

Meranie elektromagnetického rušenia emitovaného laboratórnou technikou

Dominik Novosád

Bakalárska práca
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Dominik Novosád**
Osobní číslo: **A15124**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Měření elektromagnetického rušení emitovaného laboratorní technikou**

Téma anglicky: **Measuring Electro-magnetic Interference Generated by Laboratory Equipment**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou elektromagnetické kompatibility.
2. Zaměřte se zejména na problematiku měření rušivého elektromagnetického pole vyzařovaného testovaným zařízením.
3. Seznamte se s vybavením laboratoře EMC ve Vědeckotechnickém parku Fakulty aplikované informatiky.
4. Změřte vyzařované elektromagnetické pole alespoň u čtyř laboratorních přístrojů, u kterých se předpokládá provoz uvnitř bezodrazové komory při provádění vědeckých experimentů.
5. Zhodnoťte naměřené výsledky.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D.

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání bakalářské práce:

12. prosince 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

24. května 2018

Ve Zlíně dne 12. prosince 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu


Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk 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 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 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 bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne 20.5.2018


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá problematikou elektromagnetickej kompatibility a problematikou merania rušivých signálov u testovaných zariadení. V úvodnej časti je spracovaná problematika elektromagnetickej kompatibility a jej nasledovné delenie. Jednotlivé časti delenia sú podrobnejšie popísané v jednotlivých kapitolách práce. Venuje sa problematike odolnosti a rušenia zariadení pri vyžarovaní rušivých signálov. Cieľom praktickej časti práce je zoznámenie sa s laboratóriom EMC a nasledovným meraním vybratých zariadení. Výstupom práce je vyhodnotenie výsledkov meraných zariadení používaných v laboratóriách.

Kľúčové slova: elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetická interferencia, elektromagnetická odolnosť, rušivý signál

ABSTRACT

Bachelor's thesis deals with issues regarding electromagnetic compatibility and issues of measuring interference signals in tested devices. In the introductory part issues of electromagnetic compatibility are processed and divided. Individual parts of each division are described in more detail in each category of work. This thesis deals with issues of resistance and interference of devices during radiation of interference signals. The aim of the practical part is to get acquainted with the EMC laboratory and to measure the selected devices. The output of Bachelor's thesis is evaluation of results of measured devices used in laboratories.

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic susceptibility, electromagnetic interference, interfering signal

Chcel by som poďakovať svojmu vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Martinovi Pospíšilíkovi, Ph.D za vedenie, odbornú pomoc, zaučení pri práci v laboratóriu EMC a za poskytnutie potrebných informácií pri tvorbe mojej bakalárskej práce.

Taktiež chcem poďakovať svojej rodine, hlavne rodičom za morálnu a finančnú podporu pri celej dobe štúdia na vysokej škole.

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

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČASŤ	9
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	10
1.1 ROZVOJ EMC.....	10
1.1.1 EMC havárie	11
1.2 ZÁKLADNÉ DELENIE EMC.....	12
1.2.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémov	12
1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémov	14
1.2.2.1 Zdroj elektromagnetického rušenia	15
1.2.2.2 Prenosové prostredie.....	15
1.2.2.3 Prijímač rušenia	15
1.2.2.4 Zhrnutie priebehu elektromagnetického rušenia.....	16
1.2.3 Elektromagnetická interferencia (EMI)	16
1.2.4 Elektromagnetická susceptibilita (EMS).....	17
1.2.5 Základne pojmy v problematike EMC	17
1.3 ZÁVER ELEKTROMAGNETICKEJ KOMPATIBILITY	19
2 ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENIE A JEHO MERANIE	21
2.1 SPÔSOBY ŠÍRENIA RUŠIVÝCH ELEKTROMAGNETICKÝCH SIGNÁLOV	21
2.1.1 Elektromagnetické vlny	22
2.1.2 Základné možnosti merania rušivých signálov	22
2.2 MERANIE POMOCOU ANTÉN.....	23
2.2.1 Rámová anténa	24
2.2.2 Prúťová anténa	24
2.2.3 Symetrická dipólová anténa a pólvlňný dipól	25
2.2.4 Lievikové antény	26
2.2.5 Zvyšné typy antén	26
2.3 ZÁVER ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENIA A JEHO MERANIA	27
II PRAKTICKÁ ČASŤ	28
3 POPIS PRACOVISKA A ZARIADENIA V LABORATÓRIU	29
3.1 BEZODRAZOVÁ KOMORA.....	29
3.2 VYBAVENIE LABORATÓRIA K MERANIU EMI	30
3.2.1 Merací prijímač ESU 8.....	30
3.2.2 Umelá sieť Rohde-Schwarz ENV216	31
3.2.3 Antény k meraniu EMI.....	31
4 VYBER ZARIADENÍ	33
4.1 VÝBER ZARIADENÍ K MERANIU.....	33
4.1.1 Regulovaný zdroj HQ PS3010	33
4.1.2 Napájací zdroj Array 3721A	34
4.1.3 Napájací zdroj Picotest P9610A.....	34
4.1.4 Osciloskop Hameg HMO722 a Rigol DS1052E.....	35
4.1.5 Meranie rušenia u notebooku s monitorom.....	36
5 MERANIE ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENIA	37

5.1	MERANIE POZADIA A POSTUP PRI MERANÍ	38
5.1.1	Meranie elektromagnetického rušenia napájacieho zdroju Array 3721A.....	39
5.1.2	Meranie elektromagnetického rušenia napájacieho zdroju Picotest P9610A.....	42
5.1.3	Meranie elektromagnetického rušenia osciloskopu Rigol DS1052E	46
5.1.4	Meranie elektromagnetického rušenia osciloskopu Hameg HMO722	49
5.1.5	Meranie elektromagnetického rušenia notebooku a monitoru	51
5.2	ZHODNOTENIE NAMERANÝCH VÝSLEDKOV	54
	ZÁVER	56
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	58
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	60
	ZOZNAM OBRÁZKOV	61
	ZOZNAM TABULIEK	63
	ZOZNAM PRÍLOH.....	64

ÚVOD

Elektromagnetická kompatibilita (ďalej ako EMC) je vedecko technická disciplína ktorá bližšie charakterizuje vplyv elektromagnetických vln prírodných či umelých na živý organizmus, technické, elektronické a elektrotechnické zariadenia. EMC je možné rozdeliť z pohľadu viacerých hľadísk. Jedným z hľadísk je rozdelenie EMC na biologických systémom a technických systémom, v biologickej časti sa vedný odbor zapodieva vplyvom elektromagnetického žiarenia na živý organizmus a snaží sa bližšie určiť tento vplyv. V technických systémoch sa elektromagnetická kompatibilita zaoberá vplyvom elektromagnetických vln na zariadenia. V tejto časti bližšie určuje či ide o zariadenia ktoré je zdrojom elektromagnetického rušenia, prijímačom alebo slúži ako cesta k prenášaní signálu. Z ďalšieho pohľadu je možné rozdeliť EMC podľa toho či sa jedná o zariadenia ktoré vysiela rušivý signál, tejto časti sa hovorí elektromagnetická interferencia (ďalej ako EMI) alebo rušivý signál nášho pôsobí, vtedy sa hovorí o elektromagnetickej odolnosti (ďalej ako EMS). Vo svojej práci sa budem zaoberať práve elektromagnetickou interferenciou.

Elektromagnetická interferencia hovorí o rušení, vzniku a identifikácii zdroja rušenia. EMI sa teda zaoberá vyžarovaným elektromagnetickým rušením ktoré je generované zariadením počas jeho prevádzky. Takéto zariadenie môže neskôr ovplyvniť chod ostatných zariadení v okolí nežiadúcim účinkom a tým znížiť aj jeho funkciu či ju úplne poškodiť.

To aby bolo možné takéto elektromagnetické rušenie merať je potrebné poznať určité normy, legislatívy, predpisy a vyhlášky ktoré sa zaoberajú problematikou elektromagnetickej kompatibility. K tomu ale aby bolo možné zmerať toto rušenie, je nutné mať priestory a potrebné zariadenie k jeho meraniu. K meraniu elektromagnetickej interferencie a celkovo elektromagnetickej kompatibility slúžia bezodrazové komory. Tento druh komory slúži ako ochrana predtým aby sa nežiaduce elektromagnetické rušenie nedostalo z vnútra komory ale aj do vnútra komory počas merania a tým by mohlo ovplyvniť výsledky merania. Jednotlivé zariadenia a prvky potrebné k meraniu musia spĺňať európske štandardy k tomu aby bolo možné s nimi merať.

Teoretická časť práce je zameraná na problematiku elektromagnetickej kompatibility a jej delením na viacero kategórii. S tým je spojená aj presná identifikácia signálov a spôsobov akým ich je možné zmerať. Praktická časť sa sústreďuje na prácu v laboratóriu a meraniu elektromagnetickej interferenciu u vybraných zariadení.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Skratka EMC pochádza z anglického slovného spojenia „*Electromagnetic Compatibility*“, z ktorého je preložená aj „*elektromagnetická kompatibilita*“.

