do třídy B jsou hlavně přístroje, které jsou používány v domácnosti, jako například osobní počítače. Ve třídě A jsou ostatní zařízení informačních systémů, které ale nevyhovují normám z třídy B. V tabulkách (1) a (2) jsou meze rušivého napětí na síťových svorkách. QP jsou hodnoty kvazivrcholové a AV jsou hodnoty průměrné. [12] Tato norma byla v březnu roku 2017 nahrazena normou ČSN EN 55032. [13]

Tab. 2: Meze rušivého napětí na síťových svorkách pro třídu A

Kmitočtový rozsah [MHz]	Meze rušivého napětí na síťových svorkách [dB μ V]	
	QP	AV
0,15 až 0,5	79	66
0,5 až 30	73	60

Kmitočtový rozsah [MHz]	Meze rušivého vyzařování [dB μ V/m] měřící vzdálenost 10 m
	QP
30 až 230	40
230 až 1000	47

6 POČÍTAČOVÉ PERIFERIE

Počítač jako takový lze rozdělit na dvě základní části. A to na hardware a software. Software je programové vybavení počítače, jako například operační systém nebo internetový prohlížeč. Hardware je fyzické vybavení počítače pod tím si lze představit komponenty počítače nebo počítačové periferie. Pod pojmem komponenty počítače si lze představit procesor, grafickou kartu nebo pevný disk. Jsou to části, které jsou většinou spolu v jedné počítačové skříni. Počítačové periferie jsou naopak části, které se k této skříni připojují a dále tedy rozšiřují možnosti počítače. Počítačové periferie můžeme následně dělit podle toho, jestli jsou vstupní nebo výstupní. V dnešní době je tohle dělení celkem nejednoznačné, protože některé zařízení mohou být vstupní i výstupní zároveň. [21] Dále počítačové periferie můžeme dělit podle připojení. Z toho vychází dělení na periferie drátové a bezdrátové. Drátové periferie nejčastěji komunikují pomocí USB, což je zkratka z anglického universal serial bus. Bezdrátové počítačové periferie nejčastěji komunikují pomocí technologie bluetooth, který pracuje nejčastěji na frekvencích 2,4 GHz. [16] Občas se někde používá připojení pomocí infračerveného portu (IR), toto připojení je sice levnější, ale lze pomocí něj přenášet informace jen na krátkou vzdálenost.

6.1 Vstupní počítačové periferie

Vstupní počítačové periferie jsou takové periferie, pomocí kterých lze ovládat počítač. Nebo takové, pomocí kterých lze posílat data do počítače. [21]

6.1.1 Klávesnice

Mezi základní vstupní počítačové periferie patří klávesnice. Klávesnice byla také jako jedna z prvních periférií. Pomocí klávesnice může uživatel zadávat příkazy do počítače. Klávesnici lze rozdělit na čtyři základní bloky. [15]

1. Základní pole kláves – Základní pole je největší pole na celé klávesnici. Patří sem všechna písmena a interpunkční znaménka. Dále také modifikační klávesy jako shift, caps lock, control nebo alter. Rozložení kláves je historicky stejné jako na psacích strojích.
2. Pole funkčních kláves – Je nad základním polem kláves. Je tvořeno dvanácti klávesami F1 až F12. K těmto klávesám ještě patří klávesa pro zrušení akce, klávesa escape. Funkčnost kláves F1 až F12 může být jiná v každém programu.

3. Pole numerických kláves – Tento blok je v pravé části klávesnice. Jsou v něm numerické klávesnice od 0 až 9. Desetinná tečka a základní matematické operátory.
4. Pole řídicích kláves – Toto pole je mezi základním polem a numerickým polem. Jsou zde klávesy, které ovládají kurzor, klávesy pro mazání nebo rychlé posunování.



Obr. 20: Rozložení kláves na klávesnici

Klávesnice lze rozdělit také podle toho, jak jsou realizovány klávesy. A to na šest druhů: [14]

1. Čistě mechanické klávesy – Jsou to obyčejné spínače, které umožňují chvilkové sepnutí. Jsou složeny z pružiny a svorky, při stisku vydávají klapavý zvuk. Dosahují životnosti až 20 miliónů úhozů.
2. Mechanické klávesy s pěnovým prvkem – Používaly se u starších typů klávesnic. Typickým znakem je vodivá fólie, která je na spodku klávesy a při stisku klávesy spojí dvě vodivá místa a tím uzavře elektrický obvod.
3. Mechanické klávesy s gumovou membránou – Zde je fólie a pěnový prvek nahrazeny gumovou membránou, na jejíž spodní straně je bodový uhlíkový kontakt. Po stisku klávesy se uhlíkový kontakt přitiskne na vodivý spoj.
4. Membránové klávesy – Jsou podobné, jako klávesy s gumovou membránou akorát zde jsou gumové membrány dvě. Tyto klávesnice se používají v místech, kde jsou extrémní podmínky, protože gumové membrány zabraňují procházení nečistot.
5. Magnetické klávesy – Mají v sobě permanentní magnet. Je zde přítomna Hallova sonda, která je pod klávesou. Při změně magnetického pole Hallova sonda změní elektrický signál. Tyto klávesnice jsou velice kvalitní, ale drahé.
6. Klávesy s kapacitními spínači – Při stisku těchto kláves nedochází k žádnému mechanickému kontaktu. Jsou tvořeny dvěma destičkami, přičemž jedna je na spodní straně kolíku a druhá je pevná na plošném spoji. Tyto dvě destičky se k sobě vzdalují a oddalují. Životnost těchto kláves se udává až 25 miliónů úhozů.



Obr. 21: Klávesnice

6.1.2 Myš

Je to zařízení, které odesílá do počítače informace o poloze. Společně s klávesnicí patří do základních počítačových periférií. Z myši vznikla například i počítačová periferie jménem trackball, u kterého se pohybuje kuličkou a ne samotným zařízením jak je to v případě myši. Myši lze rozdělit do dvou kategorií podle konstrukce a to na kuličkové a optické. [14]

1. Kuličkové myši – Hlavní součástí je gumová kulička, která se odvaluje po nějaké desce. Odvalování snímají dvě tyčinky jedna v osy x a druhá v ose y. Na tyto tyčinky jsou uchyceny clonky, přes které svítí laser. A podle toho jak světlo laseru dopadá přes clonky na detektor, se pohybuje kurzor na obrazovce počítače.
2. Optické myši – Princip je založen na svícení LED na podložku, přes který se myš pohybuje. Následně nějaký snímací prvek snímá osvětlenou oblast a výsledná data dává ke zpracování procesoru, který je na myši. Pro tento typ myši je nejlepší, když je povrch matný pro co nejlepší snímání osvětlené oblasti. [14]



Obr. 22: Myš [21]

6.2 Výstupní počítačové periferie

Výstupní počítačové periferie jsou takové periferie, pomocí kterých lze získat data z počítače. Jinými slovy slouží pro přehrávání dat uživateli.

6.2.1 Monitor

Monitor je základní zobrazovací periférie. Slouží k zobrazování textových nebo grafických informací. Monitor je připojen přímo ke grafické kartě, která posílá monitoru informace k zobrazení. Je celá řada typů monitorů od CRT přes LCD až po moderní LED monitory. [14]

- CRT monitor – Hlavními částmi jsou anoda a katoda. Anoda je spojena s přední částí obrazovky, kde je nanesen luminofor. Katoda je na druhé straně obrazovky a emituje elektrony směrem k anodě. Během cesty jsou elektrony zaostřovány a vychylovány pomocí cívek. Při úspěšné cestě elektrony dopadnou na stínítko, který je pokryt luminoforem, který se při dopadu rozsvítí. [14]



Obr. 23: CRT monitor [16]

- LCD monitor – LCD je zkratka z anglického liquid crystal display. Tyto monitory jsou složeny z displeje, který je po celé ploše obrazovce a vyzařuje bílé světlo. Světlo nejprve prochází přes polarizátor, který zabrání světlu procházet v jednom směru. Další vrstvou jsou tekuté krystaly, které jsou citlivé na elektrické pole a pomocí něj se nasměrují tak aby světlo prošlo v požadovaných bodech i přes druhý polarizátor. Následuje RGB filtr, kde světlo dostane barvu. Po tomto filtru je druhý polarizátor. [21]



Obr. 24: LCD monitor [16]

- LED monitory – Tyto monitory jsou složeny z LED diod, které jsou uspořádány do matic. Každý pixel je složen ze tří LED diod a to červené, zelené a modré. Tyto LED diody jsou ovládány buď každá zvlášť, to znamená, že každá LED má svou vlastní řídicí jednotku. Nebo, což je častější, jsou řídicí jednotky jen po obvodu monitoru a každá LED je na spojnici dvou řídicích tranzistorů. [21]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

V této kapitole jsou uvedeny přístroje, pomocí kterých se provádělo laboratorní měření.

