

Nežádoucí emise elektromagnetického pole výpočetní techniky

Bc. Jiří Garba

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Garba**

Osobní číslo: **A13441**

Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Počítačové a komunikační systémy**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Nežádoucí emise elektromagnetického pole výpočetní techniky**

Téma anglicky: **Undesirable Electromagnetic Interference Caused by Computer 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 plně zatíženém procesoru.**
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:

3. února 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Miroslav Matýšek, Ph.D.
ředitel ústavu


Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 16.5.2017


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce se v teoretické části zabývá obecně teorií o elektromagnetické kompatibilitě a rušení, následně měření vyzařování ze zařízení.

V druhé teoretické části práce představuje zařízení, jeho vlastnosti a podmínky, za kterých se bude provádět experiment.

V první praktické části práce se popíše příprava k měření. Následně se uskuteční měření, která se zaznamenají a v následující části se hodnotí a vyvodí z nich závěry.

Klíčová slova: elektromagnetická kompatibilita, interference, vyzařování

ABSTRACT

In the theoretical part, the diploma thesis deals with the theory of electromagnetic compatibility and interference, and consequently measurement of radiation from the device.

In the second theoretical part of the thesis is the device, its properties and the conditions under which the experiment will be carried out.

The first practical part describes the preparation for measurement. Subsequent measurements will take place. They will be recorded. And in the next section the results are evaluated and deduced from them.

Keywords: electromagnetic compatibility, interference, emission

Děkuji všem za trpělivost, kterou se mnou měli.

Motto:

Nevědomost nezůstává pozadu za věděním. I ona přibývá závratnou rychlostí.

Stanislaw Jerzy Lec

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	11
1.1 DĚLENÍ EMC	11
1.1.1 EMI	13
1.1.2 EMS.....	13
1.1.3 EMC	13
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY	14
1.3 RUŠENÍ.....	17
1.3.1 Řetězec rušení	17
1.3.2 Zdroje rušení:	18
1.3.2.1 Další dělení:	18
1.3.3 Působení rušení	19
1.3.3.1 Srovnání NEMP a LEMP	19
1.3.4 Šíření rušení	19
1.3.4.1 Šíření po vedení	20
1.3.4.2 Šíření vazbou	20
1.3.4.3 Šíření vyzařováním	20
2 MĚŘENÍ	21
2.1 OFICIÁLNÍ DEFINICE	21
2.2 MĚŘICÍ ŘETĚZEC	21
2.3 ZÁSADY MĚŘENÍ.....	22
Opakovatelnost měření	22
Reprodukovatelnost měření	22
Přesnost měření.....	22
Správnost měření	22
2.4 PODMÍNKY	23
Podmínka opakovatelnosti.....	23
Podmínka reprodukovatelnosti	23
2.5 METODY MĚŘENÍ.....	23
Přímé metody	24
Nepřímé metody	24
Základní metody	24
Srovnávací metody	24
2.6 MĚŘENÍ INTERFERENCE	25
2.6.1 Měření s napěťovou sondou	25
3 LABORATOŘ A JEJÍ VYBAVENÍ	26
3.1 PRACOVIŠTĚ.....	26
3.2 VYBAVENÍ.....	26
3.2.1 Přístroje použité k měření	26
3.2.2 Přípravky použité k měření	28
3.2.3 Software použitý při měření	29

3.3	MĚŘENÝ OBJEKT	30
II	PRAKTICKÁ ČÁST	32
4	MĚŘENÍ.....	33
4.1	MÍSTA PRO MĚŘENÍ NA ZAŘÍZENÍ.....	33
4.1.1	Výběr měřených případů	34
4.2	MĚŘENÍ NA RAM.....	35
4.2.1	Měření naprázdno.....	35
4.2.2	Měření nezatíženého zařízení.....	36
4.2.3	Měření zatíženého zařízení	37
4.3	MĚŘENÍ NA USB SBĚRNICI.....	43
4.3.1	Měření naprázdno.....	43
4.3.2	Měření nezatíženého zařízení.....	45
4.3.3	Měření zatíženého zařízení	46
4.4	MĚŘENÍ NA GPU	51
4.4.1	Měření naprázdno.....	51
4.4.2	Měření nezatíženého zařízení.....	52
4.4.3	Měření zatíženého zařízení	53
5	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	56
5.1	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA RAM.....	56
5.2	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA USB SBĚRNICI.....	61
5.3	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ NA GPU	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	66
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	70
	SEZNAM TABULEK.....	73
	SEZNAM PŘÍLOH.....	74

ÚVOD

V teoretické části se zabýváme zběžným vysvětlením elektromagnetické kompatibility, jejích částí a důsledků v současnosti. Zvláště se pak zaměřujeme na elektromagnetické rušení a jeho vyzařování.

Dále navazujeme obecnou teorií o měření. Speciálně se zaměřujeme na měření vyzařování rušivých signálů přes kryt přístrojů.

Následně představujeme přístroje, se kterými pracujeme a pracovní prostředí, ve kterém budeme pracovat.

Nakonec popíšeme parametry a vlastnosti měřeného objektu.

V praktické části nejprve určíme, na jakých plochách objektu budeme měřit.

Potom začneme měřit, postup měření budeme zaznamenávat. Výsledky budeme ukládat k dalšímu zpracování.

Výsledky zpracujeme a vyvodíme závěr. Očekáváme, že budeme schopni naměřit interference vyzařující ze zařízení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

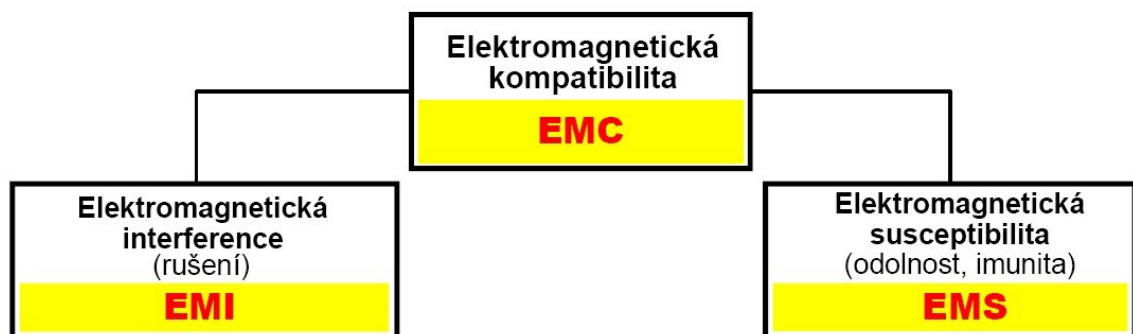
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

1.1 Dělení EMC

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - ElectroMagnetic Compatibility

Dělí se na 3 skupiny:

- EMI
- EMS
- EMC



Obrázek 1: Dělení EMC^[12]

EMI - elektromagnetická interference (Electromagnetic Interferency)

- zkoumá vznik elektromagnetické interference
- příčiny vzniku rušení, jeho působení
- klasifikaci a metodiku zpracování

[1],[2],[3],[4],[5]

EMS - citlivost na rušení - odolnost proti rušení

- citlivost se neměří, ale testuje - takzvaná funkční kritéria jsou stanovena
- u sledovaného zařízení se sleduje, při jaké úrovni nastane porucha
- po testování se určí poruchové stavy dle závažnosti
- **Poruchové stavy:**
 - normální funkce
 - zhoršená funkce
 - ztráta funkce, samoobnovení funkce
 - ztráta funkce, obnovení stavu zásahem obsluhy
 - ztráta funkce bez možnosti obnovení
- testují se odolnosti vůči elektromagnetickému výboji, poli, výbojům, rušení po vedení a tak dále...

[1],[2],[3],[4],[5]

EMC - Analýza elektromagnetické kompatibility

- stanovení matematických modelů
- charakterizace jednotlivých složek systému a analýza slučitelnosti charakteristik jednotlivých systémů
- definují se požadavky na odolnost jednotlivých částí
- hlavní činností je prognóza vzniku elektromagnetického rušení na základě analýzy a plánování kompatibility

[1],[2]

1.1.1 EMI

Elektromagnetická interference (EMI)(anglicky ElectroMagnetic Interference) neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů. EMI se tedy zabývá především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest. Elektromagnetické kompatibility celého systému se dosahuje technickými opatřeními především na straně zdrojů rušení a omezením jejich přenosových cest (vzájemné vazby s přijímačem rušení). EMI se tak týká hlavně příčin rušení a jejich odstraňování.^[12]

1.1.2 EMS

Elektromagnetická susceptibilita, citlivost či odolnost, příp. imunita (EMS)(anglicky ElectroMagnetic Susceptibility či ElectroMagnetic Immunity) neboli elektromagnetická citlivost (na rušení) či odolnost (vůči rušení) vyjadřuje schopnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS se tedy zabývá především technickými opatřeními, která zvyšují u objektu (přijímače rušení) jeho elektromagnetickou imunitu, tedy jeho odolnost proti vlivu rušivých signálů. EMS se tak týká spíše odstraňování důsledků rušení, bez odstraňování jejich příčin.^[12]

Elektromagnetická susceptibilita a elektromagnetická interference, jako základní oblasti EMC v sobě zahrnují celou řadu mnohdy společných kroků a nezbytných postupů. Velmi rozsáhlou a důležitou oblastí je měření elektromagnetické interference, především měření rušivých signálů a jejich identifikaci. Zahrnuje měřicí metody a postupy pro kvantitativní hodnocení vybraných parametrů hlavně na rozhraních zdrojů a přijímačů rušení. Problematika měření, která je pro závěrečné posouzení EMC daného zařízení vždy rozhodující, je navíc komplikovaná tím, že i samotné měřicí zařízení je (či může být) zdrojem a současně přijímačem rušivých signálů, což je nutno při měření respektovat (technicky, kalibračně, početně).^[12]

1.1.3 EMC

Přesněji se jedná o analýzu elektromagnetické kompatibility.

Elektromagnetické stínění je jedním z nejdůležitějších odrušovacích prostředků EMC umožňující jak zmenšení rušivého vyzařování na straně zdrojů rušivých signálů, tak i zvýšení elektromagnetické odolnosti na straně přijímačů rušivých signálů. Stínění je konstrukčním prostředkem k zeslabení elektromagnetického pole rušivých signálů ve vymezené části prostoru. Technické prostředky (konstrukce), kterými dosahujeme uvedených cílů, nazýváme stínicími kryty či stíněním. Stínění se užívá k ochraně jak jednotlivých součástek a funkčních bloků, tak i celých elektronických zařízení, která mohou být současně zdroji i přijímači elektromagnetického rušení.

Stínění je jedním z vysoce efektivních způsobů elektromagnetické ochrany před výkonovým rušením kontinuálního či impulsního charakteru.

[10]

1.2 Základní pojmy

EMC - Elektromagnetická kompatibilita - ElectroMagnetic Compatibility

Schopnost fungování zařízení ve svém vlastním elektromagnetickém prostředí bez vytváření negativního elektromagnetického rušení negativně ovlivňující okolní prostředí.

EMI- Elektromagnetická interference – ElectroMagnetic Interferency

Elektromagnetické rušení, zhoršující provoz systému (zařízení), kvalitu přenosového kanálu, signálu.

EMS - Elektromagnetická susceptibilita - ElectroMagnetic Susceptibility

Schopnost zařízení pracovat beze změny svých vlastností v rušení elektromagnetickým polem (zářením).

Elektromagnetické prostředí

Soubor nebo souhrn elektromagnetických elementů a jevů působící na určité místo.

Elektromagnetické rušení

Každý elektromagnetický jev, jehož efektem za cizím zařízením je zhoršení jeho funkčnosti (vlastností), eventuálně negativní vliv na organickou hmotu v okolí.

Mez rušení

Maximální dovolená hodnota elektromagnetického rušení, při které je zařízení ještě schopno provozu bez zhoršení svých vlastností.

Mez interference

Maximální dovolené zhoršení vlastností přístroje, systému nebo zařízení, které je ovlivněno elektromagnetickým polem (rušením).

Úroveň

Střední, či vážená hodnota časově závislé veličiny (v různých jednotkách dB, W, atd.)

Rádiové vysokofrekvenční rušení

Elektromagnetické rušení nacházející se v kmitočtovém pásmu rádiových vln (od 3kHz do 300 GHz)

Vysokofrekvenční rušení

Elektromagnetické rušení, jehož složky spektra se nacházejí v pásmu vysokých frekvencí (od 1kHz do 400 GHz)

Vysokofrekvenční interference

RFI - Radio Frequency Interferency

Interference vyvolané vysokofrekvenčními signály.

Interference

Mezisytemové interference je vzájemné ovlivňování dvou a více vzájemně oddělených systémů. Vnitrosystémová interference jsou interference vnitřních součástí systému.

Elektromagnetické emise

Jev, při němž elektromagnetická energie vychází ze zdroje nebo systému

Elektromagnetické vyzařování

Jev, při němž elektromagnetická energie vychází ze zdroje do prostoru ve formě elektromagnetických vln. Energie přenášená prostředím v podobě elektromagnetických vln. Elektromagnetické záření zahrnuje i indukční záření.

Odolnost

Schopnost zařízení pracovat v provozu bez zhoršení vlastností za přítomnosti elektromagnetického rušení

Citlivost

Neschopnost pracovat v provozu bez zhoršení vlastností za přítomnosti elektromagnetického rušení.

Impuls

Prudká krátkodobá změna veličiny s rychlým návratem k normálu.

Impulsní rušení

Elektromagnetické rušení projevující se v systému jako posloupnost impulsů (přechodných jevů)

Spojité rušení

Elektromagnetické rušení projevující se na zařízení jako posloupnost oddělených jevů

Kvaziimpulsní rušení

Elektromagnetické rušení, kombinace předchozích možností

Potlačení rušení

Opatření zmenšující dopad elektromagnetického rušení

Odrušování

Opatření zeslabující vliv elektromagnetické interference

Rušivé napětí

Napětí vyvolané rušením mezi dvěma vodiči vzájemně vazebně oddělených

Stínění

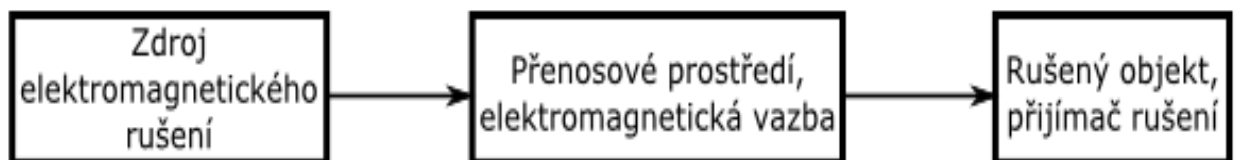
Ochrana vůči elektromagnetické interferenci

[1],[2],[3],[4],[5]

1.3 Rušení

- rušením a jeho měřením se zabývá část EMI
- vždy se vychází ze základního řetězce EMC (rušení)

1.3.1 Řetězec rušení



Obrázek 2: Základní řetězec EMC - rušení

- obsahuje 3 složky:
 - zdroje
 - přenosové prostředí

- přijímač rušení

1.3.2 Zdroje rušení:

- umělé (technické)
- přírodní (přirozené)

1.3.2.1 Další dělení:

- dělení dle šířky pásma (úzkopásmové nebo širokopásmové)
- dělení dle frekvence (nízkofrekvenční, akustické, radiové a vysokofrekvenční)
- dělení podle délky (impulsní, kvaziimpulsní a spojitě)
- dělení podle šíření (šíření vedením nebo vyzařováním)

[1],[2],[3],[4],[5]

Obecně do zdrojů rušení můžeme zařadit následující věci: motory, spínače, relé, energetické rozvody, polovodičové měniče, zářivky, obloukové pece, svářečky, oscilátory, počítače, číslicové systémy, spalovací motory, nukleární výbuch (NEMP). Ty patří do kategorie umělé zdroje. Přírodní zdroje rušení jsou Slunce - sluneční vítr, atmosférické poruchy - polární záře, blesky, kosmické záření.

Přenosovým prostředím je myšlen vzdušný prostor, energetické kabely, napájecí vedení, zemnění, stínění, signálové vodiče, datové vodiče a další.

Přijímačem rušení čili rušeným objektem tudíž je číslicová technika, počítače, měřicí přístroje, automatizační prostředky, telekomunikační systémy, systémy přenosu dat, rozhlasové přijímače, televizní přijímače a další.

[1],[2],[3],[4],[5]

1.3.3 Působení rušení

Podle působení rozlišujeme rušení na následující skupiny:

- zdroje rušení působící na elektrické rozvodné sítě
- lokální elektrostatické výboje (ESD), nízká energie, ale velmi vysoké amplitudy
- Atmosférické výboje, blesky (LEMP)
- NEMP - nukleární elektromagnetický impuls, EMP - při konvenčním výbuchu
- rozhlasové a televizní vysílače, radarové stanice

[2]

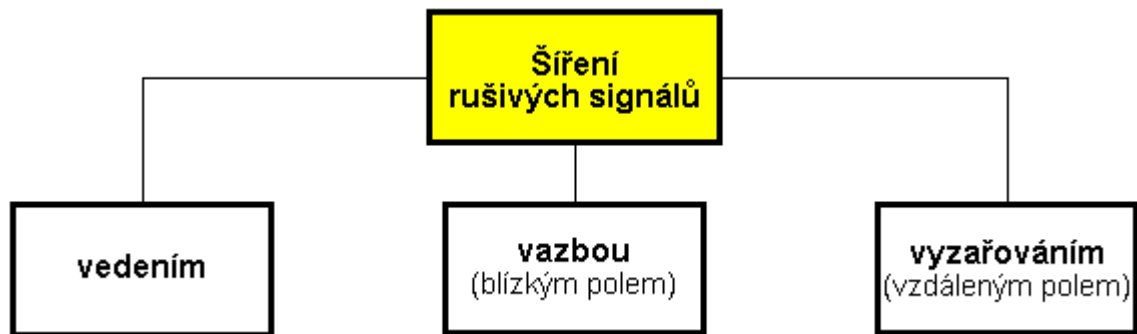
1.3.3.1 Srovnání NEMP a LEMP

	E_{\max} [kV/m]	H_{\max} [A/m]	Náběžná hrana [ns]	Kmitočtové spektrum	Dosah účinku
LEMP	10 – 100	100 – 1000	100 - 10000	1 kHz – 5 MHz	Jednotky km
NEMP	30 - 100	100 - 1000	5 – 8	0,1 – 100 MHz	Tisíce km

Tabulka 1: NEMP a LEMP srovnání^[14]

1.3.4 Šíření rušení

- po vedení
- vazbou
- vyzařováním

Obrázek 3: Šíření rozdělí^[14]

1.3.4.1 Šíření po vedení

Přenos vedením (např. napájecím či datovým vedením daného zařízení). Měřenými veličinami, kterými v tomto případě charakterizujeme elektromagnetické rušení, jsou rušivé napětí U_r , rušivý proud I_r , příp. rušivý výkon P_r signálu.^[14]

1.3.4.2 Šíření vazbou

Přenos elektrickou či magnetickou vazbou (blízkým elektromagnetickým polem) mezi dvěma blízkými objekty či zařízeními. Parazitní vazbu zde charakterizujeme intenzitou rušivého elektrického pole E_r nebo intenzitou rušivého magnetického pole H_r .^[14]

1.3.4.3 Šíření vyzařováním

Přenos vyzařováním elektromagnetických vln (vzdáleným elektromagnetickým polem) se uplatňuje především mezi vzdálenými objekty na vyšších rádiových kmitočtech. Měřenými charakteristickými veličinami jsou opět intenzity elektrického či magnetického pole E_r , H_r , příp. hustota vyzářeného výkonu P_r rušivého signálu (velikost Poyntingova vektoru rušivého pole). Je zřejmé, že různé veličiny charakterizující rušivé elektromagnetické signály můžeme vzájemně převádět (přepočítávat), přičemž převod je určen způsobem a zařízením, kterým danou veličinu měříme. Např. intenzity rušivých polí E_r či H_r převádíme měřeními anténami na napětí U_r na jejich svorkách, přičemž převodními „koeficienty“ jsou zde efektivní výška, efektivní plocha, příp. tzv. anténní faktory použitých antén pro daný měřicí kmitočet či pásmo kmitočtů.^[14]

2 MĚŘENÍ

Měření je soubor činností s cílem určit hodnotu měřeného objektu nebo veličiny. Vyjadřuje hodnotu veličiny v jednotkách odpovídající dané veličině. Měření má základní význam nejen v experimentálních přírodních vědách, ale i ve většině oborů lidského poznání a života.