Je to vlastnosť zariadenia, systému či prístroja vykonávať svoju funkčnú činnosť v prostredí s elektromagnetickým rušením ktoré môže priamo či nepriamo pôsobiť na toto zariadenie, je to tiež zariadenie ktoré svojou elektromagnetickou činnosťou neovplyvňuje okolité zariadenia a tak ich nepriaznivo neovplyvňuje pri ich funkčnosti[1].

Záujem o elektromagnetickú kompatibilitu sa začína rozvíjať šesťdesiatych rokoch 20. storočia, kedy vzniká ako vedecko-technický obor. V začiatkoch vzniku EMC sa o ňu zaujímal len elektronický, vojenský a kozmický priemysel. Vysoký nárast záujmu prišiel až s rozvojom mikroprocesorov a telekomunikačných zariadení[7].

1.1 Rozvoj EMC

Každé zariadenie by malo byť schopné správne pracovať bez toho aby nepriaznivo ovplyvnilo chod iných zariadení vo svojom okolí. Zariadenie ako také, či len jeho časti môžu byť práve vysielačom pre iné zariadenia ale aj prijímačom signálov z iných zariadení a tým ovplyvniť ich funkčnosť. Jeden zo zakladateľov elektromagnetickej kompatibility H.M Schlike sám povedal: „*Systém sám o sebe môže byť dokonale spoľahlivý – bude však prakticky bezcenný v prevádzke, pokiaľ nebude elektromagneticky kompatibilný. Spoľahlivosť a elektromagnetická kompatibilita sú neoddeliteľnými požiadavkami na systém, ktorý ma fungovať v každej dobe a za každých okolností*“[1].

Elektronický a elektrotechnický priemysel za posledné desaťročia rapídne stúpol a tým stúpol aj počet zariadení. Vysokým počtom zariadení narastá aj úroveň rušenia a to až do stoviek GHz. Každé elektronické zariadenie alebo prístroj obsahuje časti ktoré by mohli byť zdrojom alebo prijímačom rušenia. Príkladom sú generátory netlmených a modulovaných kmitov ktoré pracujú na rôznych úrovniach kmitočtových dĺžok, generátory obrazových a vysokofrekvenčných impulzov, výkonné vysokofrekvenčné a nízkofrekvenčné zosilňovače. Všetky tieto spomenuté časti prístrojov pracujú na vysokých výkonových úrovniach. V zariadení samotnom či zariadení ktoré sa nachádza v blízkosti rušenia, môžu jednotlivé časti zariadenia (citlivé zosilňovače, mikroprocesorové obvody) pracovať na podobných úrovniach a tým ich rušiť.

Citlivé elektronické zariadenia často pracujú v prostredí so silným rušením, kde môže dochádzať ku narušeniu správneho chodu zariadenia. Príkladom môže byť vstupná výpočtová ústredňa riadiaceho počítača. Počítač sa spája s výrobnými časťami pomocou množstva čidiel, ku ktorým vedú aj sto metrov dlhé kable. Tieto kable prenášajú signál na nízkych úrovniach mV a μA . Ak nie sú kable ničím chránene od okolitého prostredia, môže dochádzať k rušeniu od okolitých rušivých signálov ktoré sú schopné do nich naindukovať napätie. Počítač môže tieto rušivé signály neskôr vyhodnocovať ako informácie, ktoré prišli z jednotlivých časti technologického procesu. Následkami takéhoto rušenia môže dôjsť ku nesprávnemu vyhodnoteniu informácii pri práci a tým prísť aj ku možným rizikám. Pri takomto narušení, počítač ani nevie či ide o správne informácie, alebo len o informácie ktoré boli počas cesty znehodnotené rušivým signálom. Nesprávne vyhodnotenie môže mať neskôr za následok haváriu či ohrozenie zdravia a života ľudí[1].

1.1.1 EMC havárie

Počas rozvoja elektrotechnických zariadení a EMC, dochádzalo aj k rade havárii ktoré mali za dôsledok katastrofálne následky. Niekoľko príkladov opisuje ako môžu okolité zariadenia rušiť iné a tým spôsobiť škodu, nehodu či haváriu.

- V roku 1984 mal vplyv elektromagnetických vln nepriaznivé účinky na riadiaci systém stíhacieho lietadla NATO typu Tornado. Tento vplyv elektromagnetických vln spôsobil že riadiaci systém zlyhal a lietadlo sa zrútilo. Lietadlo letelo približne rýchlosťou 800 km/hod a vo výške 230m nad vysielacom. Práve tento vysielateľ spôsobil rušenie a tým aj nehodu lietadla. Nehoda sa stala v Holkirchenu pri Mnichove v Spolkovej republike Nemecko[7].
- V ďalšom prípade mala elektromagnetická kompatibilita nepriamy vplyv na potopenie vojenskej lietadlovej lode Sheffield v roku 1982 počas falklandskej vojny. Príčinou nehody bolo nedodržanie elektromagnetickej kompatibility pri používaní komunikačných zariadení lode a jej protilietadlového systému. Pri komunikácii s veliteľstvom dochádzalo k rušeniu zo strany tohto protilietadlového systému. Z toho dôvodu býval tento systém vypnutý aby počas komunikácie nedochádzalo k rušeniu. Bohužiaľ v správnom načasovaní bola zhodená raketa z argentínskeho lietadla ktorá spôsobila, že sa protilietadlová loď potopila[7].

- Pri prevoze rakety typu Pershing II v Spolkovej Republike Nemecko došlo k jej odpáleniu z dôsledku elektrostatickej elektriny ktorá vznikla z dôvodu búrky pri prevoze rakety[7].
- Rušivý vplyv meniča ťažného zariadenia ktorého pohon fungoval na tyristorovej regulácii mal za následok zlyhanie diaľkového ovládania vo svojom okolí ale aj v priľahlej časti Náchodska. Toto rušenie vzniklo z dôvodu pripojenia ťažného zariadenia o výkone 3,4 MW do rozvodnej siete 35 kV bez použitia filtrácie. Vďaka nepoužitiu filtrácie došlo k havárii[8].
- Rovnaká situácia sa stala aj v cukrovare v meste Mělník. Do napájacej siete 22 kV boli zapojené odstredivky s tyristorovým meničom o výkone 200 kW. Pri zapojení do siete došlo ku kolísaniu a deformácii napájacieho napätia, že nastal skupinový výpadok meničov vplyvom napäťovej ochrany. Toto zhoršenie spôsobili meniče ktoré boli zapojené bez použitia filtrácie[8].
- Obeťou rušenia sa stala aj diagnostická súprava v Pražskej nemocnici, ktorá monitorovala dych, tep a teplotu pripojených pacientov. Spínaním okolitých spotrebičov v okolí spôsobovalo to, že prístroj pridával pulzy, ktoré boli vyhodnocované ako nesynchronne tepy srdca. Kardioskop bol dokonca rušený blízkym štartérom žiarovkového svietidla . Toto spínanie spôsobovalo, že kardioskop zle vyhodnocoval údaje, a hodnotil ich ako prekročenie tepu a tým blokoval meranie. Zariadenia ktoré boli rušené, museli byť vymenené[8].

1.2 Základné delenie EMC

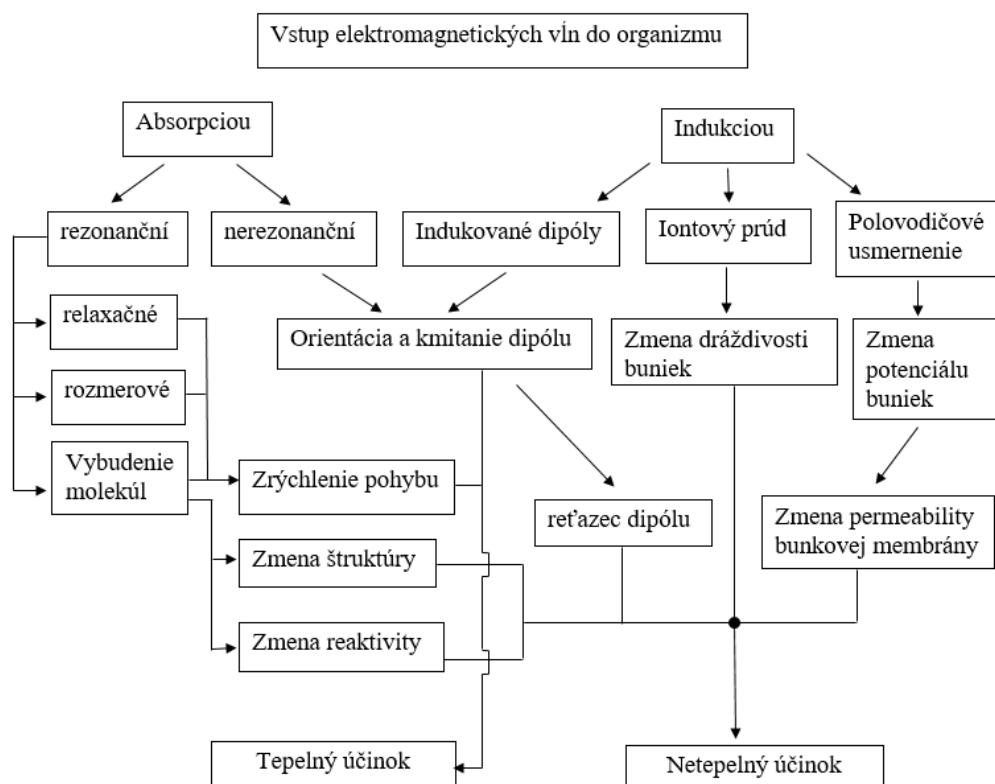
Delenie elektromagnetickej kompatibility je možné rozdeliť z rôznych uhlov pohľadu. Jednou z týchto kategórií je jej rozdelenie na EMC biologických systémov a EMC technických systémov a zariadení. Ďalším rozdelením EMC je jej rozdelenie na EMI – Elektromagnetickú interferenciu a EMS – elektromagnetickú susceptibilitu či odolnosť[5].

