


# Nežádoucí emise elektromagnetického pole výpočetní techniky

Bc. Július Denis Helbich

---

Diplomová práce  
2018

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Július Denis Helbich**  
Osobní číslo: **A17734**  
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Nežádoucí emise elektromagnetického pole výpočetní techniky**  
Téma anglicky: **Undesirable Electromagnetic Interferences Caused by Computing Equipment**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte si problematiku elektromagnetické kompatibility, zejména pak oblast měření rušivých signálů vyzařovaných krytem přístroje.
2. Seznamte se s pracovištěm pro měření rušivých signálů v Laboratoři elektromagnetické kompatibility.
3. Změřte interference vyzařované počítačem v klidovém stavu.
4. Změřte interference vyzařované počítačem při zpracování známých dat.
5. Vyhodnoťte naměřená data.



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. KŮS, Václav, Jiří SKÁLA a Jiří HAMMERBAUER. Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektronických systémů. Praha: BEN – technická literatura, 2013. ISBN 978-80-7300-476-7.
2. 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 80-716-9568-8.
3. SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky. Brno: Vysoké učení technické, 2001. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 80-214-1873-7.
4. BAJER, Arnošt. Bezpečnost v elektrotechnice. Vyd. 2. Brno: PC-DIR, 2000. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1712-9.
5. OTT, Henry W. Electromagnetic compatibility engineering. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2009. ISBN 04-701-8930-4.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D.**

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání diplomové práce:

**8. prosince 2017**

Termín odevzdání diplomové práce:

**28. května 2018**

Ve Zlíně dne 8. prosince 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.  
*ředitel ústavu*

### **Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 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 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 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 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 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 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

  
.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práca sa zameriava na zistenie prítomnosti nežiadúcich elektromagnetických interferencií výpočtovej techniky. V teoretickej časti je priblížená problematika elektromagnetickej kompatibility a následne oblasť elektromagnetického rušenia. Pokračovaním teoretickej časti sú spracované spôsoby merania rušivých signálov a takisto komunikácia v rámci osobného počítača. V úvode praktickej časti práce je charakterizované meranie v blízkom elektromagnetickom poli a špecifikácia laboratória. Ďalej sú charakterizované všetky použité prostriedky hardvérového či softvérového charakteru. Záver praktickej časti sa zaoberá popisom a vyhodnotením jednotlivých nameraných dát.

Kľúčové slova:

Elektromagnetická kompatibility, interferencie, vyžarovanie

## **ABSTRACT**

The Master thesis focuses on detecting the presence of unwanted electromagnetic interferences in computing technology. In the theoretical part is elucidated electromagnetic compatibility issue and consequently the area of electromagnetic interference. In continuation of theoretical part are processed methods of measuring interfering signals and communication within personal computer as well. In the introduction of research part of thesis is characterized near-field electromagnetic field measurement and laboratory specification. Furthermore, all the hardware or software features used are characterized. The conclusion of research part is dedicated to description and evaluation of individual measured data.

Keywords:

Electromagnetic compatibility, interference, radiation

Ďakujem Ing. Martinovi Pospíšilíkovi, Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady a pripomienky, ktoré mi poskytoval počas celého priebehu spracovania diplomovej práce. Tiež chcem poďakovať svojej rodine a priateľke, za podporu počas celého štúdia.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČASŤ</b> .....	<b>10</b>
<b>1 PROBLEMATIKA ELEKTROMAGNETICKEJ KOMPATIBILITY</b> .....	<b>11</b>
1.1 ČLENENIE ODBORU ELEKTROMAGNETICKEJ KOMPATIBILITY (EMC) .....	11
1.1.1 Elektromagnetická interferencia .....	12
1.1.2 Elektromagnetická susceptibilita .....	12
1.2 KLASIFIKÁCIA SIGNÁLOV .....	13
1.2.1 Determinované signály.....	13
1.2.2 Stochastické signály .....	13
1.2.3 Periodické signály .....	14
<b>2 ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENIE (EMI)</b> .....	<b>15</b>
2.1 ZDROJE ŠKODLIVÉHO RUŠENIA .....	15
2.1.1 Šírenie rušivých signálov .....	17
2.2 ELEKTROMAGNETICKÉ VÄZBY .....	17
2.2.1 Galvanická väzba .....	18
2.2.2 Kapacitná väzba .....	18
2.2.3 Induktívna väzba .....	19
2.2.4 Väzba vyžarovaním.....	20
<b>3 SPÔSOBY MERANIA RUŠIVÝCH SIGNÁLOV</b> .....	<b>21</b>
3.1 TYPY DETEKTOROV .....	21
3.2 MERANIE INTERFERENCIE ŠÍRENEJ PO VEDENÍ.....	22
3.2.1 Využitie umelej energetickej siete .....	22
3.2.2 Meranie s využitím prúdovej sondy .....	23
3.2.3 Meranie s využitím absorpčných klieští.....	23
3.3 MERANIE S VYUŽITÍM ANTÉN .....	24
3.4 MERANIE POMOCOU SOND BLÍZKEHO POĽA .....	28
3.5 MERANIE VYŽAROVANÉHO ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA.....	29
3.5.1 Voľné skúšobné prostredie.....	30
3.5.2 Semianechoická komora .....	31
<b>4 KOMUNIKÁCIA V RÁMCI OSOBNÉHO POČÍTAČA</b> .....	<b>33</b>
4.1 ZBERNICA POČÍTAČA .....	33
4.1.1 Front-Side-Bus zbernica.....	34
4.1.2 Direct Media Interface .....	35
4.1.3 PCI zbernica .....	36
4.1.4 USB zbernica .....	37
<b>II PRAKTICKÁ ČASŤ</b> .....	<b>38</b>
<b>5 MERANIE V BLÍZKOM ELEKTROMAGNETICKOM POLI</b> .....	<b>39</b>
5.1 LABORATÓRIUM ELEKTROMAGNETICKEJ KOMPATIBILITY .....	39
5.1.1 Bezodrazová komora Frankonia .....	39

5.2	UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL - N210 .....	41
5.3	GNU RADIO .....	42
5.4	SONDY PRE MERANIE BLÍZKEHO ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA .....	44
5.5	PRACOVISKO .....	45
5.6	MERANÉ ZARIADENIE .....	46
5.6.1	Základná doska G2 HM77 VA 70 .....	47
5.6.2	Procesor Intel Core i5-3210M.....	48
5.6.3	RAM.....	48
5.6.4	Grafické karty.....	49
5.6.5	Hodnoty komponentov.....	50
<b>6</b>	<b>MERANIA EMI VYŽAROVANÝCH KRYTOM PRÍSTROJA .....</b>	<b>53</b>
6.1	MERANIA EMI – GPU.....	53
6.2	MERANIA EMI – RAM.....	57
6.3	MERANIA EMI – USB.....	60
<b>7</b>	<b>ÚTOKY NA VÝPOČTOVÚ TECHNIKU VYUŽÍVAJÚCE ELEKTROMAGNETICKÉ POLE .....</b>	<b>63</b>
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>64</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>69</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>70</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>72</b>
	<b>ZOZNAM PRÍLOH.....</b>	<b>73</b>



## ÚVOD

V dnešnej modernej dobe sa takmer v každej domácnosti nachádza počítač, mobilný telefón alebo iné zariadenie, ktoré je zdrojom elektromagnetického poľa. Každé elektronické zariadenie môže byť potencionálnym zdrojom rušivých signálov, ktoré môžu narušiť funkcionality zdravotníckych, výpočtových či iných citlivých prenosových zariadení, respektíve ovplyvňovať okolité zariadenia. Práve z tohto dôvodu je elektromagnetická kompatibilita veľmi dôležitou témou, najmä v oblasti informačných technológií, ktorá sa dnes dostáva do popredia. Elektromagnetická kompatibilita je vlastnosť zariadenia, ktoré neovplyvňuje samé seba a iné zariadenie v spoločnom elektromagnetickom poli a zároveň je odolné voči pôsobeniu iného zariadenia. Tak rýchlo ako sa vyvíja oblasť technológií sa vyvíjajú aj možné riziká napadnutia informačných systémov. Existuje projekt špecifikovaný národnou bezpečnostnou agentúrou Spojených štátov, ktorý poukazuje na možnosť odpočúvania informačných systémov. Zmienovaný projekt definuje spôsoby odpočúvania systémov využitím vyžarovaných elektromagnetických emisií, rádiových a elektrických signálov a tiež zvukov a vibrácií. Súčasťou projektu sú aj spôsoby ochrany proti takýmto druhom odpočúvaní. Veľa špecifikácií v rámci projektu patrí samozrejme do utajovaných skutočností, no niektoré časti sú verejne dostupné. Nežiaduce vyžarované elektromagnetické interferencie sú definované ako neúmyselné signály, nesúce informáciu, ktorá môže byť zachytená a následne analyzovaná.

Cieľom mojej diplomovej práce je zistenie prítomnosti nežiaduceho elektromagnetického rušenia vyžarovaného výpočtovou technikou. Práca je rozdelená na teoretickú a praktickú časť, kde je popísaná komplexná problematika týkajúca sa meraní elektromagnetických interferencií. V úvode teoretickej časti sú definované jednotlivé oblasti elektromagnetickej kompatibility a špecifikácie základných typov signálov. Druhá kapitola sa zaoberá zdrojom a spôsobom šírenia elektromagnetického rušenia. Nasledujúca kapitola obsahuje metódy merania rušivých signálov a popisuje jednotlivé typy detektorov. V ďalšej kapitole teoretickej časti je priblížená komunikácia v rámci počítača využitím najrozšírenejších zberníc. V praktickej časti je popísaná realizácia merania v blízkom elektromagnetickom poli. Bližšie je špecifikované laboratórium elektromagnetickej kompatibility, v ktorom sa uskutočnilo meranie interferencií vyžarovaných krytom prístroja. Ďalšou časťou kapitoly je popis použitých prostriedkov softvérového či hardvérového charakteru. Záver praktickej časti obsahuje popis a priebeh samotných meraní elektromagnetických interferencií.

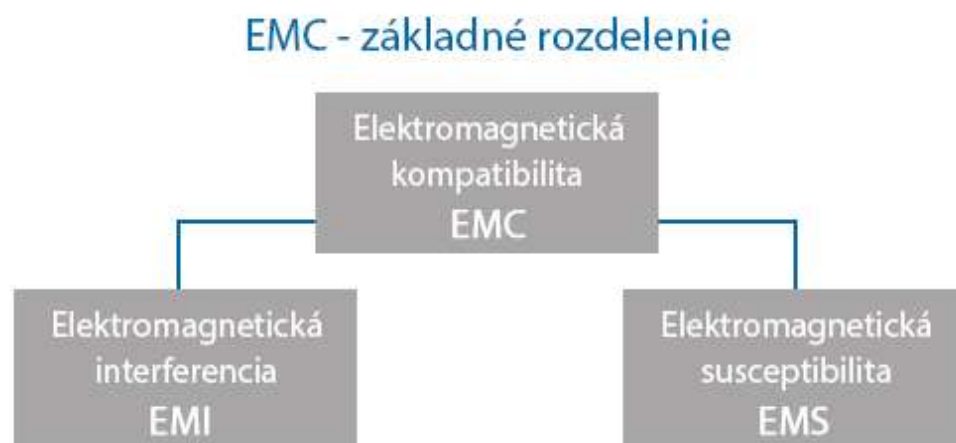
## **I. TEORETICKÁ ČASŤ**

## 1 PROBLEMATIKA ELEKTROMAGNETICKEJ KOMPATIBILITY

Všetky súčasné systémy a zariadenia musia byť konštruované tak, aby boli v dostatočnej miere odolné voči pôsobeniu iných zariadení a zároveň nemôžu spôsobovať rušenie, ktoré by negatívne ovplyvňovalo funkcie iných zariadení. Pojem elektromagnetická kompatibilita je často chápaná ako spoľahlivosť zariadenia. V skutočnosti ide o dve kľúčové vlastnosti, na ktoré je pri konštrukcii kladený najväčší dôraz. Oblasť elektroniky je jednou z najprogresívnejších oblastí modernej technológie, úroveň rušenia v kmitočtových pásmach neustále stúpa. Elektronické zariadenia a systémy pracujú so signálmi, impulzami generovanými na rôznych kmitočtoch. Merateľná úroveň výkonu komponentov jednotlivých zariadení sa pohybuje v rádoch mW až W. Zariadenia sa môžu nachádzať v blízkosti, v ktorej by mohlo dôjsť k vzájomnému ovplyvňovaniu, práve preto je rozhodujúcim faktorom práve elektromagnetická kompatibilita. [1,2]

### 1.1 Členenie odboru Elektromagnetickej kompatibility (EMC)

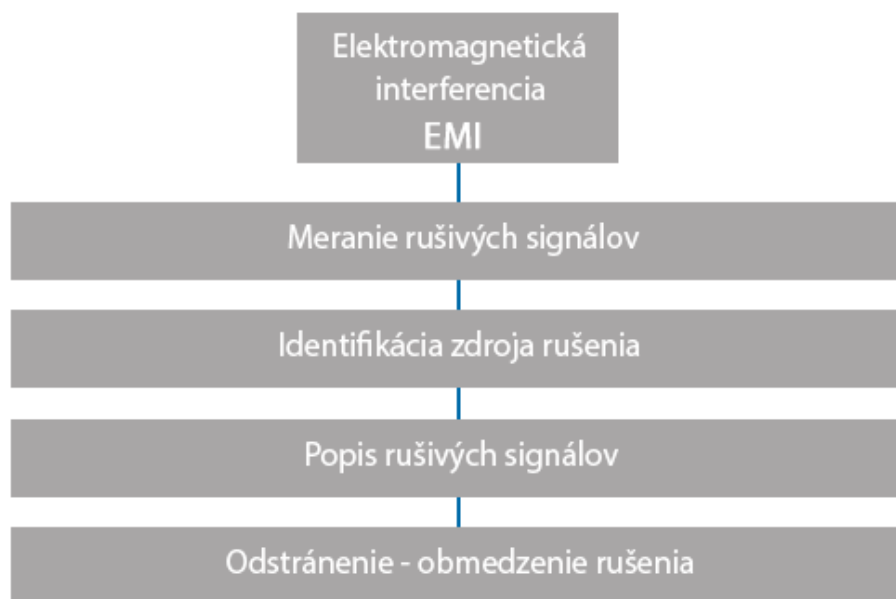
Odbor elektromagnetickej kompatibility sa zaoberá negatívnym ovplyvňovaním systémov pôsobením elektromagnetického poľa, podmienkami zlučiteľnosti jednotlivých systémov a taktiež riešením a optimalizáciou dosiahnutia elektromagnetickej kompatibility. Odbor je možné vo všeobecnosti rozčleniť na dve oblasti, prvou je elektromagnetické rušenie – interferencia a druhou oblasťou je elektromagnetická odolnosť – susceptibilita. [1]



Obr. 1 – Základné rozdelenie EMC [1]

### 1.1.1 Elektromagnetická interferencia

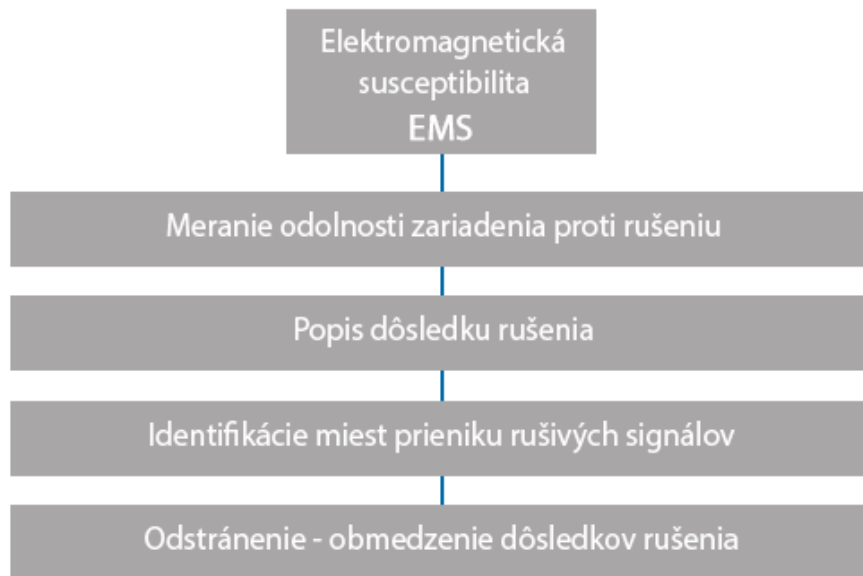
Elektromagnetická interferencia (EMI) je definovaná ako proces elektromagnetického rušenia, pri ktorom je zdrojom generovaný signál prenášaný prostredníctvom elektromagnetickej väzby do potenciálne rušeného systému. Táto oblasť sa prioritne zaoberá príčinami rušenia a ich elimináciou, konkrétne identifikáciou zdrojov rušenia, identifikáciou prenosových ciest, meraním a popisom rušivých signálov. Dosiachnutie elektromagnetickej kompatibility zariadení je realizované technickými opatreniami na strane zdroja rušenia a taktiež na prenosových cestách. [1,2]



Obr. 2 – EMI – schéma [1]

### 1.1.2 Elektromagnetická susceptibilita

Pojem elektromagnetická susceptibilita (EMS) predstavuje elektromagnetickú odolnosť, vyjadruje schopnosť zariadenia pracovať bezchybne, bez porúch, respektíve s presne definovaným vplyvom prostredia v ktorom sa nachádza elektromagnetické rušenie. Hlavným predmetom tejto oblasti je eliminácia dôsledkov rušenia zariadení, nezaobrá sa odstraňovaním existujúcich zdrojov rušenia. Štandardne sú prijaté technické opatrenia, ktorými je dosiahnutá zvýšená elektromagnetická odolnosť zariadení. [1,2]



Obr. 3 – EMS – schéma [1]

## 1.2 Klasifikácia signálov

V rámci problematiky elektromagnetickej kompatibility je veľmi dôležitou témou klasifikácia signálov. Signály sa rozdeľujú na niekoľko druhov, primárnym delením môže byť z hľadiska ohraničenia časovej osi – konečné a nekonečné signály. Štandardným príkladom nekonečného signálu je periodický signál. Ďalším typom delenia je z hľadiska popisu funkciou času, rozoznávajú sa determinované signály a stochastické signály.

### 1.2.1 Determinované signály

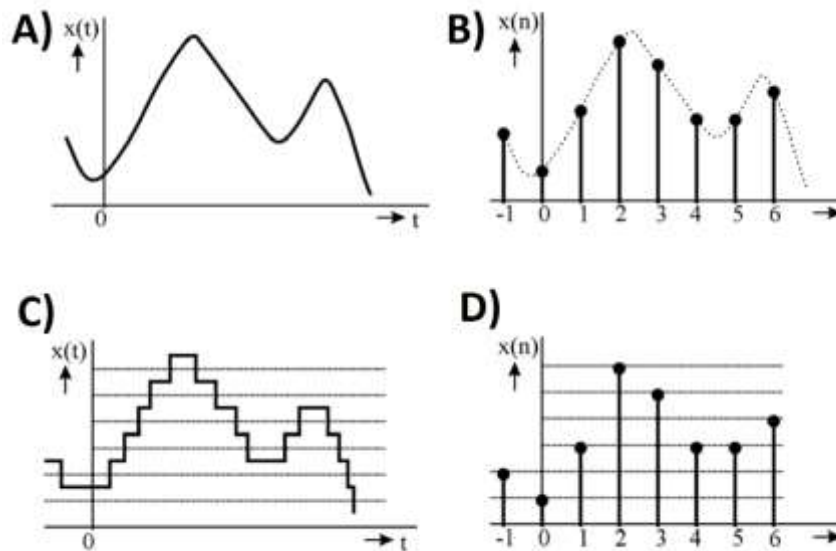
Nazývané tiež ako nenáhodné signály, dajú sa popísať známou funkciou času, ktorá zodpovedá známej prenášanej správe. Determinované signály sa ďalej rozdeľujú na periodické – harmonické a neharmonické, a na neperiodické signály.

### 1.2.2 Stochastické signály

Jedná sa o signály, ktoré nie je možné popísať známou funkciou času. Hodnota signálu v ľubovoľnom okamihu je určiteľná len s nejakou pravdepodobnosťou. Stochastické signály sa ďalej rozdeľujú na stacionárne a nestacionárne. Stacionárne nie sú závislé na polohe začiatku časovej osi a naopak nestacionárne signály sú závislé na počiatku časovej osi.

Rozdelenie signálov z hľadiska spojitosti je nasledovné:

- Signály spojité v hodnote aj v čase – spojité, analógové signály (obr. 4.a)
- Signály spojité v hodnote, ale diskkrétne v čase – diskkrétne signály (obr. 4.b)
- Signály diskkrétne v hodnote, ale spojité v čase – kvantované signály (obr. 4.c)
- Signály diskkrétne v hodnote aj v čase – číslicové, digitálne signály (obr. 4.d)



Obr. 4 – Rozdelenie signálov z hľadiska spojitosti [22]

### 1.2.3 Periodické signály

Periodický signál je typ determinovaného signálu, ktorého matematický model je funkciou času, vyhovujúcej podmienke:

$$f(t) = f(t + T) \text{ pre } t \in (-\infty; \infty) \quad (1)$$

- $T$  – perióda

Najrozšírenejším periodickým signálom je tzv. harmonický signál, matematickým modelom tohto signálu je kosínusová alebo sínusová funkcia času. Periodickým signálom sa rozumie súčet harmonických signálov, pričom pomer ľubovoľných dvoch frekvencií je racionálnym číslom. Každý periodický signál  $f(t)$  má svoje spektrum frekvencií. V opačnom prípade, ak je známe spektrum periodického signálu, je možné z neho určiť príslušnú periodickú funkciu  $f(t)$ . Spektrum periodického signálu nie je spojitou funkciou, existuje len pre diskkrétne hodnoty. Štandardným znakom periodického signálu je diskkrétne spektrum, ktoré je možné určiť pomocou Fourierovho radu.

## 2 ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENIE (EMI)

Oblasť elektromagnetickej interferencie sa v prvom rade zaoberá samotným meraním intenzity rušivých signálov na rôznych frekvenciách, zobrazením spektra alebo časového priebehu signálov. Následne je možné porovnanie nameraných hodnôt s požiadavkami príslušných noriem. Najčastejšie sa vyhodnocuje meranie vyžarovaného elektromagnetického poľa a rušenie emitované na svorkách zariadenia. Ďalšou oblasťou záujmu elektromagnetickej interferencie je identifikácia zdrojov rušenia.

### 2.1 Zdroje škodlivého rušenia

Interferenčným zdrojom môže byť každý elektrotechnický systém, rušivé signály sú generované viacerými spôsobmi. Všeobecná klasifikácia člení zdroje rušenia na umelé zdroje, ktoré vznikli ľudskou technickou činnosťou a na prírodné (prirodzené) zdroje rušenia, ktoré sa v celkovej miere nedajú ovplyvniť. Existuje viacero druhov členenia interferenčných zdrojov. [1,2]



Obr. 5 – Klasifikácia interferenčných zdrojov [1]

### **Funkčné a parazitné zdroje rušenia**

Signály generované funkčnými zdrojmi zabezpečujú hlavnú funkciu určitého systému, príkladom môžu byť komunikačné signály vysielačov. Za parazitné zdroje rušenia sú považované systémy, ktoré pri štandardnom fungovaní produkujú rušivé napätia či polia. [1]

### **Impulzné, spojité a kvázi-impulzné zdroje rušenia**

Ďalšou možnosťou členenia je podľa časového priebehu rušivého signálu. Impulzné rušenie charakterizuje časová postupnosť jednotlivých impulzov či prechodových javov. Klasifikácia priebehu rušivých signálov vychádza z medzinárodných technických noriem (v Českej republike – ČSN EN 55014), rušivé signály zodpovedajúce trvaniu do 200 ms a dobou pauzy dlhšou ako 200 ms sú stanovené práve ako impulzné signály rušenia. Kontinuálne pôsobenie rušivých signálov je definované ako spojité rušenie, je opakom impulzného rušenia. Kombinácia spojitého a impulzného rušenia je kvázi-impulzne rušenie.

### **Šum, impulzy a prechodové javy**

Jednou z častých klasifikácií rušivých signálov je rozdelenie do troch základných skupín, ktorými sú – šum, impulzy, a prechodové javy. V oblasti elektromagnetickej kompatibility je šum považovaný za rušivý signál s periodickým charakterom, ktorý predovšetkým ovplyvňuje tvar rušeného signálu, akým je napríklad napájacie napätie.

Impulzy sú rušivé signály určitej veľkosti a krátkou dobou trvania. Rušený signál ovplyvňujú naviazaním sa, vznikajú kladné či záporné špičky signálu. Jedná sa o dominantné frekvencie v rámci daného spektra. Príčinou vzniku impulzov často býva spínanie elektronických obvodov.