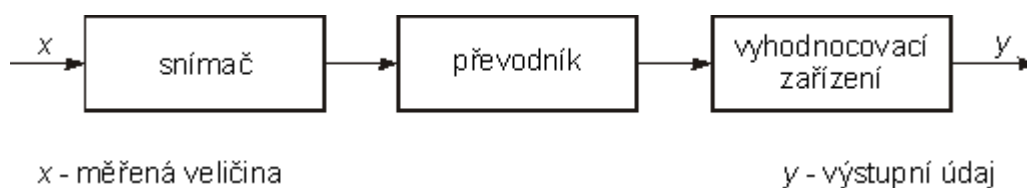
[6],[7],[10]

2.1 Oficiální definice

Měření je proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazeny veličině

[9]

2.2 Měřicí řetězec



Obrázek 4: Měřicí řetězec^[7]

- první částí měřicího řetězce je vždy snímač (jedná se o senzor, čidlo nebo sondu)
- další částí měřicího řetězce je převodník, převádějící naměřený signál, veličinu na elektrický signál, který je pak přenášen
- poslední částí je vyhodnocovací zařízení, což může být měřicí přístroj nebo zobrazovací display (přesněji část měřicího přístroje zobrazující hodnoty)

[6],[7],[8]

2.3 Zásady měření

Máme několik zásad pro měření. Nejdůležitější jsou následující:

- opakovatelnost
- reprodukovatelnost
- přesnost
- správnost

[9]

Opakovatelnost měření

Musí splňovat podmínku opakovatelnosti.

[9]

Reprodukovatelnost měření

Měření za podmínek reprodukovatelnosti.

[9]

Přesnost měření

Těsnost shody mezi naměřenou hodnotou veličiny a pravou hodnotou veličiny měřené veličiny.

[9]

Správnost měření

Správnost měření neboli pravdivost. Těsnost shody mezi aritmetickým průměrem konečného počtu opakovaných naměřených hodnot veličiny a referenční hodnotou veličiny.

[9]

2.4 Podmínky

Podmínka opakovatelnosti

Podmínka opakovatelnosti měření ze souboru podmínek, který zahrnuje stejný postup měření, stejný obslužný personál, stejný měřicí systém, stejné pracovní podmínky a stejné místo, a opakování měření na stejném objektu nebo podobných objektech v krátkém časovém úseku.

[9]

Podmínka reprodukovatelnosti

Podmínka reprodukovatelnosti měření ze souboru podmínek, který zahrnuje různá místa, obslužný personál, měřicí systémy a opakování měření na stejném objektu nebo podobných objektech.

[9]

2.5 Metody měření

Metody měření dělíme dle kritérií do více skupin. První kritérium je to, jestli měříme přímo veličinu či nikoliv.

- přímé metody
- nepřímé metody

Dalším kritériem je to, jestli měříme přímo nebo s něčím porovnáваме. Srovnání se provádí jednotkovou hodnotou (nejčastěji etalonem) nebo s požadovanou (předpokládanou) hodnotou.

- základní metody

- srovnávací metody

[10]

Přímé metody

Metody, u nichž zjišťujeme hodnotu fyzikální veličiny přímo odečtením na stupnici použitého měřidla - měření teploty teploměrem, měření délky milimetrovým měřidlem, měření odporu kovového vodiče ohmmetrem, atd.

[10]

Nepřímé metody

Metody, u nichž hodnotu fyzikální veličiny stanovíme na základě určitého fyzikálního vztahu z hodnot jiných veličin (změřených jinou metodou).

[10]

Základní metody

Někdy nazývané také metody absolutní.

Metody poskytující hodnotu měřené veličiny přímo v příslušné jednotce - čas v sekundách, hmotnost v kilogramech, elektrický proud v ampérech, atd.

[10]

Srovnávací metody

Někdy nazývané také metody relativní.

Měření spočívá v porovnání měřené veličiny s danou známou hodnotou veličiny téhož druhu, s tzv. normálem (etalonem). Normály jsou závaží, délková měřidla, atd.

[10]

2.6 Měření interference

Při větších vzdálenostech mezi zdrojem a přijímačem rušení, kdy je prakticky vyloučena jak kapacitní, tak induktivní parazitní vazba, je možná vzájemná vazba obou objektů vyzářeným elektromagnetickým polem. K parazitním vazbám vyzařováním lze typicky počítat rušení blízkými vysílači, atmosférická rušení i řadu druhů průmyslových poruch. Tento druh rušení se projevuje v rádiových přijímačích, do nichž se dostává anténou, příp. jejím svodem, což je charakteristické pro rušení vyzařováním. Působením elektromagnetické vlny se ve vodičích rušeného přijímače indukuje rušivé napětí, které se v jeho obvodech sečítá s užitečným signálovým napětím nebo jej dokonce zcela překryje.^[13]

2.6.1 Měření s napěťovou sondou

Pro měření rušivých napětí na jiných místech než na napájecích svorkách zkoušeného objektu lze měřit rušivá napětí pomocí napěťové sondy. Napěťová sonda umožňuje přímé „připojení“ měřicího přijímače (měřiče rušení) do zadaného bodu (místa) zkoumaného zařízení, takže je velmi vhodná zejména při diagnostických měřeních EMC ve stádiu vývoje daného zařízení. Díky své vysoké vstupní impedanci je napěťová sonda nepostradatelná při měření rušivých napětí ve vysokoimpedančních obvodech.

Jde v podstatě o kapacitně vázaný odporový dělič napětí.^[13]

3 LABORATOŘ A JEJÍ VYBAVENÍ

Laboratoř, ve které bylo měření prováděno, patří Centru bezpečnostních, informačních a pokročilých technologií (CEBIA-Tech).

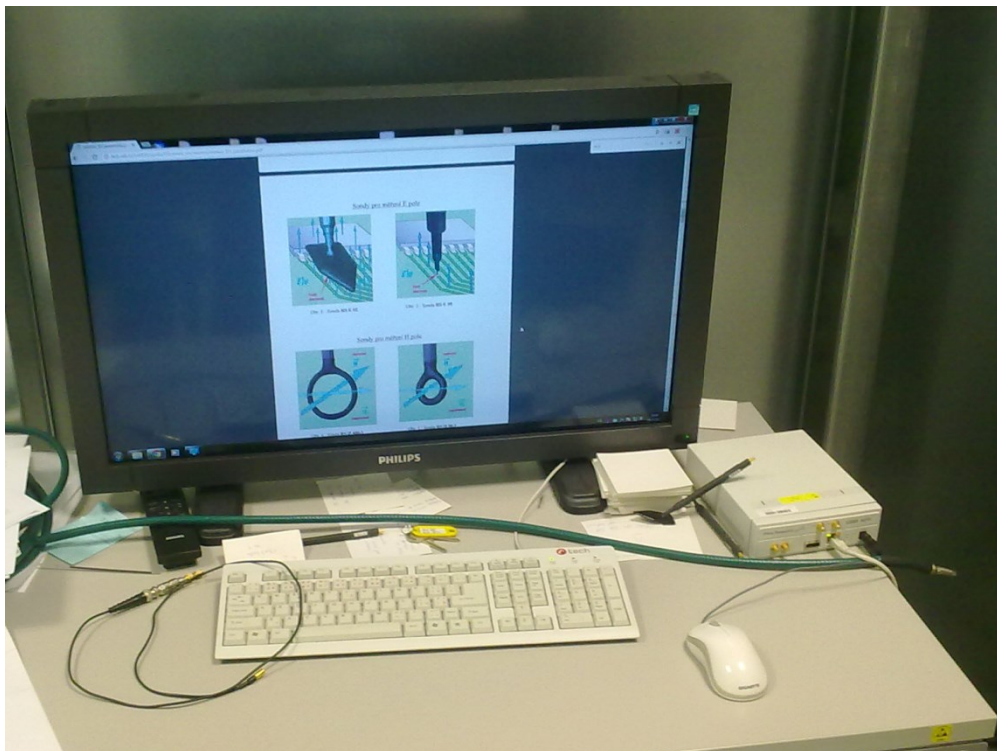
Podmínky při měření:

Teplota: 22 °C

Tlak: 1015 hPa

Vlhkost: 63%

3.1 Pracoviště



Obrázek 5: Foto pracoviště

3.2 Vybavení

3.2.1 Přístroje použité k měření

Měřící rádio Ettus Research USRP N210 (E 1R 11Y 7UP), WBXv2 RX

Měřící rozsah: 0 - 6 GHz

- Open Source Hardware
- podporované OP připojených PC:
 - Windows
 - Linux
 - macOS X (OS X předchozí verze)
- vyvinut firmou Ettus Research
- jádro Xilinx Spartan-3A DSP FPGA
- propojení s PC pomocí Gigabit Ethernet
- 14 bitový A/D převodník s rychlostí 100 MBps
- 16 bitový D/A převodník s rychlostí 400 MBps
- modulární zařízení (s moduly lze přidat více vstupů a výstupů)
- možnost externí synchronizace
- možnost synchronizace více zařízení
- modul přijímací a vysílací má omezení 50 MHz - 2000 MHz
- podporuje frameworky:
 - GNU Radio
 - Matlab
 - Simulink
 - NI USRP 292x series (LabVIEW)
 - ostatní frameworky používající UHD API



Obrázek 6: Měřicí přístroj USRP N210

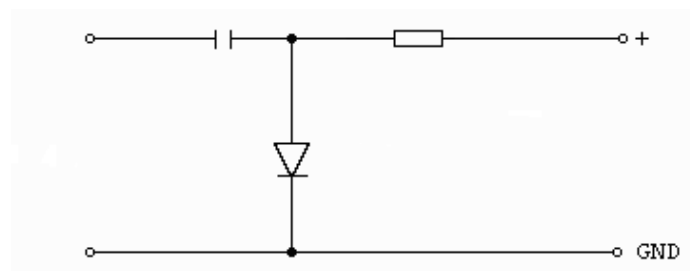
3.2.2 Přípravky použité k měření

Měřicí Sonda

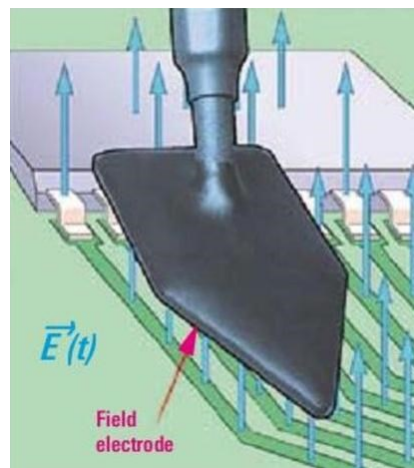
Sonda pro měření E pole RS S 02

- část setu Rohde-Schwarz HZ-15
- označení sondy RS E 02
- měřicí rozsah 30 MHz - 1.5 GHz
- sonda určená pro měření vyzařované interference sběrnic, součástek a struktur
- měřicí plocha 2 x 5 cm

Základní schéma vysokofrekvenční měřicí sondy.



Obrázek 7: Blokové schéma vysokofrekvenční měřicí sondy



Obrázek 8: Schéma měření sondou

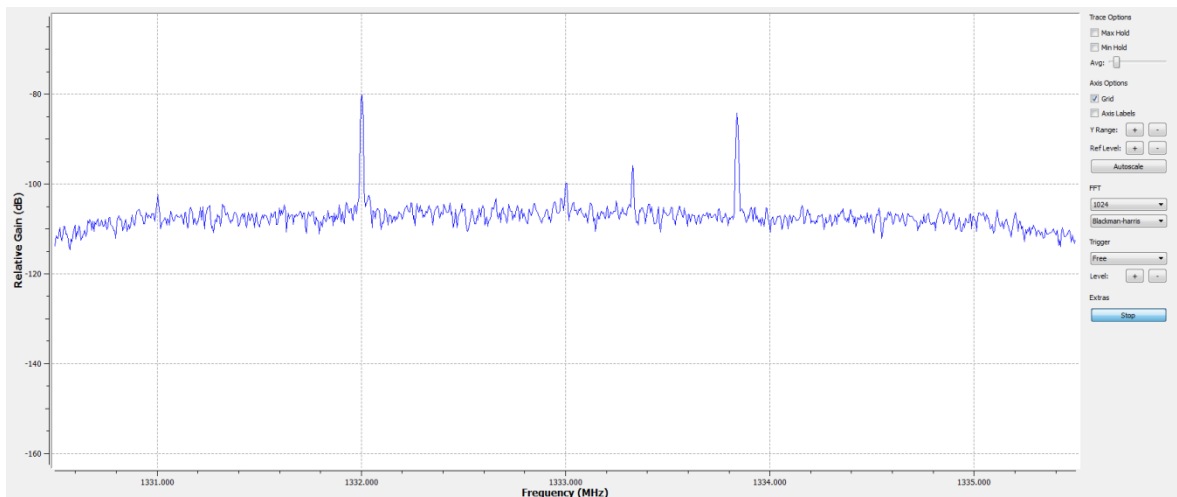


Obrázek 9: Set sond RS HZ-15 (ilustrační foto)

3.2.3 Software použitý při měření

GNU Radio 3.7

- aplikace USRP Spectrum Search (FFT)
- Open Source Toolkit
- software vyvíjen pod volně šiřitelnou licencí GNU
- komunitně vytvářený software
- Měřicí rozsah: 62.5MHz - 2 GHz
- vytvořeno programovacími jazyky Python a C++
- základní program slouží jako Softwarově definované rádio (což je rádiový systém, jehož část zpracovávající signál je tvořena softwarově programovatelnými bloky; je možné pak vytvořit více typů zařízení s jinými rozsahy, protokoly a parametry)



Obrázek 10: Náhled na prostředí programu GNU Radio

3.3 Měření objekt

Notebook Packard Bell EasyNote TE11HC

Konfigurace:

- Procesor: Intel Pentium B970 (2.3GHz)
- Paměť: 2 x 4 GB RAM DDR3 1333 MHz
- Grafická karta: NVIDIA GeForce GT 620M 625 MHz
 - Integrovaná grafická karta Intel HD Graphic 650 – 1150 MHz
- Pevný disk: 750 GB
- Operační systém: Windows 7 Profesional (EN)



Obrázek 11: Měřené zařízení - notebook

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 MĚŘENÍ

4.1 Místa pro měření na zařízení



Obrázek 12: Označená místa pro měření na zařízení

- 1 – sběrnice vedoucí do displeje
- 2 – levý reproduktor
- 3 – sběrnice vedoucí k mikrofону
- 4 – pravý reproduktor
- 5 – sběrnice pro klávesnici (spojení se základní deskou a konektorem)
- 6 – sběrnice touchpadu (spojení se základní deskou a konektorem)
- 7 – sběrnice pro USB porty

8 – Central Procesor Unit (CPU)

9 – Graphical Procesor Unit (GPU)

10 – paměti RAM

11 – chladič

4.1.1 Výběr měřených případů

Sběrnice vedoucí do displeje zařízení je dvojitě stíněná, tudíž nemá smysl se o měření vyzařovaných hodnot ani pokoušet.

Veškeré akustické frekvence, které jsou přenášeny v zařízení, jsou mimo měřicí rozsah dostupných zařízení. Což je taktéž vyřazuje z měřeného souboru.

Sběrnice touchpadu a klávesnice pracují na frekvenci 100 MHz. Bohužel ale neovlivní procesorovou jednotku a datový přenos je velmi nízký až skoro nulový.

Chladič, přesněji větrák je zdroj interference, takže nemá smysl interferenci v jeho okolí měřit.

Část centrální procesorové jednotky starající se o výpočetní část je frekvenčně nad možností naší měřicí soupravy.

Grafický procesorový čip, zvláště dedikovaný pro grafické výpočty má frekvenci zapadající do měřicího rozsahu soupravy.

Operační paměť RAM zajišťující přenos dat z disků do procesoru a nazpět jsou frekvenčně v oblasti měřicího rozsahu. Proto budeme na nich provádět měření vyzařování.

USB sběrnice komunikující s externími úložišti, tak jako s disky, procesorovou jednotkou a operační pamětí (RAM). Přenos dat mezi těmihle částmi zařízení se do našeho měření hodí.

4.2 Měření na RAM

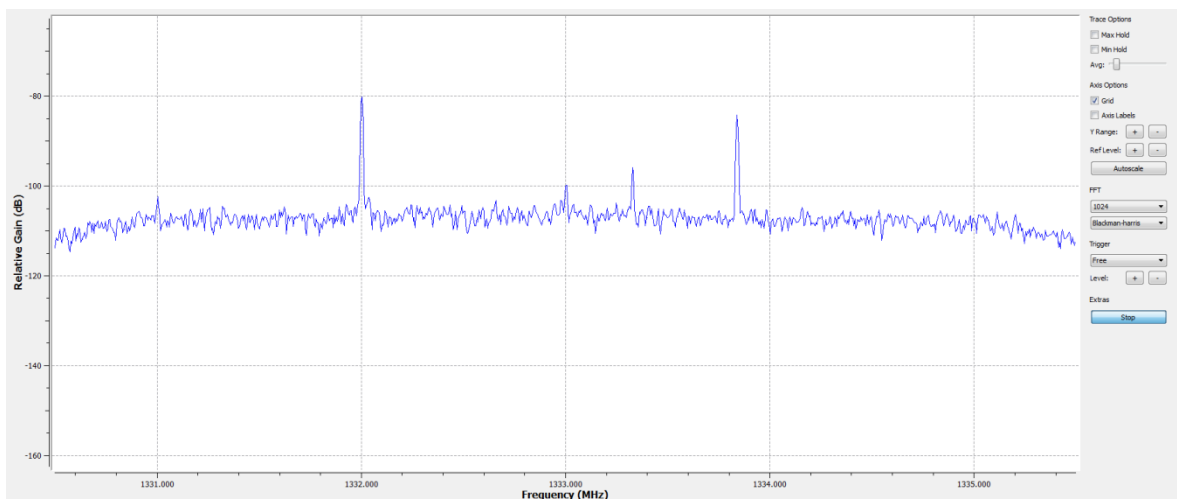
4.2.1 Měření naprázdno

Měření bez přiložení sondy k měřenému objektu. Zjišťování interference okolí pro odlišení od naměřených výsledků.