1.2.1 Elektromagnetická kompatibility biologických systémov

Oblasť elektromagnetickej kompatibility zameranej na biologické systémy sa zaoberá elektromagnetickým pozadím nášho okolitého životného prostredia, a snaží sa určiť prípustné úrovne rušivých elektromagnetických signálov a bližšie určiť jej vplyvy na živý organizmus[5].

Elektromagnetické signály delíme na prírodné a umelé. Prírodné signály sú tvorené prírodnými javmi a umelé signály sú vytvorené ľudskými technológiami. Jednotlivé účinky elektromagnetického pôsobenia závisí na jeho charaktere, dobe pôsobenia a vlastnosti organizmu na ktorý pôsobí. Keďže nie sú známe vstupy pre elektromagnetické pole do organizmu, posudzujú sa účinky podľa reakcii organizmu[5].

V domácnosti sa nachádza veľké množstvo elektrických a elektronických zariadení (televízia, rádia, rozhlasové a televízne prijímače, kuchynské spotrebiče, stolné a prenosné počítače) ktoré môžu nepriamo pôsobiť na náš organizmus. Pôsobenie elektromagnetického poľa na živý organizmus môže byť odlišný a závisí od vlastnosti organizmu ako prijme tieto negatívne vplyvy. Každý z nás je jedinečný a v tom sa líšia aj naše adaptačné, kompenzačné a regeneračné možnosti a schopnosti. Preto je zložitá porovnávať zmeny organizmu na základne výsledkov ktoré boli merané na rozličných organizmoch. Je to dôvodom toho že každý z nás je jedinečný a jednotlivé vlastnosti organizmu sa môžu líšiť[1][5].



Obr. 1 Vplyv elektromagnetických vln na organizmus[19], upravil Novosád 2018

Výskumné lekárske pracoviská sa zaoberajú problematikou elektromagnetickej kompatibility biologických systémov a snažia sa bližšie špecifikovať našu odolnosť voči nežiaducim elektromagnetickým vplyvom. Existujú dva objasnené účinky na živý

organizmus, jedným z nich je tepelný a netepelný účinok. Tepelný účinok vzniká pri pôsobení vysokofrekvenčného poľa na organizmus pri ktorom dochádza k ohrievaniu tkaniva. O netepelnom účinku hovoríme vtedy ak ide o pôsobenie na nervový systém, srdečný cievny systém a imunitný systém. Pri tomto účinku nedochádza ku ohrevu tkaniva. V jednotlivých krajinách po celom svete existujú normy ktoré požadujú, aké vysoké dávky elektromagnetického rušenia môže organizmus prijať. V Českej a Slovenskej republike sa riadime normami ktoré schválila európska únia[1][5].

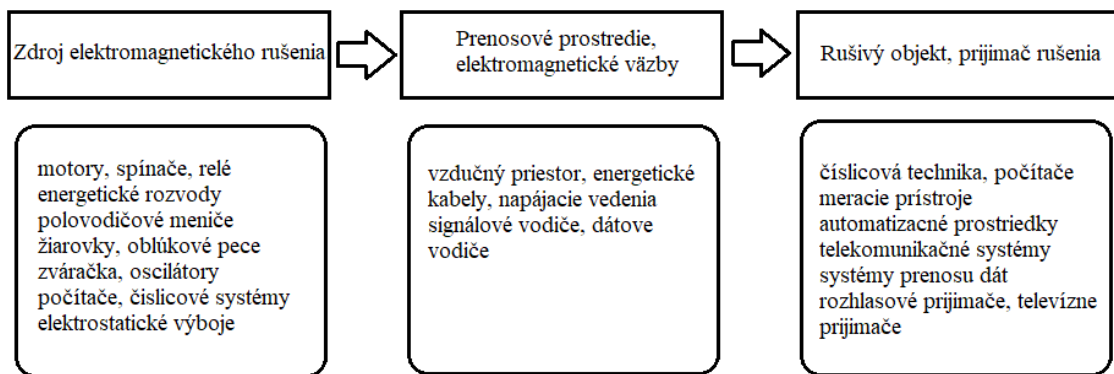
Problematikou týkajúcou sa dávkami prípustnými pre ľudský organizmus v Českej republike, bližšie špecifikuje vyhláška ministerstva zdravotníctva č. 215/2015 Sb., ktorá je platná od 3.11.2015 a v účinnosť prišla 18.11.2015. Táto vyhláška stanovuje požiadavky pri práci a pobyte osôb v elektromagnetickom poli v kmitočtovom rozsahu od 0 Hz až do 300GHz, poprípade pre elektrické a laserové zariadenia aj do vyšších kmitočtov. Ďalej je tento kmitočtový rozsah rozdelený do 3 častí, ktorý hovorí o:

- najvyššej prípustnej hodnote pre účinky spôsobené elektrickým a magnetickým polom s frekvenciami v rozsahu menšom ako 1 Hz;
- najvyššia prípustná hodnota pre účinky spôsobené zvýšením teploty tkaniva vo frekvenčnom pásme od 100 kHz do 6 GHz;
- najvyššia prípustná hodnota pre účinky spôsobené zvýšením teploty tkaniva vo frekvenčnom pásme od 6 GHz do 300 GHz[10].

Vyhláška požaduje, aby vystavenie osôb elektrickým, magnetickým polom a elektromagnetickým žiarením v uvedenom rozsahu kmitočtu bola obmedzená tak, aby prúdová hustota indukovaná v tele, merný výkon absorbovaný v tele a ani hustota žiareného toku elektromagnetických vln dopadajúcich na telo alebo na jeho časti neprekročili stanovené najvyššie hodnoty. Vyhláška ďalej delí najväčšie prípustné hodnoty ožarovania u zamestnancov a fyzických osôb[10].

1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémov

Druhou časťou ktorou sa EMC sa zaoberá, je časť technických systémov. Táto časť hovorí o vzájomnom pôsobení elektrických, elektrotechnických a technických zariadení. Nasledujúci obr. 2 bližšie hovorí o tom či sa zariadenie chová ako zdroj rušenia, prijímač alebo len sprostredkováva daný signál medzi zdrojom a prijímačom[1].



Obr. 2 Vyobrazenie priebehu elektromagnetického rušenia a jednotlivých častí[5]
upravil Novosád 2018

1.2.2.1 Zdroj elektromagnetického rušenia

Prvá časť zahŕňa zdroje elektromagnetického rušenia, sa bližšie zaoberá a skúma spôsoby vzniku rušenia, jeho charakteristiku a intenzitu. Patria sem prírodné zdroje rušivých signálov, a umelé zdroje rušenia, tým sa myslia zdroje vytvorené ľuďmi. K týmto zdrojom rušenia patria rôzne druhy technických zariadení ako napríklad, zapaľovacie systémy, elektrické motory, prenos a distribúcia elektrickej energie, elektronické zariadenia, tepelné a svetelné spotrebiče atď[5].

1.2.2.2 Prenosové prostredie

Aby bolo možné preniesť tieto signály je potrebná cesta alebo spôsob akým budú sprostredkované. Touto časťou sa zaoberá druhá časť priebehu elektromagnetického rušenia. Snaží sa bližšie určiť spôsob cesty, ktorým sa signál zo zdroja rušenia dostáva do blízkosti prijímača rušivého zariadenia[5].

1.2.2.3 Prijímač rušenia

Keď už je signál vyslaný a prechádza prostredím, musí byť aj prijímač na ktorý bude tento signál prijatý. Oblasťou a problematikou prijímačov rušených zariadení sa zaoberá tretia časť. Zaoberajúcou sa identifikáciou typov a podrobným určením rušivých účinkov na základe analýzy parametrov (technických, konštrukčných) zariadenia a z toho určiť jej elektromagnetickú odolnosť[5].