7.1 Bikonická anténa

Pro měření byla také použita bikonická anténa HK 116 od společnosti Rhode & Schwarz. Tato anténa pracuje ve frekvenčním pásmu od 20 MHz do 300 MHz.



Obr. 25: Anténa HK 116

7.2 Rádio

Pro snímání hodnot z antén byl použit přístroj USRP (universal serial peripheral radio) N210 od společnosti Ettus Research. Toto rádio má velkou šířku pásma a umožňuje přenášet až 50 MS/s v obou směrech.



Obr. 26: Rádio USRP N210

8 MĚŘENÉ PŘÍSTROJE

V této kapitole jsou uvedeny přístroje, na kterých bylo provedeno měření.

8.1 Počítač

Pro měření byl použit počítač Lenovo IdeaFlex Pad 2 14. K tomuto notebooku byly připojeny další periferie. Notebook byl přítomen při všech prováděných měřeních. Parametry notebooku:

- Procesor – Intel Core i5 4210U 2 x 1,7 GHz
- Paměť RAM – 4 GB
- Grafická karta – NVIDIA GeForce 840M
- HDD – 500 GB
- SD – 8 GB
- Bluetooth – 4.0



Obr. 27: Lenovo IdeaFlex Pad 2 14

8.2 Monitor

Pro měření byl použit monitor B23T – 6 LED od společnosti Fujitsu. Je to 23 palcový monitor s rozlišením 1920 x 1080 pixelů s dobou odezvy 5 ms a obnovovací frekvencí 49 Hz až 76 Hz.



Obr. 28: Monitor B23T – 6 LED

8.3 Klávesnice

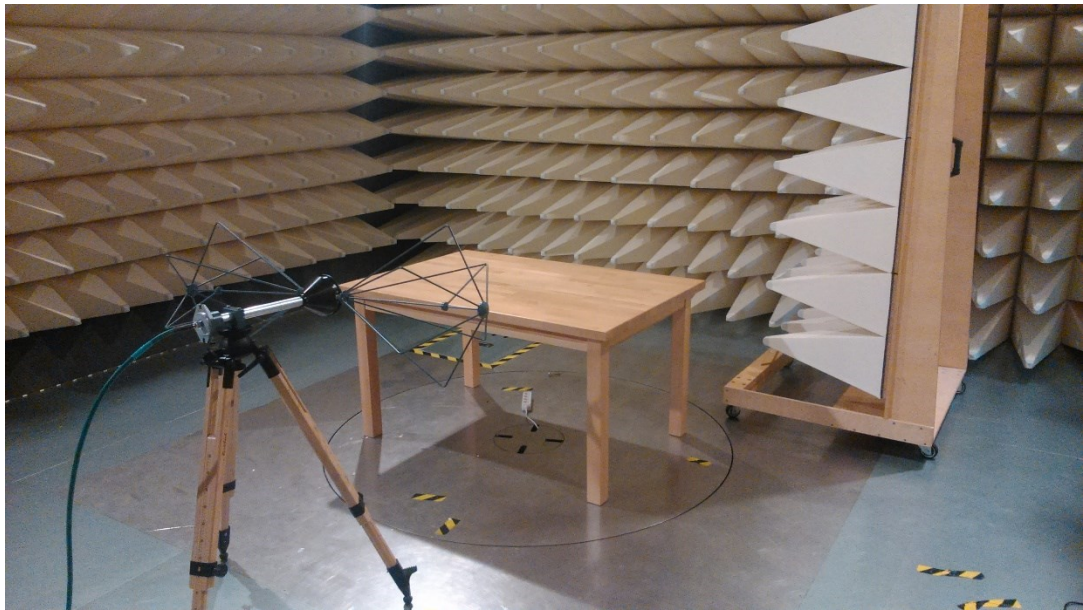
Pro měření byla použita klávesnice od společnosti Fujitsu a to model S26381 H12808-A151. Pro její používání není potřeba žádných ovladačů.



Obr. 29: Klávesnice

9 MĚŘENÍ V ČÁSTEČNĚ BEZODRAZOVÉ KOMOŘE

Samotné měření se provádělo v bezodrazové komoře, nebo také semianechonické komoře. Tato komora simuluje venkovní prostředí, s tím že stěny a strop jsou obloženy materiálem, který absorbuje elektromagnetické vlny. Tato komora je samozřejmě stíněná od venkovního světa.



Obr. 30: Částečně bezodrazová komora

Všechno měření bylo provedeno pro stejné nastavení:

- Vzdálenost antény: 1 m
- Výška antény: 1,5 m
- Rozsah: 60 MHz – 300 MHz
- Nastavení antény: horizontálně
- Zesílení signálu: 25,25 dB

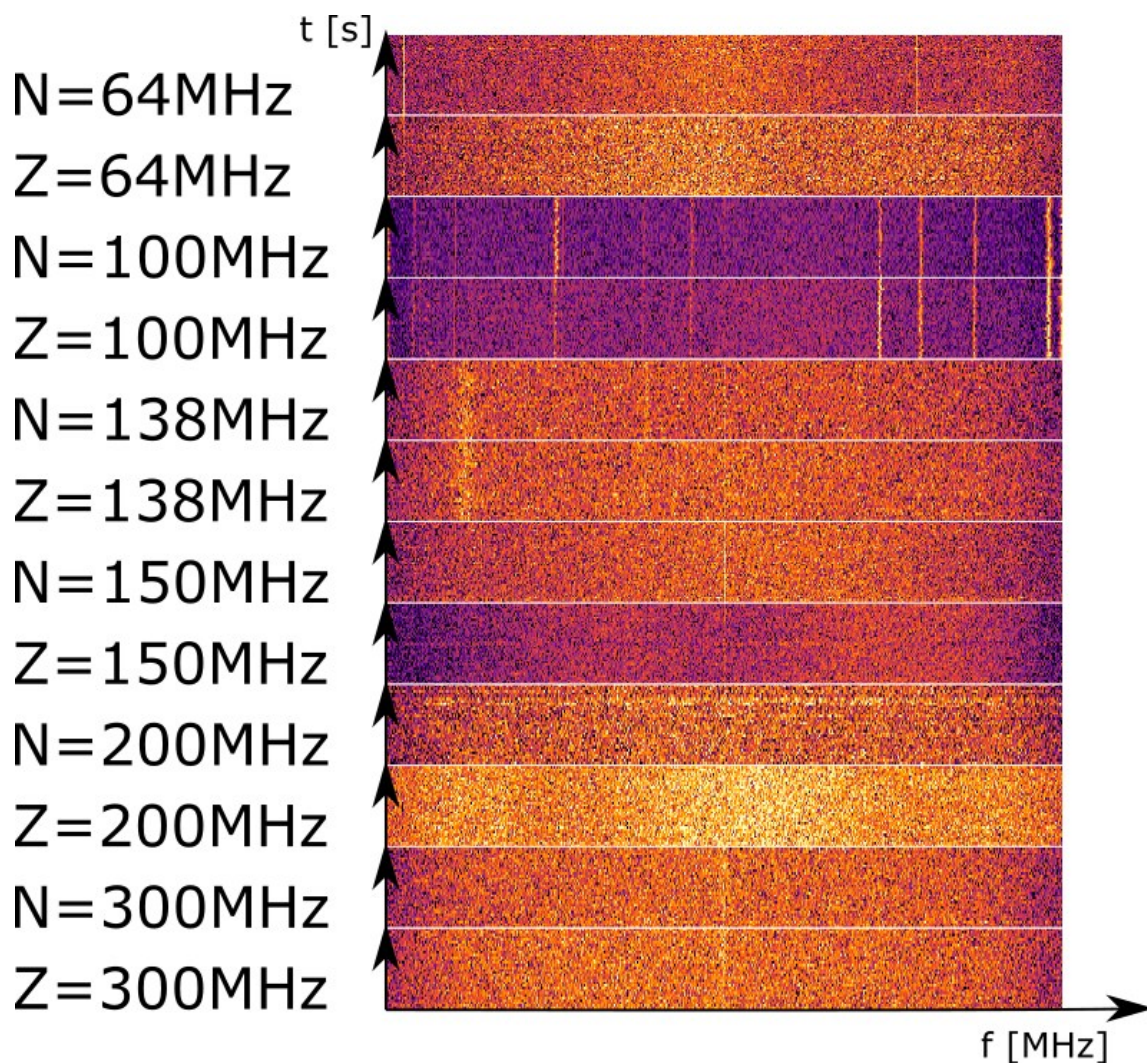
9.1 Měření elektromagnetického pole zatíženého a nezatíženého PC