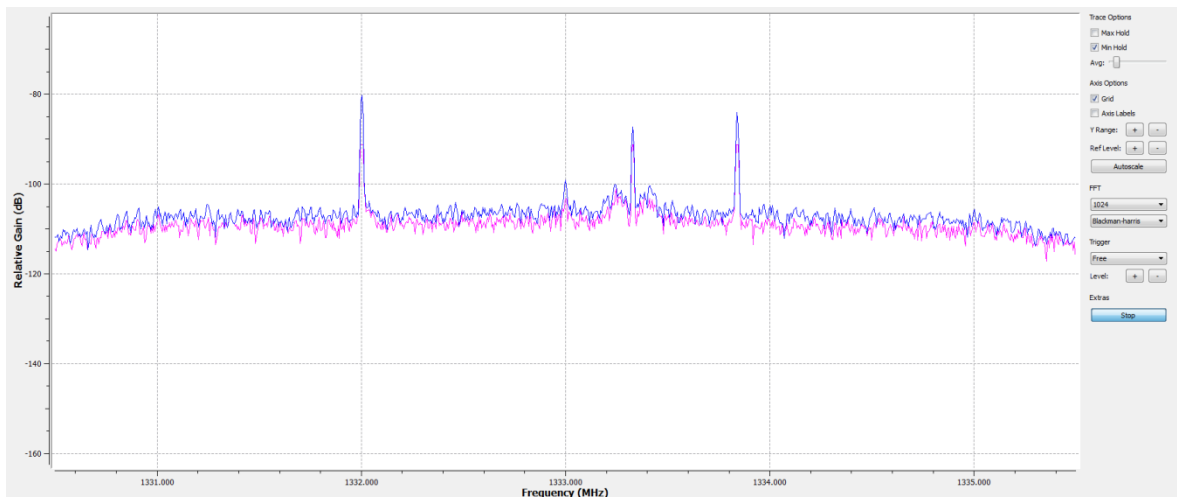
Postup

1. Zapnutí měřicí aparatury
2. Nastavení rozsahu pro frekvenci RAM (1333 MHz)
3. Odečtení výsledků z displeje

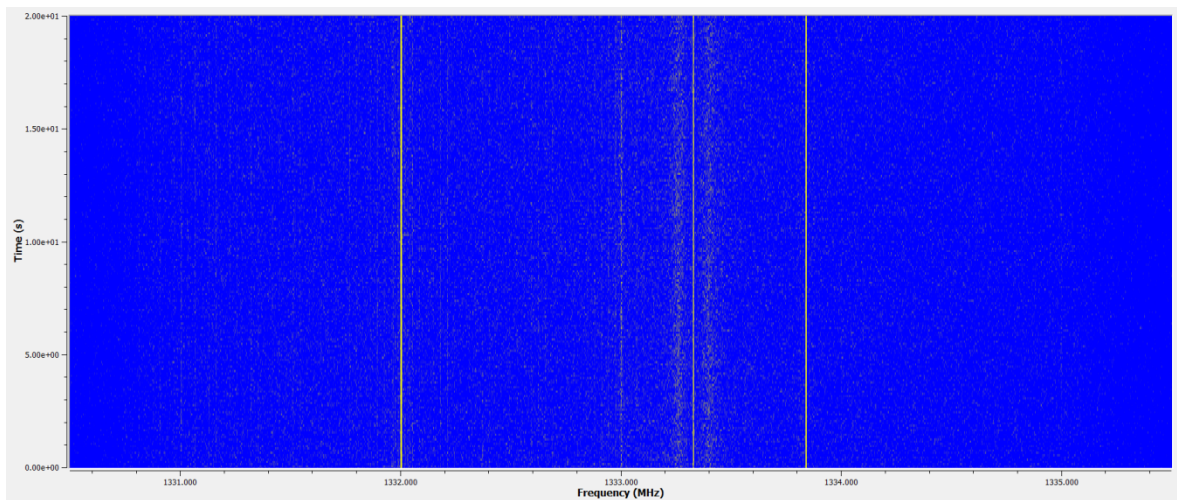
Výsledky



Obrázek 13: Spektrogram měření na RAM - měření na prázdko



Obrázek 14: Spektrogram měření na RAM - měření na prázdko (lokální minimum)



Obrázek 15: Waterfall diagram měření na RAM - měření na prázdko

4.2.2 Měření nezatíženého zařízení

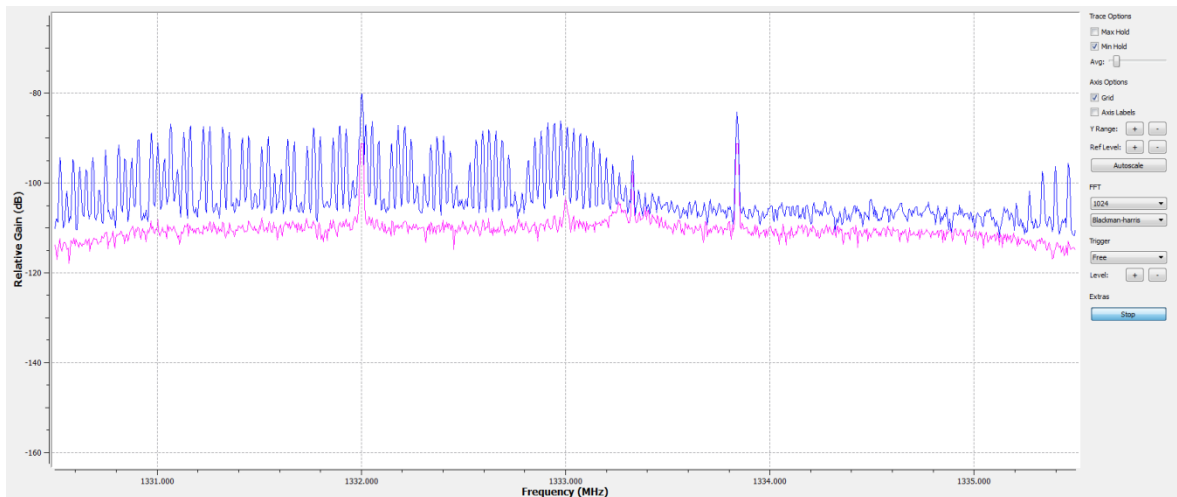
Měření při pouze zapnutém zařízení bez provádění nějakých úkonů. Odlišení interference zapnutého měřeného objektu pro porovnání závislosti.

Postup

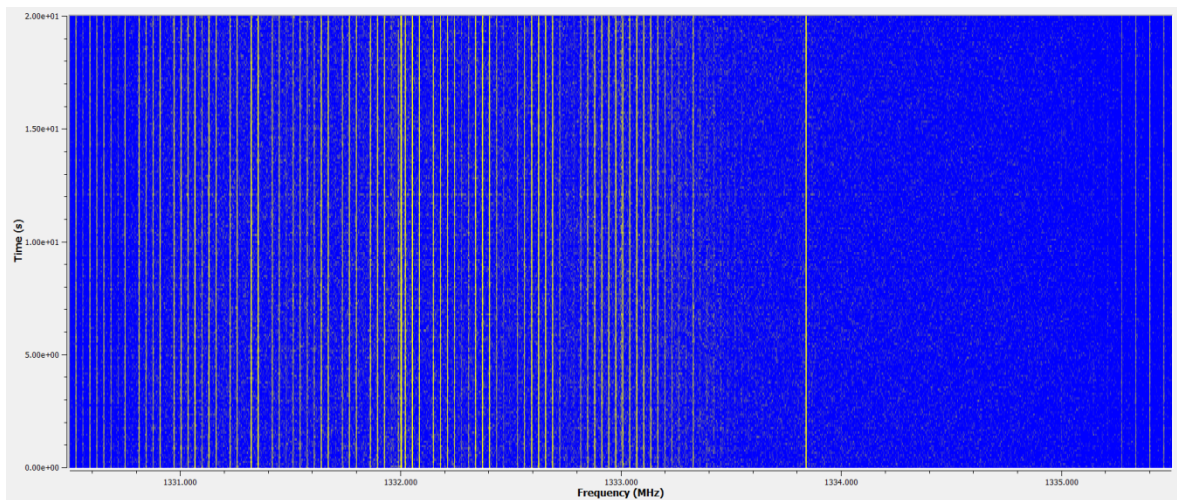
1. Zapnutí měřicí aparatury
2. Nastavení měřicího rozsahu pro frekvenci RAM (1333 MHz)

3. Přiložení sondy na místo měření
4. Odečtení/uložení výsledků

Výsledky



Obrázek 16: Spektrogram měření na RAM - nezatížené (+lokální minimum)



Obrázek 17: Waterfall diagram měření na RAM - nezatížené

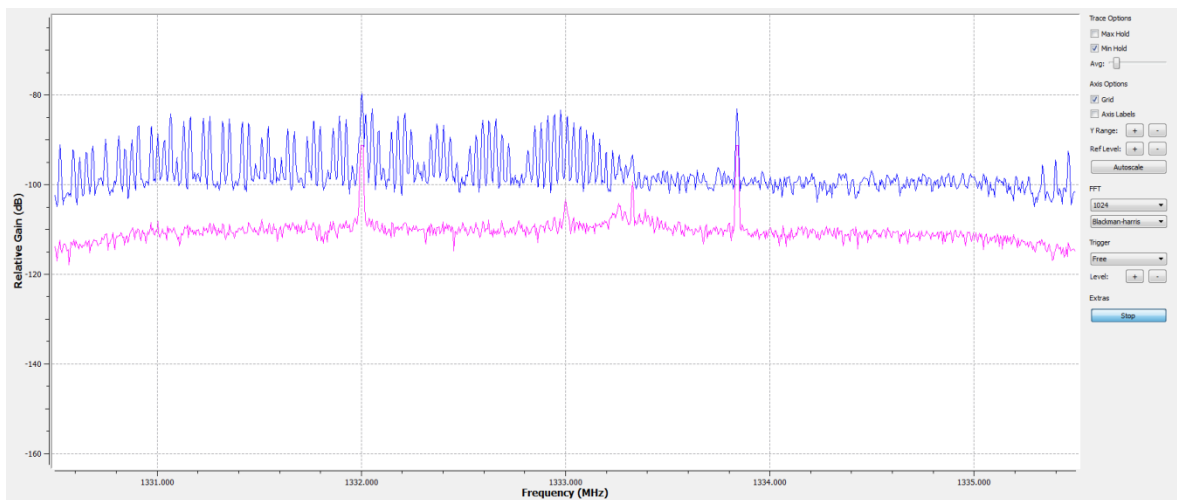
4.2.3 Měření zatíženého zařízení

Měření na zařízení při vykonávání činnosti.

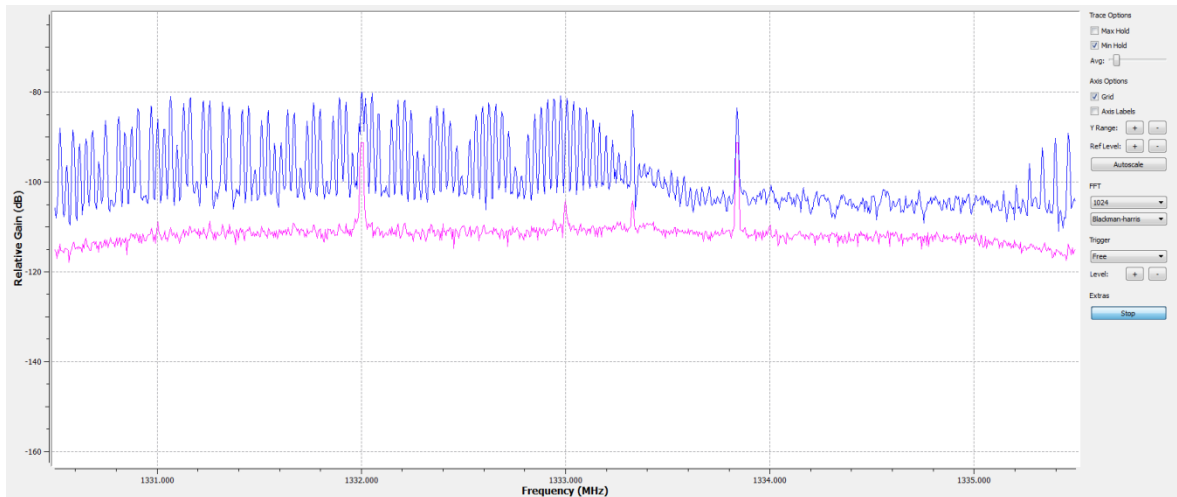
Postup

1. Zapnutí měřicí aparatury
2. Nastavení měřícího rozsahu pro frekvenci RAM (1333 MHz)
3. Přiložení sondy na místo měření
4. Spuštění procesu na zařízení (zatížení zařízení)
5. Využívání procesu
6. Ukončení procesu na zařízení
7. Odečtení (uložení) výsledků

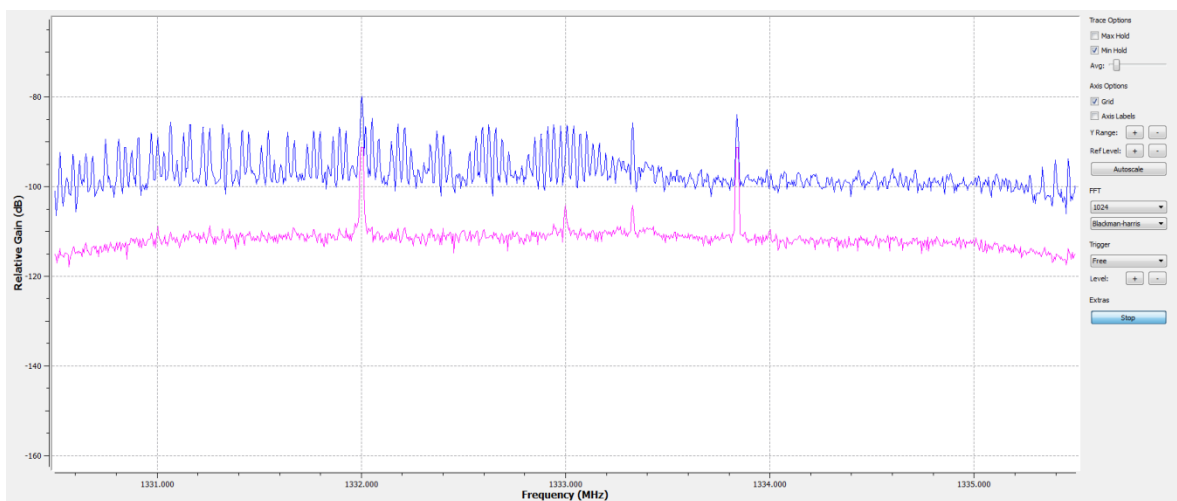
Výsledky:



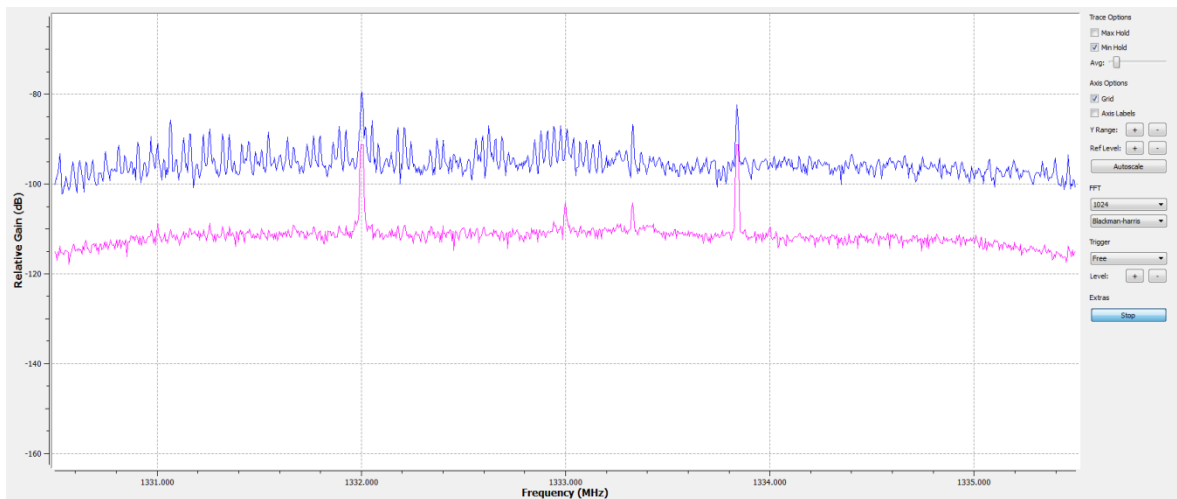
Obrázek 18: Spektrogram měření na RAM - zatížené - spuštění procesu (+lokální minimum)



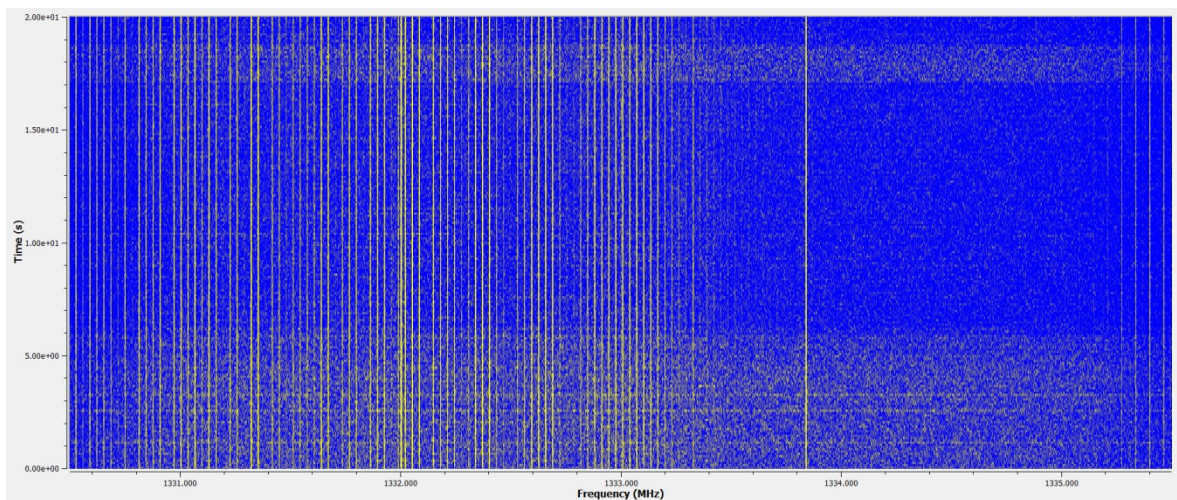
Obrázek 19: Spektrogram měření na RAM - zatížené - běžící proces (+lokální minimum)



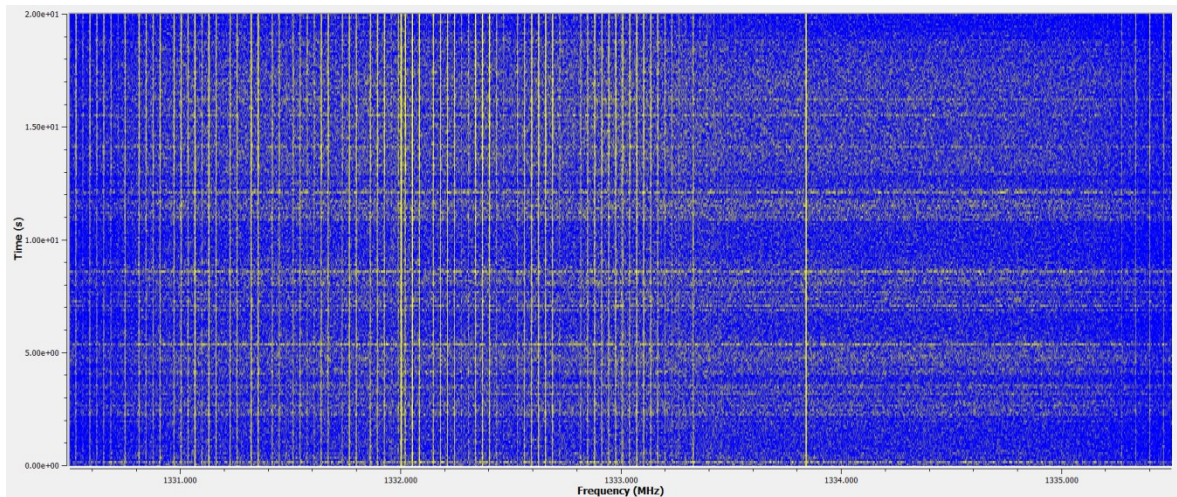
Obrázek 20: Spektrogram měření na RAM - zatížené - pozastavení procesu (+lokální minimum)



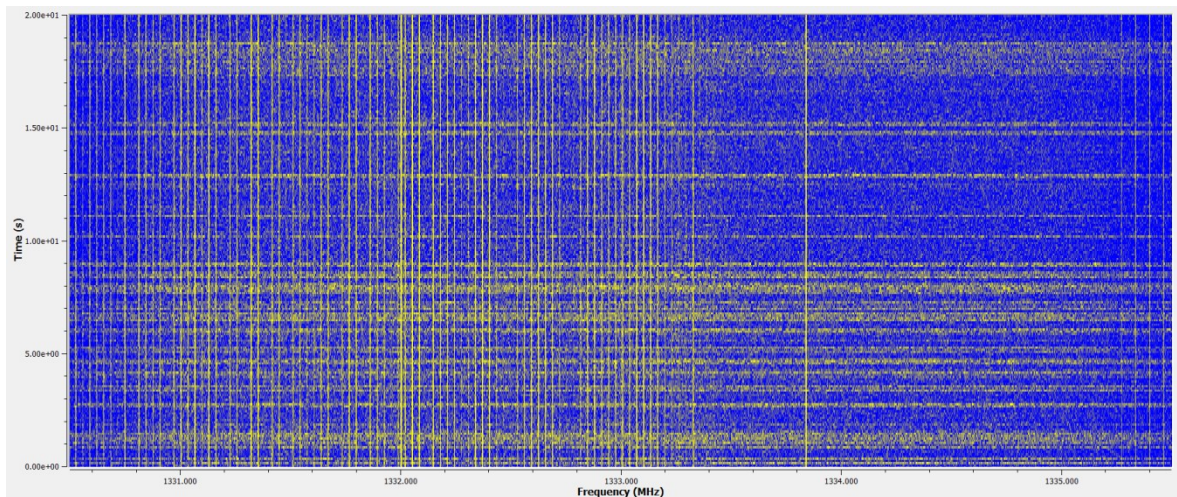
Obrázek 21: Spektrogram měření na RAM - zatížené - ukončení procesu (+lokální minimum)