Prechodové javy sú ďalším typom rušivých signálov, charakterizované ako náhodné jednorazové signály s dobou trvania do niekoľkých sekúnd. Vznikajú v dôsledku náhlych zmien v energetickej sieti, pri zmene jej zaťaženia. [1,4]

### **Úzkopásmové a širokopásmové zdroje rušenia**

Signál je možné zobrazit' vo frekvenčnej alebo časovej oblasti, prevod medzi týmito formami je realizovaný pomocou Fourierovej transformácie. Vzťah medzi časovým priebehom signálu a obrazom funkcie vo frekvenčnej oblasti je definovaný tak, že každý priebeh má určité spektrum. Na základe nameraných hodnôt je zvolený vhodný prostriedok pre filtráciu rušivých signálov. Rušenie v úzkom pásme vzniká v dôsledku pôsobenia užitočne vysielaných signálov, napríklad televíznymi vysielačmi. Širokopásmové rušenie



vzniká generovaním priemyselných signálov, s rôznym časovým priebehom. Priemyselné signály rušenia vznikajú najmä pri činnosti polovodičových meničov výkonu, v napájacej sieti sa generujú harmonické kmitočty s maximálnymi hodnotami približne 30 MHz. Vygenerované rušivé napätia v energetickej sieti sa následne prejavujú rôznymi deformáciami harmonického napájacieho napätia 50 Hz. [1,2]

### **Nízkofrekvenčné a vysokofrekvenčné zdroje rušenia**

Z hľadiska pôsobenia rušivých signálov a obsadenia kmitočtového spektra sa zdroje interferencie delia na nízkofrekvenčné a vysokofrekvenčné. Nízkofrekvenčný zdroj rušenia na systém pôsobí v kmitočtovom pásme od 0 Hz do 2 kHz, prejavuje sa deformáciou napájacieho napätia a odoberaného prúdu. Narušenie funkcionality dochádza najmä u zariadení závislých na tvare napájacieho napätia, príkladom sú ovládacie a komunikačné systémy. Pôvodcom interferencie je vo všeobecnosti každá nelineárna záťaž pripojená v energetickej sieti, ktorá spôsobuje deformáciu odoberaného prúdu. Určitým typom nízkofrekvenčného rušenia je akustické rušenie, ktoré na rušený systém pôsobí v kmitočtovom pásme do 10 kHz. V tomto prípade sú rušené prenosové systémy, ako sú telefóny, meracie zariadenia a tiež iné komunikačné a informačné systémy. Tento druh rušenia generujú vo všeobecnosti všetky energetické zdroje.

Vysokofrekvenčné zdroje interferencií generujú rádiové rušenie v kmitočtovom pásme od 10 kHz do 400 GHz. Zdrojom rádiového rušenia sú prakticky všetky zdroje interferencií, v dôsledku generovania signálov v daných kmitočtových pásmach. [1,3]

#### **2.1.1 Šírenie rušivých signálov**

Oblasť šírenia rušivých signálov definuje celkom štyri spôsoby šírenia. Hlavné členenie spôsobov šírenia interferencií je podľa prostredia, vyžarovaním do voľného priestoru a vyžarovanie vedením po napájacích či komunikačných vedeniach. Každý zdroj interferencií produkuje rušivé signály šírené zároveň obidvomi spôsobmi, jeden spôsob šírenia je väčší a práve podľa toho je určený druh šírenia. [2,3]

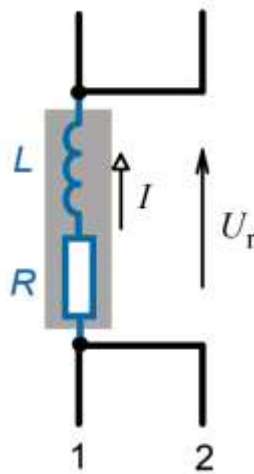
### **2.2 Elektromagnetické väzby**

Prenos rušivých signálov zo zdroja interferencie do rušeného systému je závislý predovšetkým na elektromagnetickom väzobnom prostredí. Existuje niekoľko typov elektromagnetických väzieb, sú členené podľa rôznych hľadísk, ako sú napríklad technická realizácia, fyzikálny princíp. Z hľadiska technickej realizácie je odlišné prostredie

elektromagnetickej väzby. Môže pozostávať napríklad zo vzdušného prostredia, z tieniacich či absorpčných materiálov alebo z filtrov kmitočtových pásiem. Podľa fyzikálneho princípu sa elektromagnetické väzby členia podľa vzájomného pôsobenia medzi dvomi vodičmi, respektíve obvody. Existuje niekoľko typov ako galvanická väzba, kapacitná väzba, indukčná väzba a väzba vyžarovaním, teda elektromagnetickým polom.

### 2.2.1 Galvanická väzba

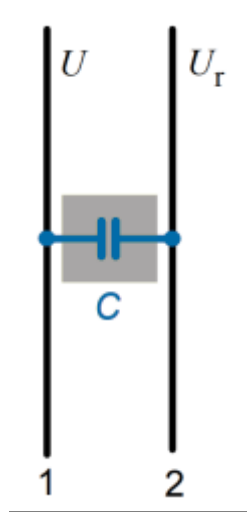
Predstavuje väzbu spoločnou impedanciou dvoch elektrických systémov. Prúdové okruhy jednotlivých systémov sa uzatvárajú spoločnými úsekmi na vedení. Impedancia má najčastejšie charakter sériového RL obvodu, je tvorená vnútornou impedanciou napájacieho zdroja, spoločným prívodom riadiacich obvodov alebo spoločným uzemnením systému. Cez spoločnú impedanciu prechádzajú prúdy oboch systémov, takže vzniknuté napätie  $U_r$  na impedancii v dôsledku tečenia prúdu jedného systému predstavuje rušivé napätie pre druhý systém. [1,2]



Obr. 6 – Galvanická väzba – schéma [1]

### 2.2.2 Kapacitná väzba

Vzniká pôsobením parazitných kapacít medzi rušivým a rušeným vodičom, alebo medzi jednotlivými časťami elektrických obvodov. Jedná sa o väzbu blízkym elektrickým polom. Elektrické pole, ktoré je generované medzi každými vodivými časťami s rôznym potenciálom, je považované za parazitnú kapacitu. Typickým miestom výskytu kapacitnej väzby je súbežné vedenie energetických a dátových káblov, či prípadné paralelné vedenie vodičov na plošných spojoch. [1,2]

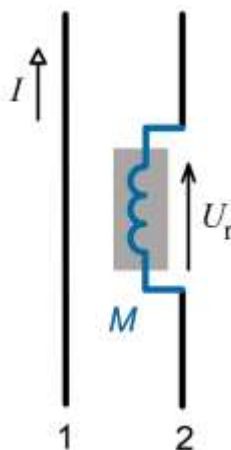


Obr. 7 - Kapacitná väzba – schéma [1]

V rámci kapacitnej väzby sa rozlišujú tri hlavné formy tejto väzby. Prvým typom je kapacitná väzba galvanicky oddelených obvodov.

### 2.2.3 Induktívna väzba

Jedná sa o väzbu, ktorá je spätá s magnetickým poľom. Pri prechádzaní elektrického prúdu obvodom vzniká v jeho okolí konštantné alebo premenné magnetické pole, typ poľa je závislý na časovom priebehu prechádzajúceho prúdu. Vo vodičoch nachádzajúcich sa v premennom magnetickom poli sa indukuje napätie, ktorého veľkosť rastie so zvyšujúcim sa kmitočtom. Časová zmena magnetického toku spôsobí indukciu rušivého napätia v blízkom okruhu, podľa Faradayovho indukčného zákona. [1,2]



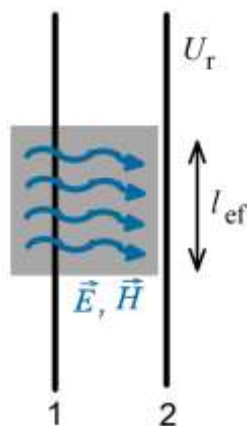
Obr. 8 – Induktívna väzba – schéma [1]

Výskyt indukčnej väzby nastáva pri elektrostatických výbojoch, ktoré sú generované prírodnými zdrojmi – bleskom, alebo umelými zdrojmi – lokálne výboje.

Minimalizácia parazitných induktívnych väzieb je dosiahnuteľná dodržaním niekoľkých zásad. Vzdialenosť jednotlivých obvodov musí byť čo najväčšia a dĺžka súbežných vodičov musí byť minimálna. Ďalším kritériom pre minimalizáciu je čo najmenšia veľkosť prúdových okruhov daného obvodu. Nie vždy je aplikácia týchto pravidiel uskutočniteľná, bežne dochádza k parazitným induktívnym a kapacitným väzbám, najmä pri súbežnom vedení energetických a dátových vodičov. Riešením je umiestnenie vodičov do samostatných elektromagnetických rozvodových sekcií, ktoré sú vzájomne tienené a nedochádza k parazitným väzbám.

#### 2.2.4 Väzba vyžarovaním

Ďalším typom elektromagnetickej väzby, je väzba vyžarovaním. Nastáva pri väčších vzdialenostiach zdroja a prijímača rušenia, kedy už nedochádza ku kapacitnej či induktívnej väzbe, ale k vzájomnému ovplyvneniu vyžarovaných elektromagnetických polí. Do tejto vzdialenosti sa musí zmestiť minimálne jedna celá elektromagnetická vlna, ktorej dĺžka je daná frekvenciou kmitania a rýchlosťou šírenia signálu. Táto forma rušenia sa vyskytuje napríklad v rádiových prijímačoch. Cez anténu dochádza k prieniku rušivých vln do systému, vo vodičoch sa indukuje rušivé napätie, ktoré sa pridá k pracovnému napätiu daného systému a tým nastáva porucha funkcionality. [1,2]



Obr. 9 – Väzba vyžarovaním – schéma [1]

Eliminácia elektromagnetického rušenia šíreného vyžarovaním sa realizuje pomocou rôznych tieniacich prvkov. Cieľom je oddeliť zdroj rušivého poľa od prijímaču potenciálne rušeného systému. Aplikácia tieniacich prostriedkov má za dôsledok zníženie intenzity rušivého signálu. Vysielané vlny sú pohltené či odrazené povrchom daného prostriedku. [1,4]

### 3 SPÔSOBY MERANIA RUŠIVÝCH SIGNÁLOV

Hlavným predmetom záujmu oblasti elektromagnetickej interferencie je meranie rušivých signálov. Existuje niekoľko hľadísk rozdelenia spôsobov merania. Primárne sa rozdeľujú podľa spôsobu šírenia, interferencie sa šíria vo vedení alebo v blízkom či vzdialenom elektromagnetickom poli. Jednotlivé primárne delenia využívajú rôzne prostriedky a techniky. Takmer v každom meraní je sledovaná frekvenčná oblasť, teda intenzita signálu na určitých frekvenciách. Vo frekvenčnej oblasti je možné definovať konkrétne požiadavky noriem a ľahšie identifikovať potencionálny problém. Frekvenčné spektrum sa zobrazuje využitím spektrálneho analyzátoru, respektíve meracím prijímačom. Časový priebeh určitých rušivých signálov je možné zobrazit' na osciloskope. Spôsob posudzovania nameraných hodnôt je nasledovný, hodnoty sú porovnané s požiadavkami príslušných noriem alebo hodnotám uvedených v zmluve. Pokiaľ dochádza k rušeniu, ktoré klasifikuje zariadenia ako nevyhovujúce, stanoveným hodnotám uvedených v normách či zmluve, je skúmaný zdroj rušenia jeho šírenie a tiež spôsob eliminácie rušenia.

#### 3.1 Typy detektorov

Rozlišuje sa niekoľko hlavných typov detektorov merania elektromagnetickej interferencie. Typ detektoru s danými vlastnosťami je použitý vzhľadom na druh merania. Namerané hodnoty sú závislé na šírke pásma meracieho prijímaču, type detektoru a tiež na dobe merania. Pri meraní elektromagnetických interferencií systémov v praxi, sú pri jednotlivých prípadoch využívané kombinácie nasledujúcich detektorov.

##### **Vrcholový detektor – MaxPeak**

Meria maximálnu hodnotu rušivého signálu v rámci trvania jedného kroku. Poskytuje výsledky s najvyššou možnou nameranou hodnotou, z pohľadu rušivého signálu meria najhoršie dosiahnuté hodnoty. Hodnota signálu je vyhodnotená na základe jeho obalu, nie je braný ohľad na špičky signálu a počet opakovaní. MaxPeak detektor je často využívaný pri meraní elektromagnetických interferencií u vojenských aplikácií.

##### **Detektor strednej hodnoty – Average**

Výstupom je stredná hodnota amplitúdy rušivého signálu, nameraná za dobu meracieho kroku. Detektor spracuje sporadicky vyskytnuté špičky signálu, vygeneruje informáciu o množstve vyžiarenej energie v rámci meraného kmitočtového pásma. Average detektor

nepracuje s náhodne vyskytujúcimi sa impulzmi rušivého signálu, je používaný pri meraniach s umelou energetickou sieťou.

### Kvazi-špičkový detektor – QuasiPeak

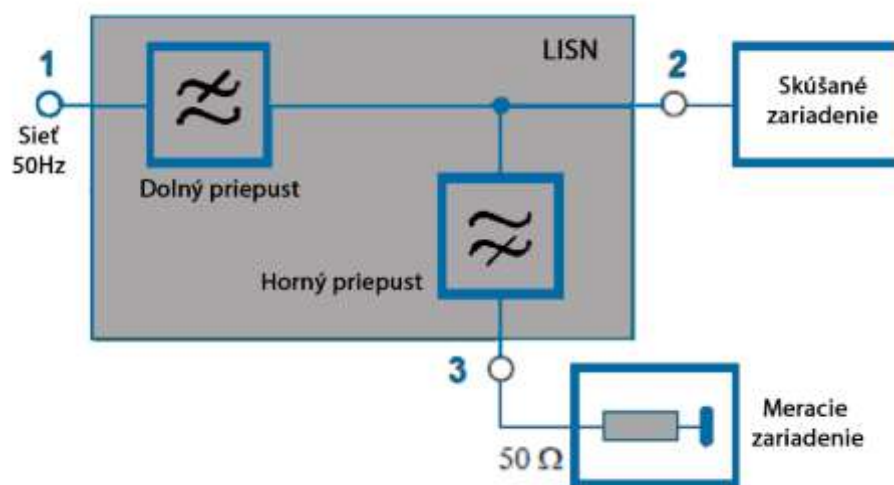
V konfigurácii detektoru je definovaná minimálna a maximálna konštanta, kvôli dosiahnutiu optimálnych výsledkov medzi maximálnymi a priemernými hodnotami. Definujúcou vlastnosťou je presnejšia detekcia náhodných impulzov, ktorým je pridelená nižšia výpovedná hodnota ako u MaxPeak detektoru. Rýchlosť merania hodnôt je nízka. Tento typ detektoru nachádza aplikáciu v rôznych druhoch meraní.

## 3.2 Meranie interferencie šírenej po vedení

Jedná sa o jedno z najčastejších meraní elektromagnetickej interferencie. Predmetom merania je vyžarované rušenie z testovaného zariadenia do energetickej siete prostredníctvom galvanickej väzby cez napájací kábel.

### 3.2.1 Využitie umelej energetickej siete

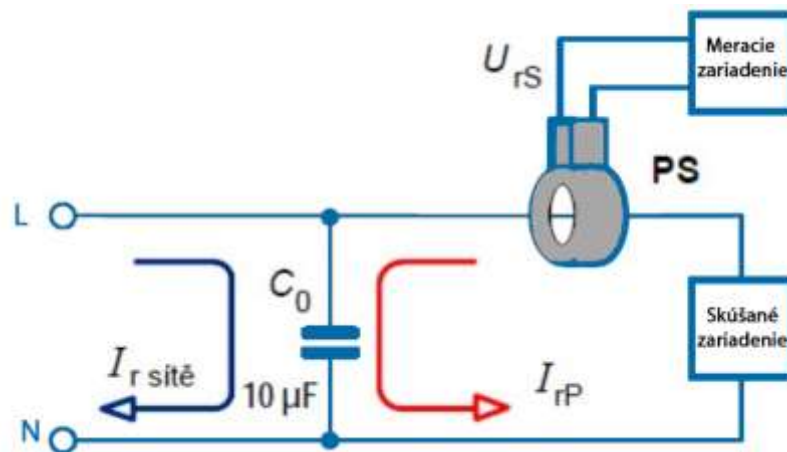
LISN – Line Impedance Stabilizing Network, pracovný názov je definovaný ako umelá energetická sieť. Predstavuje ideálnu energetickú sieť, ktorá oddeľuje meracie zariadenie od energetickej siete využitím filtra s horným priepustom. Využíva sa pri meraní rušivých signálov vznikajúcich v zariadení, ktoré sú napájané z elektrickej siete. Umelá energetická sieť zastáva niekoľko funkcií. Hlavnou funkciou je zaistenie len rušivých signálov z testovaného zariadenia, teda oddelenie signálov z elektrickej siete.



Obr. 10 – LISN – schéma [1]

### 3.2.2 Meranie s využitím prúdovej sondy

Prúdovou sondou je nazývaný prúdový transformátor, ktorý slúži na meranie pretekaného prúdu vodičom bez jeho prerušenia. Pokiaľ sonda obopína viac vodičov zariadenia, jedná sa o meranie súhlasného rušenia. Tento typ rušenia sa vo vodičoch šíri s rovnakým priebehom napätia či prúdu. Dôsledkom merania rozdielu medzi týmito vodičmi by bolo zdanie nulového rušenia na jednotlivých vodičoch. Konštrukčné zhotovenie prúdovej sondy pozostáva z využitia dvoch vinutí transformátora.

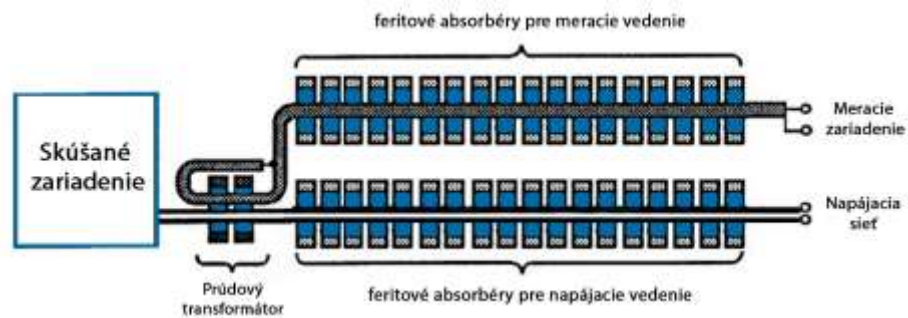


Obr. 11 – Meranie interferencie prúdovou sondou – schéma [1]

### 3.2.3 Meranie s využitím absorpčných klieští

Absorpčné kliešte sa používajú na meranie výkonu, ktorý je vyžarovaný prívodnými káblami daného zariadenia. Záver vyplývajúci z normy CISPR 14 je zistenie, že najviac vyžarujúcou časťou zariadení s elektrickým pohonom či tepelným žiarením je sieťový prívod. Rušenie je definované ako výkon, ktorý môže byť privedený do vedení zariadenia.

Konštrukcia absorpčných klieští pozostáva z kombinácie prúdovej sondy určenej pre vysoké frekvencie a feritového absorbéru v podobe krúžkov. Feritové krúžky predstavujú záťaž okolo meraného vedenia, ďalšie obmedzujú vysokofrekvenčný prúd na povrchu meracieho vedenia.



Obr. 12 – Absorpčné kliešte – schéma [1]

### 3.3 Meranie s využitím antén

Rušivé signály vyžarované do okolitého prostredia na frekvenciách od 10 kHz do 6 000 MHz a vyšších, je možné merať pomocou rôznych typov antén. Rušivé elektromagnetické pole je merané využitím meracieho zariadenie - prijímaču, ktorý je doplnený vhodným typom antény. Jednotlivé antény sa prioritne členia z hľadiska typu detekovateľnej zložky elektromagnetického poľa.

Rušená vzniknuté vo frekvenčnom pásme od 9 kHz až do 150 kHz, sú zväčša spôsobené magnetickou zložkou poľa  $H_r$ . Pre merania v rozsahu do 30 MHz sú použité aktívne feritové okruhovú antény. Cievka antény je umiestnená v kovovom tienení, kvôli zamedzeniu vplyvu elektrickej zložky poľa.



Obr. 13 – Rámová anténa -  $H_r$  [1]

Rušivé elektrické pole  $E_r$  sa meria využitím vertikálnej tyčovej antény s odporúčanou dĺžkou jeden meter. Táto anténa je určená na meranie vo frekvenčnom pásme do 30 MHz. Meranie intenzity  $E_r$  v blízkom poli rušivého zdroja pomocou je však nepresné, pretože sa okrem vysokofrekvenčnej väzby poľom, naskytá aj kapacitná väzba medzi tyčovou anténou a zdrojom interferencie. K presnému určaniu intenzity blízkeho rušivého poľa  $E_r$  v tomto



frekvenčnom pásme je používaná symetrická dipólová anténa. Tento typ antény určuje smer meraného poľa a tiež priebeh siločiar v okolí zdroja interferencie. Používa sa výhradne pri laboratórnych meraniach. Pri bežnom meraní počas prevádzky je použitá tyčová anténa.



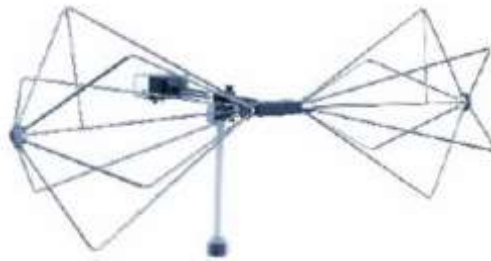
*Obr. 14 – Tyčová anténa –  $E_r$  [1]*

Ďalším typom antény je symetrický polvlnový dipól. Je určený pre merania vo frekvenčnom pásme od 30 MHz do 80 MHz, pričom rezonančná dĺžka je odpovedajúca frekvencii 80 MHz. Vo frekvenčných pásmach do 1 000 MHz sa tento dipól používa ako kalibračná anténa. Používa sa pri laboratórnych meraniach, pri bežných meraniach sa často nepoužíva kvôli náročnejšej konfigurácii.



*Obr. 15 – Symetrický polvlnový dipól -  $E_r$  [1]*

Pre merania vo frekvenčných pásmach od desiatok MHz do približne 2 000 MHz sú použité rôzne širokopásmové antény. Bikonická anténa je určitým druhom skráteného dipólu, je určená pre frekvenčné pásmo od 20 MHz do 300 MHz.



Obr. 16 – Bikonická anténa [1]

Meranie rušivých signálov vo frekvenčnom pásme od 200 MHz až do 6 000 MHz prebieha s využitím logaritmicko-periodickej antény. Konštrukčne je anténa zhotovená radou niekoľkých vhodne fázovo napájaných rezonančných unipólov. Dĺžka a vzájomné vzdialenosti sú v pomere, ktorý určuje podiel logaritmov ich rezonančných frekvencií. Všetky tieto antény pracujú s elektrickou zložkou  $E_r$  rušivého elektromagnetického poľa.



Obr. 17 – Logaritmicko-periodická anténa [1]

Existuje niekoľko špeciálnych typov širokopásmových antén, ktoré pracujú vo frekvenčnej oblasti do niekoľkých GHz. Sú to napríklad kónicko-logaritmická anténa, či anténa s pyramídálnym vlnovodom. Tieto typy antén sú však určené pre testovanie vojenských aplikácií. Normy vo vojenskej sfére MIL-STD, predpisujú merania s kruhovo polarizovaným elektromagnetickým poľom, pre ktoré sú tieto antény určené. Civilné normy IEC, CISPR a EN predpisujú testovanie s lineárnou polarizáciou rušivých signálov.



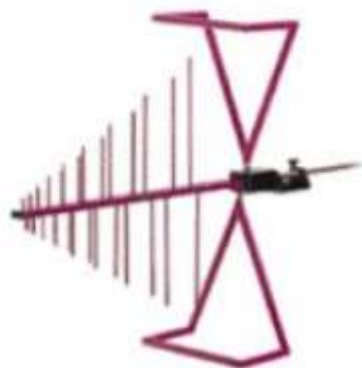
Obr. 18 – Kónicko-logaritmická anténa [1]

Merania vo frekvenčných pásmach do niekoľko GHz prebiehajú s využitím tzv. lievikových antén. Sú to antény s pyramidálnym kovovým vlnovodom, pričom sa rozlišujú dva typy vlnovodu. V konečnom dôsledku sa tieto antény dajú považovať za úzkopásmové, nakoľko pre pokrytie niekoľkých GHz pásiem je potrebné využiť sadu antén s rozdielnymi veľkosťami vlnovodov.



*Obr. 19 – Sada lievikových antén [1]*

S postupom času sa stal hlavným cieľom vývoj širokopásmovej antény, ktorá by bola schopná pokryť frekvenčný rozsah od 30 MHz až do niekoľkých GHz. Kombináciou bikonickej a logaritmicko-periodickej antény vznikol nový druh širokopásmovej antény s malými rozmermi. Merania v nízkych frekvenčných pásmach sú vykonávané vlastnosťami bikonickej antény, a naopak merania vo vysokých frekvenčných pásmach realizujú logaritmicko-periodickou časťou antény.



*Obr. 20 – Modifikácia širokopásmovej antény [1]*

S cieľom zlepšiť niektoré vlastnosti antén boli vyvinuté rôzne modifikácie. Dôraz bol kladený na zvýšenie šírky snímaného pásma a tiež na zlepšenie elektrických vlastností ako sú napríklad tvar vyžarovacieho diagramu a impedančné prispôbenie. Ďalším typom

modifikácie bolo zamenenie bikonickej časti za logaritmicko-periodickú časť, kvôli presnejšiemu meraniu v nižších frekvenčných pásmach.