Jako první byl měřen zatížený a nezatížený počítač. Pro obě verze měření bylo stejné nastavení a to:

- Počítač uprostřed stolu
- Počítač v úsporném režimu

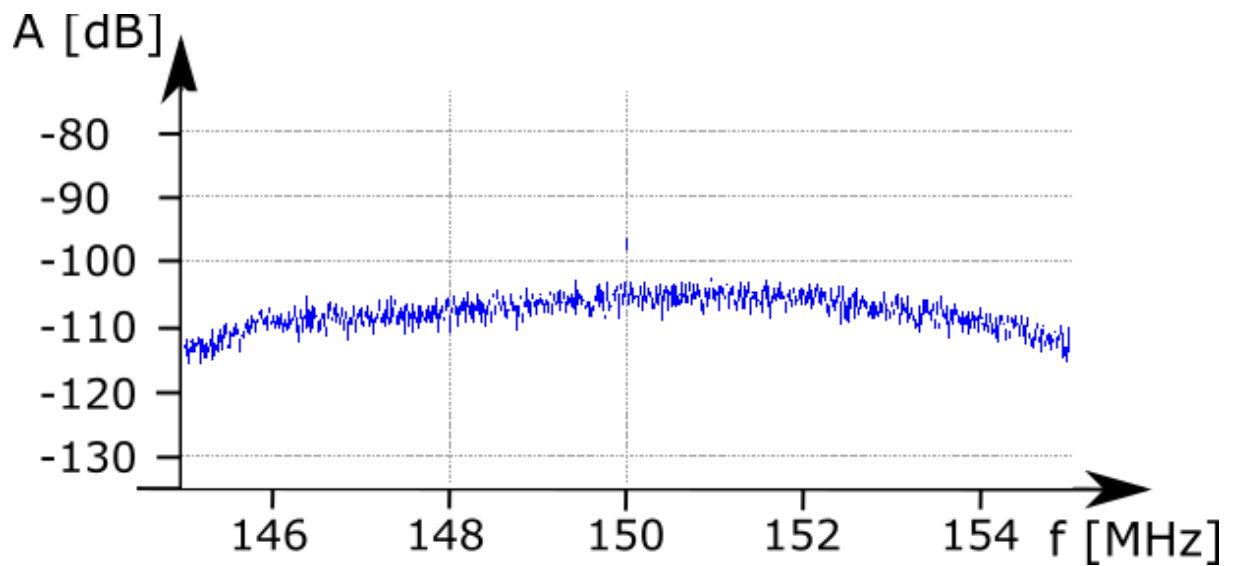
Zatíženého počítače se dosáhlo pomocí programu MAXCPU, který zatížil všechny čtyři jádra na 100 %.

Měření bylo prováděno s kmitočtovým krokem 50 MHz. Na obrázku číslo 31 jsou srovnány všechny naměřené waterfally. N značí nezatížený počítač a Z značí zatížený počítač.

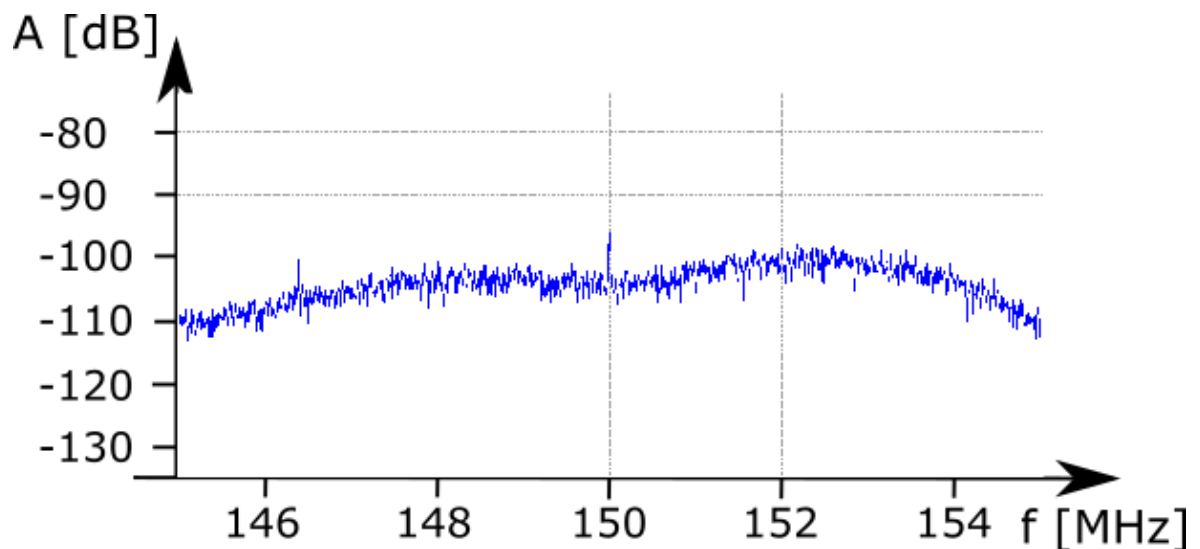


Obr. 31: Zatížený a nezatížený počítač

Na první pohled je vidět, že rozdíl mezi zatíženým a nezatíženým je v rozdílu úrovně signálu. Tedy zatížený počítač má vyšší hladinu signálu než je hladina signálu nezatíženého. Jediný rozdíl, který lze vidět je při frekvenci 150 MHz. Kde se hladina nezatíženého počítače jeví vyšší jak hladina zatíženého. Ale i v tomto případě je úroveň signálu zatíženého vyšší jak nezatíženého. Jak lze vidět na obrázcích číslo 32 a 33.