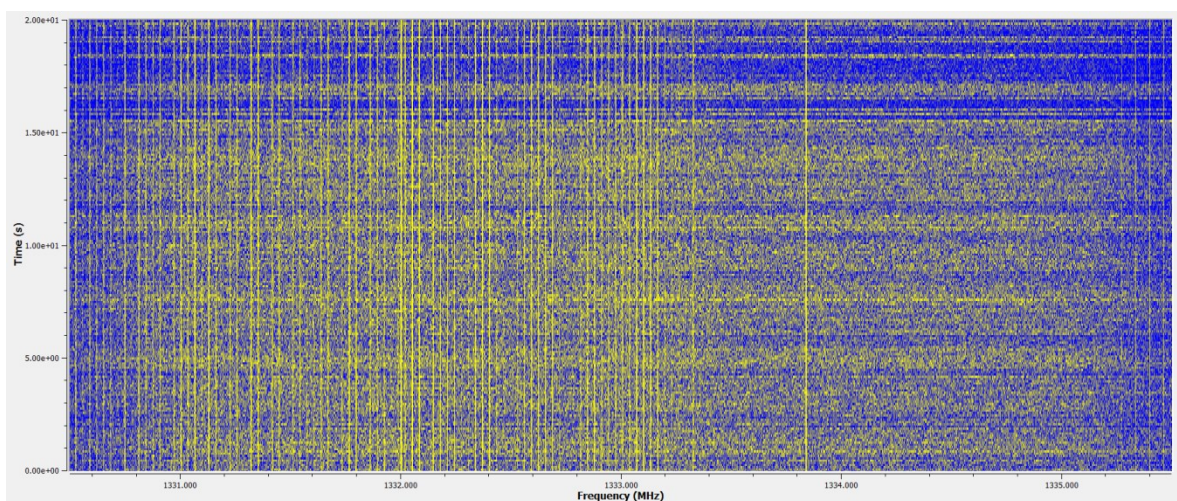
Obrázek 22: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - registrace procesu



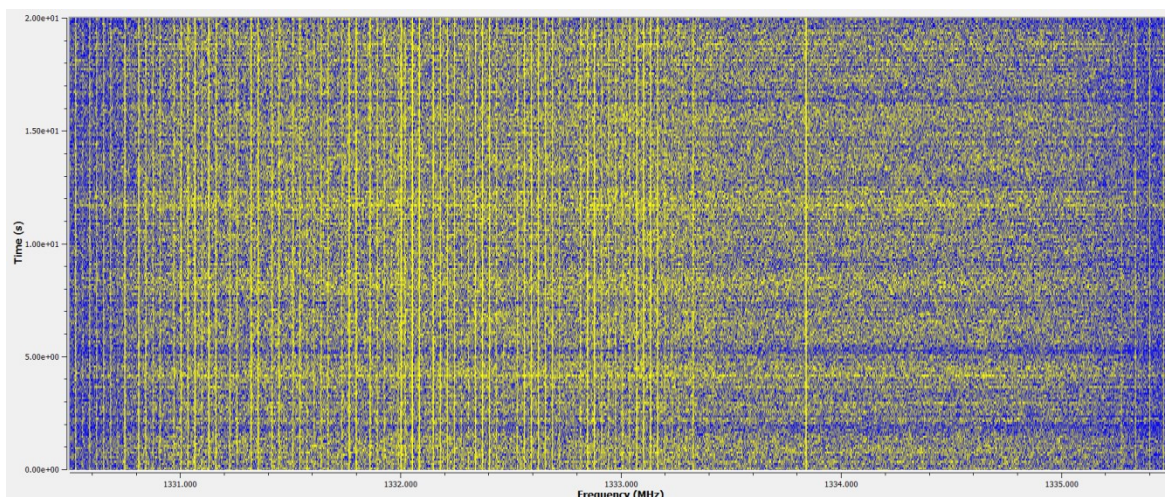
Obrázek 23: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - přiřazení prostředků



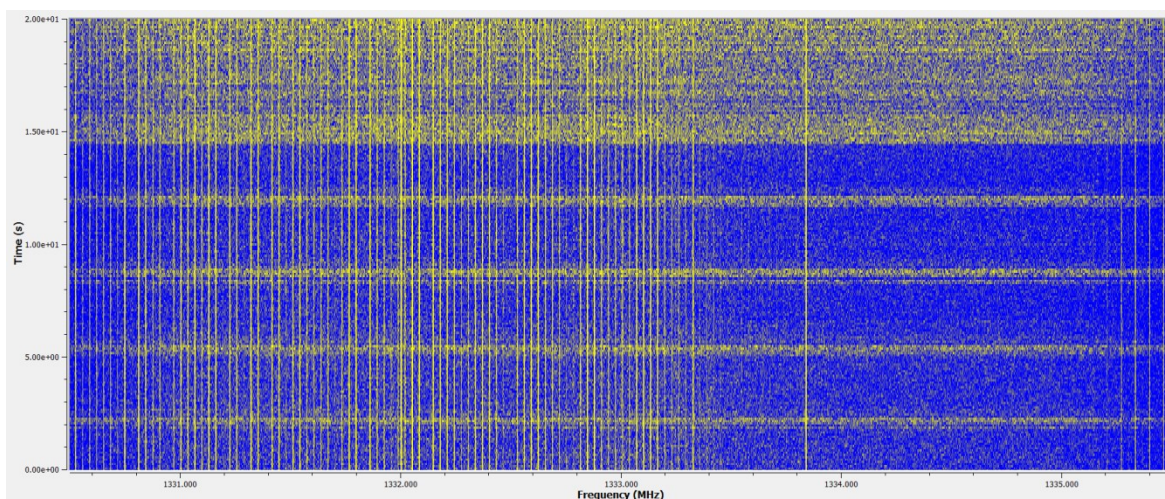
Obrázek 24: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - spuštění procesu



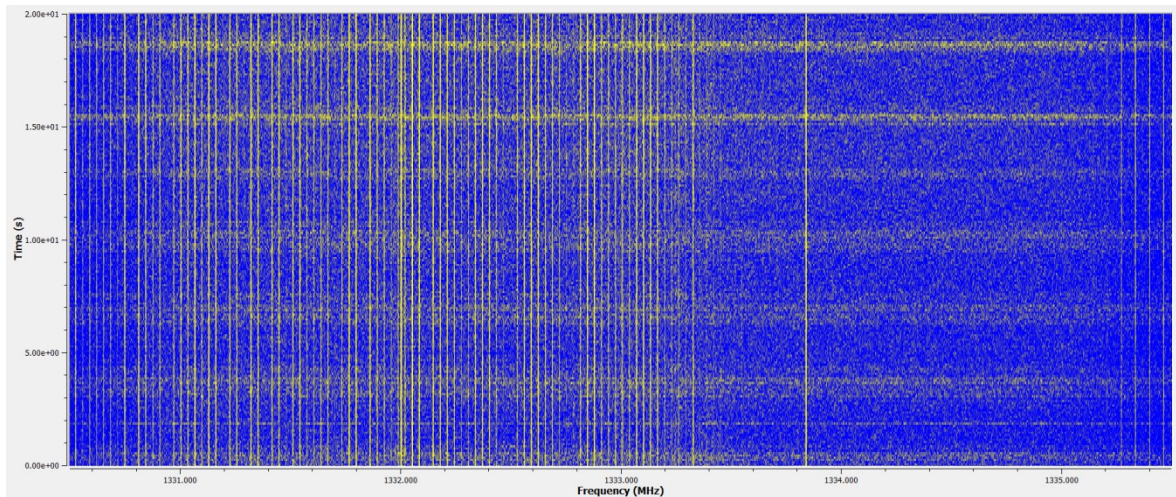
Obrázek 25: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - spuštěný proces



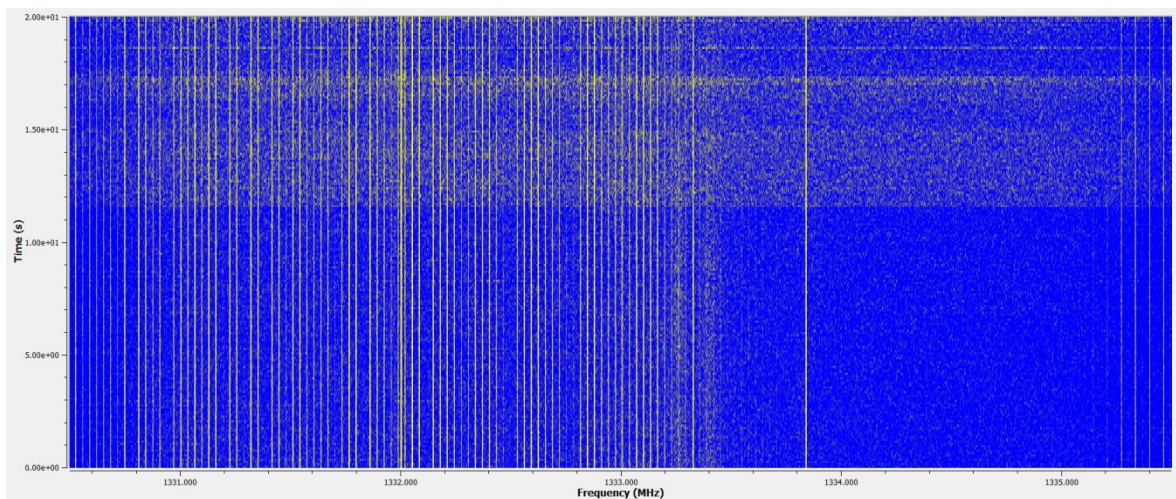
Obrázek 26: waterfall diagram měření na RAM - zatížené - běžící 100% aktivní proces



Obrázek 27: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - udržování procesu aktivní



Obrázek 28: waterfall diagram měření na RAM - zatížené - udržování suspended procesu



Obrázek 29: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - ukončení procesu

4.3 Měření na USB sběrnici

4.3.1 Měření naprázdno

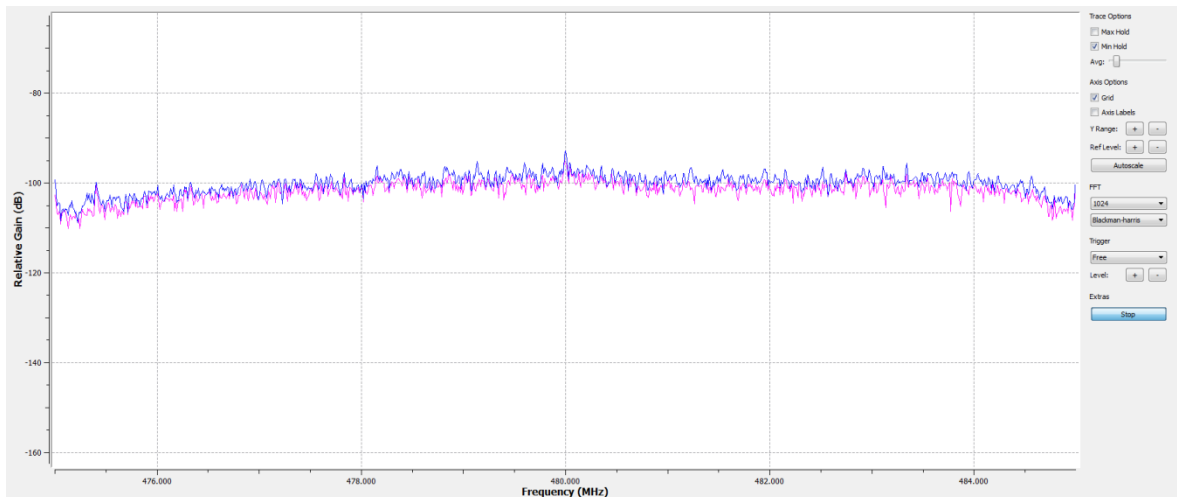
Měření bez přiložení sondy k měřenému objektu. Zjišťování interference okolí pro odlišení od naměřených výsledků.

Postup

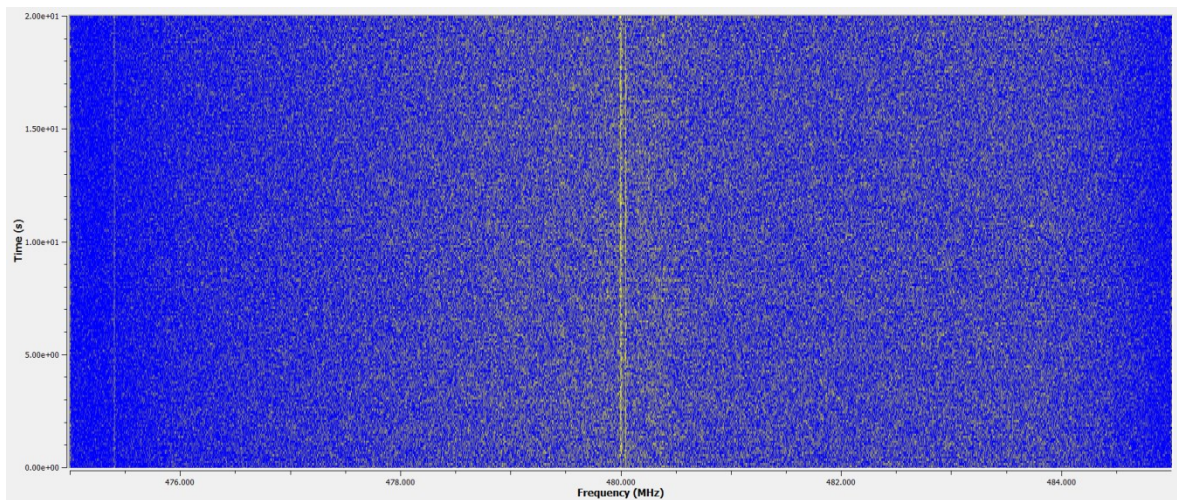
1. Zapnutí měřicí aparatury

2. Nastavení rozsahu pro frekvenci USB sítě (480 MHz)
3. Odečtení výsledků z displeje

Výsledky



Obrázek 30: Spektrogram měření na USB - měření na prázdno (lokální minimum)



Obrázek 31: Waterfall diagram měření na USB - měření na prázdno

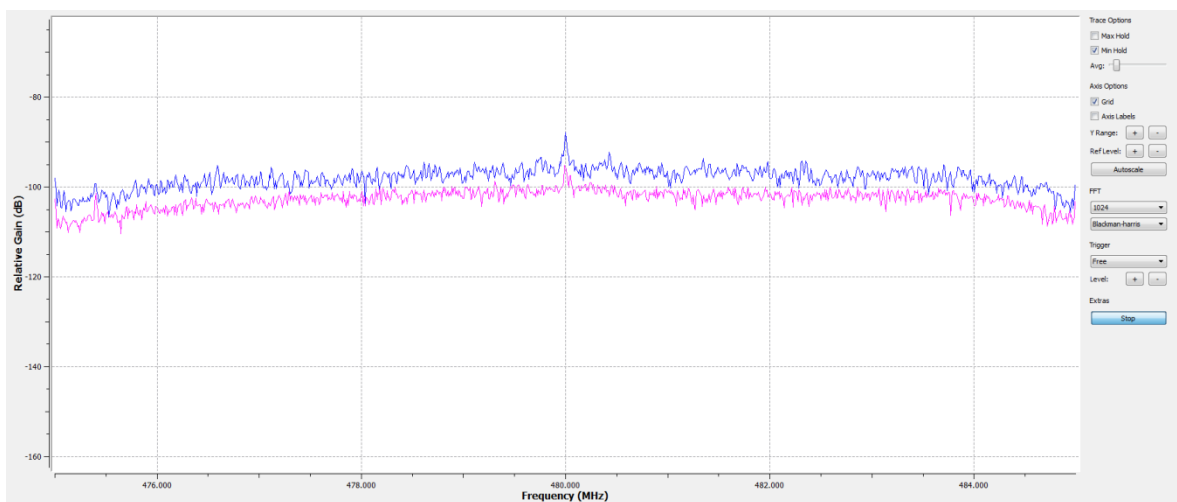
4.3.2 Měření nezatíženého zařízení

Měření při pouze zapnutém zařízení bez provádění nějakých úkonů. Odlišení interference zapnutého měřeného objektu pro porovnání závislosti.

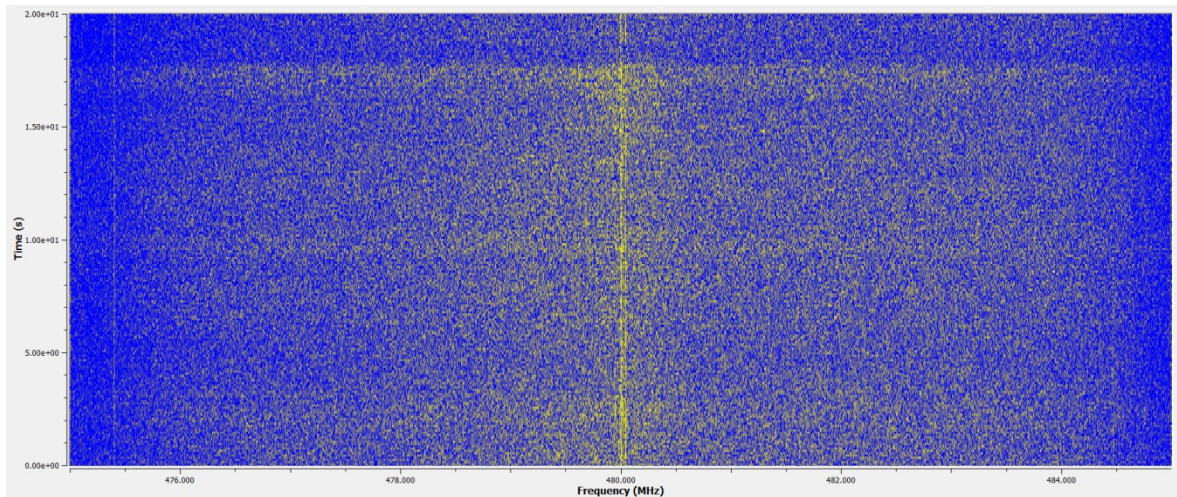
Postup

1. Zapnutí měřící aparatury
2. Nastavení rozsahu pro frekvenci USB sítě (480 MHz)
3. Přiložení sondy na místo měření
4. Odečtení/uložení výsledků

Výsledky



Obrázek 32: Spektrogram měření na USB - nezatížené (+lokální minimim)



Obrázek 33: Waterfall diagram měření na USB - nezatížené

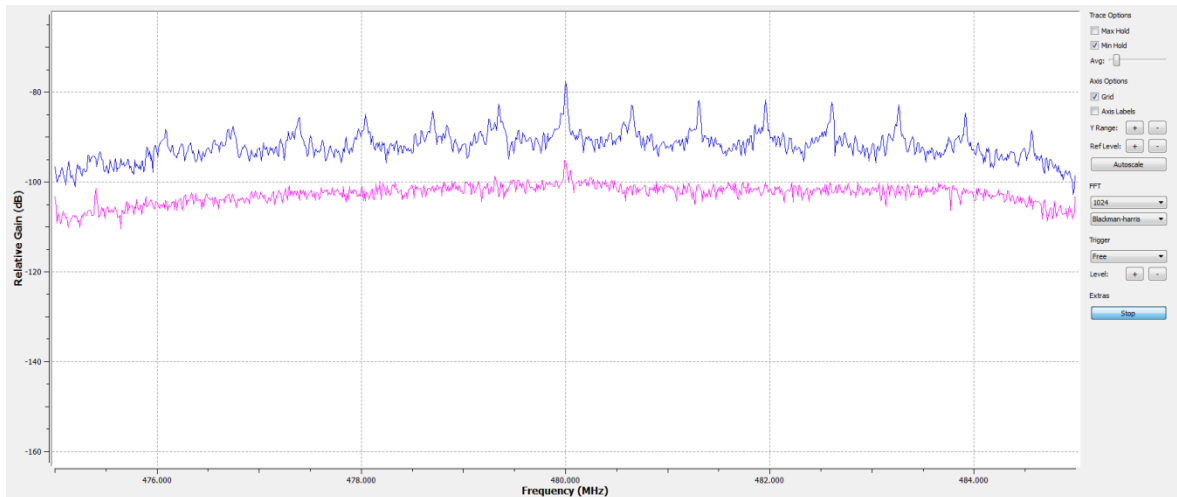
4.3.3 Měření zatíženého zařízení

Měření na zařízení při vykonávání činnosti.