Obr. 21 – Modifikácia antény Bilog [1]

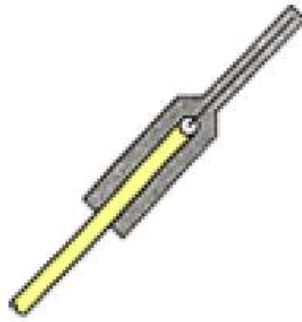
Meranie rušivých signálov s využitím zložených širokopásmových antén je obľúbené, nakoľko tento druh antén umožňuje meranie v celom frekvenčnom rozsahu používanom v oblasti EMI. Pre dosiahnutie presných hodnôt je nevyhnutné využitie kalibračných antén, symetrických dipólov. Hodnoty namerané zloženou širokopásmovou anténou sa porovnávajú s hodnotami získanými symetrickým dipólom. [1]

### 3.4 Meranie pomocou sond blízkeho poľa

Pre lokalizáciu zdrojov rušenia sa využívajú sondy blízkeho elektromagnetického poľa. Rušivé signály sú vyžarované elektronickými súčiastkami či obvodmi zariadenia. Práve preto sú využívané pri vývoji elektronických zariadení, kedy je dôležité sledovať interferencie jednotlivých okruhov zariadenia. Sondy sú frekvenčne závislé a využívajú kapacitnú či induktívnu väzbu. Priebeh rušivého signálu je možné zobrazit' na osciloskope.

Sondy sa členia na dve kategórie, podľa snímanej zložky daného poľa. Prvou kategóriou sond sú tie, ktoré snímajú blízke elektrické pole. Druhou kategóriou sú sondy konštruované pre meranie blízkeho magnetického poľa. Merania s využitím sond nie sú regulované normami. Jednotlivé merania poskytujú len relatívne hodnoty o intenzite rušivého signálu, nakoľko nie je zaručená presná reprodukovateľnosť meraní. Výsledky meraní sú závislé na neurčitých faktoroch, akými sú priblíženia sondy, uhly natočenia voči zdroju interferencie.

Sondy pre meranie blízkeho elektrického poľa sú konštruované ako unipolárne antény, s dĺžkou stredného vodiča do 10 mm.



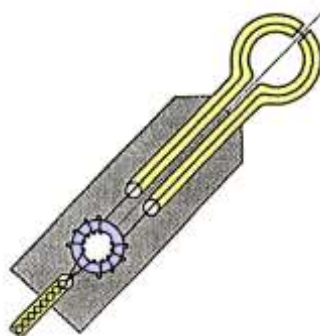
Obr. 22 – Sonda  $E_r$  [1]

Pokročilým variantom je izotropná sonda, využívaná pri laboratórnych meraniach.



Obr. 23 – Izotropná sonda  $E_r$  [1]

Sonda využívaná pre meranie blízkeho magnetického poľa má konštrukčný tvar malého okruhu s prevodným transformátorom. Umiestnenie sondy pri meraní musí byť kolmo voči zdroju rušenia, kvôli siločiarom poľa prechádzajúcich stredom okruhu. [1]



Obr. 24 – Sonda  $H_r$  [1]

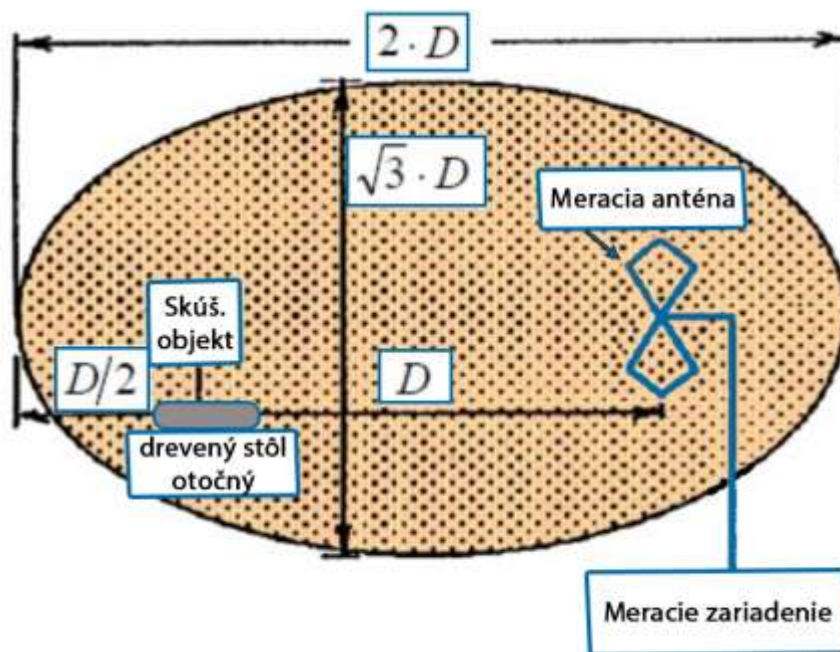
### 3.5 Meranie vyžarovaného elektromagnetického poľa

Jedným z najdôležitejších meraní v oblasti EMI, je meranie vyžarovaného elektromagnetického poľa. Meranie prebieha vo vzdialenom elektromagnetickom poli,

nepracuje sa s kapacitnou či induktívnou väzbou. Energia je prenášaná elektromagnetickými vlnami v prostredí. Impedancia prostredia určuje pomer elektrickej a magnetickej zložky poľa. Pre meranie vzdialeného elektromagnetického poľa sa používa takzvané voľné skúšobné prostredie (Open Area Test Site). Druhou možnosťou je využitie semianechoickej komory, ktorej vlastnosti sú definované patričnými normami.

### 3.5.1 Voľné skúšobné prostredie

Jedná sa o definované pracovné prostredie, určené pre meranie vyžarovaného elektromagnetického poľa. Vychádza z normy CISPR 16-1, v Českej republike ČSN EN 55016-1-1.



Obr. 25 – Voľné skúšobné prostredie – schéma [1]

Meracia vzdialenosť  $D$  je definovaná normou na hodnoty 3m, 10m, 30m či 100m. Voľné pracovisko musí byť na plochom, rovnom teréne a v okolí nesmú byť žiadne budovy, stromy, elektrické vedenia či iné elektromagneticky rušivé elementy. Elipsoidný tvar voľného skúšobného pracoviska je daný kvôli jeho geometrickým vlastnostiam, ktoré poskytujú dostačujúcu ochranu pri nežiaducich odrazoch vln rušivého poľa. Nutné je dodržanie dĺžky elipsy, ktorá musí byť dvojnásobne väčšia ako vzdialenosť  $D$  medzi skúšaným objektom a meracou anténou. Meracia anténa použitá vo voľnom skúšobnom prostredí prijíma signály rušivého poľa vždy minimálne po dvoch dráhach, priamou a odrazenou vlnou. Kvôli reprodukovateľnosti výsledkov merania je nutné využiť kovovú odrazovú plochu, pre zaistenie stálych podmienok odraz vln rušivého poľa. [1]

### 3.5.2 Semianechoická komora

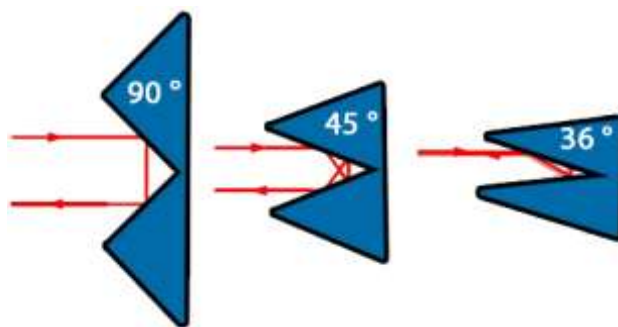
Nakoľko je nájdenie vhodného voľného skúšobného pracoviska v súčasnosti náročné, prebiehajú merania vyžarovaného elektromagnetického poľa v prevažnej väčšine v semianechoickej komore. Jedná sa o čiastočne bezodrazovú komoru, ktorá je potrebných rozmerov a dokonale elektromagneticky odtienená. Používa sa tiež anechoická komora, jedná sa o plne bezodrazovú komoru, okrem stien je bezodrazová aj podlaha komory. K dosiahnutiu bezodrazových stien komory, by musel byť priestor vyplnený hmotou s nekonečne vysokou impedanciou. Takáto hmota však neexistuje, avšak táto vlastnosť sa dá simulovať skratom. Konštrukcia komory je zhotovená z dobre vodivého materiálu, ktorý je na konci vedenia skratovaný.



*Obr. 26 – Anechoická komora [8]*

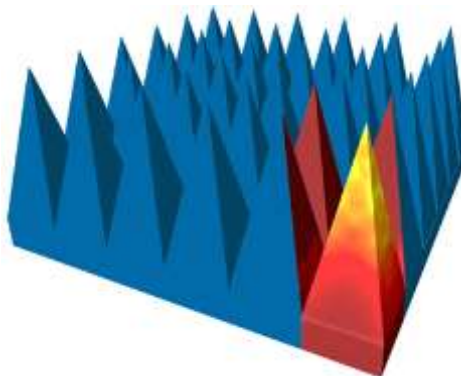
V bezodrazových komorách dochádza k stojatému vlneniu, práve preto sú na kovovú konštrukciu umiestnené absorpčné obklady s príslušnými rozmermi pre požadované frekvenčné pásmo. Tieto obklady premieňajú dopadajúce vlny na teplo, pričom využívajú dielektrické či magnetické straty. Používajú sa tvrdené penové materiály z polystyrénu či polypropylénu, ktoré sú nasýtené elektrovodivými náplňami s rôznou hustotou. Mierou nasýtenia materiálov sa regulujú ich stratové parametre. Absorpčné prvky umiestnené na stenách komory majú tvar ihlanov, či kužeľov. [1]





*Obr. 27 – Odrazy od typov absorbérov [1]*

Maximálne pohltenie energie dopadajúcich elektromagnetických vln, nastáva v zadných častiach absorbéroov.



*Obr. 28 – Absorpčné ihlany [9]*



## 4 KOMUNIKÁCIA V RÁMCI OSOBNÉHO POČÍTAČA

V rámci architektúry osobného počítača (PC) prebieha komunikácia využitím zbernice. Počítačové systémy pozostávajú z troch hlavných častí, sú to centrálna procesorová jednotka (CPU), pamäť a vstupno-výstupné periférne zariadenia. Tieto tri hlavné časti komunikujú pomocou využitia rôznych typov zberníc.

### 4.1 Zbernica počítača

Jedná sa o komunikačný systém zložený z vodičov. Tento systém prenáša dáta medzi komponentmi v rámci PC, respektíve medzi ďalšími PC. Jedným z najzákladnejších atribútov zbernice je počet bitov, ktoré sa prenášajú v jednom okamihu. Počet bitov je daný počtom vodičov zbernice. Medzi ďalšie atribúty zberníc patria rýchlosť zbernice, fyzická dĺžka zbernice a tiež jej elektrické vlastnosti. V rámci zbernice je zadefinovaný spôsob komunikácie a tiež komunikačný protokol. Zbernica je vyvedená na konektor či port, pomocou ktorého sa pripájajú ďalšie zariadenia. Pripojenie zariadenia ku zbernici definuje príslušné komunikačné rozhranie. Existuje niekoľko spôsobov delenia jednotlivých typov zberníc. [10]

Primárnym delením zberníc je podľa oblasti komunikácie, rozlišujú sa vnútorné (systémové) zbernice a externé (expanzné) zbernice. Vnútorné zbernice poskytujú komunikáciu jednotlivým komponentom v rámci počítača, na rozdiel od externých zberníc, ktoré komunikujú s rôznymi externými zariadeniami, napríklad tlačiareň a podobne.

#### Rozdelenie zberníc podľa prenášaných údajov:

- Adresná
- Dátová
- Riadiaca
- Napájacia

#### Podľa smeru:

- Jednosmerné
- Obojsmerné

#### Podľa synchronizácie:

- Synchronná zbernica
- Multimaster zbernica

- Pseudosynchronná zbernica
- Asynchrónne – jednostranne riadené.

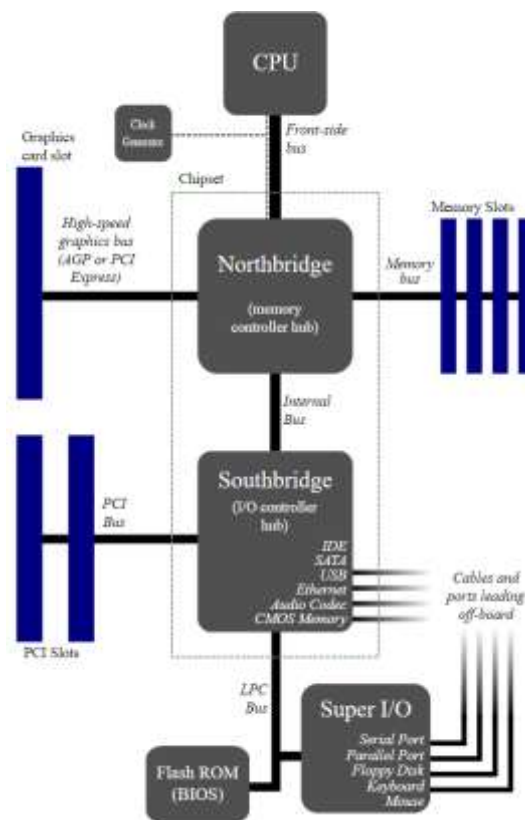
#### Podľa umiestnenia:

- Vnútoraná zbernica
- Periférna zbernica

#### 4.1.1 Front-Side-Bus zbernica

Jedná sa o obojsmernú dátovú zbernica, ktorá prenáša všetky informácie medzi procesorom (CPU) a systémovou riadiacou jednotkou. Riadiaca jednotka je tiež označovaná ako radič, je to hardvér, ktorý zabezpečuje preklad riadiacich signálov z periférie do formátu zbernice a naopak. FSB zbernice slúžili ako hlavná komunikačná časť medzi procesorom a chipsetom.

Chipset je integrovaný obvod umiestnený na najdôležitejšom prvku moderného počítača – základnej doske. Je to súprava čipov, ktorá zastáva viacero funkcií a zároveň ich združuje. Príkladom je tvorba rozhrania pre riadenie toku dát medzi procesormi, pamäťou a perifériami, podpora zvuku a sieťovej konektivity a podobne. [11,12]



Obr. 29 – Chipset staršia verzia – schéma [14]

Technológia Front-Side-Bus pripája CPU a hardvér prostredníctvom čipovej sady nazývanej ako northbridge (severný most) a southbridge (južný most). Ostatný hardvér komunikujúci pomocou sekundárnych systémových zberníc je pripojený práve do northbridge či southbridge. [11,21]

Frekvencia, na ktorej procesor CPU pracuje je stanovená časovým násobičom. Externe dodávaný hodinový signál je považovaný za časovú základňu, časový násobič vyjadruje pomer vnútornej frekvencie CPU k externe dodávanému hodinovému signálu. Hodinový signál nazývaný tiež ako taktovacia frekvencia je zvláštnym druhom signálu, ktorý osciluje medzi vysokým a nízkym stavom – používa sa na koordináciu digitálnych obvodov. Zmena tohto elektrického signálu spôsobí zmenu digitálneho elektronického obvodu. Je produkovaný generátorom, najčastejšie vo forme obdĺžnikových vln s polovičným pracovným cyklom a konštantnou frekvenciou. Násobiče hodinového signálu sú na moderných procesoroch pevne dané, bez možnosti zmien. Niektoré verzie procesorov môžu mať násobiče odomknuté, tieto procesory môžu byť tzv. pretaktované – dôjde k zvýšeniu násobiču hodinového signálu na základnej doske v nastaveniach BIOS. V modernejších počítačoch bola pôvodná architektúra FSB zbernice nahradená technológiou HyperTransport, Intel QuickPath Interconnect či Direct Media Interface. [12,13]

#### 4.1.2 Direct Media Interface

Jedná sa o zbernicu vyvinutú spoločnosťou Intel, slúži na prenos dát medzi severným a južným mostom. Hlavnou úlohou DMI je komunikácia s rozhraniami SATA alebo portami PCI. Technológia bola do procesorov priamo implementovaná od roku 2009, jednalo sa o procesory typu Intel Core i5. Prvou platformou s touto technológiou bol procesor i5-750 v kombinácii s čipovou zostavou P55. Procesory tejto rady disponovali rýchlosťou prenosu dát 10 Gbit/s, teda 1,16 GB/s. V roku 2011 bola predstavená ďalšia generácia zbernice DMI, s označením DMI 2.0. Zbernica je využívaná na prepojenie procesora Intel s platformou Intel Platform Controller Hub (PCH), ktorá nahrádza implementáciu samostatného severného a južného mostu. Prenosová rýchlosť dát zbernice DMI 2.0 je 2 GB/s, využíva pri tom všetky štyri vedenia PCIe v2. Existuje ďalší typ zbernice s označením DMI 3.0, bol predstavený v roku 2015, využíva takisto štyri dátové linky. Obidva smery medzi procesorom a PCH platformou majú k dispozícii rýchlosť prenosu dát až 3,9 GB/s. Táto

prenosová rýchlosť je dosiahnutá pomocou využitia vedenia PCIe v3 namiesto PCI v2. [13,15]

#### 4.1.3 PCI zbernica

Peripheral Component Interconnect - jedná sa o zbernicu pre pripojenie periférnych zariadení k základovej doske počítaču. PCI poskytuje možnosť dynamického konfigurovania prídavných zariadení. Základnou špecifikáciou PCI zbernice bola frekvencia hodinového signálu na úrovni 33,33 MHz. Maximálny prenos dát je definovaný na 133 MB/s. Existuje niekoľko základných variant PCI zbernice, napríklad PCI 2.2 verzia, ktorá má frekvenciu hodinového signálu na úrovni 66 MHz s maximálnym prenosom dát 533 MB/s. Súčasne používaným variantom PCI je zbernica je o mnoho výkonnejšia zbernica s názvom PCI-Express. [16,17]

PCI-Express je lokálna zbernica využívajúca programovacie koncepty a komunikačné štandardy, ktoré už boli zavedené v predchádzajúcich verziách. Rozdielová vlastnosť je využívanie rýchlejšieho komunikačného systému. Jedná sa o zbernicu ktorá je podporovaná primárne spoločnosťou Intel a v súčasnosti je štandardnou súčasťou základových dosiek. Grafické karty od najväčších výrobcov sú určené práve pre rozhranie PCI-Express. Vzájomná komunikácia medzi dvomi PCI-Express zariadeniami prebieha na tzv. linkách, tieto linky pozostávajú z rôznych počtov dráh. [17]



Obr. 30 – PCIe sloty – x4, x16, x1, x16, expanz. PCIe (32bit,5V) [18]

Existujú varianty liniek s 1, 2, 4, 8, 12, 16, 24 až 32 dráhami, označujú sa písmenom x pred daným počtom dráh. Jednotlivé dráhy majú vysielacie a prijímacie vodiče, ktoré pracujú

so signalizáciou 2,5 Gbps. Pri použití kódovaní (8B/10B) je na dráhe vytvorená efektívna šírka dátového pásma 250 MB/s v oboch smeroch. To znamená, že grafická karta využívajúca x16 dráhovú PCI-Express v. 1.x zbernicu môže pracovať s dátami 4 GB/s.

Do súčasnosti bolo vyvinutých niekoľko verzií PCI-Express zberníc. Jedná sa o verzie v.1.x, v.2.x, v.3.x, v.4.x, a najnovšia verzie PCIe v.5.x. V jednotlivých verziách sa postupne zvyšuje prenosová rýchlosť spracovávaných dát. Pre najnižšiu verziu zbernice PCIe v.1.x je prenosová rýchlosť pri x16 dráhach 4GB/s. Verzia v.3.x pri x16 dráhach poskytuje prenosovú rýchlosť 15,75 GB/s, zásadne sa zmenilo kódovanie z typu 8b/10b na 128b/130b čím sa zredukovala šírka pásma. Najnovšia verzia PCIe v.5.x disponuje rýchlosťou prenosu dát pri x16 dráhach až 63 GB/s, táto verzia bola predstavená v júni 2017, avšak ešte nebola štandardizovaná. Uvedenie na trh sa očakáva v roku 2019. [17,19]

#### 4.1.4 USB zbernica

Univerzálna sériová zbernica je štandardom sériovej zbernice určenej pre pripojenie periférií. Ďalšími spôsobmi využitia môžu byť prenos dát z externých pamäťových zariadení a súčasné spracovania dát viacerých pripojených zariadení. Vo všeobecnosti má USB zbernica široké spektrum aplikácií. Protokol je jednoduchý pre implementáciu a integráciu do PC, podporuje plug-and-play architektúru. Dôležitým prvkom sú rozhrania sú tzv. hub-y. V plug-and-play architektúre USB zbernice slúžia na jednoduchšie a tiež viacnásobné pripájanie USB zariadení z pohľadu užívateľa. Každý hub sa skladá z dvoch častí, repeateru a controlleru. Repeater hub-u je riadeným prepínačom medzi upstream a downstream portom. Controller poskytuje registre pre komunikáciu s host-om a následné riadiace príkazy určené pre hub umožňujú host-ovi konfiguráciu a riadenie portov. V každom USB systéme je len jeden host, v PC je to Host Controller – radič. Z pohľadu fyzickej topológie pozostáva USB zbernica zo spojenia downstream portu hub-u k upstream portu iného hub-u. Kábel pozostáva z dvoch napájacích vodičov a z dvoch twisted-pair signálových vodičov. Pripojené periférne zariadenia sú v rovnakom prenosovom pásme zbernice, centrálny protokol dovoľuje pripájanie, konfigurovanie, používanie a odpájanie počas fungovania systému. Prenosová rýchlosť je závislá od verzie USB rozhrania. V súčasnosti sú najnižšie rýchlosti pre verziu 2.0 približne 30 MB/s, pre verziu USB 3.0 sú na hranici 625 MB/s a verzia USB 3.1 disponuje rýchlosťou prenosu dát až 1 250 MB/s. USB rozhranie pri prenose paketov používa kódovanie dát NRZI – Non Return to Zero Invert to Ones. V NRZI kódovaní „1“ reprezentuje žiadnu zmenu v úrovni a „0“ reprezentuje zmenu v úrovni. [23]

## **II. PRAKTICKÁ ČASŤ**

## 5 MERANIE V BLÍZKOM ELEKTROMAGNETICKOM POLI

Vyžarovanie nežiadúcich emisií elektromagnetického poľa výpočtovou technikou je v oblasti informačných technológií veľmi dôležitou témou. V spojitosti s klasifikovaným projektom vlády Spojených štátov, ktorý analyzoval náchylnosť zariadení na vyžarovanie nežiadúcich emisií elektromagnetického poľa a ich následnú rekonštrukciu. Jedná sa o projekt, ktorý bol počas vývoja označovaný ako TEMPEST, neskôr bol názov vo vojenskej sfére oficiálne zmenený na Emsec – for Emission Security. Projekt TEMPEST špecifikuje odpočúvanie informačných systémov s využitím vysielaných emisií elektromagnetického poľa a tiež spôsoby ochrany zariadení pred týmto druhom odpočúvania.

Na základe nutnosti zistiť vyžarované emisie elektromagnetického poľa výpočtovej techniky, bola zvolená metóda merania sondami blízkeho elektromagnetického poľa. Merania s využitím sond elektromagnetického poľa nepodliehajú normám, a tiež nie je zaručená reprodukovateľnosť meraní. Namerané hodnoty intenzity signálu sú ovplyvnené viacerými faktormi, v dôsledku toho sa hodnoty berú ako relatívne, nie ako referenčné. Pri meraniach elektromagnetických interferencií v tomto projekte boli použité obidva typy sond elektromagnetického poľa, zariadenie bolo počas meraní v nezaťaženom a zaťaženom stave.

### 5.1 Laboratórium elektromagnetickej kompatibility

Merania elektromagnetických interferencií výpočtovej techniky prebiehali v laboratóriu elektromagnetickej kompatibility CEBIA-Tech, v rámci centra bezpečnostných, informačných a pokročilých technológií. Centrum pozostáva z niekoľkých laboratórií, konkrétne sa jedná o laboratórium pre výrobu prototypov, laboratórium pre technologické procesy, laboratórium pre analýzu vzoriek, laboratórium pre testovanie vlastností materiálov a laboratórium elektromagnetickej kompatibility. Jednotlivé laboratóriá disponujú viacerými pokročilými prístrojovými vybaveniami. Laboratórium elektromagnetickej kompatibility obsahuje prístroje pre analýzu obvodov a vzoriek materiálov. Zariadenie je využiteľné v širokej oblasti bezpečnostného výskumu a telekomunikačných technológií.