Obr. 32: Nezatížený počítač na frekvenci 150 MHz



Obr. 33: Zatížený počítač na frekvenci 150 MHz

Při měření na frekvenci jak v zatíženém tak i nezatíženém stavu na 100 MHz rádio na svých svorkách chytalo okolní rádia, která v tomto případě znehodnocovalo měření. Konkrétně:

- 97,5 FM - Český rozhlas Brno
- 99,5 FM - Český rozhlas Radiožurnál
- 102,3 FM - Rádio Impuls
- 102,9 FM - Fajn Rádio Hity
- 103,3 FM - Rádio Čas Zlínsko
- 104,7 FM - Fajn Rádio Hity - Vsetín
- 105 FM - Frekvence 1

9.2 Měření monitoru 1

Měření elektromagnetického pole monitoru bylo rozděleno na dvě části. Jako první byl měřen vyzařování elektromagnetické úrovně celých obrázků při přenosu a jejich zobrazování. V druhé části byl měřen vyzařování elektromagnetické úrovně RGB, kde se všechny tři složky konstantně měnily po 25. Počítač s monitorem byly propojeny pomocí DVI kabelu a redukce HDMI na DVI na straně počítače. Přenos se za daných vlastností prováděl na frekvenci 138 MHz. Vlastnosti pro přenos byly v tomto případě:

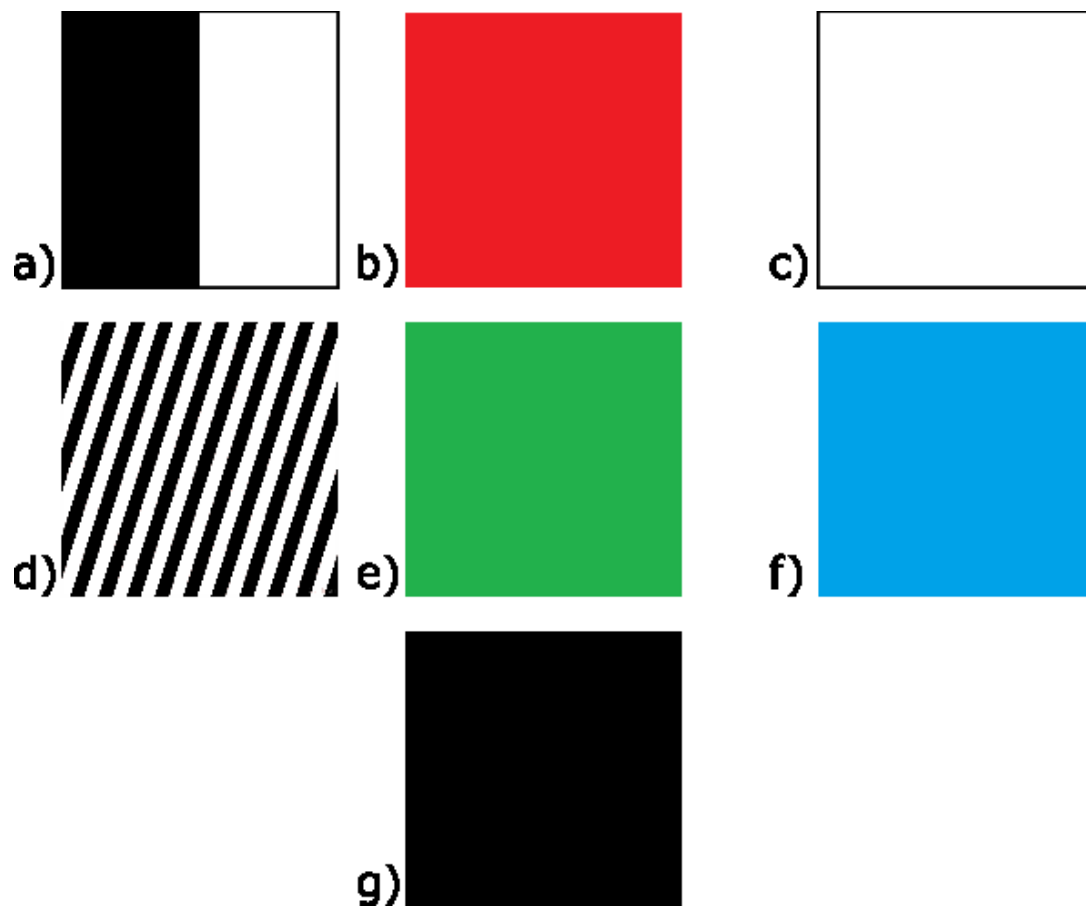
- Rozlišení obrázků: 1920 x 1080 pixelů
- Typ DVI: DVI-D (Single-link)

Při přenosu na této frekvenci se datové slovo převádí z osmi bitového slova na deseti bitové slovo. Tomuto kódování se říká 8b/10b kódování. Toto kódování se užívá z důvodů:

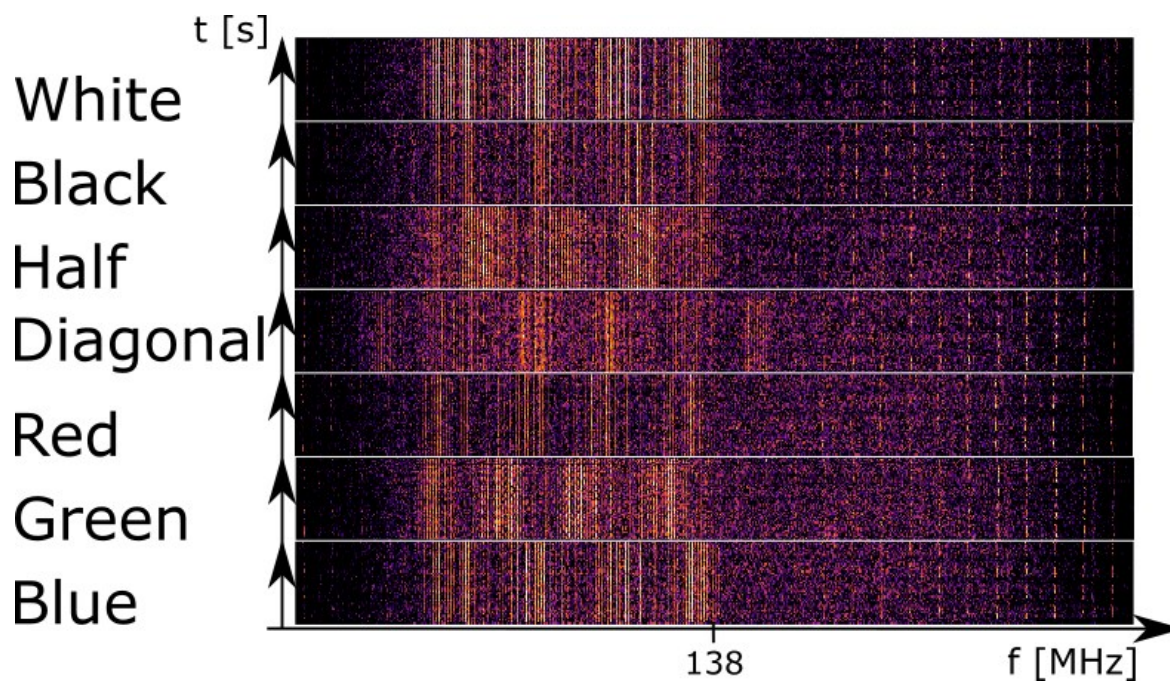
- Odstranění stejnosměrné složky
- Zabraňuje shlukům logických 1 a 0
- Minimalizace přechodu mezi logickou 1 a logickou 0

9.2.1 Měření celých obrázků

V této části bylo provedeno celkem sedm měření. A to pro černou, bílou, červenou, zelenou a modrou barvu. V těchto případech vždy byla barva jednolitá. Dále byl jeden obrázek z poloviny černý a z druhé poloviny bílý. Na posledním obrázku byly černé diagonální pruhy, ale bylo zachováno stejné množství černé a bílé. Na obrázku číslo 34 jsou zobrazeny náhledy promítaných obrázků. Na obrázku číslo 35 lze vidět srovnané naměřené waterfally. A v tabulce číslo 3 je zobrazen převod pomocí 8b/10b kódování.