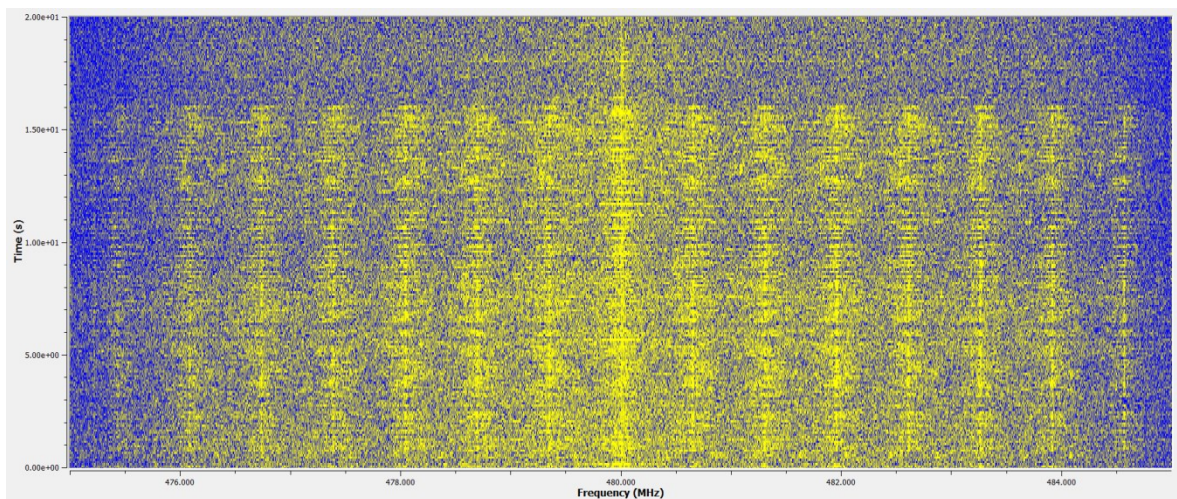
Postup

1. Zapnutí měřicí aparatury
2. Nastavení rozsahu pro frekvenci USB sběrnice (480 MHz)
3. Přiložení sondy na místo měření
4. Spuštění procesu kopírování souborů z disku na USB flash disk (zatížení zařízení)
5. Zrušení procesu kopírování
6. Smazání souborů z flash disku
7. Odpojování USB flash disku
8. Odečtení (uložení) výsledků

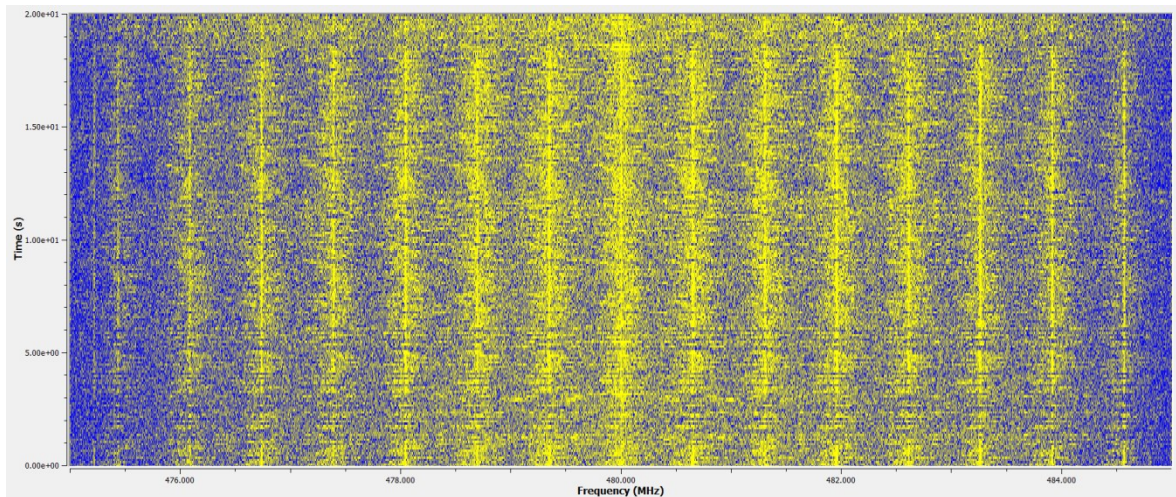
Výsledky:



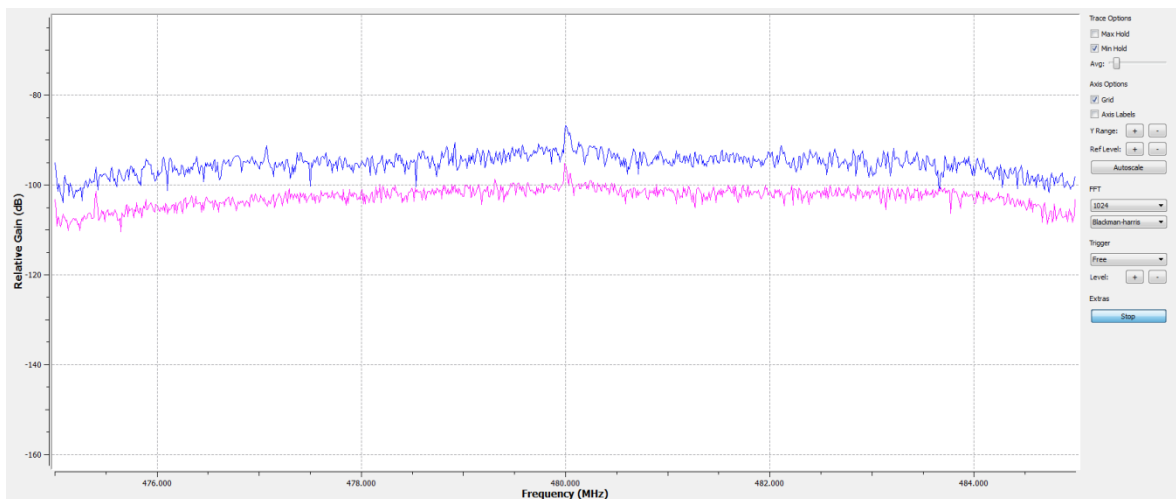
Obrázek 34: Spektrogram měření na USB - zatížené - kopírováním (+lokální minimum)



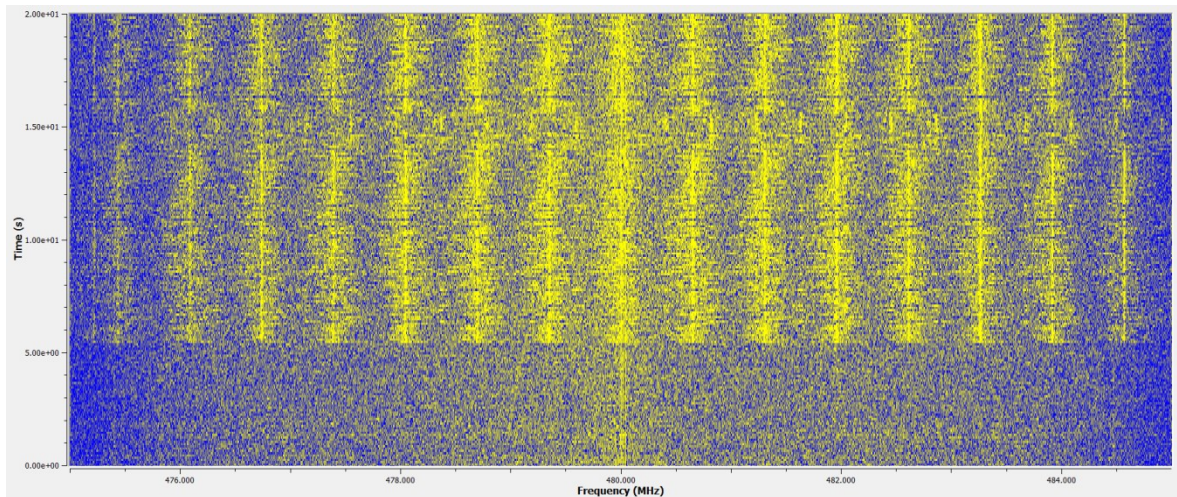
Obrázek 35: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - kopírováním start



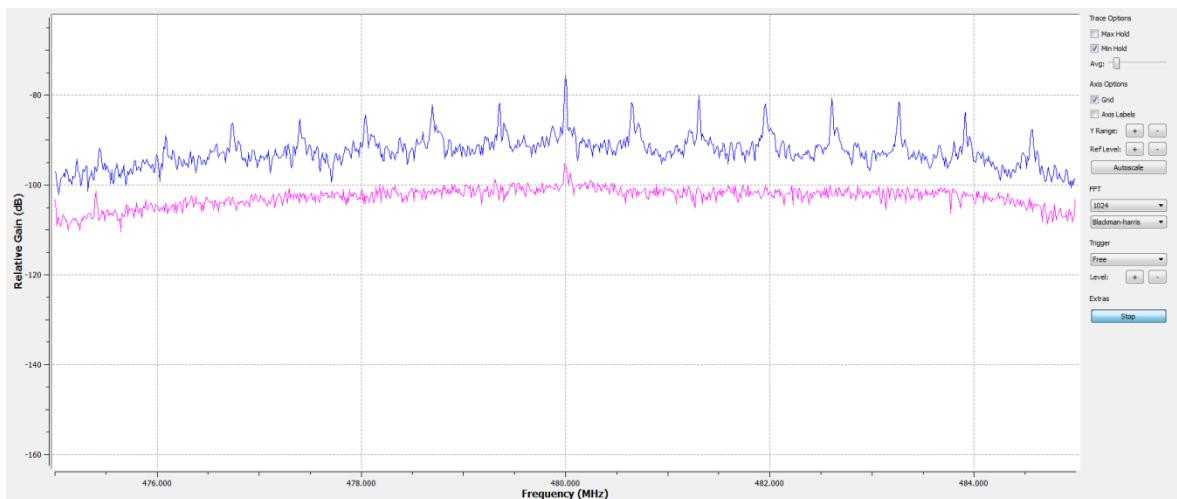
Obrázek 36: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - kopírováním průběh



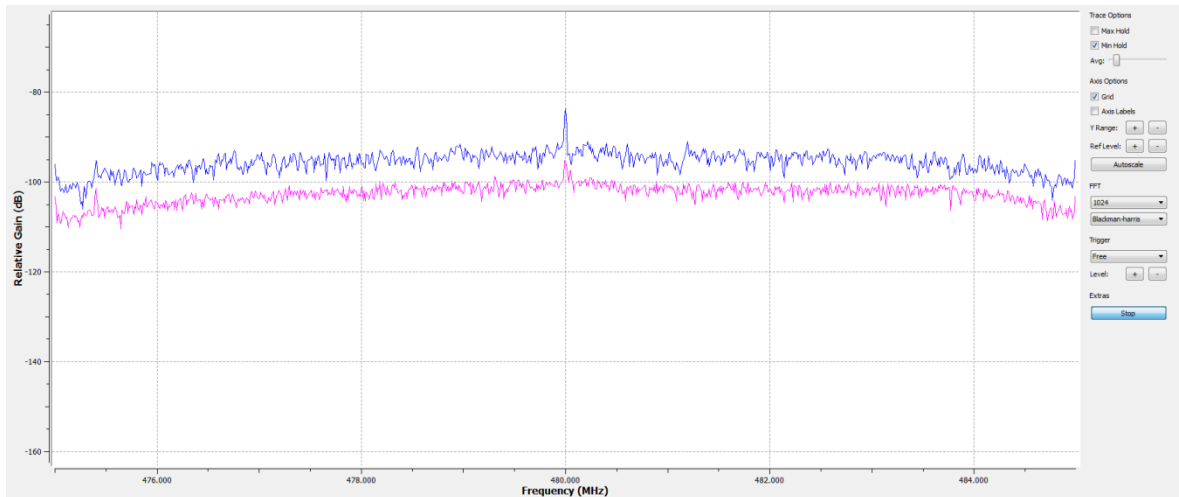
Obrázek 37: Spektrogram měření na USB - zatížené - přerušení kopírování (+lokální minimum)



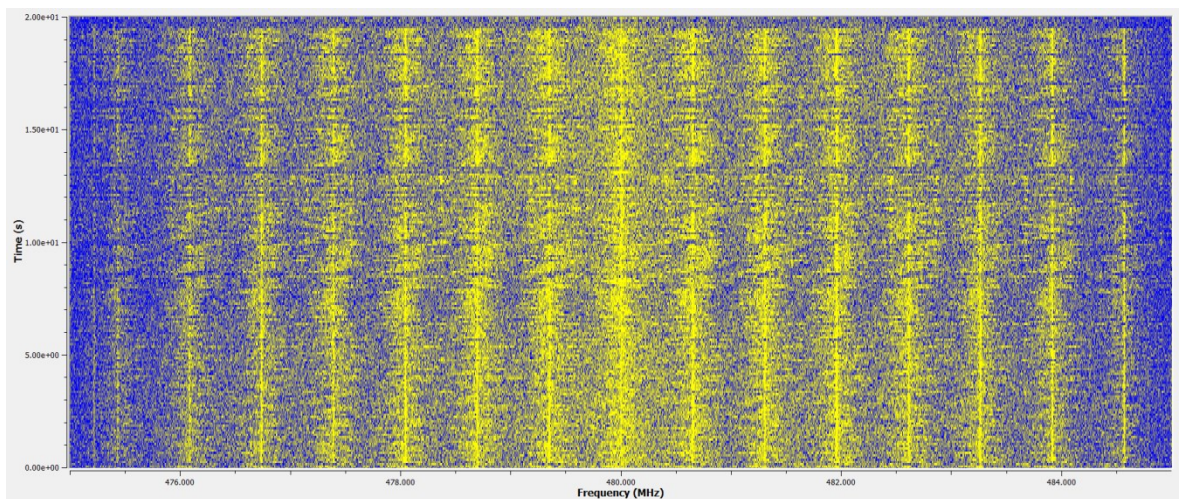
Obrázek 38: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - přerušení kopírování



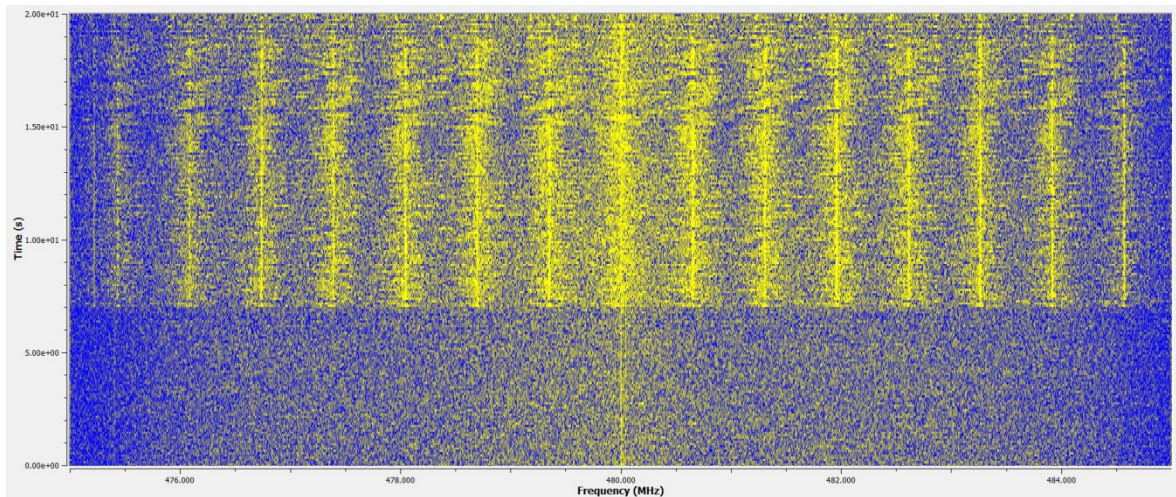
Obrázek 39: Spektrogram měření na USB - zatížené - mazání dat (+lokální minimum)



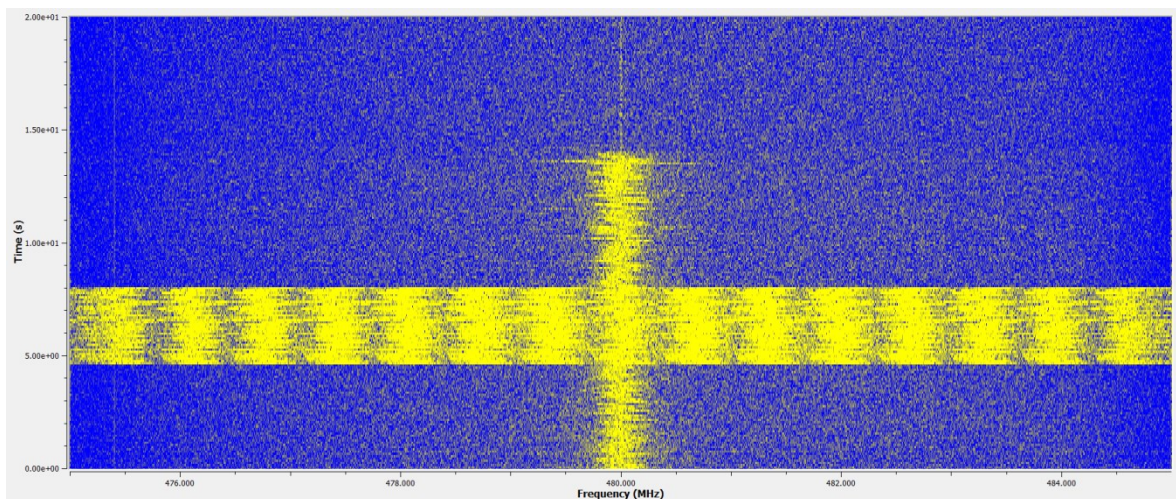
Obrázek 40: Spektrogram měření na USB - zatížené - mazání dat konec (+lokální minimum)



Obrázek 41: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - mazání dat



Obrázek 42: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - mazání dat - konec



Obrázek 43: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - bezpečné odpojení USB

4.4 Měření na GPU

4.4.1 Měření naprázdno

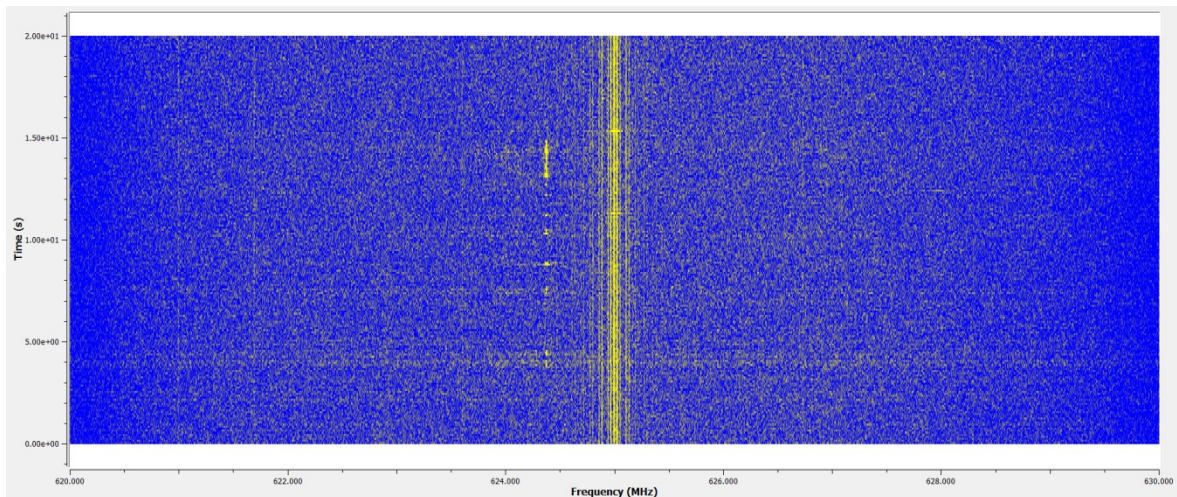
Měření bez přiložení sondy k měřenému objektu. Zjišťování interference okolí pro odlišení od naměřených výsledků.