#### 5.1.1 Bezodrazová komora Frankonia

Súčasťou laboratória elektromagnetickej kompatibility je aj bezodrazová komora, v ktorej prebiehajú merania rôznych zariadení. Využitím prístrojového vybavenia komory je možné realizovať merania z oboch oblastí EMC, teda merania elektromagnetických interferencií a tiež testovanie elektromagnetickej odolnosti. Technické parametre komory sú nasledovné:

- Vnútorný rozmer: dĺžka 6.5 m, šírka 4.5 m a výška 5.0 m
- Rozsah pre merania EMI, EMS je 3 m
- Frekvenčný rozsah komory je 26 MHz – 18 GHz
- Tieniaca účinnosť SE je väčšia ako 80 dB (1 GHz)
- Pre testované zariadenia umiestnené na stôl, rozmer približne 1 m x 1.5 m
- Testovanie EMI/EMS po vedení, rozsah 150 kHz – 30 MHz (H-zložka)
- Testovanie EMI/EMS vyžarovaním, rozsah 9 kHz – 30 MHz



*Obr. 31 – Bezodrazová komora Frankonia*

Prístrojové vybavenie pre merania EMI:

- Merací prijímač ESU8, výrobca Rohde-Schwarz
- Umelá impedančná sieť Rohde-Schwarz ENV216 (230 V/16 A)
- Prúdové transformátory pre monitorovanie asymetrického rušenia na 230V prívode (10 kHz – 500 MHz)
- Antény pre merania EMI (rámová anténa, BiLog anténa, lieviková anténa)

Prístrojové vybavenie pre testovania EMS:

- Generátor SMA100A, výrobca Rohde-Schwarz (100 kHz – 6 GHz)
- Výkonové zosilňovače (0.1 - 250 MHz, 0.1 – 1 GHz, 0.7 – 4.2 GHz)
- Dosiahnuteľná intenzita elektrického poľa  $E = 10 \text{ V/m}$
- GTEM komora, testovanie EMS zariadení do 20 cm
- Meranie odolnosti voči prieniku rušivého signálu do prívodných vodičov



- Testovanie odolnosti voči prúdovým vlnám, nízkofrekvenčnému magnetickému poľu, sérií rýchlych impulzov
- Testovanie elektrostatickej odolnosti – ESD, zariadením od výrobcu Haefely
- Antény pre merania EMS (bikonický dipól, logaritmicko-periodická anténa, lieviková anténa)

## 5.2 Universal Software Radio Peripheral - N210

USRP – jedná sa o softvérové rádio vyvinuté spoločnosťou Ettus Research v spolupráci s materskou spoločnosťou National Instruments. Softvérovo definované rádio je typom rádiového systému, v ktorom je spracovávanie signálov realizované softvérovo programovateľnými obvody, na základe toho je možné používať rôzne frekvenčné pásma a komunikačné protokoly. USRP predstavuje pomerne lacnú hardwarovú platformu softvérového rádia, platforma sa bežne využíva vo výskumných laboratóriách a univerzitách. Existuje niekoľko druhov zariadení, hlavným kritériom delenia môže byť konektivita k hostiteľskému počítaču. Rozlišujú sa dva základné typy – sieťová a zbernicová séria. Ďalším typom delenia môže byť na základe prítomnosti funkcií počítača. Existujú varianty, ktoré sú schopné pracovať samostatne s vlastným integrovaným procesorom, či variant bez vlastného procesora s nutnosťou pripojenia k hostiteľskému počítaču. Pripojenie USRP k hostiteľskému počítaču je realizované pomocou vysokorýchlostného spojenia, ktoré slúži na ovládanie hardwaru a prenos či prijímanie údajov. Prevažná väčšina zariadení USRP bola navrhnutá ako hardware s otvoreným zdrojovým kódom, k dispozícii sú dokonca presné schémy dosiek zariadení. Pre dosiahnutie komplexného softvérového rádio systému sa USRP zariadenia používajú v kombinácii so softwarom GNU Radio, ktorý je tiež s otvoreným zdrojovým kódom. Ovládač softvéru podporuje platformy Linux, Windows a tiež MacOS, poskytuje tiež natívnu podporu pre programovací jazyk C++ a tiež pre každý iný jazyk, ktorý môže importovať funkcie z C++.

Pre merania EMI v tomto projekte bolo použité sieťové zariadenie USRP N210 so softvérovým balíkom GNU Radio. Zariadenie disponuje nasledovnými parametrami:

- A Xilinx Spartan-3A DSP 3400 FPGA
- Rozhranie: Gigabit Ethernet
- Dual 100 MS / s, 14-bitový, analógovo-digitálny prevodník
- Dual 400 MS / s, 16-bitový, digitálny-analógový prevodník

- Flexibilné hodiny a synchronizácia
- Externé vstupy pre signály 10 MHz a 1 signál PPS (SMA)
- Voliteľný disciplinovaný oscilátor GPS
- Ettus Research MIMO kábel, ktorý možno použiť na synchronizáciu dvoch zariadení USRP (predáva sa samostatne)
- Podpora časových príkazov a zarovňovania LO so základňou SBX

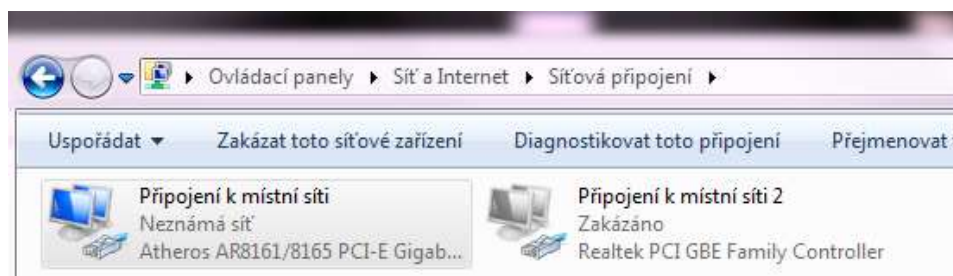
Cena tohto zariadenia je 1 890 € (48 143CZK).



Obr. 32 – USRP N210

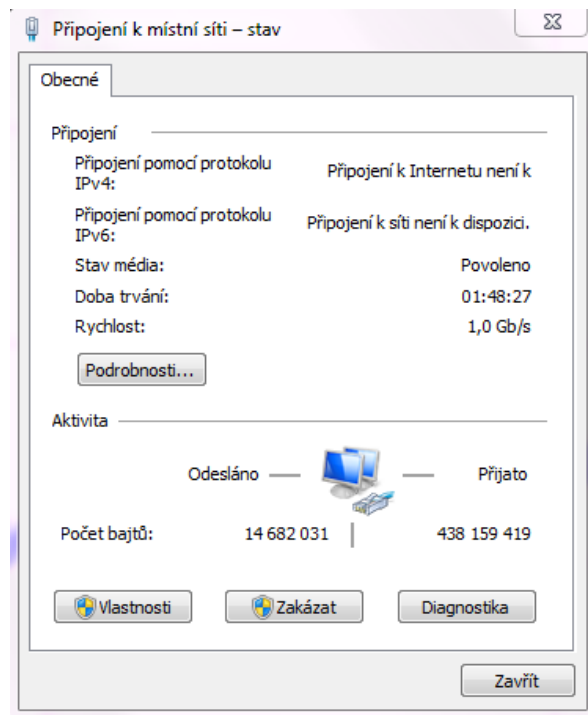
### 5.3 GNU Radio

Jedná sa o voľne šíriteľný softvér, ktorý poskytuje nástroje pre tvorbu a spúšťanie softwarových rádii. Pri realizovaných meraniach bola použitá aplikácia GNU RADIO - USRP Spectrum Scanner. Pre úspešné pripojenie zariadenia USRP je potrebné vypnutie druhého sieťového adaptéru v ovládacom paneli počítača.



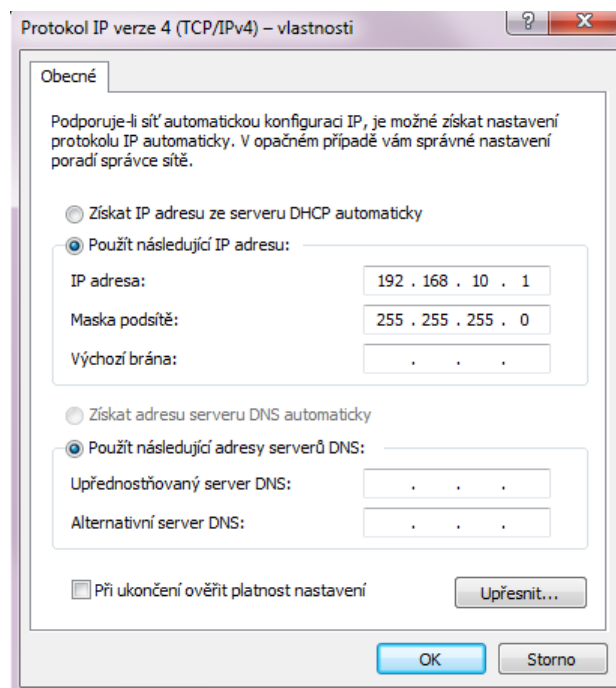
Obr. 33 – Ovládací panel, vypnutie adaptéru 2

Ďalším krokem je nastavenie vlastností aktívneho sieťového adaptéru. Kliknutím pravým tlačidlom na myši na adaptér, možnosť – stav, zobrazí informácie o aktuálnom pripojení.



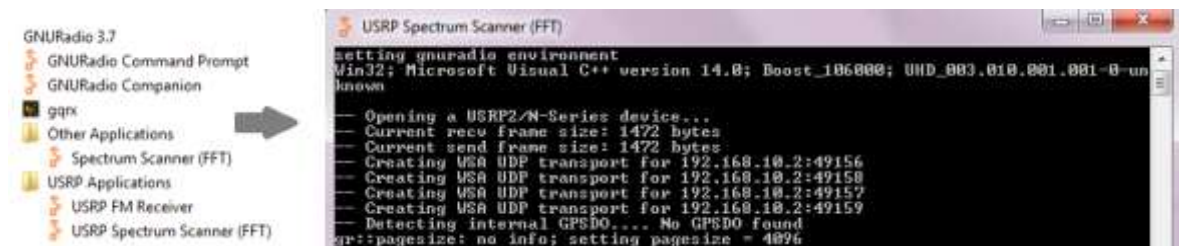
Obr. 34 – Vlastnosti sieťového adaptéru

V protokole TCP/IPv4 je potrebné nastaviť IP adresu na 192.168.10.1, odporúčaná maska podsiete sa vyplní automaticky na 255.255.255.0.



Obr. 35 – Nastavenie IP adresy pre USRP

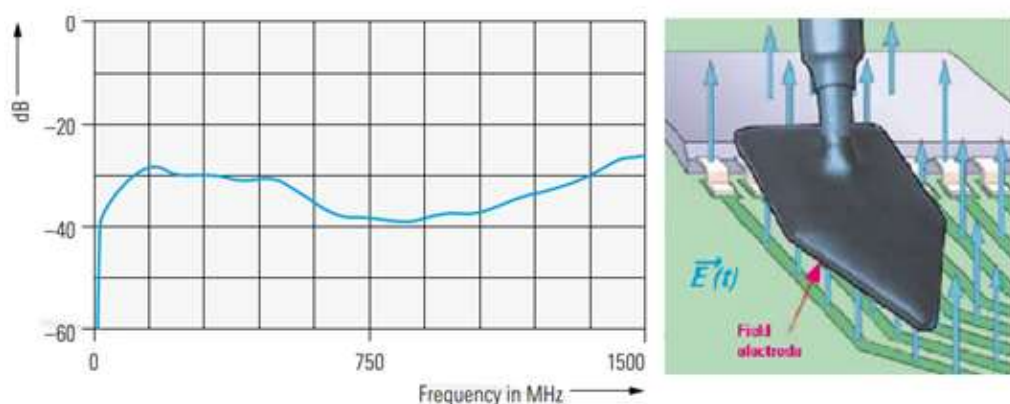
Zariadenie je pripojené do počítača, následne je možné spustiť samotnú aplikáciu USRP Spectrum Scanner.



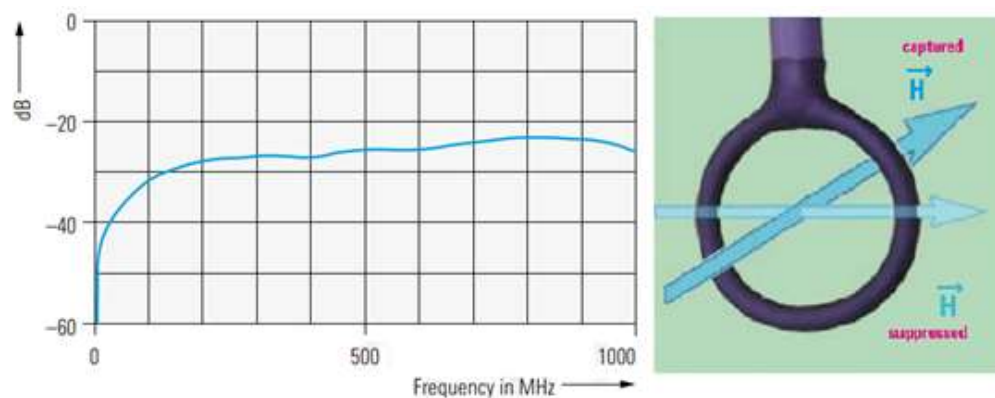
Obr. 36 – Spustenie aplikácie GNU USRP

## 5.4 Sondy pre meranie blízkeho elektromagnetického poľa

Pre merania elektromagnetických interferencií vyžarovaných do priestoru boli použité sondy blízkeho elektromagnetického poľa od výrobcu Rohde & Schwarz, typ HZ-15. Rozlišujú sa dva druhy, sonda pre meranie elektrickej zložky poľa a sonda pre meranie magnetickej zložky poľa. Maximálna merateľná hranica úrovne signálu je daná citlivosťou danej sondy. Tento parameter je nazývaný ako frekvenčný rozsah sondy.



Obr. 37 – Princíp a citlivosť sondy Rohde & Schwarz, E-zložka [24]



Obr. 38 – Princíp a citlivosť sondy Rohde & Schwarz, H-zložka [24]

## 5.5 Pracovisko

Merania elektromagnetických interferencií vyžarovaných krytom prístroja prebiehali na pracovisku, ktoré sa nachádza v laboratóriu elektromagnetickej kompatibility CEBIA-Tech v Zlíne.



*Obr. 39 – Meranie EMI – pracovisko*

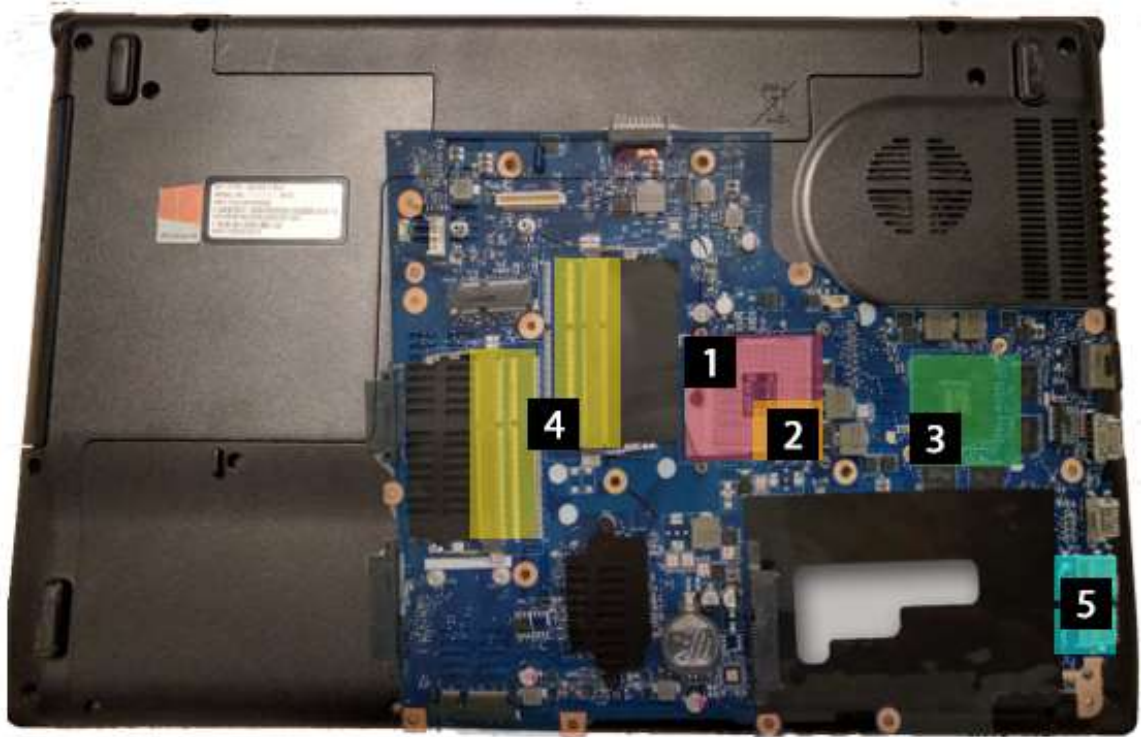
Počas meraní EMI bolo použitých viacero prostriedkov, hardvérového či softvérového charakteru.

*Tabuľka 1 – Prehľad použitých prostriedkov*

Názov	Typ
USRP N210	Hardvér
GNU Radio 3.7	Softvér
Sondy - Rohde & Schwarz HZ-15, pre E aj H-zložku	Hardvér
Predzosilovač pre sondy Rohde & Schwarz	Hardvér
Acer Aspire V3-771G	Hardvér
Intel Extreme Utility	Softvér

## 5.6 Merané zariadenie

Merané zariadenie obsahuje niekoľko komponentov, ktoré sú potencionálnym zdrojom rušivých signálov. Obrázok 40 znázorňuje rozloženie jednotlivých komponentov meraného zariadenia na základovej doske.



Obr. 40 - Acer Aspire V3-771 – merané komponenty

V priebehu merania elektromagnetických interferencií pracovali vyznačené komponenty zariadenia na nasledovných frekvenciách.

Tabuľka 2 – Prehľad frekvencií komponentov

ID	Komponent	Frekvencia [MHz]
1	Intel Core i5-3210M	2 897.3
2	Intel HD Graphics 4000	349.0
3	GeForce GT 650M 2GB	405.0
4	RAM DDR3 8GB	665.2
5	USB	480.0



### 5.6.1 Základná doska G2 HM77 VA 70

Detailné informácie o meranom zariadení Acer Aspire V3-771G respektíve o jeho komponentoch. Jedná sa o výstup zo softvéru pre zistenie aktuálnych pracovných frekvencií.



Obr. 41 - Základná doska G2 HM77 VA 70 [20]

Feature	Description
<b>Computer</b>	
Computer Brand Name:	Acer Aspire V3-771
<b>Motherboard</b>	
Motherboard Model:	Type2 - Board Vendor Name1 VA70_HC
Motherboard Chipset:	Intel HM77 (Panther Point)
Motherboard Slots:	6xPCI Express x1, 2xPCI Express x16
PCI Express Version Supported:	v3.0
USB Version Supported:	v3.0
<b>PCH Features</b>	
USB Port Count:	14 ports
RAID Capability:	RAID0/1/5/10 + Smart Response Technology
SATA Ports 2 and 3:	Supported
SATA Port 1 6 Gb/s:	Supported
SATA Port 0 6 Gb/s:	Supported
PCI Interface:	Not Supported
PCI Express Ports 5 and 6:	Supported
USB Redirect (USBr):	Not Supported
Intel Anti-Theft Technology:	Not Supported
PCI Express Ports 7 and 8:	Supported
PCH Integrated Graphics Support:	Supported
Data Center Manageability Interface (DCMI):	Supported
Node Manager:	Supported
<b>BIOS</b>	
BIOS Manufacturer:	Insyde Corp.
BIOS Date:	10/21/2013
BIOS Version:	V2.28
UEFI BIOS:	Capable

Obr. 42 - Acer Aspire V3-771 – základová doska info

### 5.6.2 Procesor Intel Core i5-3210M

Feature	Description
<b>General Information</b>	
Processor Name:	<a href="#">Intel Core i5-3210M</a>
Original Processor Frequency:	2500.0 MHz
CPU ID:	000306A9
CPU Brand Name:	Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU @ 2.50GHz
CPU Vendor:	GenuineIntel
CPU Stepping:	L1
CPU Code Name:	Ivy Bridge-MB PGA SV
CPU Technology:	22 nm
CPU S-Spec:	SR0MZ
CPU Thermal Design Power (TDP):	35.0 W
CPU IA Cores Thermal Design Current (TDC):	112.0 A
CPU GT Cores Thermal Design Current (TDC):	50.0 A
CPU Power Limits (Max):	Power = Unlimited, Time = 64.00 sec
CPU Power Limit 1 - Long Duration:	Power = 35.00 W, Time = 28.00 sec [Locked]
CPU Power Limit 2 - Short Duration:	Power = 43.75 W, Time = Unlimited [Locked]
CPU Max. Junction Temperature (Tj,max):	105 °C
CPU Type:	Production Unit
CPU Platform:	rPGA988B
Microcode Update Revision:	1B
Number of CPU Cores:	2
Number of Logical CPUs:	4
<b>Operating Points</b>	
CPU LFM (Minimum):	1200.0 MHz = 12 x 100.0 MHz
CPU HFM (Base):	2500.0 MHz = 25 x 100.0 MHz
CPU Turbo Max:	3100.0 MHz = 31 x 100.0 MHz [Locked]
Turbo Ratio Limits:	31x (1c), 29x (2c)
CPU Current:	2893.7 MHz = 29 x 99.8 MHz @ 0.9407 V
CPU Bus Type:	Intel Direct Media Interface (DMI) v2.0
Maximum DMI Link Speed:	5.0 GT/s
Current DMI Link Speed:	5.0 GT/s

Obr. 43 - Acer Aspire V3-771 – CPU info

### 5.6.3 RAM

Feature	Description
<b>General information</b>	
Total Memory Size:	8 GBytes
<b>Current Performance Settings</b>	
Maximum Supported Memory Clock:	1300.0 MHz
Current Memory Clock:	665.2 MHz
Current Timing (tCAS-tRCD-tRP-tRAS):	9-9-9-24
Memory Runs At:	Dual-Channel

Obr. 44 - Acer Aspire V3-771 – RAM info



## 5.6.4 Grafické karty

### Intel HD Graphics 4000

Feature	Description
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Video chipset</b></li> <li><b>Video Chipset:</b></li> <li><b>Video Chipset Codename:</b></li> <li><b>Video Memory:</b></li> </ul>	<p><b>Intel HD Graphics 4000</b> <b>Ivy Bridge GT2</b> 2112 MBytes</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Video Card</b></li> <li><b>Video Card:</b></li> <li><b>Video Bus:</b></li> <li><b>Video RAMDAC:</b></li> <li><b>Video BIOS Version:</b></li> </ul>	<p><b>Intel Ivy Bridge-MB GT2 - Integrated Graphics Controller</b> Integrated Internal Unknown</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Performance</b></li> <li><b>Processor Clock:</b></li> <li><b>Memory Clock:</b></li> </ul>	<p>349.2 MHz 665.0 MHz</p>

Obr. 45 Acer Aspire V3-771 – integrovaná grafická karta info

### GeForce GT 650M

Feature	Description
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Video chipset</b></li> <li><b>Video Chipset:</b></li> <li><b>Video Chipset Codename:</b></li> <li><b>Video Memory:</b></li> </ul>	<p><b>NVIDIA GeForce GT 650M</b> <b>GK107M/N13P-GT</b> 2048 MBytes of DDR3 SDRAM [Hynix]</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Video Card</b></li> <li><b>Video Card:</b></li> <li><b>Video Bus:</b></li> <li><b>Video BIOS Version:</b></li> <li><b>Video Chipset Revision:</b></li> </ul>	<p><b>NVIDIA GeForce GT 650M [Acer]</b> PCIe v3.0 x16 (8.0 GT/s) @ x16 (8.0 GT/s) 80.07.24.00.70 A1</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Performance</b></li> <li><b>Processor Clock:</b></li> <li><b>Video Unit Clock:</b></li> <li><b>Memory Clock:</b></li> <li><b>Memory Bus Width:</b></li> <li><b>Number Of ROPs:</b></li> <li><b>Number Of Unified Shaders:</b></li> <li><b>Number Of TMUs (Texture Mapping Units):</b></li> </ul>	<p>835.3 MHz 540.0 MHz 900.0 MHz (Effective 1800.0 MHz) 128-bit 16 384 32</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>ASIC Quality:</b></li> </ul>	<p>75.2 %</p>