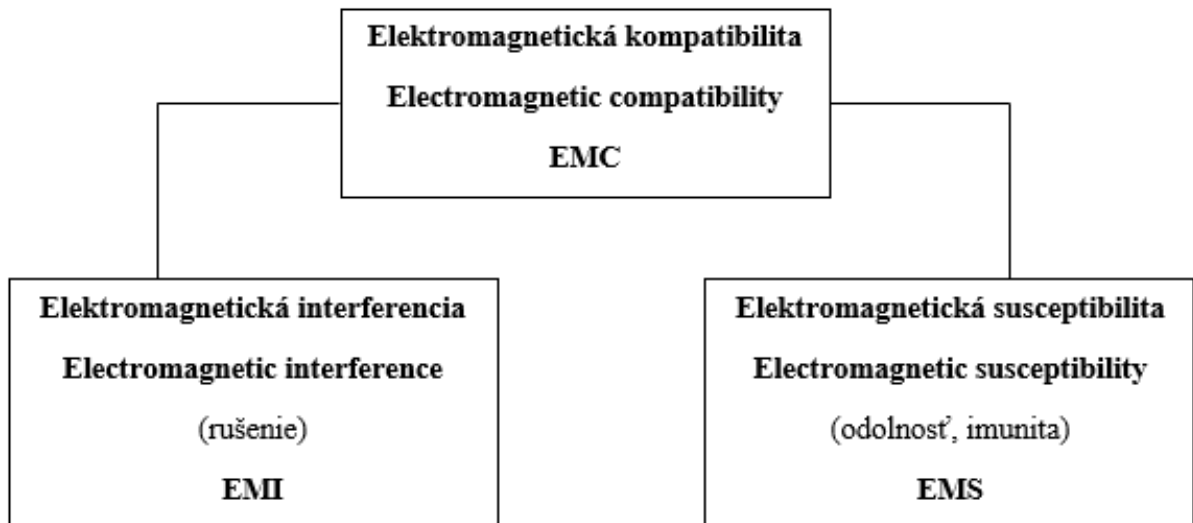
1.2.2.4 Zhrnutie priebehu elektromagnetického rušenia

Jednotlivé časti systému alebo zariadenia, či jeho určité časti, môžu byť jak vysielačom (zdrojom), tak aj prijímačom elektromagnetického rušenia. V skutočnosti sa ale nestretávame len spôsobením jedného zdroja rušenia a jedného prijímača, ale zaoberá sa aj vzájomnými pôsobením viacerých systémov či zariadení ktoré môžu vzájomne ovplyvňovať. Napriek tomu určujeme len jeden zo systémov a považujeme ho za zdroj rušenia a všetky ostatné systémy zas za prijímače rušenia. Potom tento určený systém sa dá považovať za ovplyvňovaný a hodnotia sa dôsledky jeho možných ovplyvnení všetkými ostatnými zariadeniami, ktoré tvoria okolité elektromagnetické prostredie. Súčet ich rušivých pôsobení môže mať za následok zhoršenie kvality zariadenia, obmedzenie funkčnosti systému či dokonca môže dôjsť až k havarijným a bezpečnostným stavom[1][5].

Ak sa zamyslíme nad tým, že by bolo možné aby bola odstránená jedna z troch častí priebehu elektromagnetického rušenia, dostali by sme sa do štádia toho, že by zmizla celá elektromagnetická kompatibilita. Dôvodom by bolo to, ak by sa odstránila prvá časť(zdroj rušenia), tak by prijímač nemal čo prijímať. Pri odstránení druhej časti by došlo k tomu, že zdroj by generoval signál ale neexistoval by spôsob ako ho prepraviť k prijímaču. A pri odstránení poslednej časti by došlo k tomu, že by existovalo zariadenie, zdroj ktoré by generovali signál, existovala by cesta ako presunúť tento signál ale neexistovalo by zariadenie, prijímač ktoré by ho mohlo spracovať. Pri tomto opise sa došlo k záveru, aby vôbec existoval nejaký elektromagnetický rušivý signál je potrebné aby existoval aj zdroj, cesta a prijímač tohto rušenia[1][5].

1.2.3 Elektromagnetická interferencia (EMI)

V preklade z anglického slovného spojenia „*electromagnetic interference*“, hovoríme o elektromagnetickom rušení. Je to schopnosť prenosu rušivého elektromagnetického signálu zo zdroja rušenia pomocou elektromagnetickej väzby ku prijímaču rušenia. O vznik rušivých signálov, zdrojmi rušenia ale aj spôsobe prenosu týchto signálov sa bližšie zaoberá EMI[5].



Obr. 3 Základné delenie problematiky EMC[15], upravil Novosád

1.2.4 Elektromagnetická susceptibilita (EMS)

V preklade z anglického slovného spojenia „*electromagnetic susceptibility*“, hovoríme o elektromagnetickej susceptibilite, imunite či odolnosti. Elektromagnetická odolnosť či citlivosť na rušenie, vyjadruje schopnosť zariadenia alebo systému pracovať bez poruchy v prostredí v ktorom sa vyskytuje elektromagnetické rušenie. EMS sa teda bližšie zaoberá a špecifikuje technické opatrenia ktorými by mohla byť zvýšená odolnosť voči rušivým signálom. Vo výsledku teda ide o odstraňovanie dôsledkov rušenia, bez odstránenia ich pôvodnej príčiny[1].

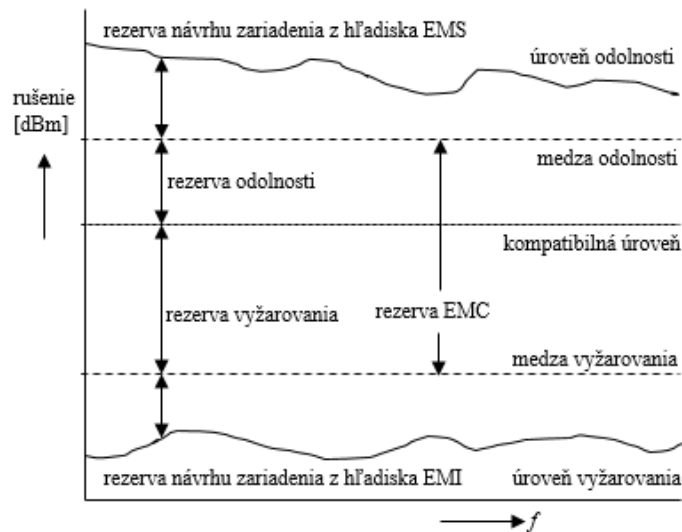
Problematikou merania, je záverečné posúdenie EMC zariadenia, ktoré rozhoduje o funkčnosti tohto zariadenia, je komplikovaná tým, že i merané zariadenie je a môže byť zdrojom a súčasne prijímačom rušivých signálov. Je teda potrebné pri meraní klásť dôraz na technickú, kalibračnú a početnú stránku zariadenia[6].

1.2.5 Základne pojmy v problematike EMC

Každé elektronické či elektrotechnické zariadenie môže byť súčasne zdrojom elektromagnetického rušenia, ale aj jeho prijímačom ktoré pracujú v určitom prostredí. Medzinárodný technický slovník ČSN IEC 50 vo svojej kapitole zaoberajúcej sa ohľadom elektromagnetickej kompatibility bližšie určuje niektoré základne pojmy[1].

Úroveň vyžarovania je možné vyjadriť ako množstvo rušenia ktoré vygenerovalo samotné zariadenie meraním predpísaného spôsobu danej prípustnej úrovne vyžarovania pre dané

zariadenie. Rozdielom týchto dvoch úrovni dostaneme tzv. rezervu návrhu daného zariadenia z hľadiska elektromagnetickej interferencie[9].



Obr. 4 Definícia úrovne a medze vyžarovania[15]

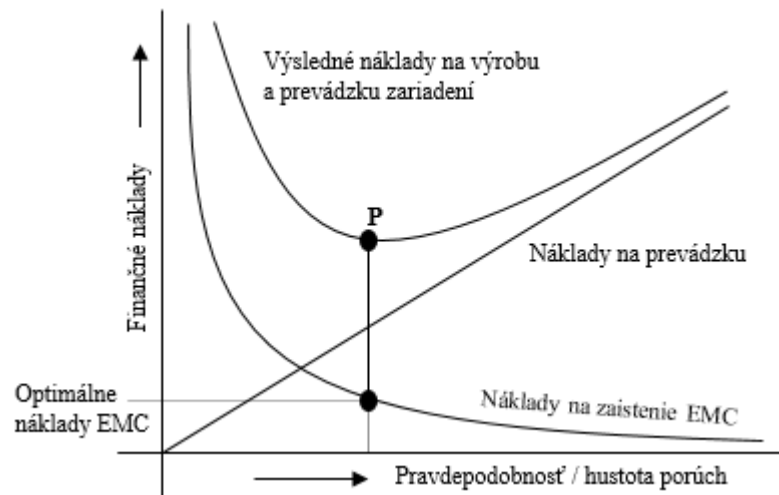
„Úroveň odolnosti je maximálna úroveň rušenia pôsobiaceho na konkrétne zariadenie, pri ktorom nedochádza ešte ku zhoršeniu jeho funkčnej činnosti, a medza odolnosti je najnižšia požadovaná úroveň odolnosti zariadenia“[1]. Rozdielom úrovni dostaneme rezervu návrhu daného zariadenia zo strany jej odolnosti voči nežiadúcemu rušeniu. Rozdiel medzi odolnosťou a vyžarovaním určuje tzv. rezervu EMC daného zariadenia[9].