Postup

1. Zapnutí měřicí aparatury

2. Nastavení rozsahu pro frekvenci GPU (625 MHz)
3. Odečtení výsledků z displeje

Výsledky



Obrázek 44: Waterfall diagram měření na GPU - měření na prázdno

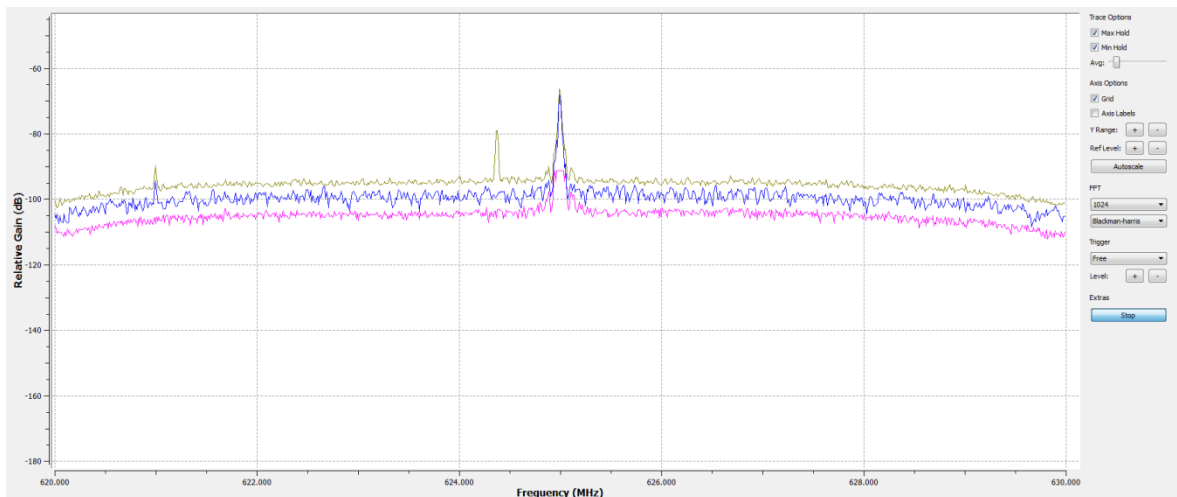
4.4.2 Měření nezatíženého zařízení

Měření při pouze zapnutém zařízení bez provádění nějakých úkonů. Odlišení interference zapnutého měřeného objektu pro porovnání závislosti.

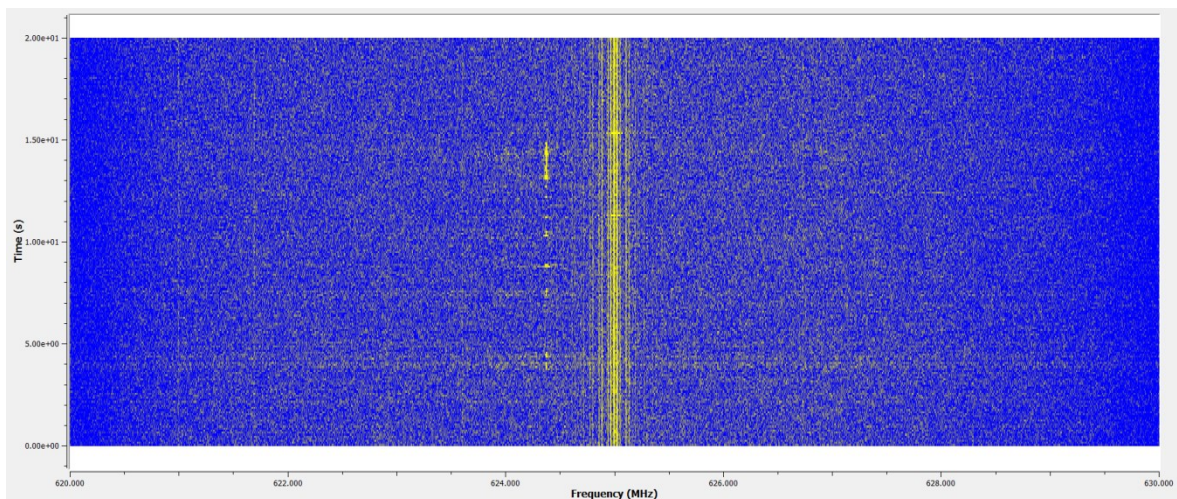
Postup

1. Zapnutí měřicí aparatury
2. Nastavení rozsahu pro frekvenci GPU (625 MHz)
3. Přiložení sondy na místo měření
4. Odečtení/uložení výsledků

Výsledky



Obrázek 45: Spektrogram měření na GPU - naprázdno, nezatížené, zatížená



Obrázek 46: Waterfall diagram měření na GPU - nezatížené

4.4.3 Měření zatíženého zařízení

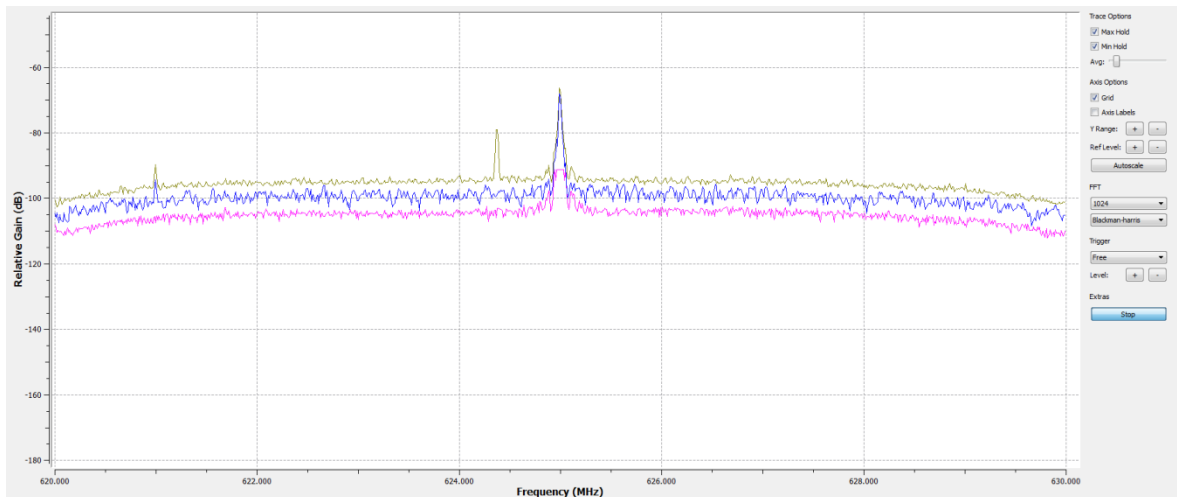
Měření na zařízení při vykonávání činnosti.

Postup

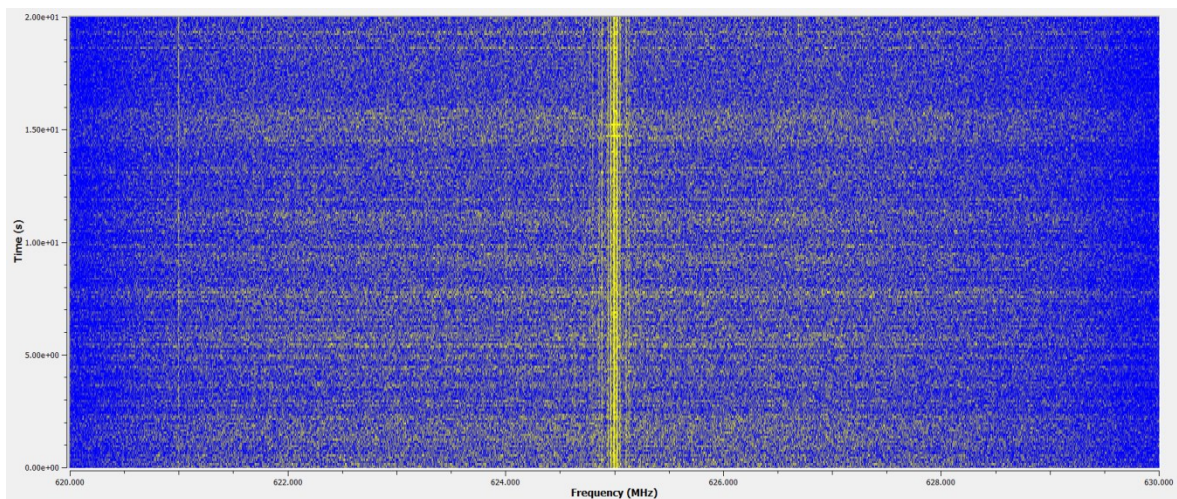
1. Zapnutí měřicí aparatury
2. Nastavení rozsahu pro frekvenci GPU (625 MHz)
3. Přiložení sondy na místo měření
4. spuštění procesu na zařízení (zatížení zařízení)

5. odečtení (uložení) výsledků
6. ukončení procesu na zařízení
7. odečtení (uložení) výsledků

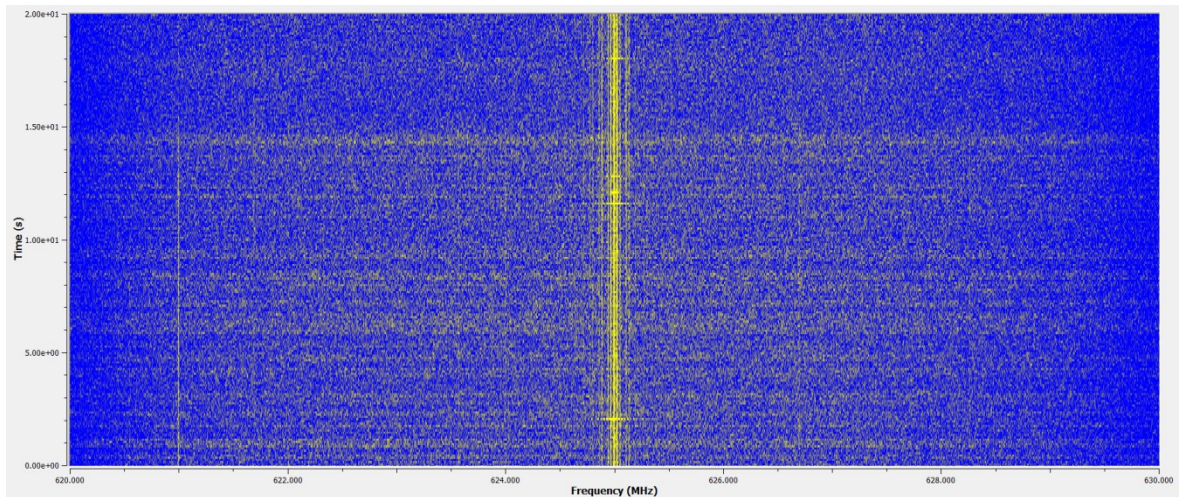
Výsledky:



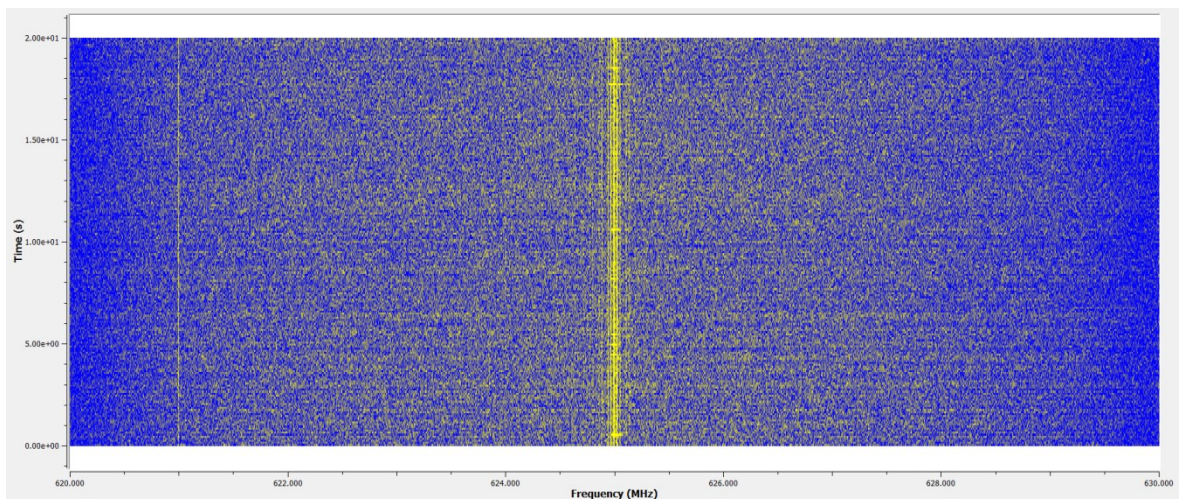
Obrázek 47: Spektrogram měření na GPU - naprázdno, nezatížené, zatížená



Obrázek 48: Waterfall diagram měření na GPU - zatížené - spouštění procesu



Obrázek 49: Waterfall diagram měření na GPU - zatížené - načítání grafiky



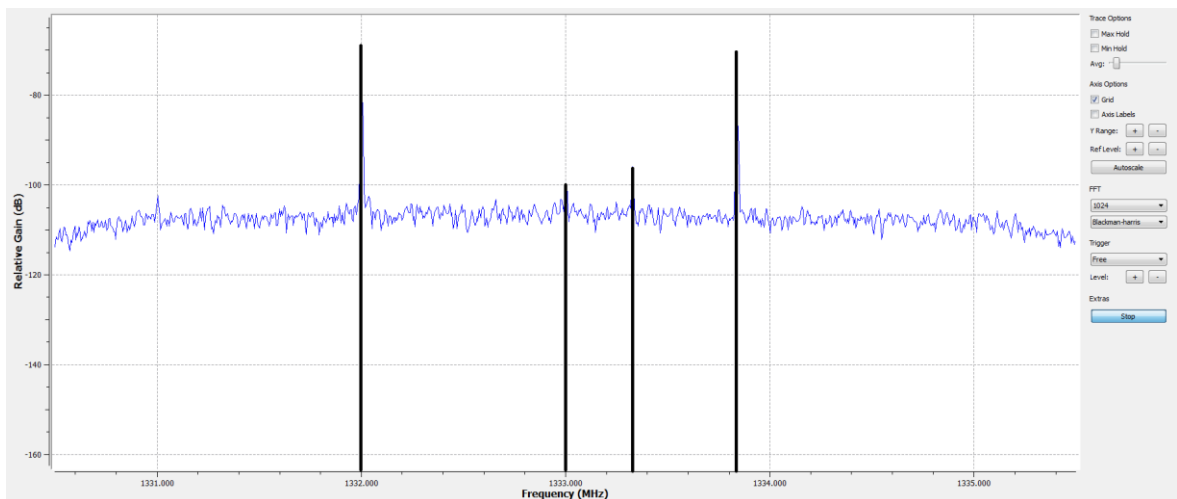
Obrázek 50: Waterfall diagram měření na GPU - zatížené - renderování scény

5 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

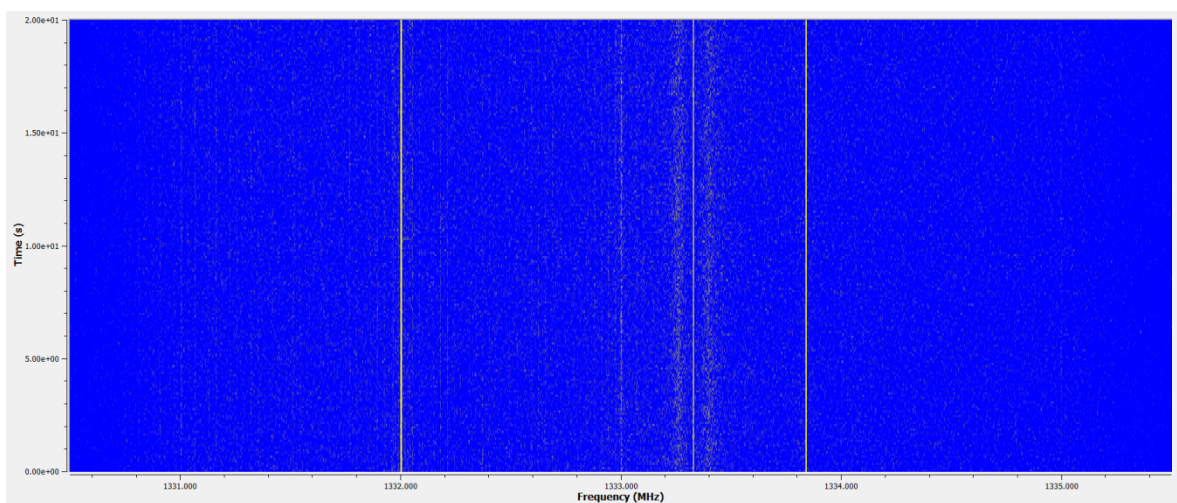
Z naměřených spektrogramů a waterfall spektrogramů a jejich jednotlivých částí vyvozujeme závěry.

5.1 Zpracování výsledků měření na RAM

V testu naprázdno vidíme 4 frekvence, které jsou signifikantní i bez měření zařízení. Jsou to frekvence 1332 MHz, 1333 MHz, 1333,4 MHz a 1333,8 MHz. To potvrzuje jak spektrogram i waterfall diagram. Jejich hodnoty se v čase moc nemění.

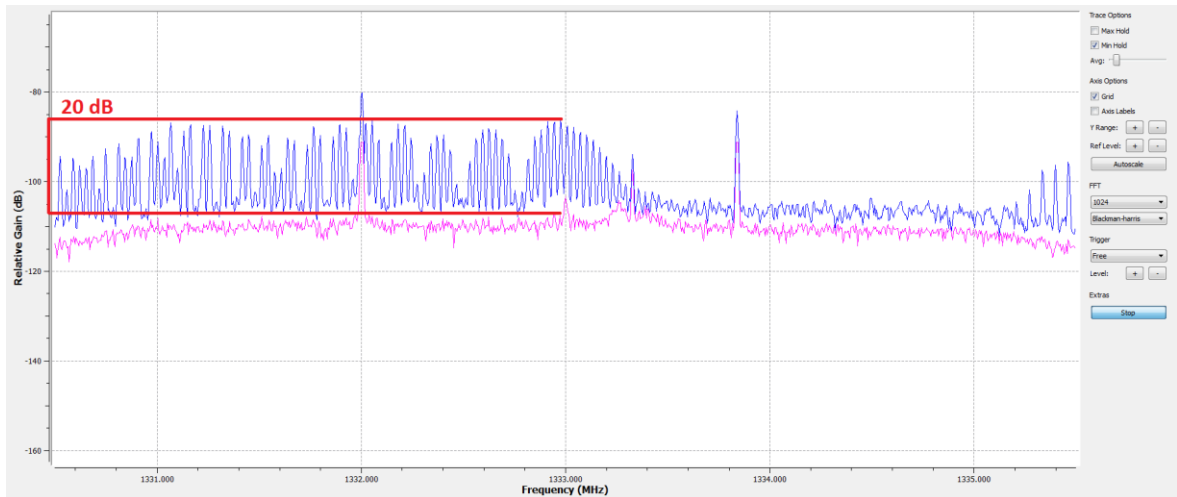


Obrázek 51: Spektrogram měření na RAM - naprázdno - 4 signifikantní frekvence



Obrázek 52: Waterfall diagram měření na RAM - naprázdno - 4 signifikantní frekvence

Po přiložení měřicí sondy k zapnutému zařízení se nám na spektrogramu objeví frekvence hlavně kolem hodnoty 1333 MHz a je její nižší harmonické. Celkový nárůst oproti normálnímu stavu, který je zobrazen fialovým grafem, je +20 dB (z hodnoty – 105 dB na hodnotu – 85 dB).