Obr. 46 - Acer Aspire V3-771 – GeForce GT 650M info

## 5.6.5 Hodnoty komponentov

Sensor	Current	Minimum	Maximum	Average
<b>System: Acer Aspire V3-771</b>				
Virtual Memory Committed	4,241 MB	3,755 MB	4,521 MB	4,106 MB
Virtual Memory Available	5,432 MB	5,153 MB	5,919 MB	5,567 MB
Virtual Memory Load	43.8 %	38.8 %	46.7 %	42.4 %
Physical Memory Used	3,748 MB	3,247 MB	3,952 MB	3,601 MB
Physical Memory Available	4,326 MB	4,121 MB	4,826 MB	4,473 MB
Physical Memory Load	46.4 %	40.2 %	48.9 %	44.6 %
Page File Usage	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
<b>CPU [#0]: Intel Core i5-3210M</b>				
Core #0 VID	0.946 V	0.816 V	0.991 V	0.968 V
Core #1 VID	0.981 V	0.796 V	0.991 V	0.962 V
Core #0 Clock	2,895.7 MHz	1,198.2 MHz	3,095.8 MHz	2,968.5 MHz
Core #1 Clock	3,095.4 MHz	1,197.2 MHz	3,095.8 MHz	2,885.3 MHz
Bus Clock	99.9 MHz	99.8 MHz	99.9 MHz	99.8 MHz
Core #0 Thread #0 Usage	9.1 %	0.0 %	70.7 %	8.1 %
Core #0 Thread #1 Usage	5.2 %	0.0 %	71.3 %	5.7 %
Core #1 Thread #0 Usage	4.5 %	0.0 %	68.7 %	7.0 %
Core #1 Thread #1 Usage	10.4 %	0.0 %	68.7 %	6.0 %
Max CPU/Thread Usage	10.4 %	0.0 %	71.3 %	9.0 %
Total CPU Usage	7.3 %	0.0 %	69.8 %	6.7 %
On-Demand Clock Modulation	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %
Core #0 Ratio	29 x	12 x	31 x	30 x
Core #1 Ratio	31 x	12 x	31 x	29 x
<b>CPU [#0]: Intel Core i5-3210M: DTS</b>				
Core #0	49 °C	43 °C	58 °C	47 °C
Core #1	48 °C	43 °C	58 °C	48 °C
Core #0 Distance to TjMAX	56 °C	47 °C	62 °C	58 °C
Core #1 Distance to TjMAX	57 °C	47 °C	62 °C	57 °C
CPU Package	51 °C	45 °C	59 °C	49 °C
Core Max	49 °C	44 °C	58 °C	48 °C

Obr. 47 - Acer Aspire V3-771 – Hodnoty komponentov – CPU

Sensor	Current	Minimum	Maximum	Average
<b>CPU [#0]: Intel Core i5-3210M</b>				
CPU Package	50 °C	45 °C	59 °C	49 °C
CPU IA Cores	50 °C	45 °C	59 °C	49 °C
CPU GT Cores (Graphics)	50 °C	45 °C	59 °C	49 °C
iGPU VID	0.000 V	0.000 V	0.940 V	0.029 V
CPU Package Power	4.885 W	3.135 W	14.087 W	5.588 W
IA Cores Power	2.106 W	0.687 W	10.009 W	2.761 W
GT Cores Power	0.011 W	0.002 W	1.154 W	0.075 W
GPU Clock	349.3 MHz	349.2 MHz	649.1 MHz	357.5 MHz
GPU D3D Usage	0.4 %	0.1 %	26.2 %	2.1 %
GPU GT Usage	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
GPU Media Engine Usage	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
GPU D3D Video Decode Usage	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
GPU D3D Video Processing Usage	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
GPU D3D Memory Dedicated	32 MB	32 MB	32 MB	32 MB
GPU D3D Memory Dynamic	200 MB	92 MB	264 MB	136 MB
<b>CPU [#0]: Intel Core i5-3210M: C-State Resi...</b>				
Package C2 Residency	18.2 %	0.0 %	20.9 %	15.2 %
Package C3 Residency	25.5 %	0.0 %	37.9 %	19.6 %
Package C6 Residency	27.2 %	0.0 %	84.0 %	28.2 %
Core #0 Thread 0 C0 Residency	9.6 %	1.7 %	70.6 %	13.6 %
Core #0 Thread 1 C0 Residency	4.9 %	1.0 %	73.2 %	8.4 %
Core #1 Thread 0 C0 Residency	8.5 %	0.9 %	70.1 %	12.2 %
Core #1 Thread 1 C0 Residency	4.3 %	1.4 %	74.9 %	8.1 %
Core #0 C3 Residency	37.5 %	0.3 %	64.6 %	32.7 %
Core #1 C3 Residency	17.8 %	0.0 %	57.7 %	24.8 %
Core #0 C6 Residency	46.9 %	0.0 %	95.6 %	44.5 %
Core #1 C6 Residency	67.8 %	0.0 %	96.7 %	53.6 %
Core #1 C7 Residency	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
<b>Memory Timings</b>				
Memory Clock	665.3 MHz	665.1 MHz	665.8 MHz	665.5 MHz
Memory Clock Ratio	6.67 x	6.67 x	6.67 x	6.67 x
Tcas	9 T	9 T	9 T	
Trcd	9 T	9 T	9 T	
Trp	9 T	9 T	9 T	
Tras	24 T	24 T	24 T	
Trfc	107 T	107 T	107 T	
Command Rate	1 T	1 T	1 T	

Obr. 48 - Acer Aspire V3-771 – Hodnoty komponentov – CPU, RAM

<b>Drive: TOSHIBA MQ01ABD100 (72FES2LSS)</b>				
Read Activity	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Write Activity	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Total Activity	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Read Rate	0.000 MB/s	0.000 MB/s	0.000 MB/s	0.000 MB/s
Write Rate	0.000 MB/s	0.000 MB/s	0.000 MB/s	0.000 MB/s
Read Total	117 MB	117 MB	117 MB	
Write Total	0 MB	0 MB	0 MB	
<b>Drive: Samsung SSD 850 EVO 120GB (S21UN...</b>				
Read Activity	0.0 %	0.0 %	3.0 %	0.0 %
Write Activity	0.0 %	0.0 %	11.2 %	0.2 %
Total Activity	0.0 %	0.0 %	13.6 %	0.2 %
Read Rate	0.000 MB/s	0.000 MB/s	3.424 MB/s	0.013 MB/s
Write Rate	0.000 MB/s	0.000 MB/s	11.799 MB/s	0.067 MB/s
Read Total	3,325 MB	3,308 MB	3,325 MB	
Write Total	1,129 MB	1,006 MB	1,129 MB	
<b>GPU [#1]: NVIDIA GeForce GT 650M:</b>				
GPU Temperature	54 °C	0 °C	74 °C	47 °C
GPU Temperature (HW)	54 °C	0 °C	74 °C	46 °C
GPU Core Voltage	0.887 V	0.000 V	1.100 V	0.792 V
GPU Clock	135.0 MHz	0.0 MHz	950.2 MHz	239.1 MHz
<b>GPU Memory Clock</b>	<b>405.0 MHz</b>	<b>0.0 MHz</b>	<b>900.0 MHz</b>	<b>425.4 MHz</b>
GPU Video Clock	405.0 MHz	0.0 MHz	540.0 MHz	369.2 MHz
GPU Core Load	4.0 %	0.0 %	99.0 %	12.3 %
GPU Memory Controller Load	1.0 %	0.0 %	53.0 %	6.2 %
GPU Video Engine Load	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
GPU Bus Load	2.0 %	0.0 %	12.0 %	0.4 %
GPU Memory Usage	3.6 %	0.0 %	5.7 %	3.0 %
GPU D3D Usage	1.0 %	0.0 %	100.0 %	12.9 %
GPU Memory Allocated	73 MB	0 MB	118 MB	62 MB
GPU D3D Memory Dedicated	45 MB	0 MB	89 MB	38 MB
GPU D3D Memory Dynamic	38 MB	0 MB	39 MB	33 MB
PCIe Link Speed	2.5 GT/s	0.0 GT/s	8.0 GT/s	3.0 GT/s
<b>Battery: OEM AS10D51</b>				
Battery Voltage	12.242 V	12.202 V	12.244 V	12.227 V
Remaining Capacity	2.827 Wh	2.277 Wh	2.827 Wh	2.568 Wh
Charge Level	60.9 %	49.1 %	60.9 %	55.3 %
Charge Rate	1.210 W	1.210 W	1.496 W	1.351 W
Wear Level	90.4 %	90.4 %	90.4 %	90.4 %

Obr. 49 - Acer Aspire V3-771 – Hodnoty komponentov – HDD, GPU

## 6 MERANIA EMI VYŽAROVANÝCH KRYTOM PRÍSTROJA

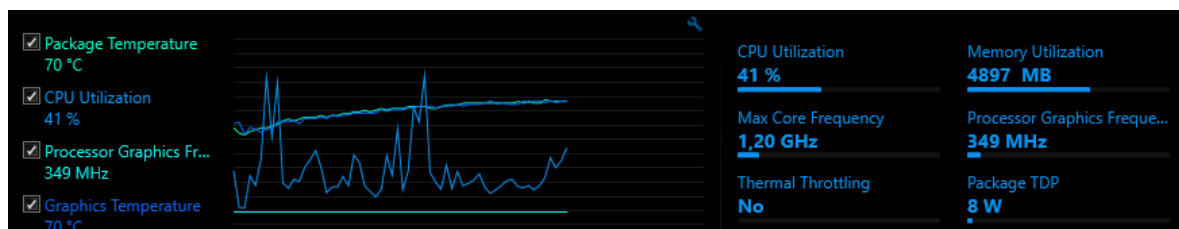
Merania elektromagnetických interferencií jednotlivých komponentov boli rozdelené do niekoľkých krokov. Prvým krokom bolo zistenie aktuálnych pracovných frekvencií zariadenia a rovnako zistenie ďalších pridružených informácií o zariadení (obr. 42 – obr. 49). Informácie sú vyexportované zo softvéru od spoločnosti Intel. Na základe zistenia frekvencií boli vybrané vhodné komponenty, ktoré spadajú do frekvenčného rozsahu zariadenia USRP N210. Jedná sa o komponenty Intel HD Graphics 4000, GeForce GT 650M 2GB, RAM – DDR3 8GB, USB zbernica. Jediným komponentom, ktorý nespadá do frekvenčného rozsahu je CPU Intel Core i5-3210M s pracovnou frekvenciou 2.5 GHz v nezaťaženom stave. S dostupným vybavením nebolo možné realizovať merania elektromagnetických interferencií tohto komponentu.

Následne na základe znalosti rozmiestnenia daných komponentov (obr. 40) mohli začať prebiehať samotné merania. Tak ako bolo spomenuté, boli použité oba typy sond pre merania blízkeho elektromagnetického poľa, ktoré sú frekvenčne závislé. Vo všeobecnosti sa so sondami blízkeho elektromagnetického poľa určuje absolútna úroveň intenzity signálu veľmi ťažko. Merania sú ovplyvnené vzdialenosťou sondy od zdroja rušenia, a tiež ďalšími faktormi – uhol natočenia, poloha a podobne. Prioritným záujmom meraní v tomto prípade je zobrazenie časových priebehov spektra, jeho vývoj v čase.

Detailné priebehy meraní spoločne s výstupmi sú popísané v nasledujúcich podkapitolách, pričom výstupy zo softvéru GNU Radio vo väčšom rozlíšení sú v prílohách I - XII.

### 6.1 Merania EMI – GPU

Prvým meraným komponentom bola integrovaná grafická karta Intel HD Graphics 4 000, s procesorovou pracovnou frekvenciou 349.0 MHz.



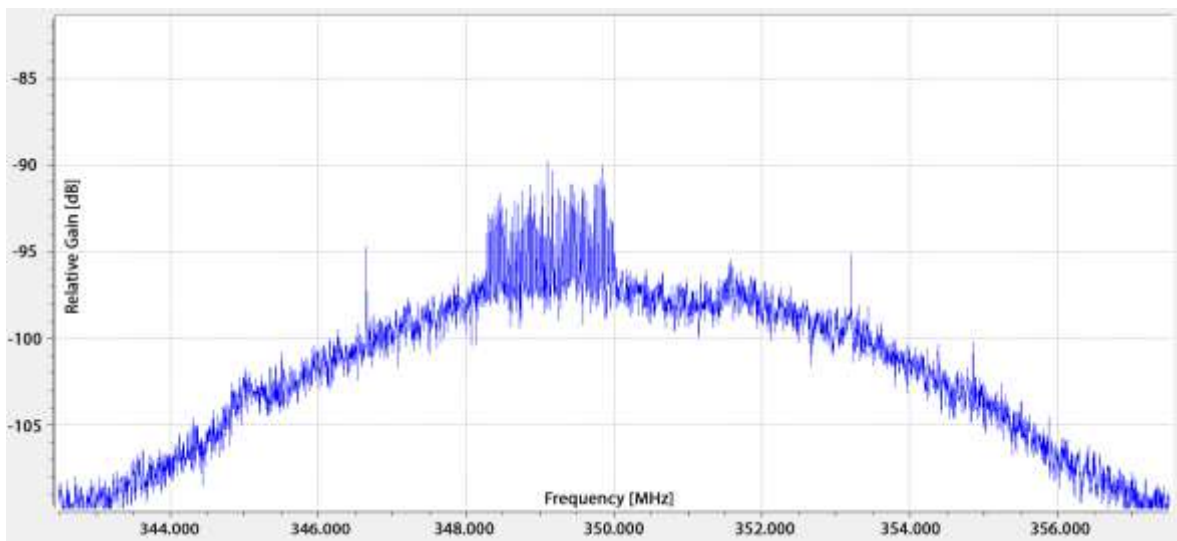
Obr. 50 – Priebeh záťažového testu Intel Extreme – GPU test

Konfigurácia prostredia v softvéri GNU Radio bola nasledovná:

- Frekvencia: 349.0 MHz

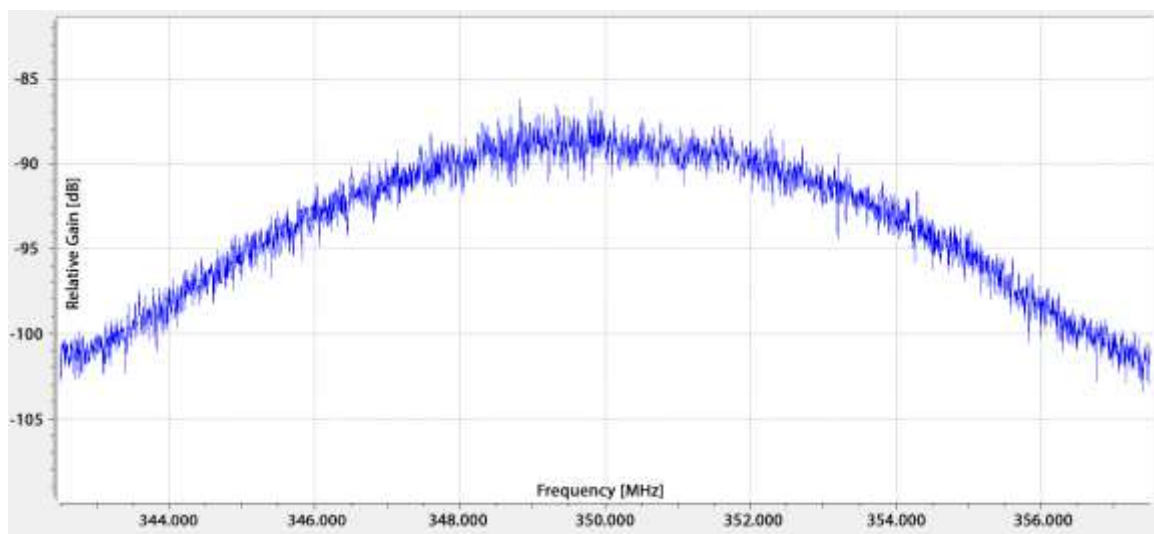
- Šírka pásma: 15 MHz
- Zosilnenie: 14 dB
- Veľkosť FFT: 4 096

Parameter veľkosť FFT – Fast Fourier Transform v softvère GNU Radio. Pri výpočte Fourierovej transformácie v diskretnnej oblasti, sa používa typ DTFT – Discrete-time Fourier transform, ktorá je výpočtovo veľmi zložitá. Problém sa rieši pomocou FFT, jedná sa o aproximáciu, keď sa nepočíta pre nekonečné množstvo bodov na ose, ale osa x je rozdelená na niekoľko intervalov, v tomto prípade 4 096. V každom z nich sa stanoví hodnota úrovne signálu, ktorá odpovedá danému intervalu.



*Obr. 51 – Merania EMI – GPU – bez zaťaženia*

Na zbernici meraného komponentu sa nachádza veľa vodičov, na ktorých beží neustále opakujúca sa komunikácia, čo má za následok že frekvenčné spektrum je vcelku obmedzené. Výstup merania GPU v stave bez zaťaženia (obr. 51) znázorňuje vyššiu úroveň signálu na frekvencii 349 MHz, jedná sa o základnú frekvenciu obdĺžnikového signálu.



Obr. 52 – Merania EMI – GPU – v zaťaženom stave

Výstup merania GPU v zaťaženom stave (obr. 52) interpretuje signál, ktorý obsahuje niekoľko 1, niekoľko 0 – jedná sa o aperiodický signál. Spektrum obsahuje viacej frekvencií, čo je dané tým, že prebieha dátová komunikácia. Takisto prišlo k nárastu úrovne signálu, stúplo množstvo vyžarovanej energie, a teda je rozpoznateľná zaťažená a nezaťažená zbernica GPU. Na zbernici sa nachádza niekoľko vodičov, frekvencie sú spojené, nie je možné určiť aké procesy prebiehajú, všetko vyžaruje pomerne rovnako.

Pre nasledujúce merania bol zmenený typ sondy, zo sondy citlivej na elektrickú zložku poľa, na sondu citlivú na magnetickú zložku poľa. Dôvodom na zmenu sondy boli lepšie dosahované výsledky. Keď by bola výraznejšia elektrická zložka poľa, dochádzalo by k zmenám napätia, ale netiekol by prúd. Na základe toho je možné usudzovať, že rušenia pochádzajú skôr z oblasti kde tečú pomerne vysoké prúdy, teda z napájacieho okruhu GPU a pravdepodobne nie priamo zo zbernice. Zrejme nie je možná rekonštrukcia dát.

Elektrické pole vzniká vždy keď sú nabité častice, v prípade ak sa častice nehýbu jedná sa o elektrostatické pole. V momente keď sa začne náboj pohybovať, elektrické pole sa hýbe s nábojom a zároveň vzniká magnetické pole. Magnetické pole vzniká len vtedy, keď vodičom tečie elektrický prúd, čím sa rozumie usporiadaný tok nosičov náboja vo vodiči. Keď sa prostredím šíri elektromagnetické pole, impedancia prostredia sa dá odvodiť a je približne 377 ohm. Impedancia prostredia definuje pomer medzi elektrickou a magnetickou zložkou poľa.

$$Z_0 = \frac{E}{H} \quad (2)$$

- E – intenzita elektrického poľa

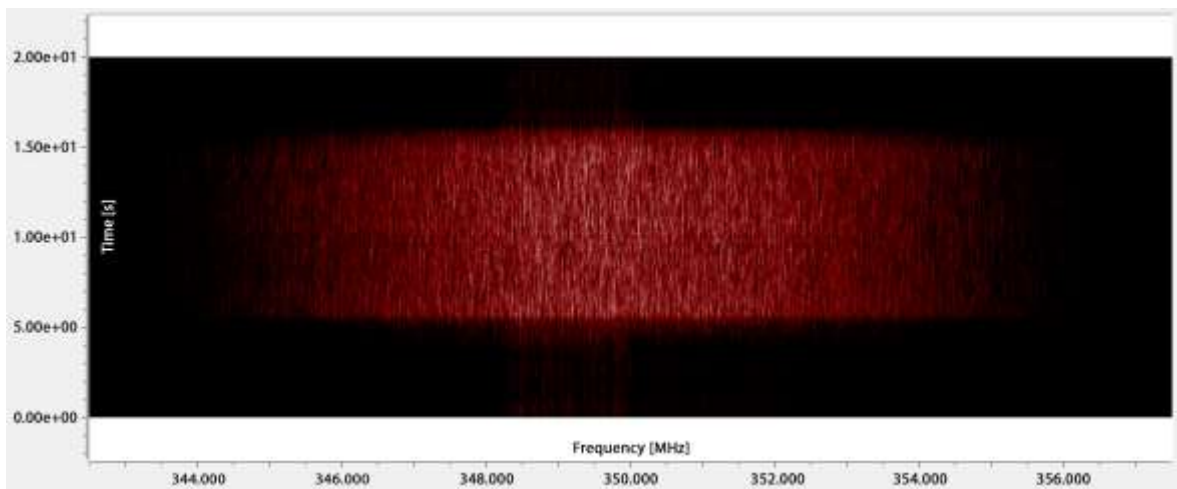


- H – intenzita magnetického poľa

Väčšina antén je konštruovaná pre elektrickú zložku, magnetická zložka sa dá dopočítať. Elektrická zložka je 377-krát silnejšia ako magnetická.

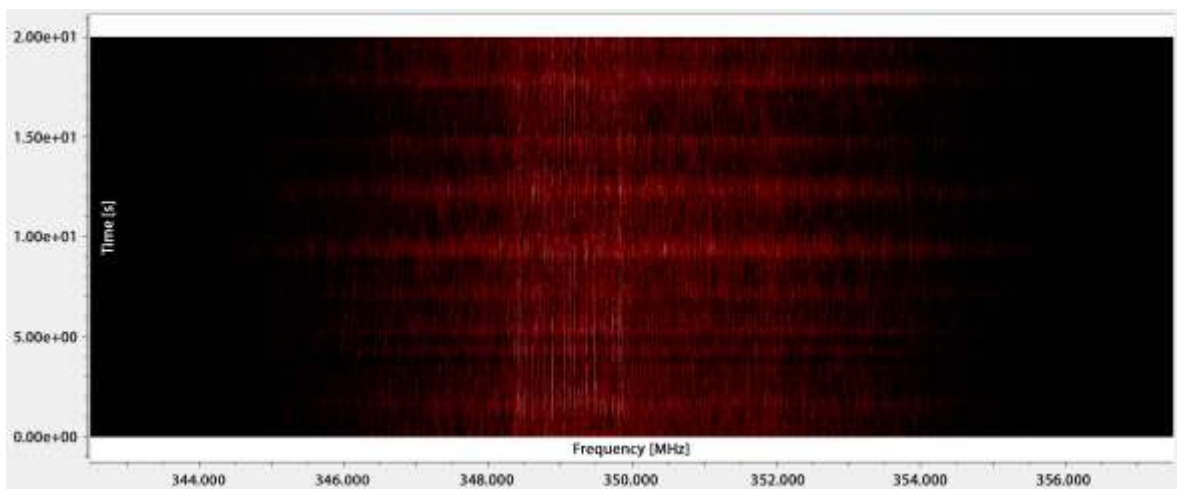
Konfigurácia softvéru pre ďalšie meranie elektromagnetických interferencií bola nasledovná:

- Int. Max = -80 dB
- Int. Max = -95 dB



*Obr. 53 – Meranie EMI – GPU – v zaťaženom stave – časový priebeh*

Výstup merania GPU (obr. 53) zobrazuje spracovávanie dát v zaťaženom stave, časový priebeh spektra (hustota červenej oblasti) je úmerná veľkosti záťaže komponentu GPU.

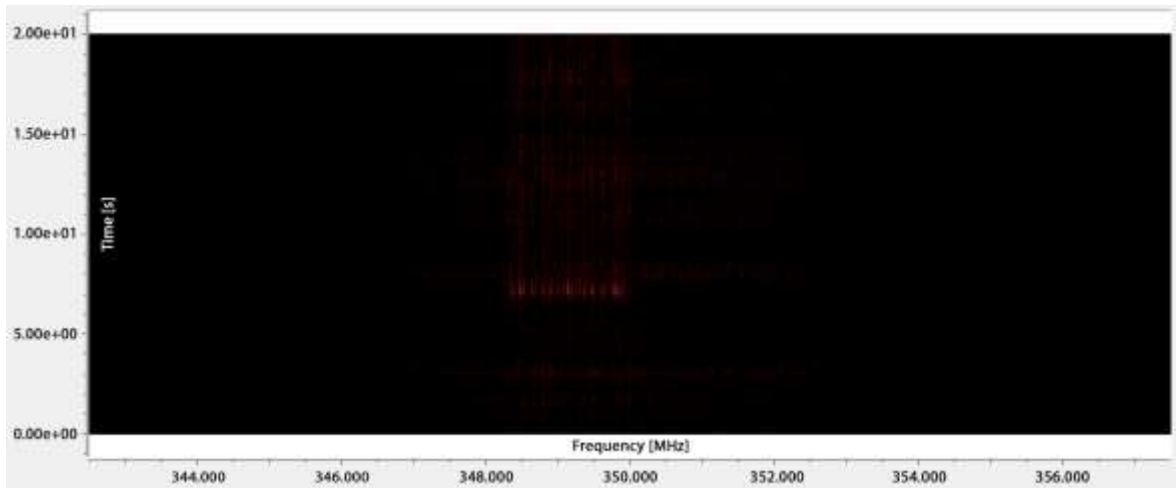


*Obr. 54 – Meranie EMI – GPU – spustené video*

Ďalší výstup merania (obr. 54) zobrazuje dátovú komunikáciu pri spustenom videu.