Kompatibilná úroveň hovorí o maximálne predpísanej úrovni celkového rušenia, o ktorom je možné predpokladať že bude ovplyvňovať zariadenia počas prevádzky[9].

Rozdiel vyžarovania a odolnosti oproti tejto kompatibilnej úrovni, určuje rezervu vyžarovania a rezervu odolnosti. Aby zariadenia boli schopné prejsť cez skúšku EMC, musí byť úroveň vyžarovania vždy nižšia ako ich maximálna prípustná úroveň a menšia než je medza vyžarovania. Pri úrovni odolnosti zariadenia sa hovorí, že vždy musí byť väčšia než je minimálna požadovaná úroveň a väčšia než je medza odolnosti. Dostatočnej rezervy dosiahnutej len vtedy ak je medza odolnosti vyššia než je medza vyžarovania[9].

Veľkosť návrhu rezervy z hľadiska EMI alebo EMS je čisto len na výrobcovi daného zariadenia, táto veľkosť nie je predpísaná žiadnymi normami alebo vyhláškami. Ak by ale boli tieto rezervy príliš vysoké viedlo by to k vysokým finančným nákladom na odrušovanie. Naopak ak budú tieto rezervy príliš nízke, vzniká riziko toho, že hotové zariadenie neprejde skúškou EMC a bude musieť byť upravené, odrušované alebo tienené. Tým sa ale zvyšujú

náklady na zariadenie. Obr. 5 bližšie opisuje priebeh financi na výrobu zariadenia, prevádzku v závislosti na pravdepodobnosti vzniku porúch[1].



Obr. 5 Finančné náklady na zaistenie EMC u zariadenia[1][6]
upravil Novosád 2018

Zbytočné náklady na udržiavanie a prevádzku zariadení rastú so zvyšujúcou sa poruchovosťou zariadenia. O pravdepodobnosti porúch je možné povedať, že nedodržanie zásad EMC má vplyv na veľkosť investície do zabezpečenia EMC a je jej priamo úmerná. Výpočet celkových nákladov sa dá získať súčtom zložiek ktoré je možné vidieť na obr. 5 v bode P a v tomto bode dosahujú práve svojho minima. Aby boli náklady na EMC daného zariadenia čo najnižšie, je potrebné dosiahnuť práve minimálnej hodnoty celkových nákladov. Podľa zistení sa hovorí o tom, že optimálnymi nákladmi na zaistenie EMC pre zariadenie je približne do 10 % z celkových vývojových a výrobných nákladov. Ak posudzujeme EMC už od začiatku vývoja zariadenia je možné tieto náklady znížiť[1].

1.3 Záver elektromagnetickej kompatibility

Cieľom tejto kapitoly je zoznámiť sa s problematikou elektromagnetickej kompatibility, jeho rozvoja a oboznámiť sa s haváriami spôsobenými v histórii z dôvodu nesprávneho zaobchádzania s elektrotechnickými zariadeniami.

Ďalej ide o oboznámenie sa s delením elektromagnetickej kompatibility na viacero kategórií. Jednou z kategórií je delenie na EMC biologických systémov a technických systémov. Biologická časť sa zaoberá problematikou EMC a jeho pôsobenia na živé organizmy.

Technická časť sa zaujíma o oblasť technických prostriedkov a pôsobenia EMC na zariadenia.

Druhou kategóriou EMC je delenie podľa toho či zariadenie vysiela rušivé signály, kde hovoríme o elektromagnetickej interferencii. Druhá časť sa zaoberá elektromagneticou odolnosťou. Táto časť nám bližšie hovorí o správnom fungovaní zariadenia aj v prostredí s rušivými signálmi.

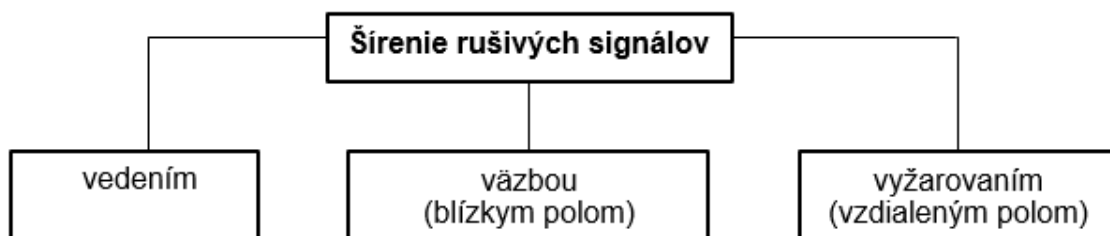
Koniec kapitoly sa podrobnejšie zaoberá základnými pojmami v EMC po ekonomickej stránke počas výroby zariadení a výrobkov ktorých sa elektromagnetická kompatibilita týka.

2 ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENIE A JEHO MERANIE

Aby bolo možné overiť stupeň dosiahnutej úrovne EMC pri navrhovanom zariadení, je nutné prakticky overiť a zmerať jeho rušivé vyžarovanie. Meranie a testovanie je jedna z dôležitých častí pri ich overovaní. Pred meraním je potrebné, hovoriť o prípustných hodnotách ktoré dané testované zariadenie môže vyprodukovať počas jeho prevádzky. Nikde sa nestretáme s tým, že zariadenie by bolo plne kompatibilné a nevyžarovalo by žiadne nežiadúce signály. Aby namerané výsledky, merania boli merané správne je potrebné dodržiavať predpísané normy, postupy, meracie miestnosti a zariadenia. Prehľad noriem ktoré hovoria o predpísaných normách ktoré by malo zariadenia spĺňať, je možné nájsť v zozname elektromagnetických noriem[14]

2.1 Spôsoby šírenia rušivých elektromagnetických signálov

Pri meraní je potrebné dohliadať na to, aby sa počas merania zvolilo správne zariadenia na meranie rušivých signálov. Je to z dôvodu toho, že jednotlivé typy signálov môžu zo zariadenia a do zariadenia vstupovať rozličnými spôsobmi. Bližšie tieto spôsoby opisuje obr. 6.



Obr. 6 Spôsoby šírenia rušivých elektromagnetických signálov[14] upravil Novosád 2018

Prenos vedením, ide o prenos pomocou napájacieho či dátového spojenia daného zariadenia. Meranými veličinami pri tomto type prenosu sú rušivé napätie, rušivý prúd a rušivý výkon zariadenia. Týmito veličinami sa dá charakterizovať elektromagnetické rušenie pri tomto type prenosu.

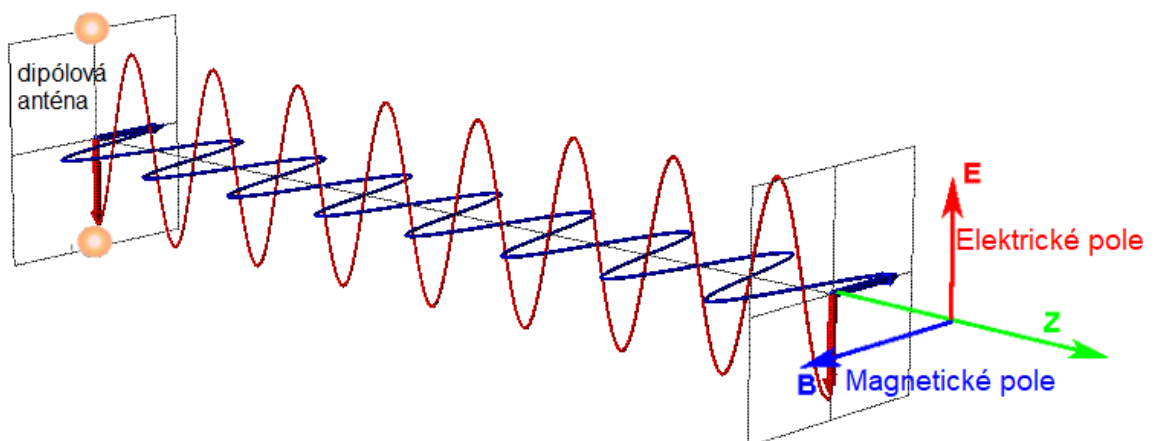
Prenos elektrickou či magnetickou väzbou, ide o prenos pomocou elektromagnetického poľa ktoré sa môže nachádzať v blízkosti dvoch a viacerých zariadení. Charakteristickými veličinami pre tento typ prenosu je intenzita elektrického poľa a intenzita magnetického poľa.