Obr. 34: a) Half, b) Red, c) White, d) Diagonal, e) Green, f) Blue, g) Black



Obr. 35: Srovnané waterfally obrázků

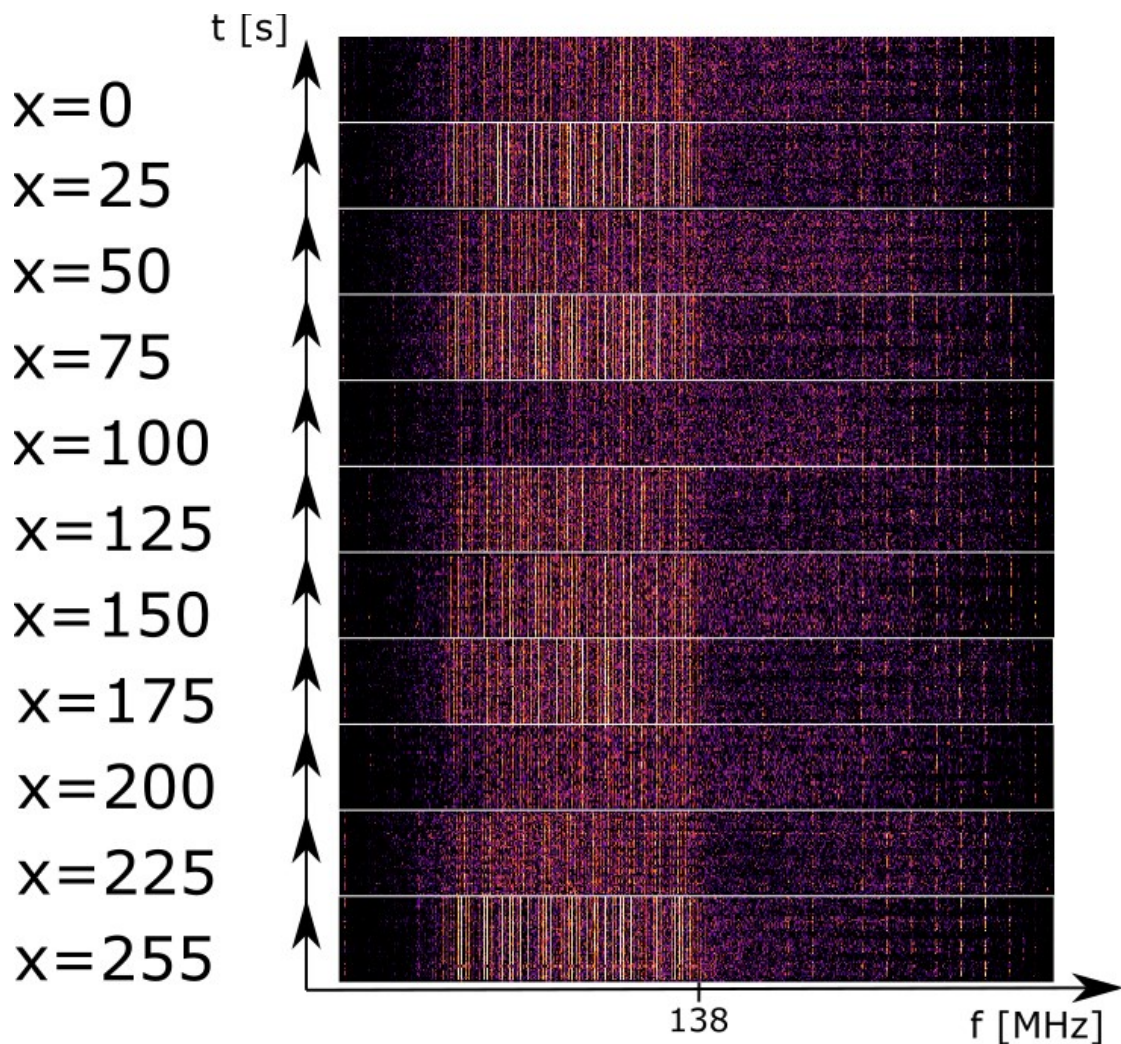
Tab. 3: Tabulka převodu barev

Před kódováním			Po kódování		
Red	Green	Blue	Red	Green	Blue
11111111	11111111	11111111	1010110001	1010110001	1010110001
00000000	00000000	00000000	1001110100	1001110100	1001110100
11101101	00011100	00100100	1110101010	0011001001	1101011001
00100010	10110001	01001100	1101010101	1011000010	0100111001
00111111	01001000	11001100	0011101110	0100110100	1100101001

Obrázek číslo 35 lze rozdělit na tři části. V první části lze vidět rozdíl mezi bílou a černou. Jak je vidět úroveň signálu bílé barvy je mnohem větší jak v případě černé barvy. Maximální hodnoty úrovně signálu bílé barvy jsou kolem -78 dB. Naproti tomu úroveň černé barvy je kolem -84 dB. V druhé části lze vidět rozdíl mezi obrázkem Half a Diagonal. V prvním případě je vidět, že obrázek Half má větší úroveň než druhý, v tomto případě je úroveň signálu kolem -82 dB. Zatímco v druhém případě je u obrázku Diagonal úroveň signálu asi -86 dB. V případě obrázku Diagonal je ale největší šířka pásma, ve kterém je informace, a to až 5 MHz. Ve třetí části obrázku 33 jsou waterfallly barev červená, zelená a modrá. Nejmenší úroveň signálu je v případě červené a to asi -83 dB. V případě modré a zelené je úroveň signálu podobná okolo -78 dB. Rozdíl mezi těmito barvami je v tom, že zelená barva se častěji dostane na maximální úroveň.

9.2.2 Měření proměnné RGB

V další části měření se měnila RGB složka a to vždy konstantně po 25 pro všechny tři složky, tedy pro červenou, zelenou a modrou. A to od 0 až po 255. měření probíhalo za stejného nastavení jako v předchozím případě.