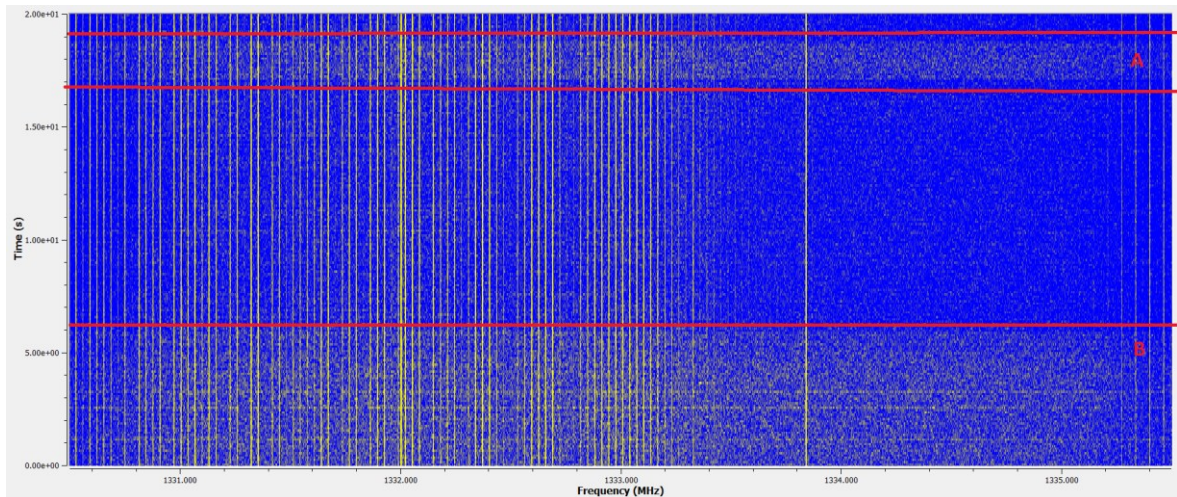


Obrázek 53: Spektrogram měření na RAM - rozdíl mezi nezatíženou a zatíženou

Zatížením operační paměti RAM procesem je na spektrogramech sotva postřehnutelné. Změna na spektrogramu je v řádu jednotek dB (až maximum +5 dB). Změna je z -85 dB na – 80 dB. Na waterfall diagramu je ale patrné změny, které v čase nastávají.

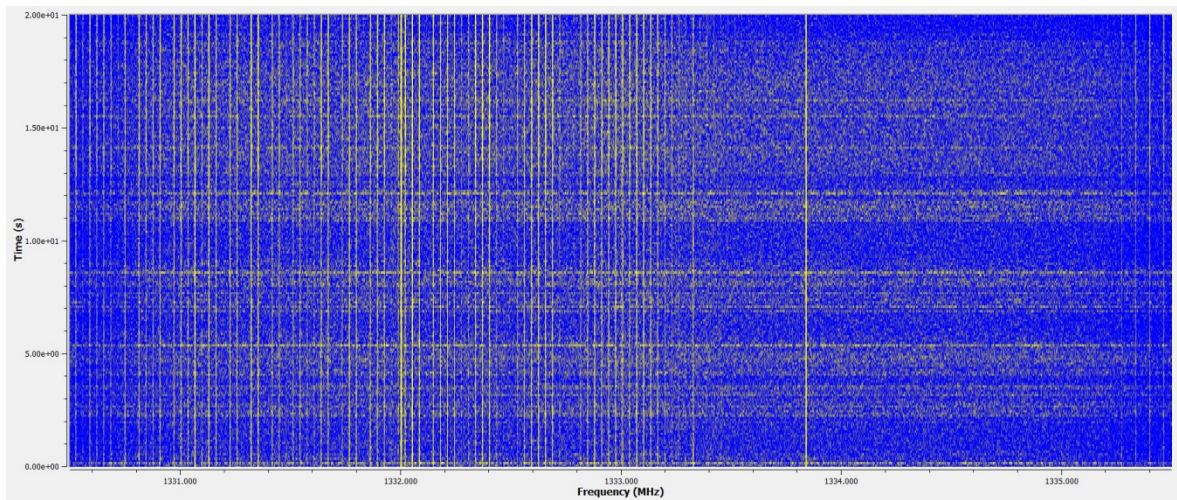
Registrování procesu. (A)

Přiřazování prostředků procesu. (B)



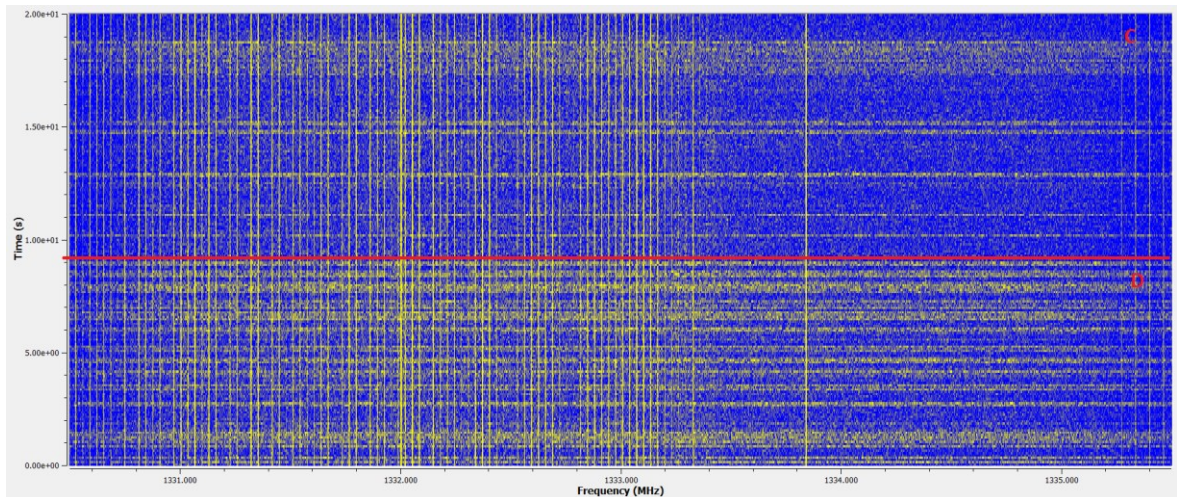
Obrázek 54: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - registrace procesu a přiřazení prostředků

Spouštění procesu. (C)

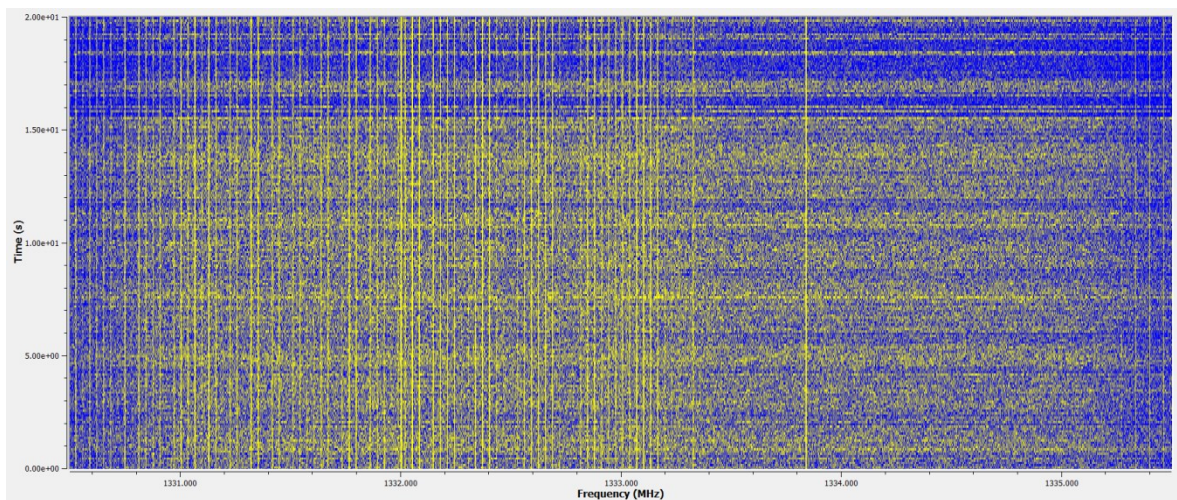


Obrázek 55: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - spouštění procesu

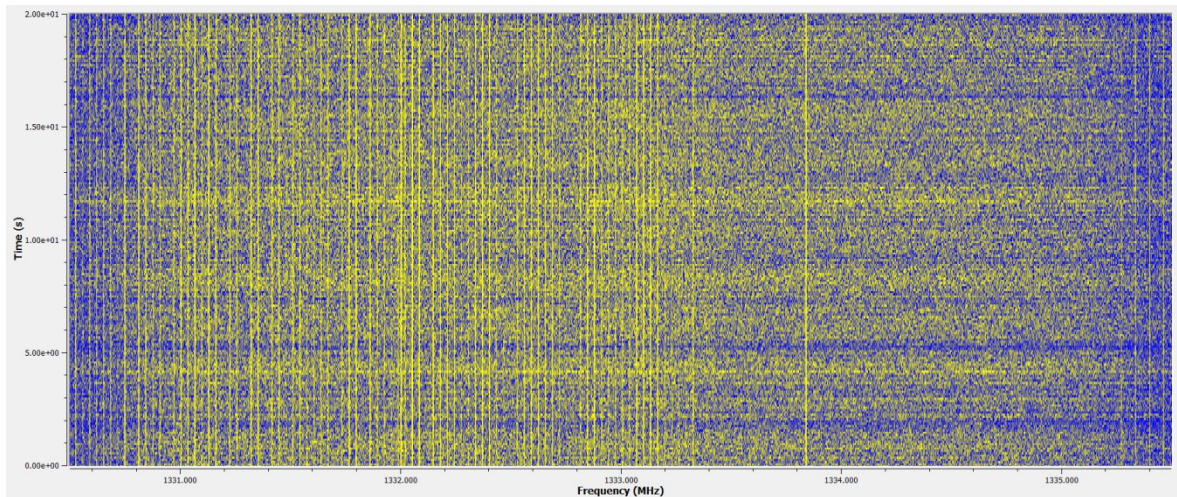
Běh procesu (D)



Obrázek 56: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - spuštění procesu/ začátek běhu procesu

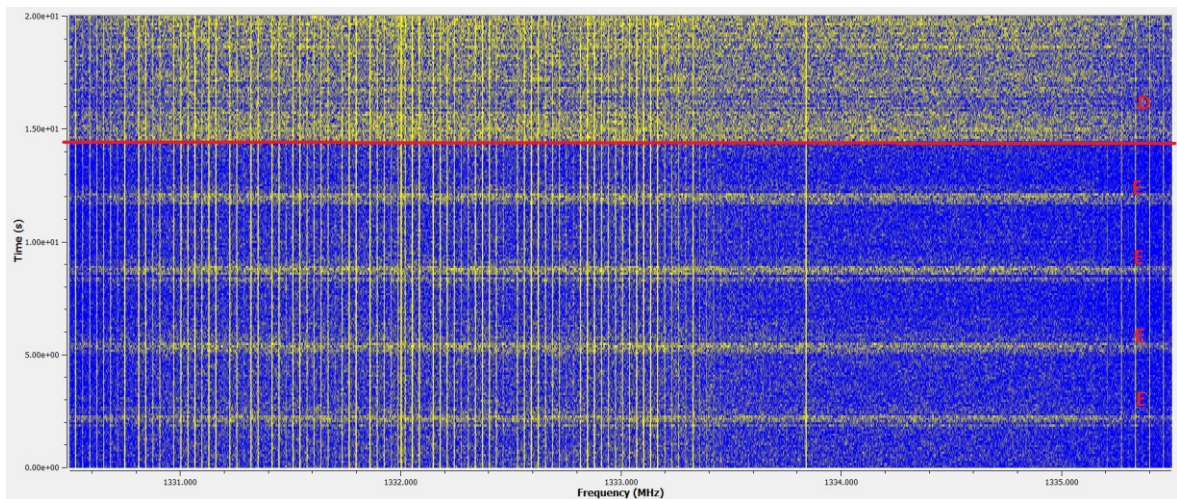


Obrázek 57: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - začátek běžícího procesu



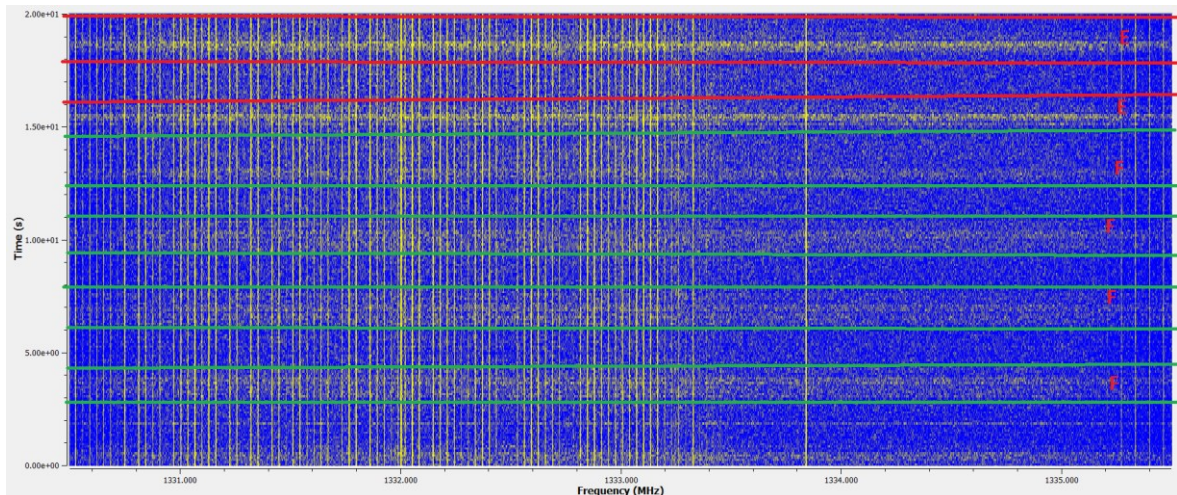
Obrázek 58: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - běžící proces

Udržování procesu – jeho částečné zastavení a spuštění (E)



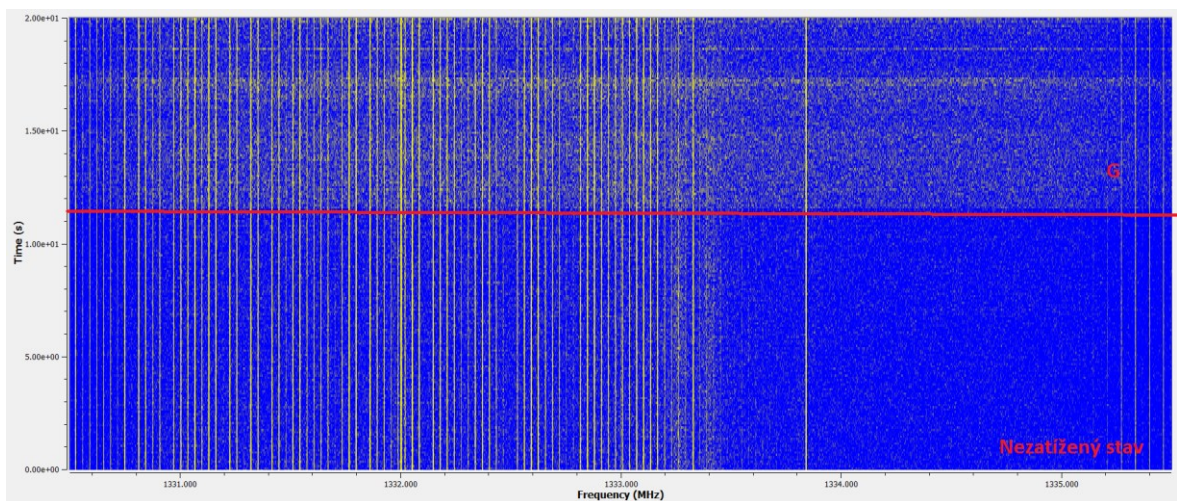
Obrázek 59: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - běžící proces/udržování procesu

Udržování procesu v paměti – proces je na pozadí a nepracuje se s ním (F)



Obrázek 60: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - udržování procesu běžící/pozastaveného

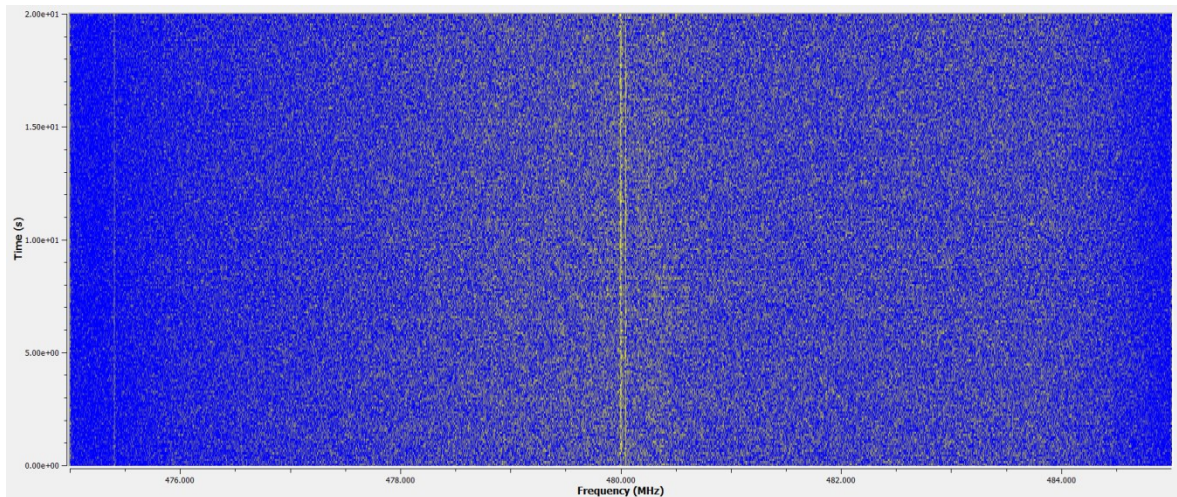
Ukončení procesu (G)



Obrázek 61: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - konec procesu/nezatížený stav

5.2 Zpracování výsledků měření na USB sběrnici

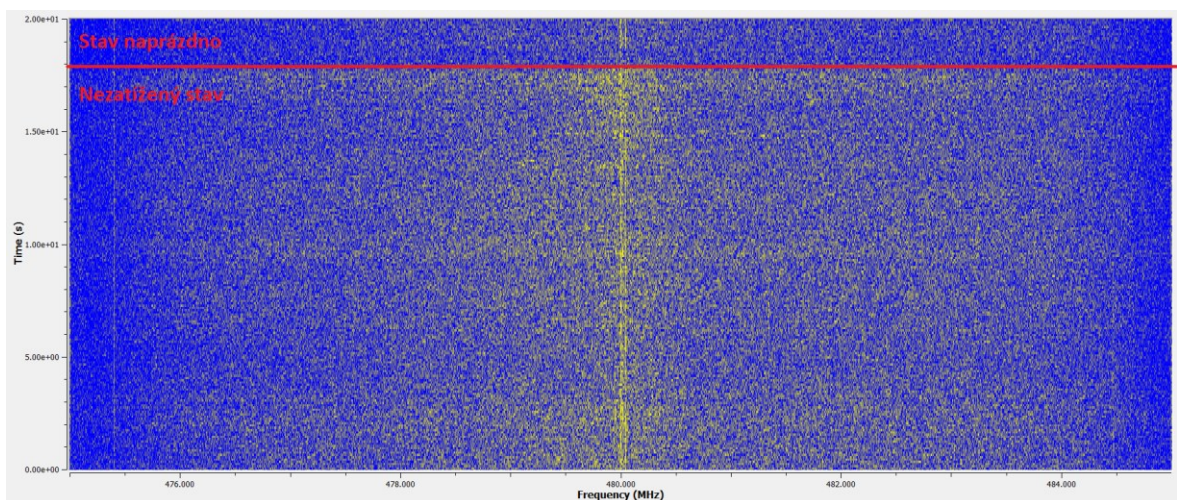
Čisté měření naprázdno na frekvenci USB sběrnice ukázalo, že v okolí je jedna signifikantní část spektra ovlivňující hustotu spektra.