Prenos vyžarovaním, ide o prenos pomocou vyžarovania elektromagnetických vln ktoré vznikajú vzdialeným elektromagnetickým polom. O tomto type prenosu sa da hovoriť pri

vzdialených objektoch ktoré využívajú vysokého rádiového kmitočtu. Charakteristickými veličinami sú ako u predchádzajúceho typu prenosu intenzita elektrického a magnetického poľa a poprípadne aj hustota vyžarovaného výkonu[14].

2.1.1 Elektromagnetické vlny

Vznik elektromagnetickej vlny je možné opísať ako premenlivé magnetické pole ktoré indukuje pridružené kolísavé elektrické pole a je kolmé na magnetické pole. A elektrické pole zas indukuje pridružené meniace sa magnetické pole. Elektrické pole a magnetické pole spolu tvoria elektromagnetické pole, alebo tzv. elektromagnetickú vlnu ktorá sa šíri rýchlosťou svetla v smere kolmom na elektrické a magnetické pole[13].

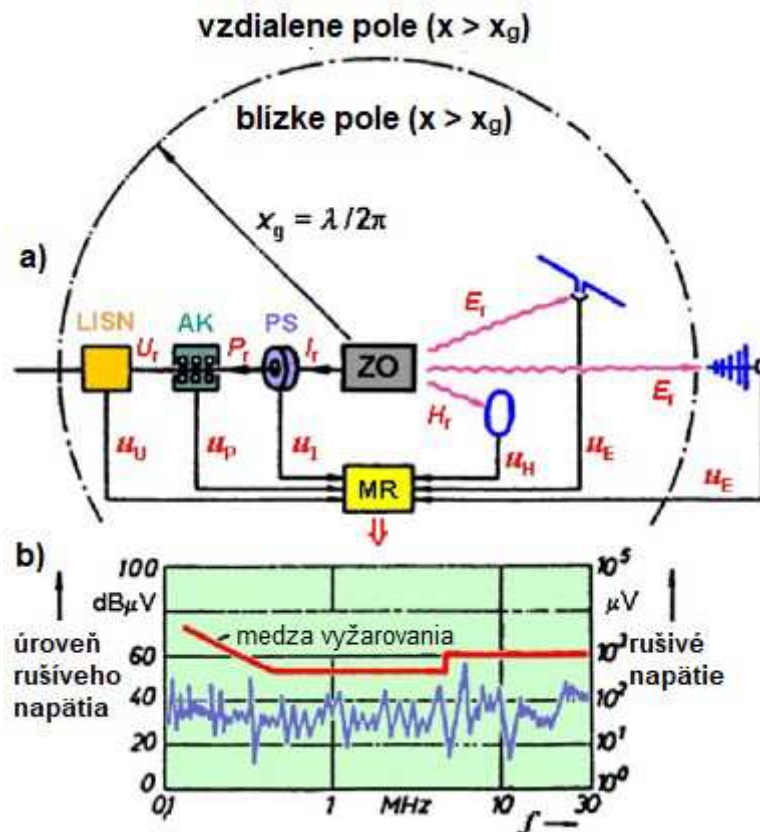


Obr. 7 Elektromagnetická vlna[13]

2.1.2 Základné možnosti merania rušivých signálov

Na obr. 7 sú prehľadne zobrazené možnosti merania rušivých signálov na vedení. K tomu aby bolo možné niečo zmerať, potrebujeme zariadenie ktorým budeme daný signál merať, tzv. merač rušenia (**MR**). Meračom rušenia môže byť, špeciálny prijímač pre požadovaný kmitočet. V bežných podmienkach sa používajú prijímače o prijme kmitočtu na úrovni od 9 kHz do 2 GHz. Vďaka tomu môže byť meraná veličina prevedená na napätie. Také meranie sa ďalej spracováva a meria pomocou merača rušenia (**MR**). Bežnými druhmi snímačov v obore EMC je umelá sieť(**LISN**), napäťová sonda, prúdová sonda(**PS**), absorpčné kliešte (**AK**) alebo pri meraní rušivých signálov sa používajú rôzne typy antén. Základným pravidlom pri správnom meraní zariadení, ide to aby jednotlivé meracie zariadenia reagovali len na rušivé signály vyvolané zo skúšobného zariadenia (**ZO**) a neboli ovplyvňované inými signálmi (umelými alebo prírodnými). Ak by vznikali nežiaduce rušivé signály priamo

z meracieho zariadenia, je potrebné aby tieto signály boli potlačené aby neovplyvňovali správnosť nameraných hodnôt. Počas merania je nutné dodržiavať jednotlivé predchádzajúce požiadavky na meracie zariadenia ale aj na miesto kde sa jednotlivé testy vykonávajú. Na usporiadaní jednotlivých častí v bezodrazovej komore záleží [14].



Obr. 8 a) Prehľad spôsobov merania rušivých elektromagnetických signálov; b) príklad vyhodnotenia výsledku rušenia [1], upravil Novosád 2018

2.2 Meranie pomocou antén

Meráním pomocou antén sa začína zaoberať ak ide o merania vyžarovaného signálu v úrovni kmitočtu od 10 kHz do 1000 MHz a viac. Na jednotlivé typy úrovni kmitočtu sa dajú použité odlišné typy antén. Pri meraní vyšších rušivých elektromagnetických polí (od 300 MHz a viac) je problematická realizácia priameho merania rušivých napätí či prúdov. Jednotlivé elektromagnetické polia pri takýchto úrovniach kmitočtu sa merajú rôznymi typmi antén, prehľad typu antén sa nachádza v tab. 1 [14].

Tab. 1 Prehľad meracích antén pre systémy EMI [14]

Druh antény	Rozsah kmitočtu [MHz]	Meraná zložka
Rámová anténa	0,009 – 30	H
Prútová anténa (monopol)	0,009 – 300	E
Symetrické dipóly	30 – 1000	E
Bikónická anténa	20 – 300	E
Logaritmicko-periodická anténa	200 – 3000	E
Kónicko-logaritmická anténa	200 – 3000	E
Zložená širokopásmová anténa	30 – 2000	E
Lieviková anténa	1000 - 40000	E,H

2.2.1 Rámová anténa

Sa používa v najnižšom kmitočtovom pásme od 9 kHz do 150 kHz. V tomto kmitočtovom pásme je väčšina rušivých signálov spôsobená magnetickou časťou poľa. Tento typ antén sa ďalej delí na pasívne a aktívne s meracím zosilňovačom[14].



Obr. 9 Rámová anténa do 30 MHz[14]

2.2.2 Prútová anténa

Rušivé elektrické pole sa v pásme od 150 kHz do 30 MHz meria pomocou prútovej (tyčovej) antény s tzv. monopolom ktorý je možné vidieť na obr. 9. Doporučená dĺžka monopolu je 1m. Ak ide o meranie týmto typom antény v blízkosti poľa rušenia zdroja, je

meranie takejto elektrickej intenzity poľa nepresné. Je to spôsobené väzbou vysokofrekvenčného poľa a priamou kapacitnou väzbou medzi anténou a zdrojom rušenia[1].



Obr. 10 Prútová
anténa do 30
MHz[14]

2.2.3 Symetrická dipólová anténa a púlvlnný dipól

Ak ide o presnejšie určenie intenzity rušivého elektrického poľa v blízkom poli tohto kmitočtového pásma, používa sa k meraniu symetrická dipólová anténa. Vďaka tejto anténe je možné určiť aj smer meraného poľa a priebeh siločiar v okolí rušivého zdroja. Pre jej výšku je príliš malá, a preto nachádza využitie len v laboratóriách.

Pri meraní v kmitočtovom pásme od 30 do 80 MHz ako typ antény používa púlvlnný dipól, ktorého rezonančná dĺžka je nastavená kmitočtu 80 MHz. Pri vyšších meraniach do úrovně až 1000 MHz slúži púlvlnný dipól ako kalibračná anténa. Pre bežné merania sa nedoporučuje používanie tohto typu antén z dôvodu náročnosti naladenia na príslušný kmitočtet a dipól musí byť prispôsobený k napájaniu.



Obr. 11 Sada ladených symetrických
dipólov 30 – 1000MHz [14]

2.2.4 Lievikové antény

Tento typ antén sa používa k meraniu vo vysokých kmitočtoch, presnejšie v úrovniach do 12 GHz. Tento typ je v podstate úzkopásmový, je ale možné niektorými konštrukčnými úpravami rozšíriť kmitočtové pásma antény. Aby bolo možné jednotlivé kmitočty namerať je potrebná celá sada týchto antén, vďaka ktorým je možné nastaviť jednotlivé kmitočtové rozsahy[14].