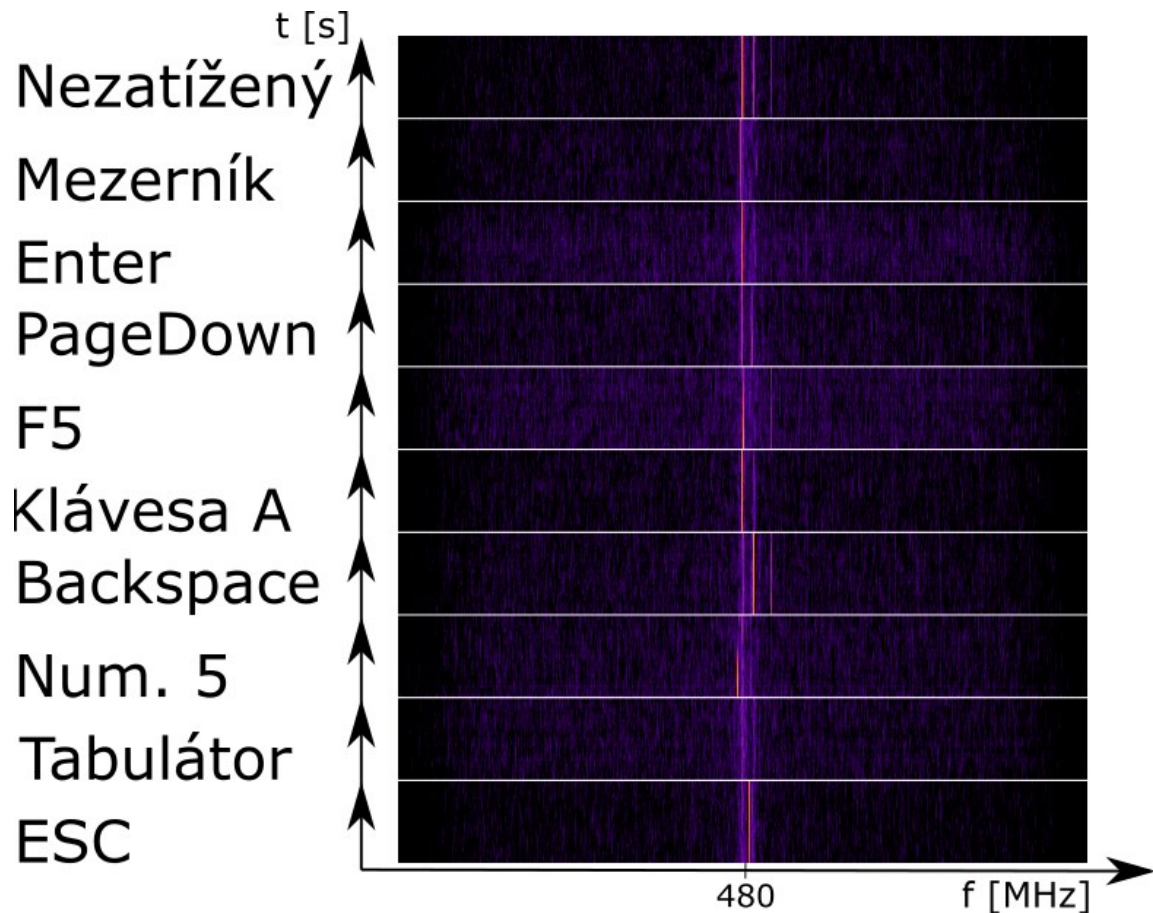


Obr. 36: Srovnaných waterfallů RGB

Na obrázku 36 hodnota x značí, kolik byla RGB složka při jednotlivých měřeních. Z obrázku lze vidět, že nejmenší úroveň je při $x = 100$, kde hodnoty dosahují -89 dB. Naproti tomu největší jsou při $x = 255$ a $x = 25$ a úroveň je zde až -77 dB.

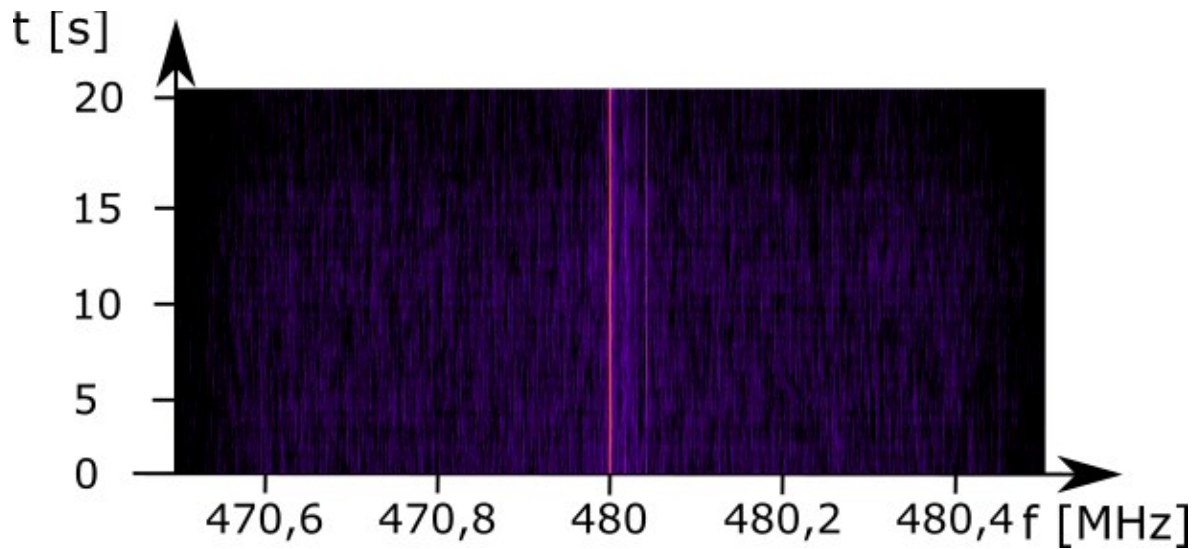
9.3 Měření klávesnice

Klávesnice byla s počítačem propojena pomocí USB kabelu. Měření se provádělo na frekvenci 480 MHz, protože tato frekvence odpovídá frekvenci clocku USB 2.0. Dále měření se provádělo s šířkou pásma 1 MHz. Klávesnice byla měřena celkem 9 krát. A to jednou bez držení jediné klávesy, kvůli zjištění klidové hodnoty. Při měření byla snaha obsáhnout klávesy ze všech sektorů klávesnice, jako je numerická, alfabetská klávesnice nebo speciální klávesy. V průběhu měření byl na počítači zapnut program poznámkový blok, kvůli ověření funkčnosti kláves. Nastavení měřícího programu bylo stejné jen s jednou výjimkou a to v tom, že se měřila zprůměrovaná hodnota oproti aktuální hodnotě.



Obr. 37: Měření na klávesnici

Úroveň signálu se mění jak v celém snímaném rozsahu, tak i v oblasti kde se přenáší clock, tedy na frekvenci 480 MHz. Oproti nezatíženému stavu lze vidět, že největší úroveň signálu v celém snímaném rozsahu je při stisknutí klávesy Enter. Nejmenší úroveň je naproti tomu při stisku klávesy escape v obrázku označena zkratkou ESC. Největší úroveň signálu na frekvencích blízko clocku je při stisku klávesy mezerník. Nejmenší při stisku klávesy Page-Down.

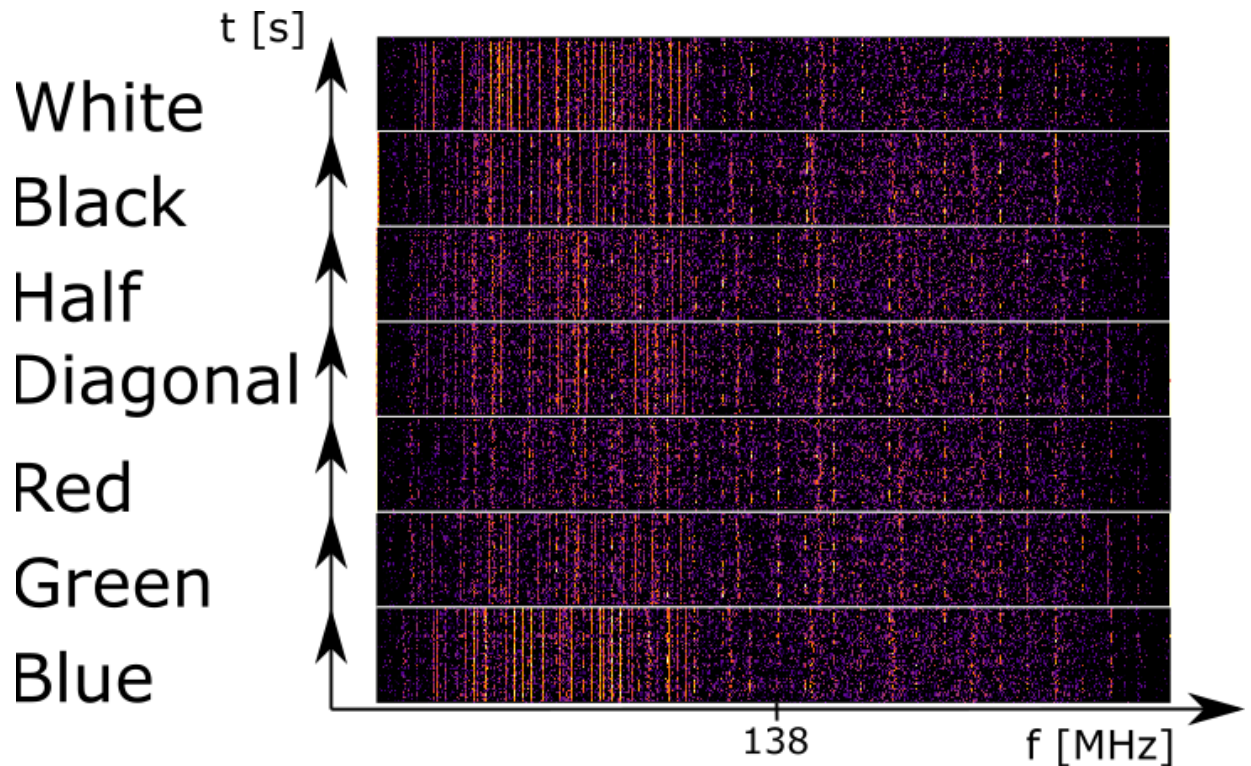


Obr. 38: Stisknutí klávesy Enter

Na obrázku číslo 38 lze vidět, že v čase 15 vteřin byla stisknuta klávesa Enter a jakou reakci to vyvolalo.