Obrázek 62: Waterfall diagram měření na USB - naprázdno - okolní spektrum

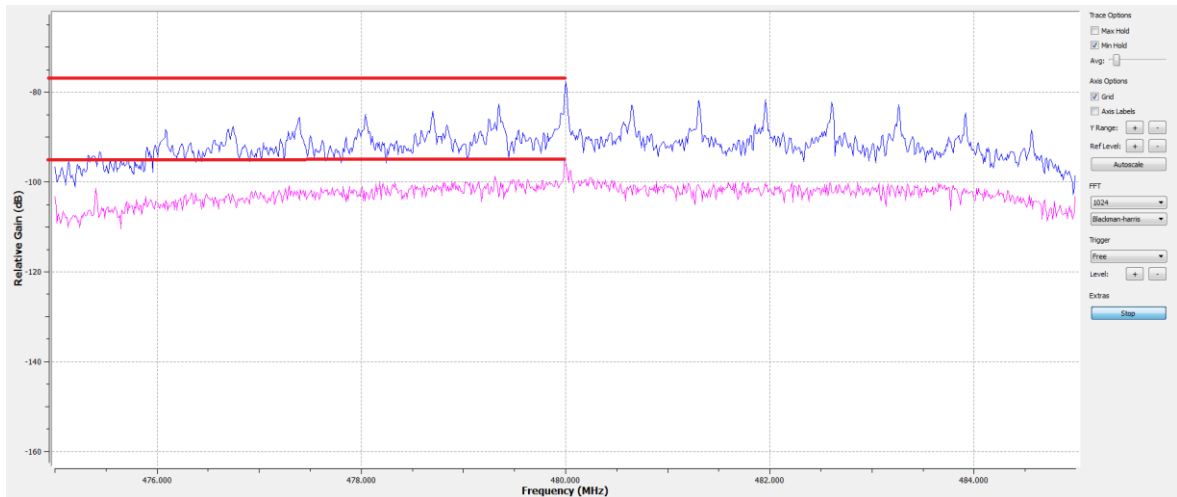
Její velikost není ale taková, aby mohla ovlivňovat ostatní přenosy.

Po připojení měřicí sondy k zařízení se amplitudy frekvencí ze spektra zvýšili o 5 dB. Ve waterfall diagramu je změna patrná na přechodě. (stav na prázdko/ nezatížený stav)



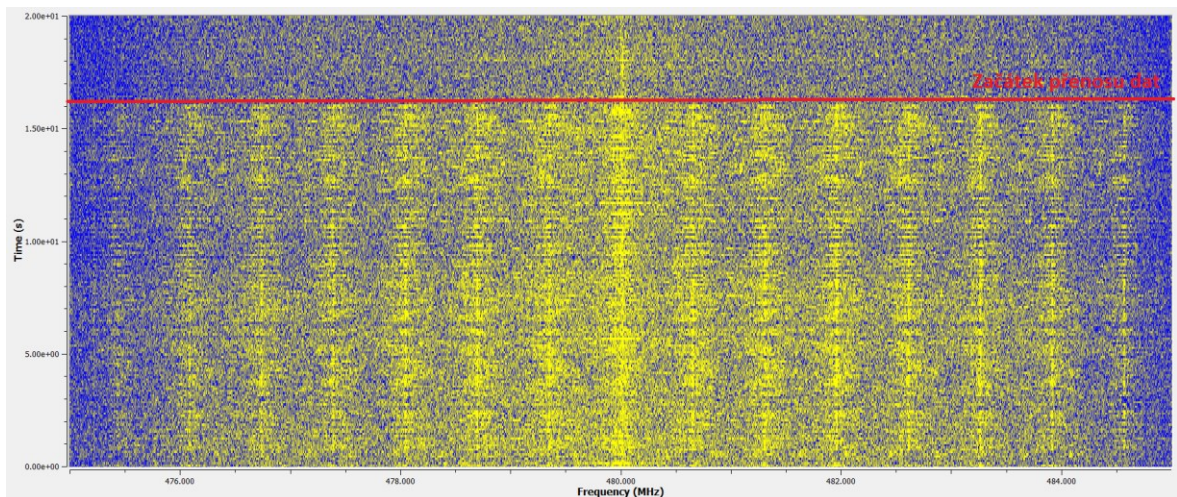
Obrázek 63: waterfall diagram měření na USB - naprázdno/nezatížený

Při zatížení stoupne amplituda frekvence až na hodnotu – 76 dB. Což je oproti původní hodnotě nárůst o 20 dB.



Obrázek 64: Spektrogram měření na USB - nezatížený/zatížený začátek přenosu

Zatížení USB sběrnice pomocí přenosu dat.



Obrázek 65: Waterfall diagram měření na USB - nezatížený/zatížený začátek přenosu

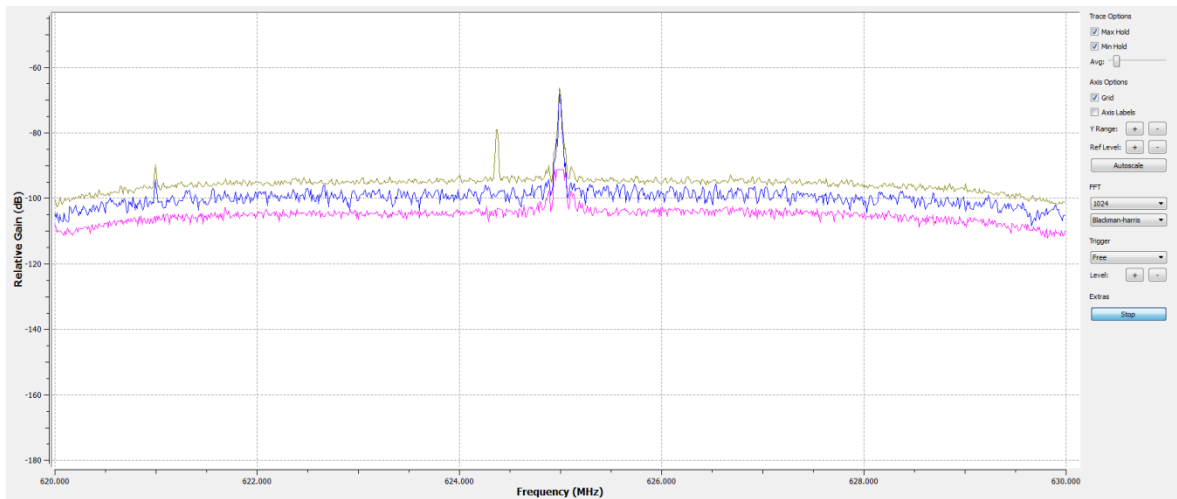
Přerušením přenosu dat opět nastane návrat k nižším hodnotám amplitud frekvenčního spektra.

Stejný případ nastává při odstraňování dat z flash disku připojeného do USB portu. (viz předchozí kapitola obrázek 41 a obrázek 42)

Bezpečné odstranění USB flash disku z počítače zvýší taktéž aktivitu ve spektru. Celý jev trvá 3,5 sekund.

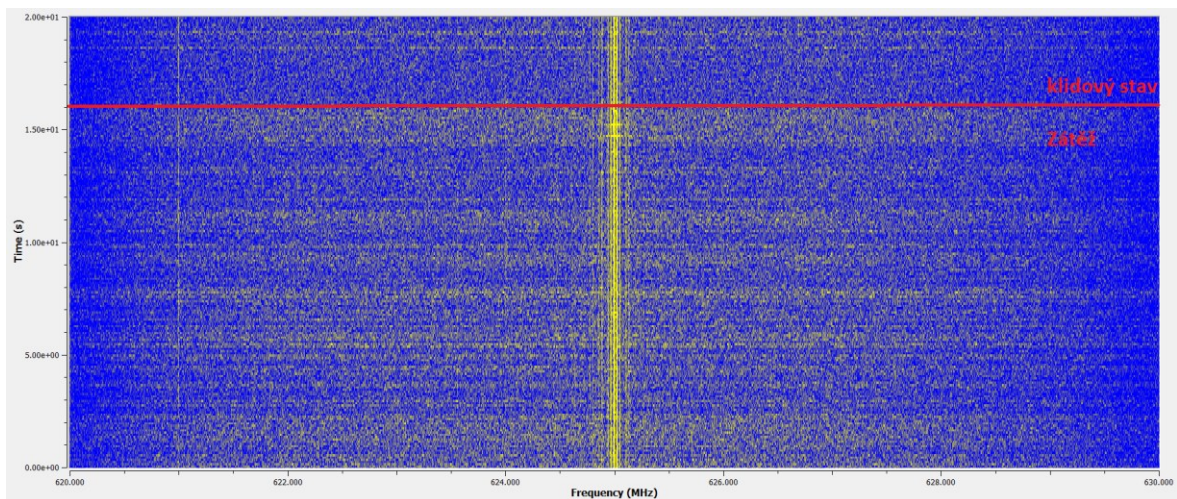
5.3 Zpracování výsledků měření na GPU

Rozdíly mezi hodnotami vyzařování v nulovém stavu (okolní rušení), klidovém stavu a zatíženému stavu jsou velmi malé. Obrázek ukazuje nulový stav (minimum), zatížení (maximum) a klidový stav.



Obrázek 66: Spektrogram měření na GPU - stav naprázdno/nezatížení/zatížený

Při nastavení maximální citlivosti na změny lze pozorovat změnu z klidového stavu do zátěže.



Obrázek 67: Spektrogram měření na GPU - stav naprázdno/nezatížení/zatížený

Následný rozdíl v maximální zátěži je již patrnější. Procesor renderuje novou scénu v zátěži.

ZÁVĚR

Obecně lze říci, že vyzařování interference procesorových jednotek lze v laboratorních podmínkách změřit. Záleží obecně na vybavení laboratoře, stínění měřeného objektu a jeho fyzické a technické zpracování.

V našem konkrétním případě je centrální procesorová jednotka mimo naše možnosti změření. Část centrálního procesorového jádra, starající se o zobrazení na displeji, je možné změřit. Interference v téhle oblasti spektra je ale taková, že nedokážeme určit korelaci.

U operační paměti RAM je korelace mezi stavem bez zátěže a v zátěži jasně patrná. Na frekvenci operační paměti sice jsou v okolí čtyři rušivé frekvence, ale jejich výkon není takový, aby ovlivňoval výsledky.

U sběrnice k USB portům je vidět korelace mezi vyzařováním v klidovém stavu a při zatíženém provozu sběrnice.

Grafická procesorová jednotka v našem konkrétním případě měla nejnižší amplitudové zisky u frekvencí. To je v našem případě způsobeno tím, že jednotka je relativně dobře stíněná. Lépe než ostatní části.

Korelaci mezi stavem bez zátěže a stavem v zátěži lze pozorovat.

SEZNAM POUŽITÉ 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.
- [6] [Http://home.zcu.cz/~formanek/VYUKA/Data1/MT/mt-prednasky/K01uvod.pdf](http://home.zcu.cz/~formanek/VYUKA/Data1/MT/mt-prednasky/K01uvod.pdf)
[Http://home.zcu.cz/~formanek/VYUKA/Data1/MT/mt-prednasky/K01uvod.pdf](http://home.zcu.cz/~formanek/VYUKA/Data1/MT/mt-prednasky/K01uvod.pdf)
[online]. Plzeň: Formanek [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~formanek/VYUKA/Data1/MT/mt-prednasky/K01uvod.pdf>
- [7] Odstavec. Odstavec [online]. Praha: VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE FAKULTA CHEMICKO-INŽENÝRSKÁ, 2005 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k41-zvmp.htm>
- [8] Základní pojmy. Základní pojmy [online]. BRNO: Martin Adámek, 2002 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_1_1.htm
- [9] ÚNMZ - ÚNMZ. ÚNMZ - ÚNMZ [online]. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.unmz.cz/files/Sborn%C3%ADky%20TH/Terminologie%20v%20oblasti%20metrologie_DEF.pdf
- [10] Metody měření fyzikálních veličin :: MEF. Metody měření fyzikálních veličin :: MEF [online]. Praha: Reichl, Všetická, 2006 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/142-metody-mereni-fyzikalnich-velicin>

- [11] Základy elektromagnetické kompatibility (EMC)-Část 3: Způsoby omezování rušení - odrušovací prostředky a elektromagnetické stínění. Základy elektromagnetické kompatibility (EMC)-Část 3: Způsoby omezování rušení - odrušovací prostředky a elektromagnetické stínění [online]. Brno: International Society for Science and Engineering, 2000 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/00041/index.html>
- [12] Základy EMC 1 - Základní pojmy a členění oboru EMC. Základy EMC 1 - Základní pojmy a členění oboru EMC [online]. BRNO: International Society for Science and Engineering, 2000 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/00025/index.html>
- [13] Základy elektromagnetické kompatibility (EMC) - Část 4: Způsoby a metody měření rušivých signálů. Základy elektromagnetické kompatibility (EMC) - Část 4: Způsoby a metody měření rušivých signálů [online]. BRNO: International Society for Science and Engineering, 2001 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01021/index.html>
- [14] *Základy EMC 2 - Zdroje rušivých signálů a vazební mechanismy jejich přenosu* [online]. Brno: International Society for Science and Engineering, 2000 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/00031/index.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EMC	ElektroMagnetická Kompatibilita (ElectroMagnetic Compatibility)
EMI	ElektroMagenrická Interference (ElectroMagnetic Interferency)
EMS	ElektroMagnetická Susceptibilita (ElectroMagnetick Susceptibility)
dB	decibel
W	Watt
kHz	kilo Hertz
MHz	Mega Hertz
GHz	Giga Hertz
NEMP	Nuclear ElectroMagnetick Pulse
LEMP	Lighting ElectroMagnetick Pulse
ESD	
EMP	ElectroMagnetick Pulse
E	Intenzita el.mag pole
H	Intenzita magnetického pole
kV/m	kiloVolt na metr
A/m	Ampér na metr
ns	nanosekunda
U	Napětí
I	Proud
P	Výkon
OS	Operační systém
PC	Personal Comtutred
A/D	Analog na digitál převoník
D/A	Digitál na Analog převodník
MBps	Mega bit per second

cm	centi metr - míra
FFT	Fast Fourier Transformation
GB	Giga Bajt
EN	English
USB	Universal Seriál Bus
CPU	Central Processor Unit
GPU	Graphical Procesor Unit
RAM	Random acess Memory

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Dělení EMC ^[12]	11
Obrázek 2: Základní řetězec EMC - rušení	17
Obrázek 3: Šíření rozdělení ^[14]	20
Obrázek 4: Měřicí řetězec ^[7]	21
Obrázek 5: Foto pracoviště	26
Obrázek 6: Měřicí přístroj USRP N210.....	27
Obrázek 7: Blokové schéma vysokofrekvenční měřící sondy.....	28
Obrázek 8: Schéma měření sondou	28
Obrázek 9: Set sond RS HZ-15 (ilustrační foto).....	29
Obrázek 10: Náhled na prostředí programu GNU Radio	30
Obrázek 11: Měřené zařízení - notebook.....	31
Obrázek 12: Označená místa pro měření na zařízení	33
Obrázek 13: Spektrogram měření na RAM - měření na prázdno	35
Obrázek 14: Spektrogram měření na RAM - měření na prázdno (lokální minimum).....	36
Obrázek 15: Waterfall diagram měření na RAM - měření na prázdno	36
Obrázek 16: Spektrogram měření na RAM - nezatížené (+lokální minimum)	37
Obrázek 17: Waterfall diagram měření na RAM - nezatížené	37
Obrázek 18: Spektrogram měření na RAM - zatížené - spuštění procesu (+lokální minimum).....	38
Obrázek 19: Spektrogram měření na RAM - zatížené - běžící proces (+lokální minimum).....	39
Obrázek 20: Spektrogram měření na RAM - zatížené - pozastavení procesu (+lokální minimum).....	39
Obrázek 21: Spektrogram měření na RAM - zatížené - ukončení procesu (+lokální minimum).....	40
Obrázek 22: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - registrace procesu.....	40
Obrázek 23: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - přiřazení prostředků	41
Obrázek 24: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - spuštění procesu	41
Obrázek 25: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - spuštěný proces	41
Obrázek 26: waterfall diagram měření na RAM - zatížené - běžící 100% aktivní proces.....	42

Obrázek 27: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - udržování procesu aktivní.....	42
Obrázek 28: waterfall diagram měření na RAM - zatížené - udržování suspended procesu.....	43
Obrázek 29: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - ukončení procesu.....	43
Obrázek 30: Spektrogram měření na USB - měření na prázdno (lokální minimum).....	44
Obrázek 31: Waterfall diagram měření na USB - měření na prázdno.....	44
Obrázek 32: Spektrogram měření na USB - nezatížené (+lokální minimim).....	45
Obrázek 33: Waterfall diagram měření na USB - nezatížené.....	46
Obrázek 34: Spektrogram měření na USB - zatížené - kopírováním (+lokální minimum).....	47
Obrázek 35: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - kopírováním start.....	47
Obrázek 36: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - kopírováním průběh.....	48
Obrázek 37: Spektrogram měření na USB - zatížené - přerušení kopírování (+lokální minimum).....	48
Obrázek 38: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - přerušení kopírování.....	49
Obrázek 39: Spektrogram měření na USB - zatížené - mazání dat (+lokální minimum).....	49
Obrázek 40: Spektrogram měření na USB - zatížené - mazání dat konec (+lokální minimum).....	50
Obrázek 41: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - mazání dat.....	50
Obrázek 42: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - mazání dat - konec.....	51
Obrázek 43: Waterfall diagram měření na USB - zatížené - bezpečné odpojení USB	51
Obrázek 44: Waterfall diagram měření na GPU - měření na prázdno.....	52
Obrázek 45: Spektrogram měření na GPU - naprázdno, nezatížené, zatížená	53
Obrázek 46: Waterfall diagram měření na GPU - nezatížené	53
Obrázek 47: Spektrogram měření na GPU - naprázdno, nezatížené, zatížená	54
Obrázek 48: Waterfall diagram měření na GPU - zatížené - spouštění procesu	54
Obrázek 49: Waterfall diagram měření na GPU - zatížené - načítání grafiky.....	55
Obrázek 50: Waterfall diagram měření na GPU - zatížené - renderování scény.....	55
Obrázek 51: Spektrogram měření na RAM - naprázdno - 4 signifikantní frekvence.....	56
Obrázek 52: Waterfall diagram měření na RAM - naprázdno - 4 signifikantní frekvence	56
Obrázek 53: Spektrogram měření na RAM - rozdíl mezi nezatíženou a zatíženou	57

Obrázek 54: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - registrace procesu a přiřazení prostředků.....	58
Obrázek 55: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - spouštění procesu	58
Obrázek 56: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - spuštění procesu/ začátek běhu procesu.....	59
Obrázek 57: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - začátek běžícího procesu.....	59
Obrázek 58: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - běžící proces.....	60
Obrázek 59: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - běžící proces/udržování procesu.....	60
Obrázek 60: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - udržování procesu běžící/pozastaveného.....	61
Obrázek 61: Waterfall diagram měření na RAM - zatížené - konec procesu/nezatížený stav	61
Obrázek 62: Waterfall diagram měření na USB - naprázdno - okolní spektrum	62
Obrázek 63: waterfall diagram měření na USB - naprázdno/nezatížený.....	62
Obrázek 64: Spektrogram měření na USB - nezatížený/zatížený začátek přenosu.....	63
Obrázek 65: Waterfall diagram měření na USB - nezatížený/zatížený začátek přeno.....	63
Obrázek 66: Spektrogram měření na GPU - stav naprázdno/nezatížení/zatížený	64
Obrázek 67: Spektrogram měření na GPU - stav naprázdno/nezatížení/zatížený	64

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: NEMP a LEMP srovnání	19
--	-----------

SEZNAM PŘÍLOH

Bez příloh