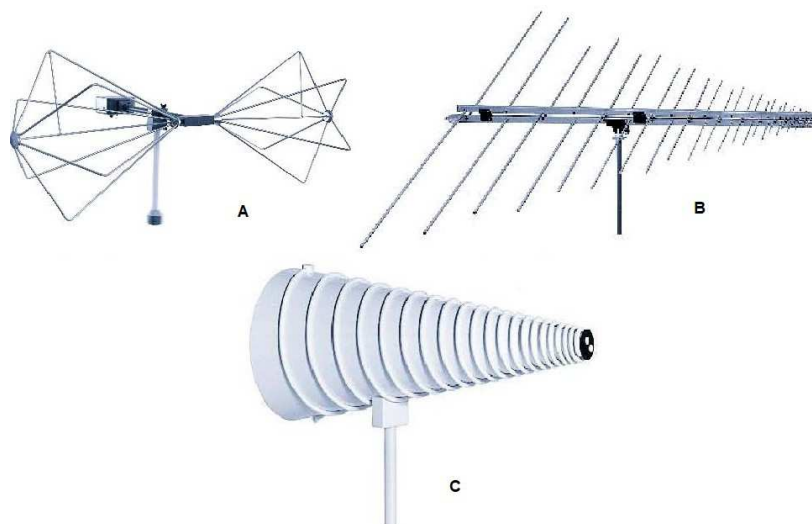


Obr. 12 Sada lievikových antén 1 – 12 GHz [14]

2.2.5 Zvyšné typy antén

Slúžia k meraniu elektromagnetického rušenia na kmitočte od desiatok MHz až do 2000 MHz. V tomto kmitočte sa stretávame s týmito druhmi antén:

- **Bikónická anténa** používa sa k meraniu v pásme od 20 až 300 MHz (obr. 12 A);
- **Logaritmicko-periodická anténa** patrí medzi najrozšírenejšiu anténu pre meranie rušivých signálov v pásme od 200 až 3000 MHz. Tvar vyžarovania a hodnota vstupnej impedancie je konštantná vďaka konštrukcii. (obr. 12 B);
- **Kónicko-logaritmická anténa** slúži k príjmu a vysielaniu kruhového polarizovaného elektromagnetického poľa. Nie je vhodným typom antén k meraniu EMC, z dôvodu predpisu normy s lineárnou polarizáciou daných signálov. Rozsah kmitočtu je od 200 do 3000 MHz (obr. 12 C);
- **Zložené širokopásmové antény** tvoria kombináciu predchádzajúcich spomenutých antén. Rozsah kmitočtu je od 30 – 2000 MHz[14].



Obr. 13 Typy antén; A) bikónická anténa; B) logaritmicko-periodická anténa; C) kónicko-logaritmická anténa[14]

2.3 Záver elektromagnetického rušenia a jeho merania

Cieľom tejto kapitoly je zoznámenie sa s problematikou elektromagnetického rušenia počas merania. Bližšie určenie vplyvu rušivých signálov na merané zariadenia ale aj vyžarovanie rušivých signálov zo zariadenia.

Prvá časť kapitoly bližšie opisuje šírenie rušivých signálov a ďalej ich delí do viacerých kategórií. Opisuje spôsob prenosu jednotlivých signálov a v krátkosti opisuje elektromagnetické vlny a spôsob vlnenia. Na konci danej časti je spomenutý spôsob merania jednotlivých typov signálov s možnosťami ich merania.

Druhá časť kapitoly sa bližšie zaoberá spôsobom merania rušivého signálu pomocou antén a ich podrobnejším opisom. Jednotlivé antény delíme podľa toho v akom kmitočtovom pásme sme sa rozhodli merať a aký typ signálu bude meraný.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 POPIS PRACOVISKA A ZARIADENIA V LABORATÓRIU

Úvodom do praktickej časti je zoznámenie sa s laboratóriom merania elektromagnetickej kompatibility a jeho laboratórneho vybavenia, ktoré bolo použité na meranie elektromagnetického rušenia v praktickej časti práce.

3.1 Bezodrazová komora

Slúži k meraniu elektromagnetického rušenia vyvolávaného samotnými zariadeniami a elektromagnetickej odolnosti zariadení. K meraniu jednotlivých častí elektromagnetickej kompatibility je potrebné aby jednotlivé merania prebehli na mieste so žiadnym vonkajším elektromagnetickým rušením. K tomuto nám slúži bezodrazová komora, ktorá plní funkciu izolantu a zabraňuje prepúšťaniu rušivých signálov do vnútra komory a z vnútra komory smerom von. Bezodrazová komora ktorá bola použitá na meranie je zobrazená na obr. 13.



Obr. 14 Bezodrazová komora Frankonia SAC-3

Bezodrazová komora ktorá sa nachádza v budove FAI je od výrobcu bezodrazových komôr Frankonia. Jej presný názov je Frankonia SAC-3. V tejto komore a celej časti laboratória sa

nachádzajú ďalšie meracie zariadenia od firmy Rohde&Schwarz ktoré boli použité na meranie. Technické parametre komory sú bližšie určené v tab. 2 nižšie.

Tab. 2 Technické parametre bezodrazovej komory[18]

Technické parametre bezodrazovej komory Frankonia SAC-3	
vnútorné rozmery	cca 6,5 x 4,5 x 5,0m
merací rozsah pre EMI a EMS	R = 3m
kmitočtový rozsah	26 MHz až 18 GHz
tieniaca účinnosť	SE \geq 80 dB (1GHz)
testovanie EMI/EMS po vedení	Od 150 kHz do 30MHz (alebo až do 230MHz)
intenzita elekt. a mag. poľa	30 MHz až 6000 MHz

3.2 Vybavenie laboratória k meraniu EMI

Slúži k spracovávaní výsledkov elektromagnetického rušenia vyvolávaného testovaním zariadením. Jednotlivé prvky ktoré môžeme nájsť v laboratóriu sú napríklad merací prijímač, väzobní sieť, väzobní prúdové transformátory k monitorovaniu asymetrického rušenia na 230V napájacom prívode (10kHz až 500 MHz) a sadu antén pre meranie rušivého elektromagnetického rušenia (rámová anténa, BiLog anténa, lievnikové antény).

3.2.1 Merací prijímač ESU 8

Merací prijímač bol použitý na spracovanie rušivého elektromagnetického signálu ktorý ďalej tento signál poslal cez port do počítača kde sa následne výsledky spracovali v programe. Merací prijímač splňuje všetky potrebné požiadavky, normy aby bolo možné s nim merať elektromagnetické rušenie. Vlastnosti zariadenia:

- frekvencia od 20 Hz do 8 GHz;
- nízka neistota merania;
- zhoda s normou CISPR 16-1-1;
- vysoká rýchlosť merania;
- diaľkové ovládanie cez GBIP a LAN[18].



Obr. 15 Merací přijímač Rohde&Schwarz ESU8[16]

3.2.2 Umělá síť Rohde-Schwarz ENV216

Umělá síť alebo iným slovom povedané záťažové vedenie sa používa k meraniu rušivého zariadenia napájaného z elektrickej siete. Také rušenie vzniká na svorkách skúšaného zariadenia. V našom laboratóriu sa nachádza jednofázová umelá sieť od firmy Rohde-Schwarz.

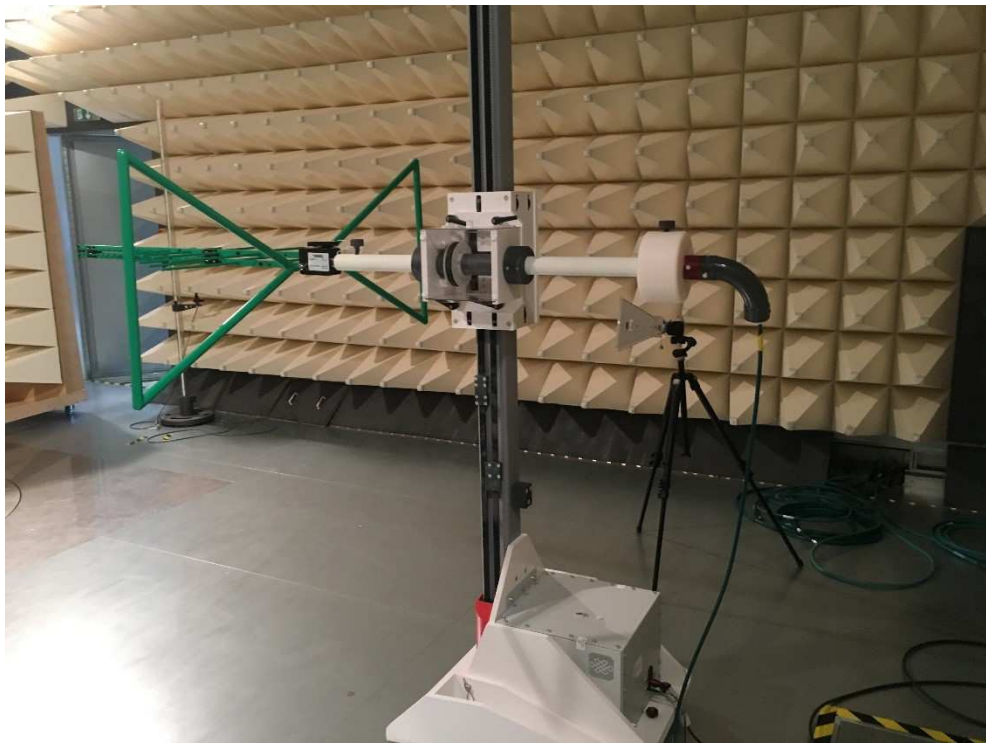


Obr. 16 Umělá síť Rohde-Schwarz ENV216[17]