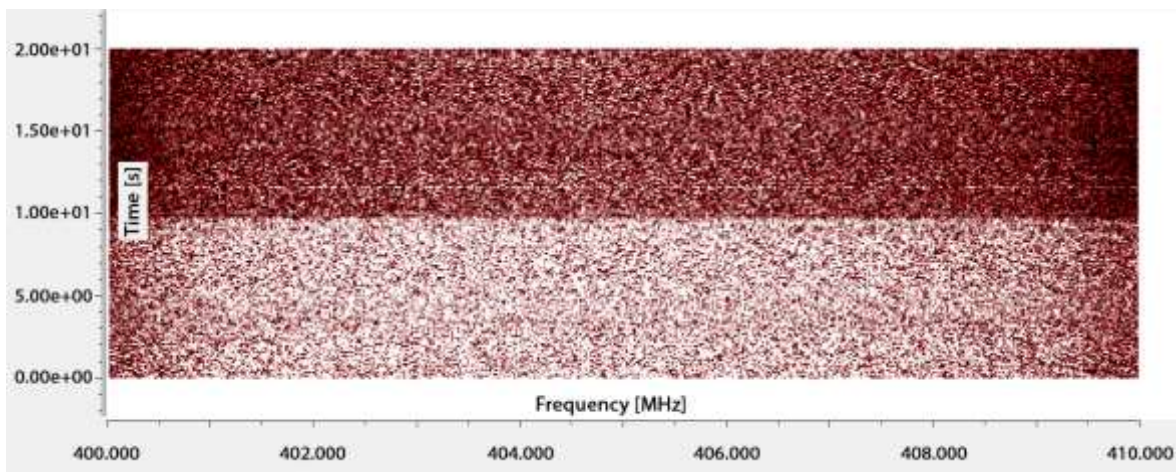


Rovnako pri treťom výstupe merania GPU (obr. 55), je vidieť dátová komunikácia ale nie až taká výrazná ako v predchádzajúcich prípadoch. Spôsob zaťaženia komponentu, bolo spustené video s prechodom bielej farby do čiernej.



*Obr. 55 – Meranie EMI – GPU – prechod bielej farby do čiernej*

Meraným komponentom zariadenia bola taktiež externá grafická karta – GeForce 650M s pracovnou frekvenciou 405 MHz. Na výstupe zo softvéru GNU Radio je vidieť výrazný rozdiel medzi nezaťaženým a zaťaženým stavom zbernice.



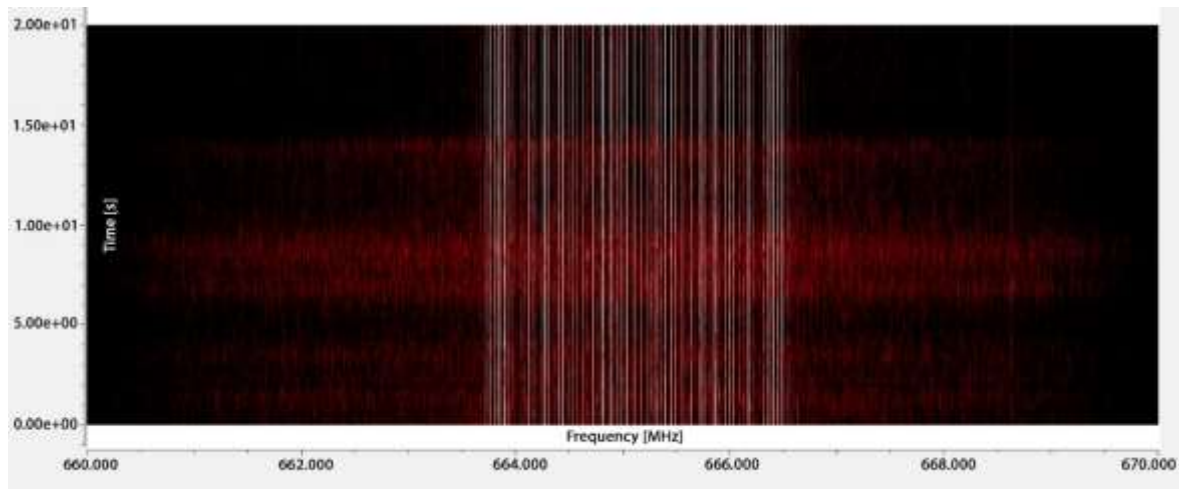
*Obr. 56 – Meranie EMI – GPU – GeForce 650M – zmena zaťaženia*

## 6.2 Merania EMI – RAM

Ďalším meraným komponentom bola pamäť RAM, typ DDR3 s veľkosťou 8 GB. Konfigurácia prostredia GNU Radio bola nasledovná:

- Frekvencia: 665 MHz

- Zosilnenie: 15 dB
- Šírka pásma: 10 MHz

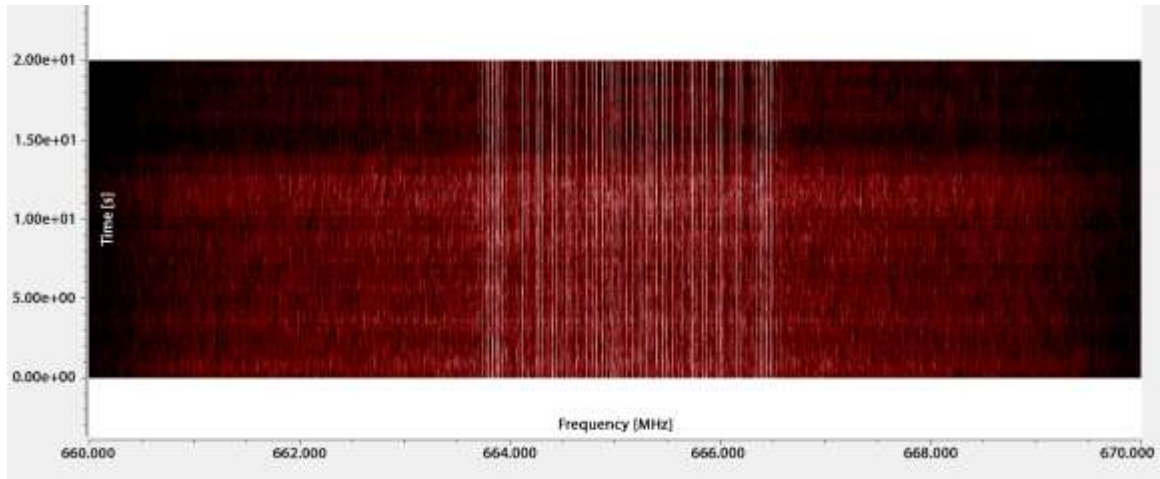


*Obr. 57 – Meranie EMI – RAM – reštartovanie OS*

Existuje niekoľko typov RAM pamätí, hlavnou funkciou týchto pamätí je uloženie a vyhľadávanie informácií. RAM pamäte sa primárne rozdeľujú na DRAM – Dynamics Random Access Memory, SRAM – Static Random Access Memory. Prvý typ DRAM vyžaduje napájanie k udržaniu informácií, náklady na výrobu sú nízke. V porovnaní s pamäťou SRAM, ktorá nepotrebuje napájanie pre udržanie dát, rýchlosť prenosu dát je vyššia a samozrejme náklady na výrobu sú niekoľko násobne vyššie, práve preto sa SRAM používa ako vyrovnávacía pamäť v procesoroch.

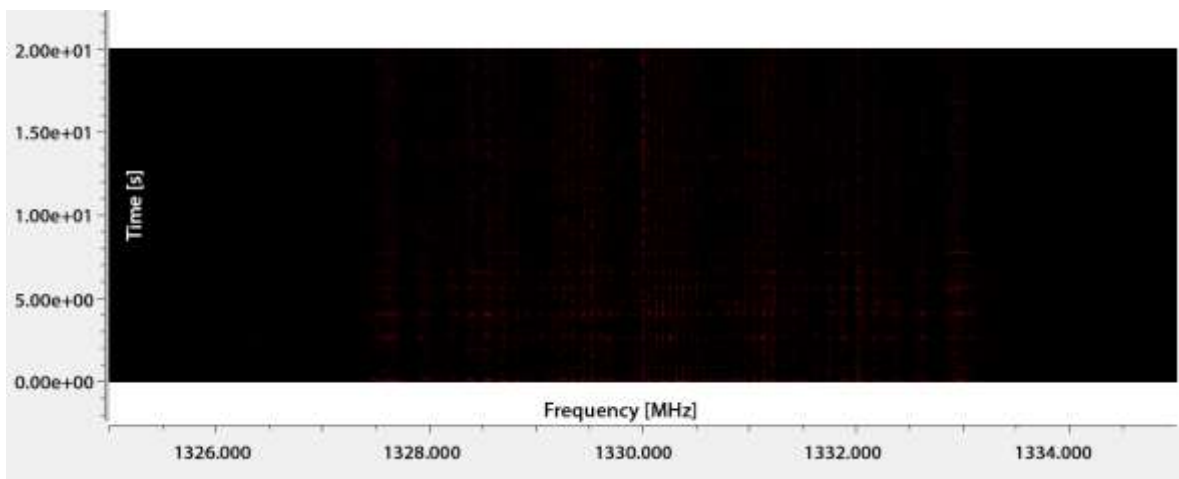
V meranom zariadení sa nachádza typ SDRAM DDR3 s kapacitou 8 GB, čo predstavuje približne 8 miliárd bajtov pamäte k využitiu. Typ SDRAM predstavuje typ dynamickej pamäte, v ktorej je prenos údajov synchronizovaný hodinovým signálom, čo znamená rýchlejšie čítanie a zápis údajov ako pri bežných DRAM, ktoré nie sú synchronizované. U tohto typu pamäte predstavuje 1 bit - 1 tranzistor, konkrétne v tomto prípade obsahuje matica približne 64 miliárd tranzistorov. Pri vytvorení elektrického poľa, sa odpudí časť nosičov náboja a tranzistor začne viesť elektrický prúd, keď sa náboj odvedie – zmení sa stav. SDRAM DDR3 je volatilná, čo znamená postupné vybíjanie náboja. Nevýhodou tejto pamäte je neustále obnovovanie náboja v tranzistoroch, aj keď sa s ňou nepracuje. Práve s týmto súvisia výstupy meraní (obr. 58 - obr. 60). Merania prebiehali s využitím sondy blízkeho magnetického poľa, tranzistorom netečie elektrický prúd samovoľne, ale len vtedy keď sa mení stav tranzistoru – pri doručení, odvedení náboja. To znamená, čím viac bola pamäť využívaná – tým rýchlejšie respektíve častejšie sa menil stav tranzistorov,

čo znamenalo nárast elektrických prúdov. Biele vertikálne pruhy na oboch výstupoch odpovedajú obnovám náboju na tranzistoroch v nezaťaženom stave, ktoré bežia na konštantných frekvenciách.



Obr. 58 – Meranie EMI – RAM - v zaťaženom stave

Časový vývoj spektra sa prejavil aj na frekvencii 1 330 MHz, ktorá odpovedá druhej harmonickej frekvencii komponentu. Výstup poukazuje na to, že sa nejedná len o periodicky opakujúci sa signál, a teda prebieha dátová komunikácia.

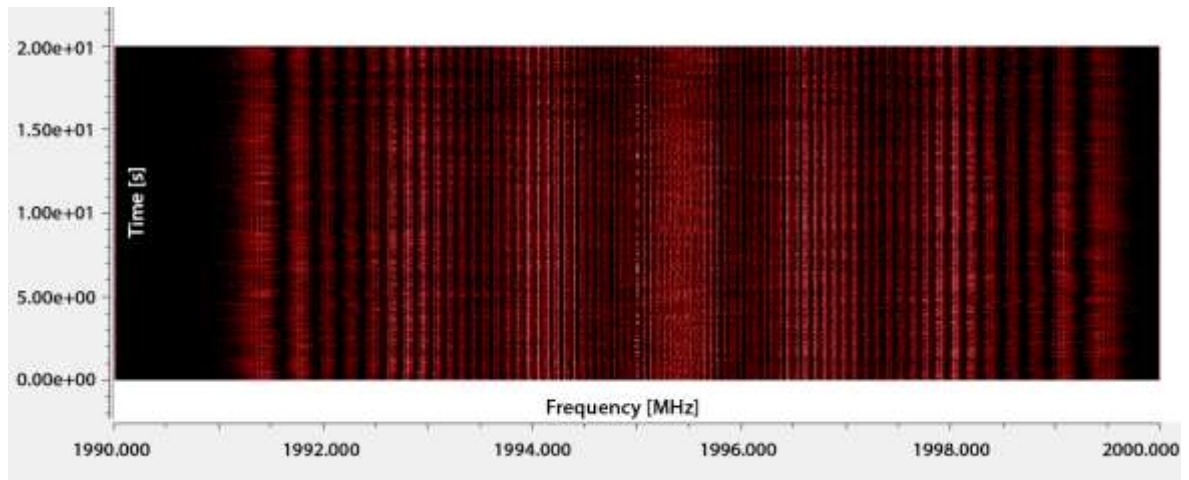


Obr. 59 – Meranie EMI – RAM 1330 MHz – druhá harmonická frekvencia

Spektrum obdĺžnikového signálu obsahuje nekonečné množstvo vyšších harmonických frekvencií. Obdĺžnikový signál je možné nahradiť sčítaním sínusových vln podľa vzorca:

$$U(t) = \frac{\sin 2\pi * f_0 * t}{1} + \frac{\sin 2\pi * 3f_0 * t}{3} + \frac{\sin 2\pi * 5f_0 * t}{5} + \dots \quad (3)$$

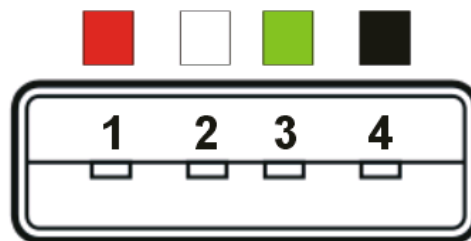
Z dôvodu maximálneho rozsahu zariadenia USRP, poslednou možnou merateľnou harmonickou frekvenciou RAM pamäte bola tretia harmonická frekvencia, 1 995 MHz.



Obr. 60 – Merania EMI – RAM 1995 MHz – tretia harmonická frekvencia

### 6.3 Merania EMI – USB

Ďalším meraným komponentom bola myš pripojená pomocou USB rozhrania. USB konektory, respektíve zbernica, pozostávajú zo štyroch vodičov (obr. 61)



Obr. 61 – Zapojenie konektorov USB [25]

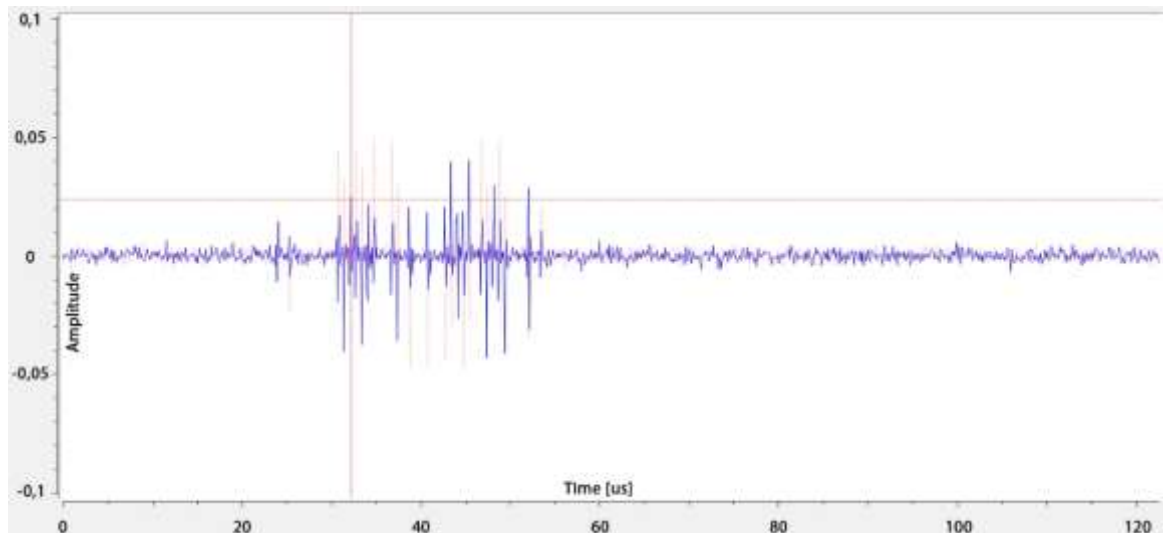
Nasledovná tabuľka popisuje jednotlivé vodiče v rámci USB konektorov, respektíve zbernice.

Tabuľka 3 – Popis vodičov USB

ID	Farba vodiča	Typ
1	Červená	+ 5V
2	Biela	DATA -
3	Zelená	DATA +
4	Čierna	GND

Na výstupe merania (obr. 62) sú vidieť kladné a záporné zákmitý signálu, ktoré odpovedajú

časovému priebehu magnetického poľa od myši. Indukciu elektrického napätia vyvoláva časová zmena magnetického poľa. Dáta prúdia po bielom a zelenom vodiči symetricky, podľa správnosti by sa mal sondou blízkeho magnetického poľa merať každý dátový vodič zvlášť. Nie je možné rozlíšiť 1 a 0, ktoré prúdia po vodičoch, je možné rozlíšiť prechod 0 následný vznik poľa.

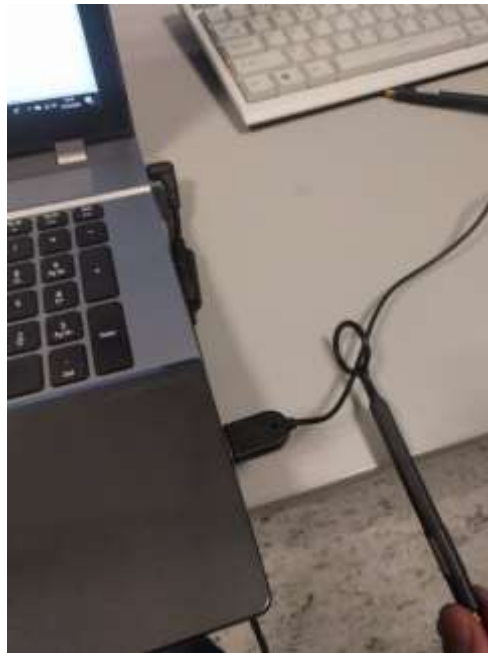


Obr. 62 – Meranie EMI – myš, USB - pohyb

Cez okruh sondy určenej pre meranie blízkeho magnetického poľa prechádza magnetické pole intenzity  $H$ . Keď by vodičom prúdil konštantný prúd, na výstupe v softvéri by sa nezobrazilo nič. Napätie na svorkách vyvoláva len zmena magnetického toku.

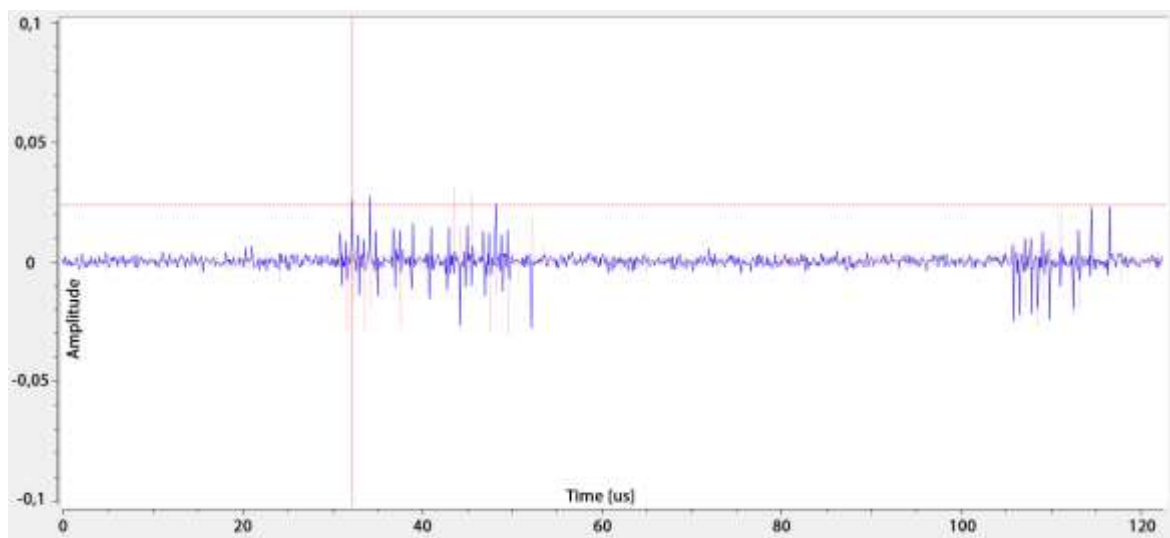
$$\Phi = B * S * \cos \alpha \quad (4)$$

- $B$  – veľkosť magnetickej indukcie
- $S$  – plocha
- $\alpha$  – uhol, ktorý zvierajú normálový vektor plochy s vektorom magnetickej indukcie



*Obr. 63 – Meranie EMI – USB*

Obdobne vyzerá aj ďalší výstup merania USB zbernice (obr. 64), v ľavej časti výstupu približne od 30  $\mu\text{s}$  do 55  $\mu\text{s}$  sa nachádza časový priebeh magnetického poľa pohybu myši. V pravej časti výstupu približne od 105  $\mu\text{s}$  do 120  $\mu\text{s}$  sa nachádza priebeh magnetického poľa pri kliknutí myši.



*Obr. 64 – Meranie EMI – myš, USB – pohyb + kliknutie*

Ďalším meraným komponentom bola klávesnica, rovnako pripojená pomocou USB rozhrania, avšak meranie bolo neúspešne z dôvodu tienenej kabeláže klávesnice, tým pádom sa do prostredia nevyžarujú žiadne merateľné interferencie.



## 7 ÚTOKY NA VÝPOČTOVÚ TECHNIKU VYUŽÍVAJÚCE ELEKTROMAGNETICKÉ POLE

V súčasnosti sa stávajú trendom útoky zamerané na krádež dát z výpočtovej techniky, s využitím elektromagnetického poľa. Napadnutie cieľového počítača, ktorý je pripojený k internetu, obsahuje vírus alebo je na voľne prístupnom mieste, nie je v dnešnej dobe veľký problém. Za bezpečné zariadenie sa považuje počítač izolovaný od internetu a lokálnych sietí, umiestnený vo Faradayovej klietke, ktorá je tvorená kovovými krytmi blokujúcimi všetky elektromagnetické signály ako napríklad Wi-Fi, Bluetooth, a inú bezdrôtovú komunikáciu. Práve na takéto zariadenia sa zamerala pozornosť výskumov. Výskumný tím z centra kybernetickej ochrany v Izraeli vyvinul dve techniky, ktorými je možné získať údaje z počítačov vo Faradayovej klietke. Jedná sa o techniky MAGNETO a ODINI, obe využívajú škodlivý softvér, ktorý je nainštalovaný na počítači umiestnenom vnútri Faradayovej klietky. Malware elektricky generuje vzor frekvencií magnetického poľa, reguláciou pracovného zaťaženia CPU, čo môže byť dosiahnuté preťažením CPU výpočtami, ktoré zvyšujú spotrebu energie a vytvárajú silnejšie magnetické pole. Vznikajú elektromagnetické emisie nesúce ukradnuté údaje do blízkeho zariadenia umiestneného útočníkom. Malware je prakticky nedetekovateľný antivírusovým programom, v rámci operačného systému nepotrebuje žiadne zvýšené práva a procesor je zaťažovaný základnými operáciami. Jediným rozdielom medzi technikami MAGNETO a ODINI je vzdialenosť a použitý prostriedok. Prvá technika je určená na krátke vzdialenosti, prenos dát je 5 bitov za sekundu na vzdialenosť 12.5 cm, prijímacím zariadením je smartphone respektíve aplikácia využívajúca magnetický senzor telefónu. Druhá technika ODINI je efektívnejšia s maximálnou prenosovou rýchlosťou 40 bitov za sekundu do vzdialenosti až 1.5 m, prijímacím prostriedkom je špeciálny magnetický senzor. Útoky boli vedcami samozrejme aj demonštrované. [26] Existuje veľa konkrétnych spôsobov a techník pre ukradnutie dát s využitím elektromagnetického poľa, ktoré sú súčasťou výskumov. Vo všeobecnosti sú navrhnuté tri opatrenia pre zabránenie vysielania elektromagnetických emisií, jedná sa o tienenie, rušenie a zónovanie. Ak je možná rekonštrukcia dát na základe zachytenia a analyzovania blízkeho elektromagnetického poľa (pri uvažovaní s už napadnutým zariadením), dokonca aj zo zariadenia umiestneného vo Faradayovej klietke, je podľa môjho názoru len otázkou času kedy bude možné zachytávať informačné dáta z bežne vyžarovaných emisií elektromagnetického poľa.

## ZÁVER

Hlavným cieľom diplomovej práce bolo zistenie prítomnosti nežiadúcich elektromagnetických interferencií vyžarovaných krytom prístroja a následné vyhodnotenie nameraných dát. Merania prebiehali v laboratóriu elektromagnetickej kompatibility CEBIA-Tech v Zlíne. Úvodným krokom v rámci merania bolo zistenie pracovných frekvencií komponentov. Následne na základe znalosti frekvencií a rozmiestnenia komponentov zariadenia boli realizované merania vyžarovaných interferencií v blízkom elektromagnetickom poli s využitím sond.

Prvým meraným komponentom bola integrovaná grafika Intel HD Graphics 4000 s procesorovou pracovnou frekvenciou 349 MHz, bola použitá sonda citlivá na elektrickú zložku poľa. Výstupný nameraný signál v nezaťaženom stave komponentu poukazuje na vcelku obmedzené frekvenčné spektrum, ktoré reprezentuje neustále opakujúcu sa komunikáciu. Aperiodický signál nameraný v zaťaženom stave reprezentuje širšie spektrum frekvencií a tiež vyššiu úroveň signálu, čo bolo dané prebiehajúcou dátovou komunikáciou. Na zbernici sa nachádza niekoľko vodičov, frekvencie sú spojené a teda nie je možné určiť aké procesy prebiehajú v danom čase, no je možné rozoznať zaťažený a nezaťažený stav zbernice. Pre nasledujúce merania bol zmenený typ sondy, na sondu citlivú na magnetickú zložku poľa. Dôvodom na zmenu sondy, boli lepšie dosahované výsledky meraní. Na základe toho je možné usudzovať, že namerané interferencie pochádzajú skôr z oblasti napájania komponentov a pravdepodobne nie priamo zo zbernice.