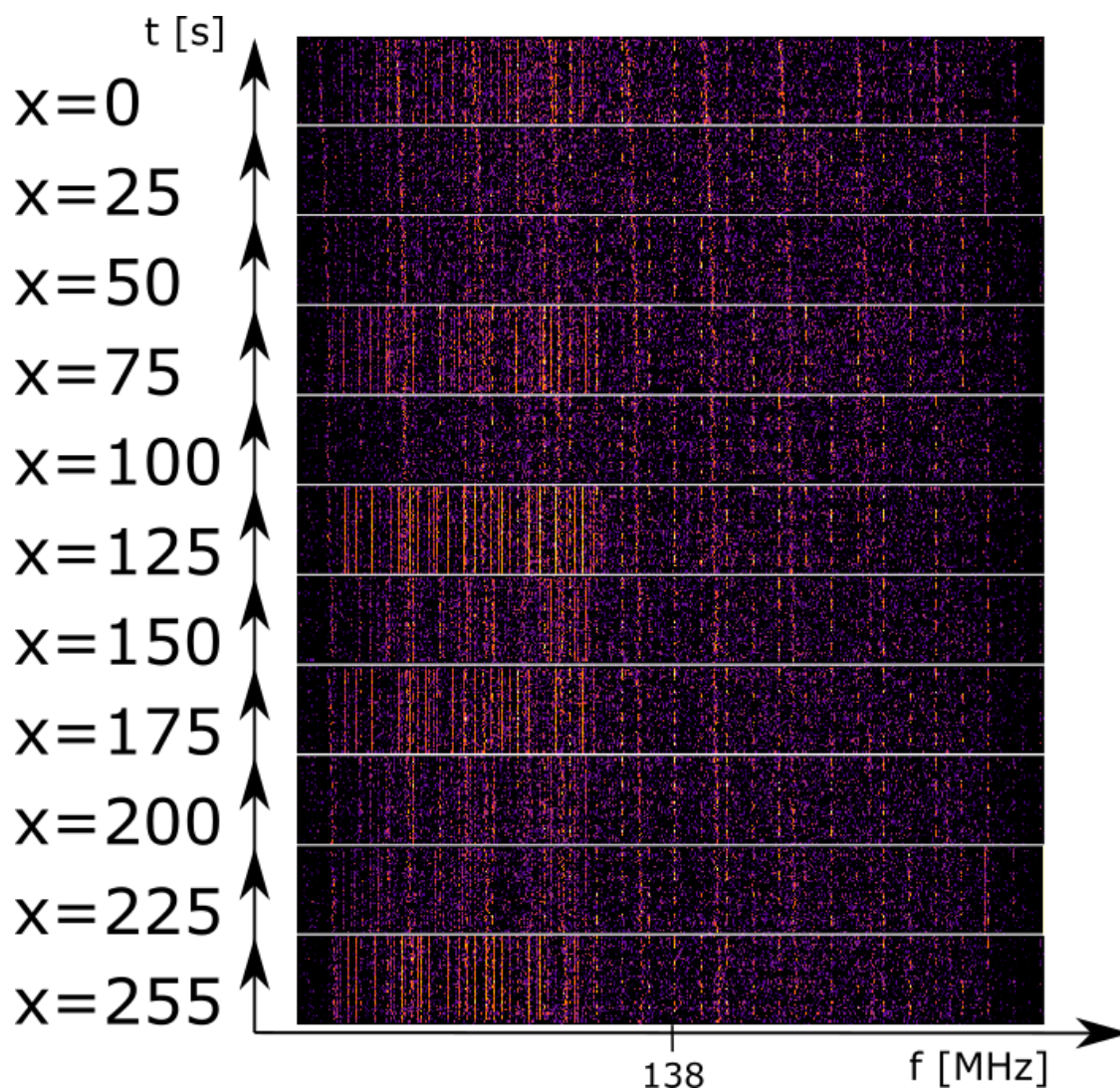
9.4 Měření monitoru 2

Při druhém měření byl použit jiný monitor, ale stejného typu. Nastavení měření bylo stejné jako v předešlém případě. K propojení monitoru a počítače byl použit DVI kabel typu singel-link, ale jiný než v předešlém případě. A na monitor se promítaly stejné obrázky, které jsou na obrázku 34, a RGB nastavení. Nejprve byly na monitoru vyobrazeny obrázky, následně RGB.



Obrázek 1: Měření obrázky na monitor II

Jak na obrázku 35 tak i zde jsou maximální úrovně signálu srovnatelné. Ale zde je zaznamenaný signál více rozkmitaný. Tím je myšleno, že i v pravé části obrázku má signál vysokou kmitavost úroveň. Nevyšší úroveň signálu je opět u bílé a modré, zatímco nejmenší je u červené barvy. Oproti obrázku 35 se jsou zde průběhy signálů Half a Diagonal podobnější.



Obrázek 2: Měření RGB na monitoru II

Výsledek je podobný jako v případě na obrázku 36. A to v tom, že nejvyšší úroveň signálů je opět při $x = 255$ a při $x = 125$. Celková úroveň signálu ve všech případech měření je ale menší jako tomu je v případě obrázku 36.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá teorií elektromagnetické kompatibility a měřením elektromagnetické interference. V teoretické části je i popis přenosu rušivých signálů a měřením rušivých signálů. Dále je v této části také princip funkce některých vstupních a výstupních počítačových periférií.

V praktické části této bakalářské práce bylo provedeno měření v bezdrazové komoře, kde byly měřeny celkem tři sestavy počítače s perifériemi, dva monitory a jedna klávesnice, a samotný počítač.

Jako první byl změřen samotný počítač a to ve dvou režimech. V režimu kde byl procesor počítače zatížen na 100% a druhý režim kde byl počítač v úsporném a pokud možno v co nejméně vytíženém režimu. Bylo zjištěno, že úroveň vyzářeného signálu se zvyšuje společně s frekvencí, na kterých bylo měření prováděno. Také byl patrný rozdíl mezi zatíženým a nezatíženým počítačem. V případě zatíženého počítače byla úroveň vyzářeného signálu vždy větší.

Jakožto další bod bylo provedeno měření na počítači s monitorem 1. Monitor byl připojen k počítači pomocí DVI kabelu. Na monitoru se buď promítaly obrázky, anebo se měnila konstantně RGB složka. V případě promítání obrázků byl největší úroveň signálu v případě zobrazování bílé barvy a v případě modré. Vliv na úroveň signálu má i rozložení pixelů v obrázku a ne jen jejich barva jak je vidět v případě Half a Diagonal. V případě promítání RGB byla největší vyzářená úroveň v případě nastavení RGB složky na 255, 175, 75 a 25. Nejmenší byl v případě nastavení RGB na 100.

Dále byl měřen počítač s připojeným monitorem 2. Monitory byly stejné značky i stejného typu, ale i přesto se dostavil rozdíl. V případě měření při promítání obrázků největší úroveň změřena při bílé a modré. V případě RGB je největší při nastavení RGB na 255, 175 a 125. Změřené hodnoty jsou si podobné, ale při srovnání výsledků měření monitoru 1 a 2 je vidět, že naměřené hodnoty monitoru 2 jsou nižší než v případě monitoru 1.

Jako poslední bod byla měřena sestava počítače s klávesnicí. Klávesnice byla s počítačem propojena pomocí USB 2.0 kabelu. Klávesy byly vybírány tak, aby byl vybrán vždy jeden reprezentant z každého oddílu. Největší úroveň signálu byla změřena při stisknutí klávesy Enter nejmenší pak při stisku klávesy ESC.