Druhým meraným komponentom bola externá grafická karta GeForce 650M, merania prebiehali na frekvencii 665 MHz, ktorá predstavuje základnú frekvenciu komponentu, a tiež na frekvenciách 1330 MHz a 1995 MHz, ktoré predstavujú vyššie harmonické frekvencie komponentu. Podľa nameraných výstupov realizovaných meraní, sa dá poukazovať na to, že sa nejedná len o periodicky sa opakujúci signál, teda prebieha dátová komunikácia. Rozdiely medzi nezaťaženým a zaťaženým stavom zbernicu sú zreteľne pozorovateľné.

Ďalším meraným komponentom zariadenia bola RAM DDR3 s kapacitou 8 GB. Jedná sa o dynamický typ pamäte s nutnosťou napájania pre udržanie informácií, z dôvodu obnovy nábojov na tranzistoroch. Z nameraných výstupov vyplýva korelácia medzi zaťaženým stavom komponentu a časovým priebehom spektra. Čím viac bol komponent zaťažený – teda menil sa stav tranzistorov respektíve nábojov na tranzistoroch, tým viac bol spektrogram hustejší.



Posledným meraným komponentom bola myš pripojená pomocou USB rozhrania. USB konektory, respektíve zbernice pozostávajú zo štyroch vodičov, z ktorých sú dva dátové. Prúdenie dát na vodičoch prebieha symetricky, na základe nameraného výstupu je možné pozorovať vznik a zánik magnetického poľa od myši. Objektom merania bola aj klávesnica, takisto pripojená pomocou USB rozhrania, no nepodarilo sa namerať žiadne elektromagnetické interferencie z dôvodu tienenia kabeláže.

Realizované merania elektromagnetických interferencií vyžarovaných výpočtovou technikou celkovo hodnotím úspešne. Na základe nameraných výstupov je rozdiel medzi zaťaženým a nezaťaženým stavom komponentov pozorovateľný, a teda je zrejme vyžarovanie interferencií. Oblasť pôvodu interferencií sa dá určiť len usudzovaním na základe nameraných výstupov, rekonštrukcia dát s dostupným použitým vybavením možná nie je.

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

- [1] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky*. Brno: Vysoké učení technické, 2001. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 80-214-1873-7.
- [2] DŘÍNOVSKÝ, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: přednášky*. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2010. ISBN 978-80-214-4202-3.
- [3] VACULÍK, Emil a Polina VACULÍKOVÁ. *Elektronická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vřrušení : ČSN-ČSN EN-ČSN IEC-ČSN CISPR-ČSN ETS*. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-716-9568-8.
- [4] KŮS, Václav, Jiří SKÁLA a Jiří HAMMERBAUER. *Elektromagnetická kompatibilita výkonových elektronických systémů*. Praha: BEN - technická literatura, 2013. ISBN 978-80-7300-476-7.
- [5] OTT, Henry W. *Electromagnetic compatibility engineering*. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2009. ISBN 04-701-8930-4.
- [6] BAJER, Arnošt. *Bezpečnost v elektrotechnice*. Vyd. 2. Brno: PC-DIR, 2000. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1712-9.
- [7] KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-202-7.
- [8] *EMC Chamber. PNK Energy saving* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: [http://www.pnk-engineering.com/pages/emc\\_chamber.php](http://www.pnk-engineering.com/pages/emc_chamber.php)
- [9] *Absorber used in anechoic chamber. CDN comsol* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://cdn.comsol.com/wordpress/2015/06/microwave-absorber-used-in-anechoic-chamber.png>
- [10] *Bus (computing). PC MAG* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/39054/bus>

- [11] NULL, Linda. a Julia. LOBUR. *The essentials of computer organization and architecture. 2nd ed.* Sudbury, Mass.: Jones and Bartlett Publishers, c2006. ISBN 978-0-7637-3769-6.
- [12] MUELLER, Scott. *Upgrading and repairing PCs.* 15th anniversary ed. Indianapolis, IN: Que, c2004. ISBN 978-0-7897-2974-3.
- [13] Todd Langley and Rob Kowalczyk. Introduction to Intel Architecture. Intel [online]. [cit.2018-03-13]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20110607114224/http://download.intel.com/design/itarch/papers/321087.pdf>
- [14] *Chipset - NorthBridge, Southbridge.* Slideshare [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/FaiqAliSayed/chap1-chipset>
- [15] *Intel Chipset - DMI.* Intel [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/datasheets/5520-5500-chipset-ioh-datasheet.pdf>
- [16] *PCI.* Web-o-pedia [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.webopedia.com/TERM/P/PCI.html>
- [17] *PCI Express overview.* Interfacebus [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: [http://www.interfacebus.com/Design\\_Connector\\_PCI\\_Express.html](http://www.interfacebus.com/Design_Connector_PCI_Express.html)
- [18] *SuperUser: What-is-a-pci-express-lane* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://superuser.com/>
- [19] *Technologie: PCI-X a PCI Express: nástupci PCI sběrnice* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz>
- [20] *Skyline-eng: Acer Aspire V3-771G Motherboard* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <http://skyline-eng.com/acer-aspire-v3-771g-motherboard-nb-ryp11-001-nbryp11001/>
- [21] *Front Side Bus (FSB)* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/>

- [22] *GLADISOVÁ a MIHALÍK. Spojité signály [online].* [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: [http://web.tuke.sk/feipv/publications/books/Gladisova\\_Mihalik\\_Spojite%20signaly\\_2015\\_ldipv.pdf](http://web.tuke.sk/feipv/publications/books/Gladisova_Mihalik_Spojite%20signaly_2015_ldipv.pdf)
- [23] *USB: Everything You Need to Know. LifeWire [online].* [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/universal-serial-bus-usb-2626039>
- [24] *Probe Set HZ-15 for E and H near-field emission measurements with test receivers and spectrum analyzers: Data sheet [online].* [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://cdn.testequity.com/documents/pdf/HZ-15.pdf>
- [25] *Schéma zapojení USB [online].* In: . [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB\\_zapojeni\\_barevne.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USB_zapojeni_barevne.png)
- [26] *Airgap computer hacking. The Hacker News [online].* [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://thehackernews.com/2018/02/airgap-computer-hacking.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

EMC	Elektromagnetická kompatibilita.
EMI	Elektromagnetická interferencia.
EMS	Elektromagnetická susceptibilita.
BIOS	Basic Input Output System
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques
CPU	Central Processing Unit
DDR3	Double Data Rate type 3
DMI	Digital Media Interface
FFT	Fast Fourier Transform
FSB	Front Side Bus
GB/s	Giga Bajt za sekundu
Gbit/s	Giga bit za sekundu
GT/s	Giga Transfer za sekundu
IEC	International Electrotechnical Commission
MIL-STD	Military standard
MHz	Mega Hertz
NRZI	Non return to zero inverted
LISN	Line Impedance Stabilization Network
PC	Personal Computer
PCIe	Peripheral Component Interconnect Express
PCH	Platform Controller Hub
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory
USB	Universal Serial Bus
USRP	Universal Software Radio Peripheral

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

<i>Obr. 1 – Základné rozdelenie EMC [1] .....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 2 – EMI – schéma [1] .....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3 – EMS – schéma [1] .....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 4 – Rozdelenie signálov z hľadiska spojitosti [22] .....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 5 – Klasifikácia interferenčných zdrojov [1] .....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 6 – Galvanická väzba – schéma [1] .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 7 - Kapacitná väzba – schéma [1] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 8 – Induktívna väzba – schéma [1] .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 9 – Väzba vyžarovaním – schéma [1] .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 10 – LISN – schéma [1] .....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 11 – Meranie interferencie prúdovou sondou – schéma [1] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 12 – Absorpčné kliešte – schéma [1] .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 13 – Rámová anténa - <math>H_r</math> [1] .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 14 – Tyčová anténa – <math>E_r</math> [1] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 15 – Symetrický polvlnový dipól - <math>E_r</math> [1] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 16 – Bikonická anténa [1] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 17 – Logaritmicko-periodická anténa [1] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 18 – Kónicko-logaritmická anténa [1] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 19 – Sada lieviových antén [1] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 20 – Modifikácia širokopásmovej antény [1] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 21 – Modifikácia antény Bilog [1] .....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 22 – Sonda <math>E_r</math> [1] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 23 – Izotropná sonda <math>E_r</math> [1] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 24 – Sonda <math>H_r</math> [1] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 25 – Voľné skúšobné prostredie – schéma [1] .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 26 – Anechoická komora [8] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 27 – Odrazy od typov absorbéroov [1] .....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 28 – Absorpčné ihlany [9] .....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 29 – Chipset staršia verzia – schéma [14] .....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 30 – PCIe sloty – x4, x16, x1, x16, expanz. PCIe (32bit,5V) [18] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 31 – Bezodrazová komora Frankonia .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 32 – USRP N210.....</i>	<i>42</i>

<i>Obr. 33 – Ovládací panel, vypnutí adaptéru 2</i> .....	42
<i>Obr. 34 – Vlastnosti síťového adaptéru</i> .....	43
<i>Obr. 35 – Nastavení IP adresy pro USRP</i> .....	43
<i>Obr. 36 – Spuštění aplikace GNU USRP</i> .....	44
<i>Obr. 37 – Princip a citlivost sondy Rohde &amp; Schwarz, E-zložka [24]</i> .....	44
<i>Obr. 38 – Princip a citlivost sondy Rohde &amp; Schwarz, H-zložka [24]</i> .....	44
<i>Obr. 39 – Meranie EMI – pracovisko</i> .....	45
<i>Obr. 40 - Acer Aspire V3-771 – merané komponenty</i> .....	46
<i>Obr. 41 - Základná doska G2 HM77 VA 70 [20]</i> .....	47
<i>Obr. 42 - Acer Aspire V3-771 – základová doska info</i> .....	47
<i>Obr. 43 - Acer Aspire V3-771 – CPU info</i> .....	48
<i>Obr. 44 - Acer Aspire V3-771 – RAM info</i> .....	48
<i>Obr. 45 Acer Aspire V3-771 – integrovaná grafická karta info</i> .....	49
<i>Obr. 46 - Acer Aspire V3-771 – GeForce GT 650M info</i> .....	49
<i>Obr. 47 - Acer Aspire V3-771 – Hodnoty komponentov – CPU</i> .....	50
<i>Obr. 48 - Acer Aspire V3-771 – Hodnoty komponentov – CPU, RAM</i> .....	51
<i>Obr. 49 - Acer Aspire V3-771 – Hodnoty komponentov – HDD, GPU</i> .....	52
<i>Obr. 50 – Priebeh záťažového testu Intel Extreme – GPU test</i> .....	53
<i>Obr. 51 – Merania EMI – GPU – bez zaťaženia</i> .....	54
<i>Obr. 52 – Merania EMI – GPU – v zaťaženom stave</i> .....	55
<i>Obr. 53 – Meranie EMI – GPU – v zaťaženom stave – časový priebeh</i> .....	56
<i>Obr. 54 – Meranie EMI – GPU – spustené video</i> .....	56
<i>Obr. 55 – Meranie EMI – GPU – prechod bielej farby do čiernej</i> .....	57
<i>Obr. 56 – Meranie EMI – GPU – GeForce 650M – zmena zaťaženia</i> .....	57
<i>Obr. 57 – Meranie EMI – RAM – reštartovanie OS</i> .....	58
<i>Obr. 58 – Meranie EMI – RAM - v zaťaženom stave</i> .....	59
<i>Obr. 59 – Meranie EMI – RAM 1330 MHz – druhá harmonická frekvencia</i> .....	59
<i>Obr. 60 – Merania EMI – RAM 1995 MHz – tretia harmonická frekvencia</i> .....	60
<i>Obr. 61 – Zapojenie konektorov USB [25]</i> .....	60
<i>Obr. 62 – Meranie EMI – myš, USB - pohyb</i> .....	61
<i>Obr. 63 – Meranie EMI – USB</i> .....	62
<i>Obr. 64 – Meranie EMI – myš, USB – pohyb + kliknutie</i> .....	62

**ZOZNAM TABULIEK**

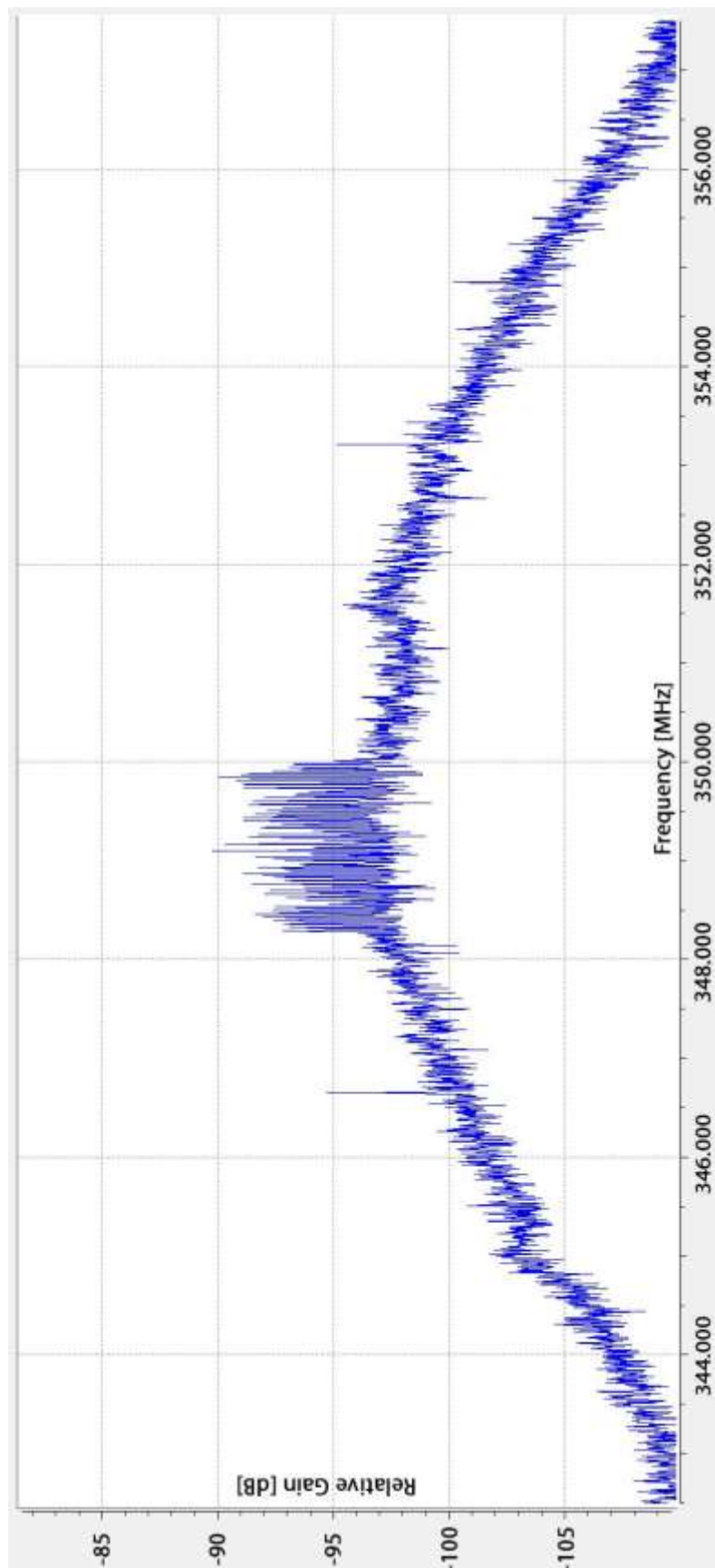
<i>Tabuľka 1 – Prehľad použitých prostriedkov .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabuľka 2 – Prehľad frekvencií komponentov.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabuľka 3 – Popis vodičov USB .....</i>	<i>60</i>



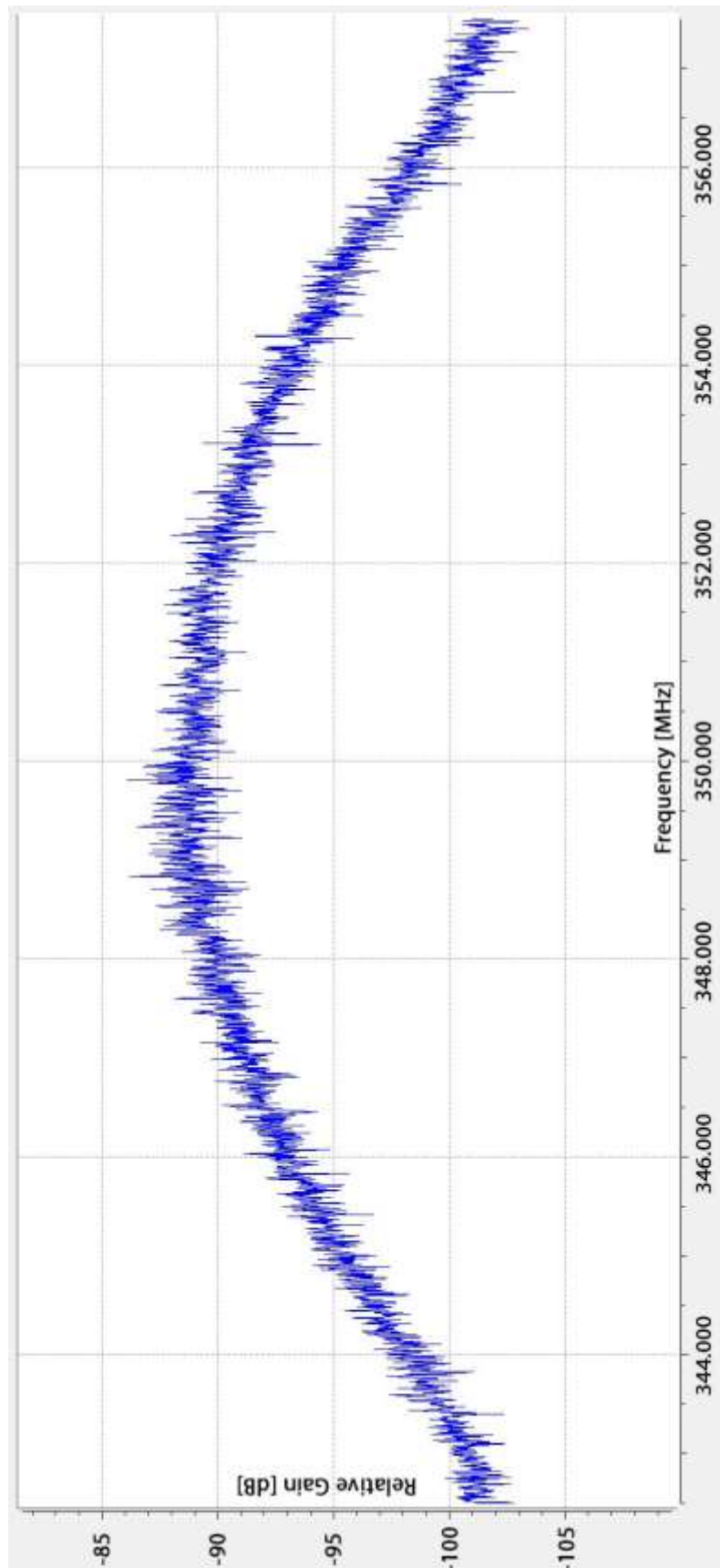
**ZOZNAM PRÍLOH**

- P I GPU - v nezaťaženom stave
- P II GPU - v zaťaženom stave
- P III GPU - v zaťaženom stave – časový priebeh
- P IV GPU - spustené video
- P V GPU - prechod bielej farby do čiernej
- P VI GPU - GeForce 650M – zmena zaťaženia
- P VII RAM - v zaťaženom stave
- P VIII RAM - reštartovanie OS
- P IX RAM - druhá harmonická funkcia – 1330 MHz
- P X RAM - tretia harmonická funkcia – 1995 MHz
- P XI USB - pohyb myši
- P XII USB - pohyb myši + kliknutie

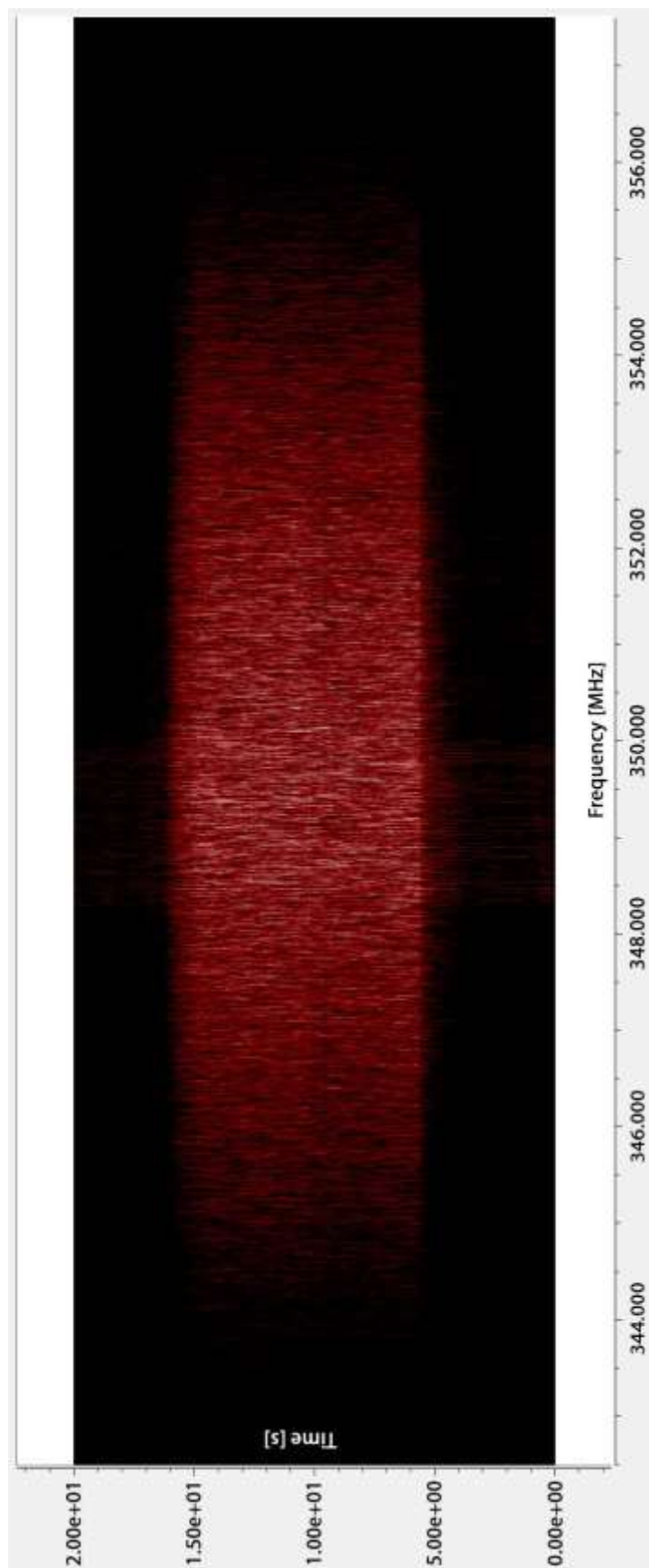
## PRÍLOHA P I: GPU - V NEZAŤAŽENOM STAVE



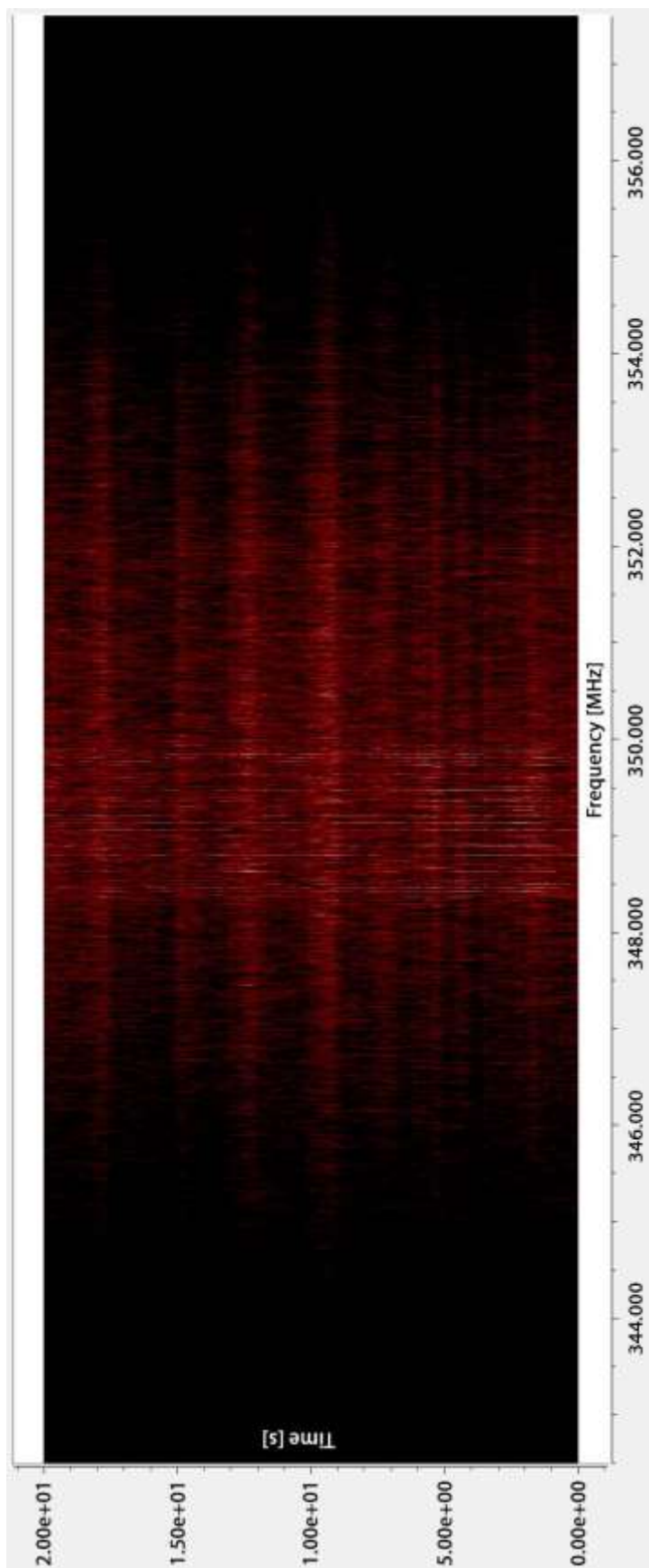
## PRÍLOHA P II: GPU - V ZAŤAŽENOM STAVE

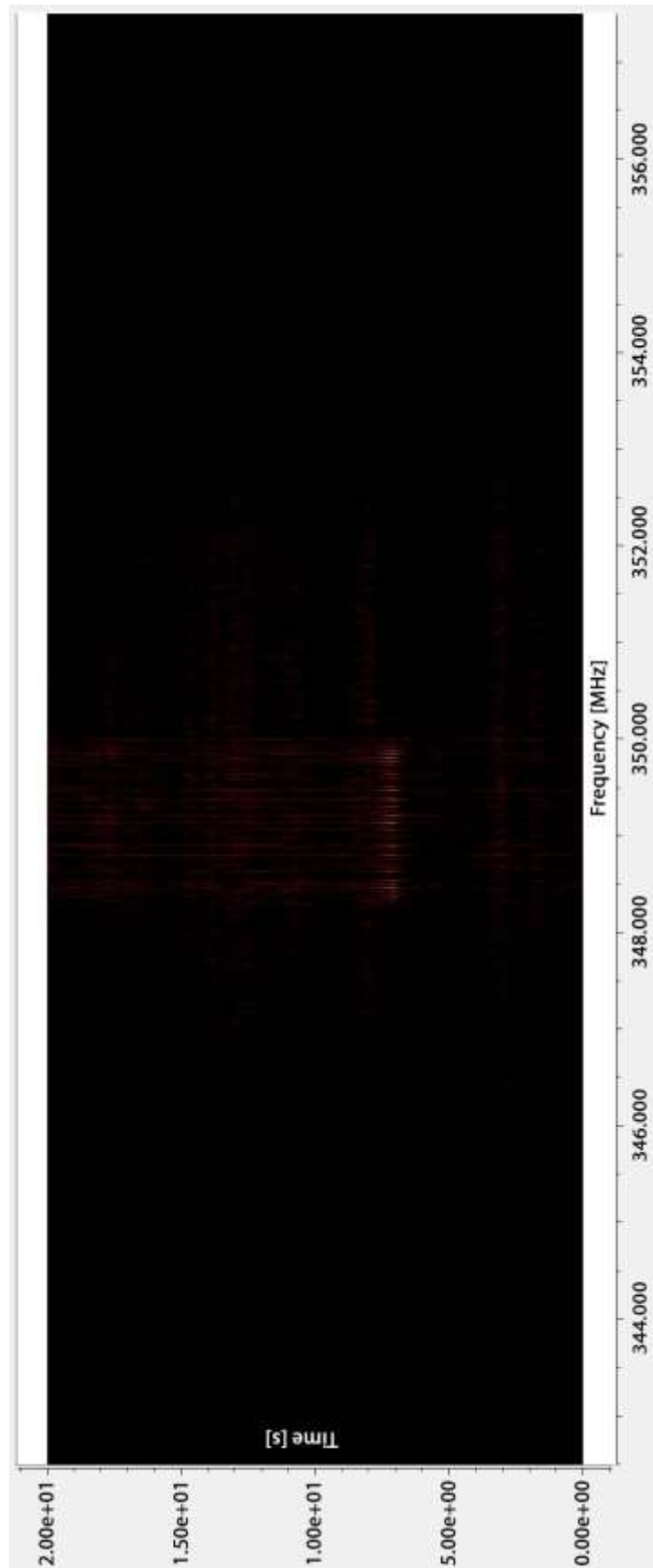


## PRÍLOHA P III: GPU - V ZAŤAŽENOM STAVE - ČASOVÝ PRIEBEH



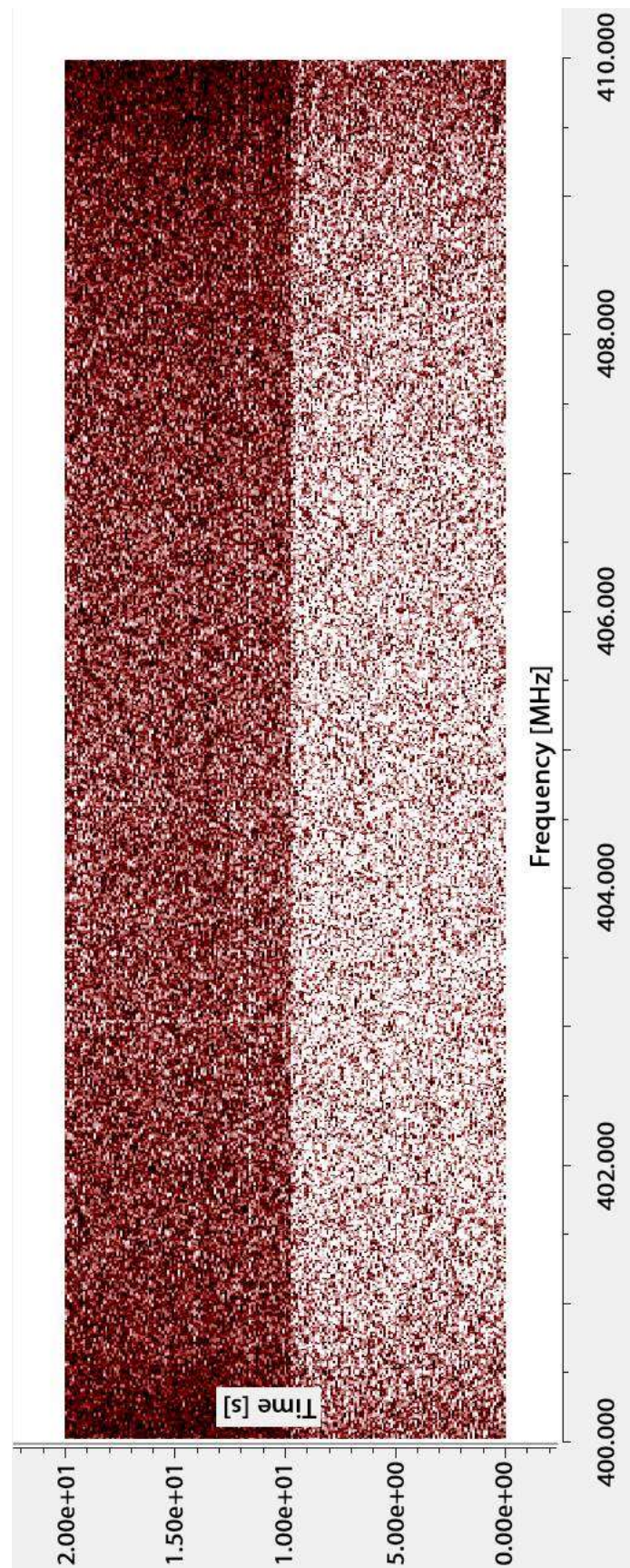
## PRÍLOHA IV: GPU – SPUSTENÉ VIDEO



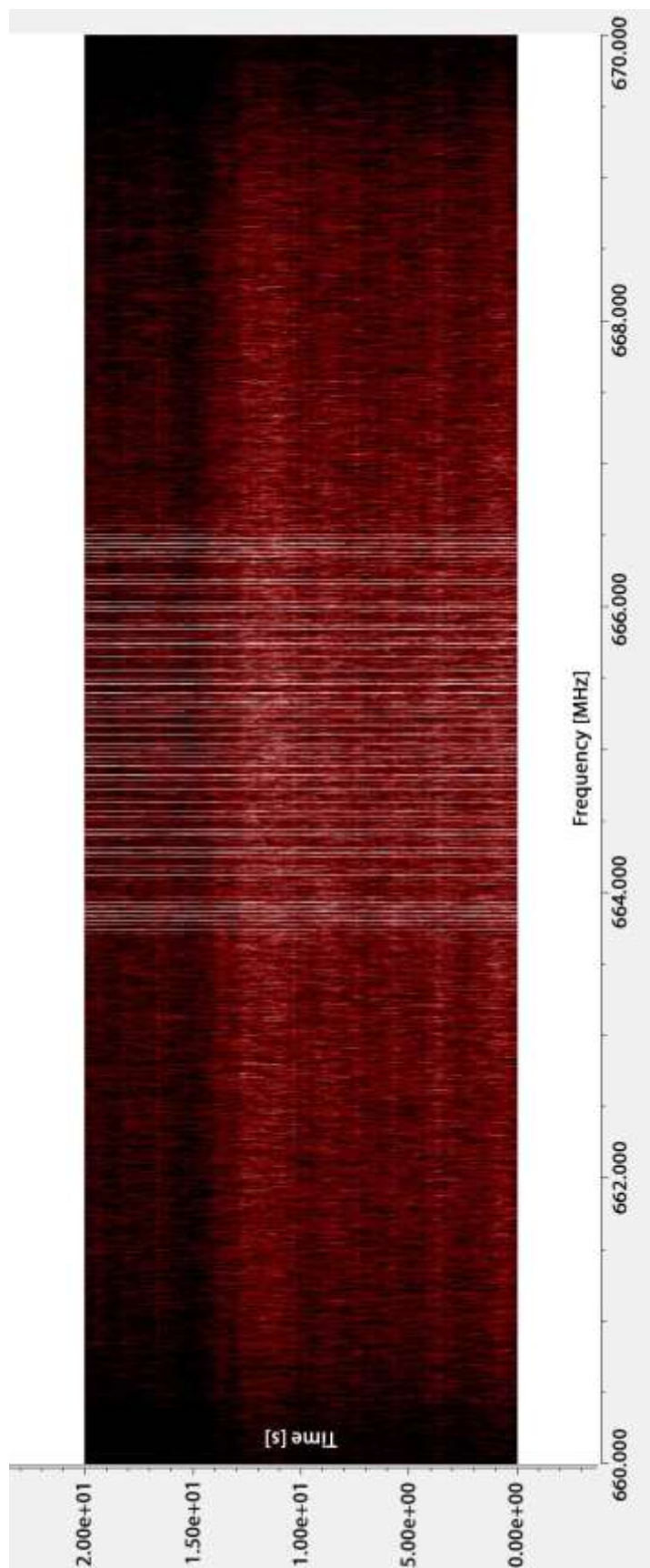
**PRÍLOHA V: GPU – PRECHOD BIELEJ FARBY DO ČIERNEJ**



## PRÍLOHA VI: GPU – GEFORCE 650M - ZMENA ZAŤAŽENIA

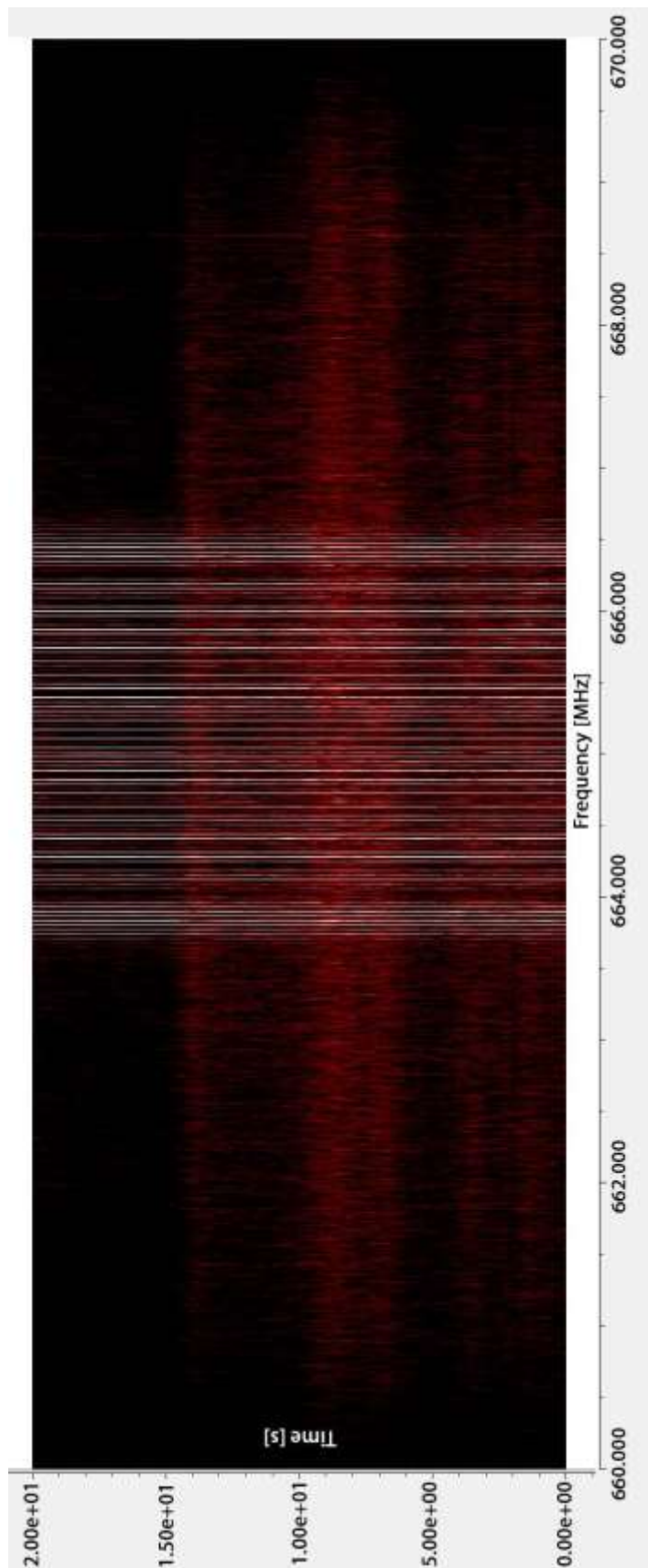


## PRÍLOHA VII: RAM - V ZAŤAŽENOM STAVE

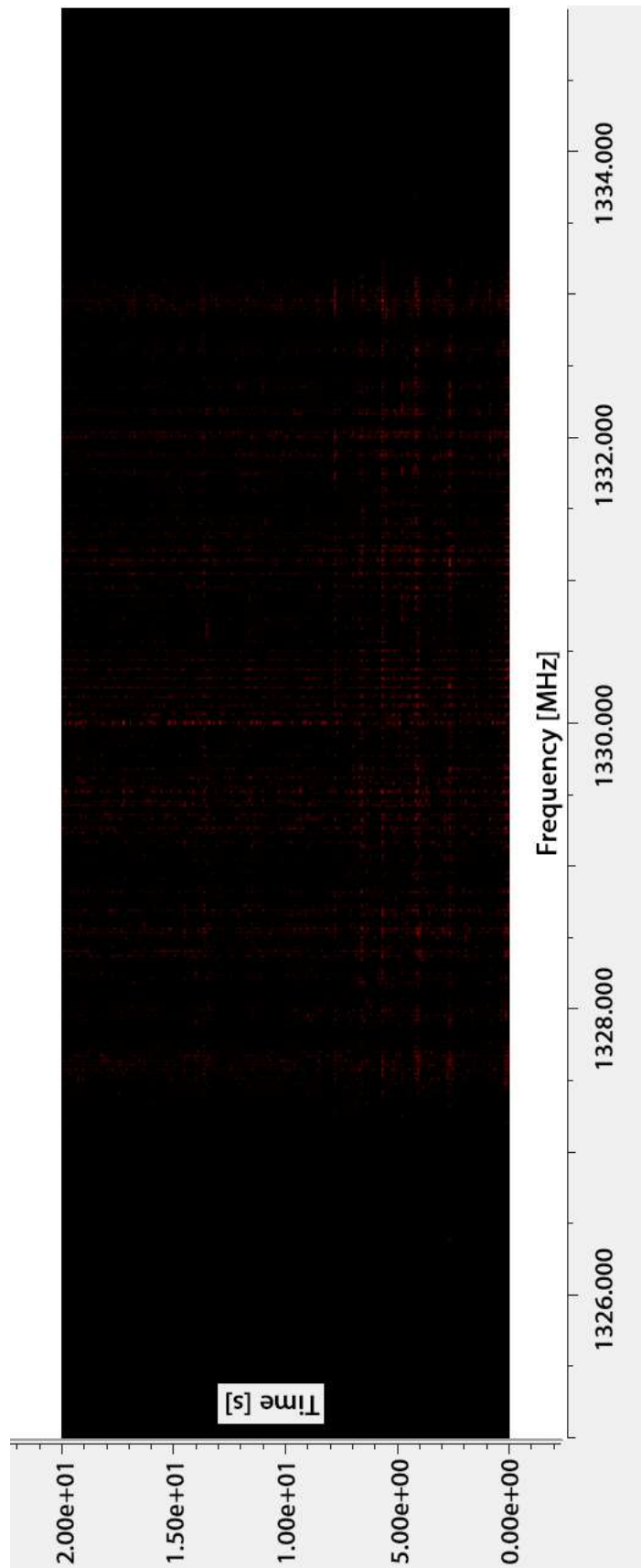


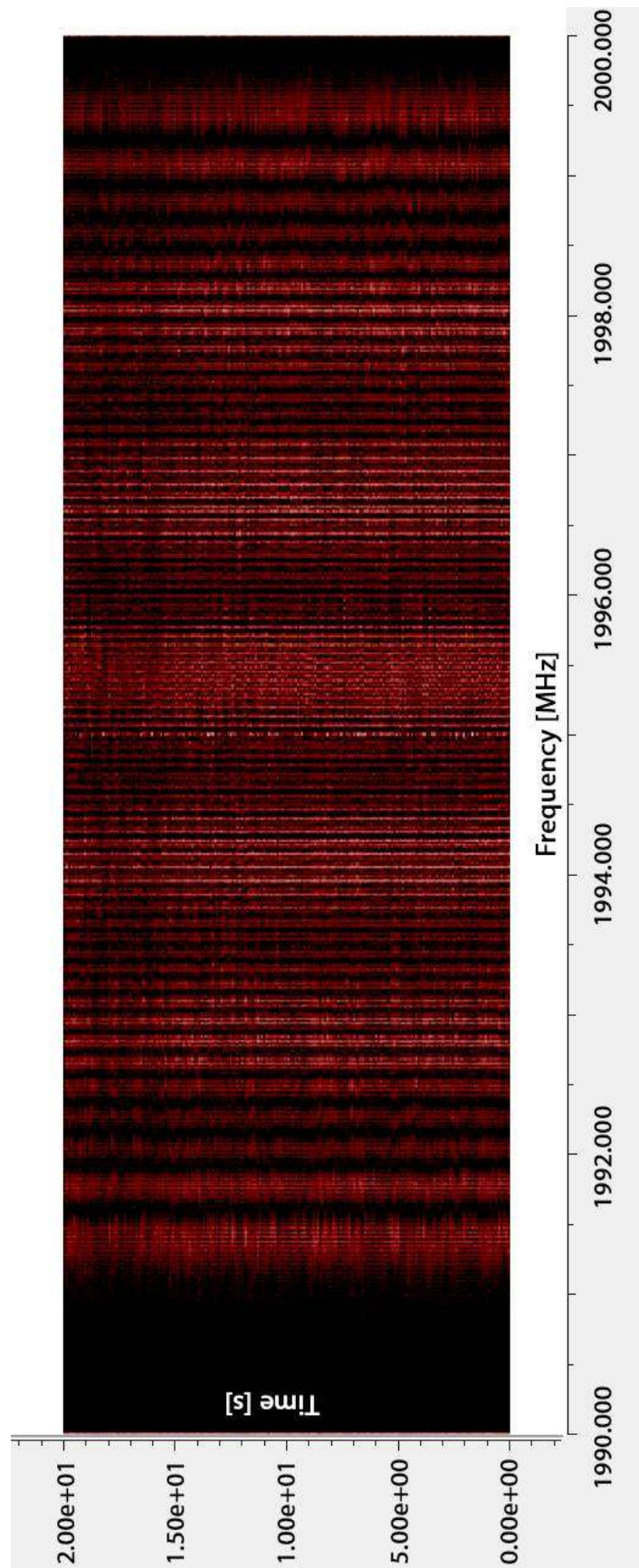


## PRÍLOHA VIII: RAM - REŠTARTOVANIE OS

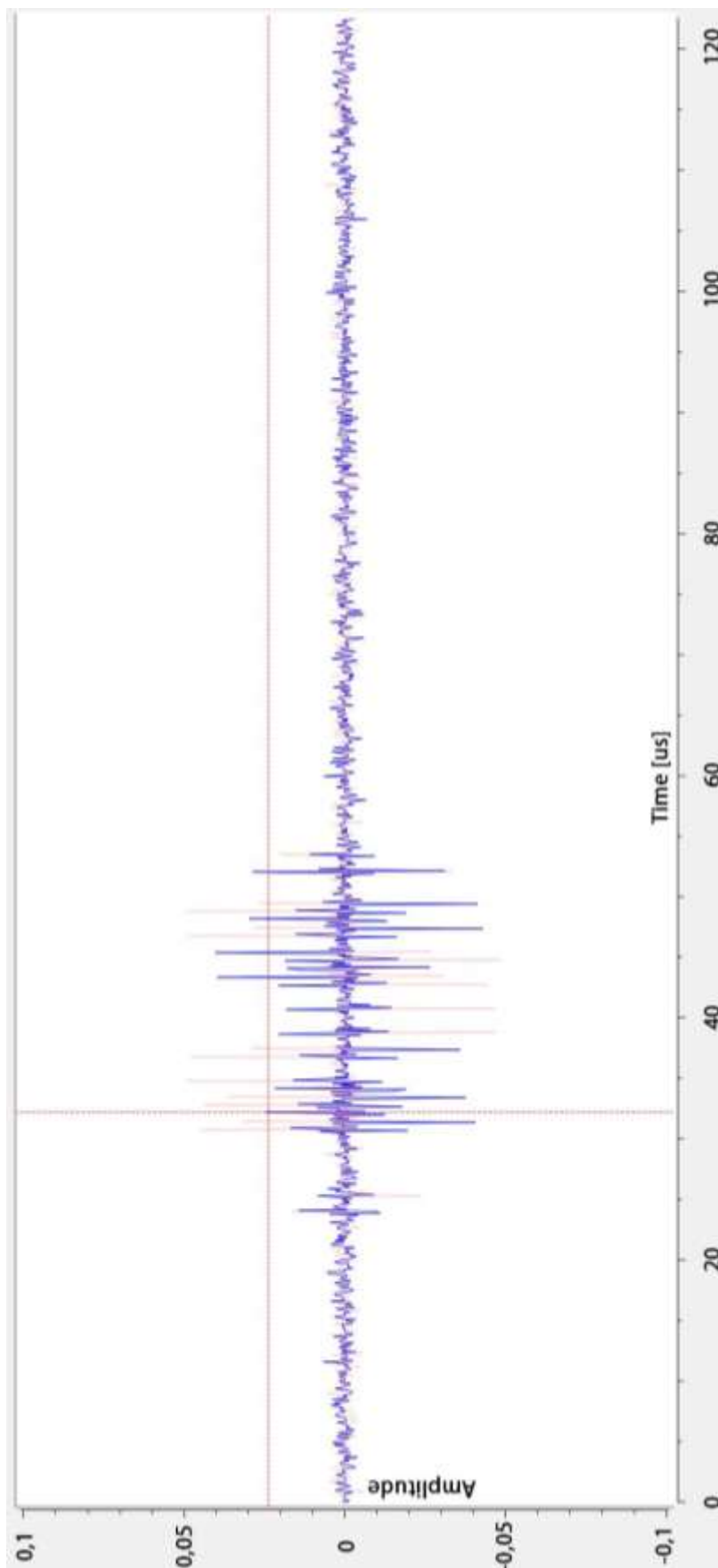


## PRÍLOHA IX: RAM – DRUHÁ HARMONICKÁ – 1330 MHZ



**PRÍLOHA X: RAM – TRETIA HARMONICKÁ - 1995 MHZ**

## PRÍLOHA XI: USB – POHYB MYŠI



## PRÍLOHA XII: USB – POHYB MYŠI + KLIKNUTIE