Při měření lze dojít k závěru, že naměřené spektrogramy ukazují na souvislost mezi vytížením měřené sestavy a časovým průběhem měřených spekter signálu, protože v měření bylo provedeno pomocí antény HK 116, která měří celé dané frekvenční pásmo. Nebylo tedy možné získat konkrétnější výsledky. V současné době je v plánu pořídit do semianechonické komory nízkošumové selektivní antény, které by byly používány právě k tomuto účelu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MYSLÍK, Jiří. *Elektromagnetické pole: základy teorie*. Praha: BEN - technická literatura, 1998. ISBN 80-860-5643-0.
- [2] SZÁNTÓ, Ladislav. *Maxwellovy rovnice*. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2012. ISBN 978-80-7300-450-7.
- [3] https://www.fd.cvut.cz/personal/janes/Elektrotechnika1/Prednasky prezentace/Predn06_Terminologie_Maxw_Jednotky.pdf
- [4] SCHAUER, František a Július KREMPASKÝ. *Fyzika 1 a 2*. Zlín, 2004.
- [5] KUSALA, Jaroslav. *Elektromagnetické spektrum* [online]. , 1 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k21.htm
- [6] *Elektromagnetismus teorie světla* [online]. Praha: MFF [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/optika/index_1.php
- [7] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky*. Brno: Vysoké učení technické, 2001. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 80-214-1873-7.
- [8] Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus. *Tzbinfo* [online]. Praha, 2015 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/13319-ucinky-elektromagnetického-pole-na-lidsky-organismus>
- [9] IVANKA, Ján. *Systemizace bezpečnostního průmyslu*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky, 2011. ISBN 978-80-7454-122-3.
- [10] KÜNZEL, Karel a Jaroslav ŽÁČEK. EMC v technické praxi II: Rušivé signály, jejich zdroje a šíření. *Atoma* [online]. 2016, 5(3), 1 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/emc-v-technicke-praxi-ii-rusive-signaly-jejich-zdroje-a-sireni-2006_03_30991_751/
- [11] Prutová anténa. In: *Airsoftguns* [online]. [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: http://www.airsoftguns.cz/webtemp/e_products/2/2418/980x750_pmr_an_c646_01_1.jpg
- [12] KŮS, Václav, Jiří SKÁLA a Jiří HAMMERBAUER. *Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektronických systémů*. Praha: BEN - technická literatura, 2013. ISBN 978-80-7300-476-7.
- [13] ČSN EN 55022 ED.3. 3. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2011.
- [14] MUELLER, Scott. *Osobní počítač: nejpodrobnější průvodce hardwarem PC*. Praha: Computer Press, 2001. Profi hardware. ISBN 80-722-6470-2.
- [15] *Klávesnice* [online]. Brno [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/komp/data/30.htm>
- [16] Periferie počítače. In: *Mendelova univerzita v Brně* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2016 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=20893
- [17] BLAHOVEC, Antonín. *Elektrotechnika I*. 5., nezměn. vyd. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-733-3043-1.
- [18] KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. EMC z hlediska teorie a aplikace. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-730-0202-7.
- [19] VPS510-X - Napěťová sonda. In: GHV Trading [online].

- Brno: GHV Trading, 2017 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <https://www.ghvtrading.cz/data/imgs/4327s-fluke-vps510-r.jpg>
- [20] Proudová sonda Fluke i30s. In: M&B Calibr Ivančice [online]. Ivančice: M&B Calibr Ivančice, 2016 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/files/big-3878ff7.jpg>
- [21] KLEMENT, Milan. Hardwarová a softwarová konfigurace PC: Počítačové periferie [online]. (1), 8 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.kteiv.upol.cz/uploads/soubory/klement/web1/HSKPC/prednasky/pred%208.htm#d>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
ČSN	Česká technická norma
CISPR	Mezinárodní normy
EN	Evropské normy
Q	Elektrický náboj
C	Coulomb
U	Elektrické napětí
V	Volt
I	Elektrický proud
A	Ampér
N	Newton
P	Elektrický výkon
W	Watt
E	Intenzita elektrického pole
H	Intenzita magnetického pole
dB	Decibel
F	Síla
r	Poloměr
ϵ_0	Permitivita vakua
ϵ_r	Relativní permitivita
μ_0	Permeabilita vakua
μ_r	Relativní permeabilita
B	Magnetická indukce

T	Tesla
t	Čas
l	Délka
ψ	Tok elektrického pole
S	Plocha
j	Hustota vodivého proudu
Φ	Magnetický indukční tok
ρ	Hustota volného náboje
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
GHz	Gigahertz
m	Metr
cm	Centimetr
N	Noise
S	Spike
T	Transients
U_r	Rušivé elektrické napětí
I_r	Rušivý elektrický proud
P_r	Rušivý elektrický výkon
E_r	Rušivé elektrické pole
H_r	Rušivá intenzita magnetického pole
LISN	Umělá zátěž vedení
L	Cívka
C	Kondenzátor
Ω	Ohm

QP	Kvazivrcholové
AV	Průměrné
IR	Infráčervené záření
LED	Světlo emitující dioda
CRT	Catode ray tube
LCD	Liquid crystal display
RGB	Red green blue
USPR	Universal seriál peripheral radio
RAM	Random access memory
HDD	Pevný disk
SD	Secure digital
FM	Frekvenční modulace
HDMI	High-definition multimédia interface
DVI	Digital visual interface
USB	Universal seriál bus
ABC	Význam první zkratky.
B	Význam druhé zkratky.
C	Význam třetí zkratky.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Šíření elektromagnetické vlny [6]	17
Obr. 2: Spektrum elektromagnetického vlnění [5]	17
Obr. 3: Základní řetězec EMC	19
Obr. 4: Základní členění EMC [7]	20
Obr. 5: Definice úrovní a mezi vyzařování a odolnosti [7]	22
Obr. 6: Zdroje interference	23
Obr. 7 Ukázka symetrického a nesymetrického napětí.....	25
Obr. 8: Metody měření [7].....	27
Obr. 9: Blokové schéma LISN.....	28
Obr. 10: Napěťová sonda [19]	29
Obr. 11: Proudová sonda [20].....	30
Obr. 12: Konstrukce absorpčních kleští [7]	31
Obr. 13: Rámová anténa [7].....	32
Obr. 14: Prutová anténa [11].....	32
Obr. 15: Symetrický dipól [7].....	33
Obr. 16: Bikonická anténa [7].....	33
Obr. 17: Logaritmicko-periodická anténa [7]	34
Obr. 18: Kónicko-logaritmická anténa [7].....	35
Obr. 19: Trychtýřové antény v pyramidovém zapojení [7]	35
Obr. 20: Rozložení kláves na klávesnici	39
Obr. 21: Klávesnice	40
Obr. 22: Myš [21]	40
Obr. 23: CRT monitor [16]	41
Obr. 24: LCD monitor [16].....	42
Obr. 25: Anténa HK 116.....	44
Obr. 26: Rádio USRP N210.....	44
Obr. 27: Lenovo IdeaFlex Pad 2 14.....	45
Obr. 28: Monitor B23T – 6 LED	46
Obr. 29: Klávesnice	46
Obr. 30: Částečně bezodrazová komora	47
Obr. 31: Zatížený a nezatížený počítač.....	48
Obr. 32: Nezatížený počítač na frekvenci 150 MHz	49

Obr. 33: Zatížený počítač na frekvenci 150 MHz	49
Obr. 34: a) Half, b) Red, c) White, d) Diagonal, e) Green, f) Blue, g) Black	51
Obr. 35: Srovnané waterfally obrázků	51
Obr. 36: Srovnaných waterfallů RGB.....	53
Obr. 37: Měření na klávesnici.....	54
Obr. 38: Stisknutí klávesy Enter	55

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Tabulka měřících antén	31
Tab. 2: Meze rušivého napětí na síťových svorkách pro třídu A.....	37
Tab. 3: Tabulka převodu barev	52