3.2.3 Antény k meraniu EMI

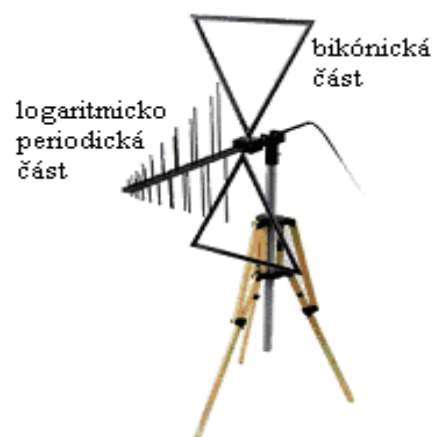
Odlišujeme použité antény podľa toho k akému meraniu sú určené. K meraniu EMI v laboratóriu vedeckotechnického parku fakulty FAI, je možné použiť typy antén ako rámová anténa, BiLogová anténa a lievnikové antény. K meraniu praktickej časti práce som

používal BiLogovú anténu (obr. 16) ktorá vznikla kombináciou bikónickej a logaritmickeo-periodickej antény. BiLog anténa nám slúži k meraniu elektromagnetického rušenia o kmitočtovom pásme od 30 MHz do 2 GHz. Elektromagnetické rušenie som meral v pásme od 30 MHz až do 1 GHz. Anténa je schopná meniť polarizáciu na vertikálnu a horizontálnu. Nastavenie úrovne výšky je možné od 1m do výšky 4m.



Obr. 17 BiLog anténa nachádzajúca sa v laboratóriu EMC

Zloženie tejto antény je bližšie znázornené na obr. 17. Kde je možné vidieť rozdelenie tejto antény a zobrazenie spojenia dvoch typov antén. Dva spojené trojuholníky tvoria bikónickú časť antény a zvyšnú časť tvorí logaritmickeo-periodická časť.



Obr. 18 Popis BiLog antény[12]

4 VYBER ZARIADENÍ

Počas merania bolo potrebné dodržiavať bezpečnosť pri meraní elektromagnetického rušenia. Dodržiavať zásady merania a správne zvoliť zariadenia k meraniu v praktickej časti. Pri meraní bola použitá len jedna anténa a to BiLog anténa. Jednotlivé zariadenia museli byť správne umiestnené na drevenom stole a v správnej vzdialenosti od antény. Napájacie kable zariadení museli byť umiestnené v správnej polohe a záležalo na ich umiestnení. Ak by sa nedával pozor, signály ktoré sa prenášajú týmito kablami mohli narušiť výsledky meraní.

4.1 Výber zariadení k meraniu

K meraniu elektromagnetického rušenia bolo nutné vybrať aspoň 4 laboratórne zariadenia u ktorých sa predpokladá prevádzka vnútri bezodrazovej komory počas experimentov. K meraniu som si vybral dva napájacie zdroje, dva osciloskopy a pripojený monitor na notebook pomocou VGA kableu.

4.1.1 Regulovaný zdroj HQ PS3010

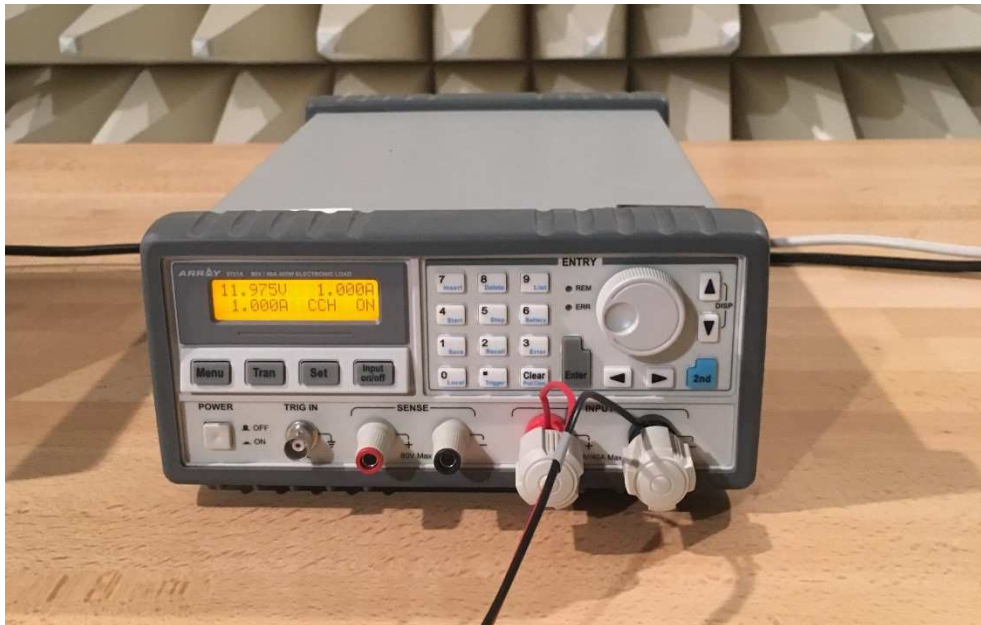
Bude udržiavať výstupne napätie bezohľadnú na jeho záťaž, pokiaľ nie sú prekročené maximálne úrovne zariadenia. Pomocou tlačidiel je možné nastaviť určenú napájaciu alebo prúdovú hodnotu. Tento zdroj nám slúžil na udržiavanie napätia a prúdu na ostatných typoch zdrojov.



Obr. 19 Regulovateľný zdroj HQ PS3010

4.1.2 Napájecí zdroj Array 3721A

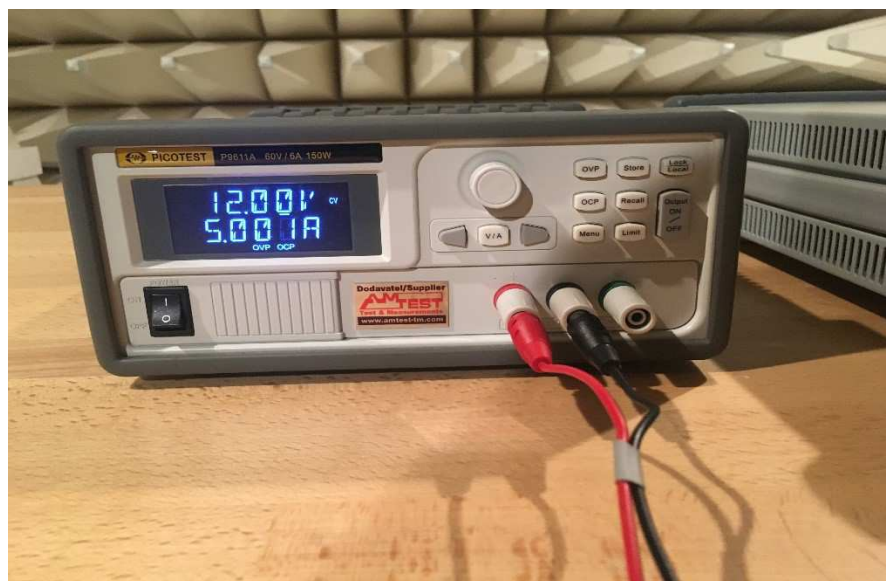
Jeden z běžně používaných programovatelných napájecích zdrojů u nás v laboratoriích, slouží hlavně k testování zdroje energie. U tohoto zařízení je možné nastavit vstupní proud od 0 do 40A a vstupné napětí od 0 do 80V.



Obr. 20 Napájecí zdroj Array 3721A

4.1.3 Napájecí zdroj Picotest P9610A

Napájecí zdroj který je plně programovatelný a je ho možné nastavit do úrovně 60V a 6A



Obr. 21 Napájecí zdroj Picotest P9610A

4.1.4 Osciloskop Hameg HMO722 a Rigol DS1052E

Osciloskop vo všeobecnosti znamená elektronický merací prístroj na meranie časového priebehu veličín kto je možné previesť na elektrické napätie. Hameg je digitálny dvojkanálový osciloskop so šírkou pásma až do 70MHz. Prístroj je vybavený farebným displejom a zvláda funkcie bežného osciloskopu



Obr. 22 osciloskop Hameg HMO722

Osciloskop od firmy Rigol je taktiež dvojkanálový osciloskop ktorý disponuje so šírkou pásma až 50MHz. Tiež je vybavený farebným displejom a zvláda bežné funkcie osciloskopu.



Obr. 23 osciloskop Rigol DS1052E

4.1.5 Meranie rušenia u notebooku s monitorom

Okrem zariadení používaných v laboratóriách počas merania elektromagnetického rušenia, som sa rozhodol pridať k testovaným zariadeniam jedno bežné elektronické zariadenie ktoré nám slúži ako výpočtová technika. Vybral som prenosný počítač Lenovo ku ktorému bol pripojený LCD monitor pomocou VGA káblu.

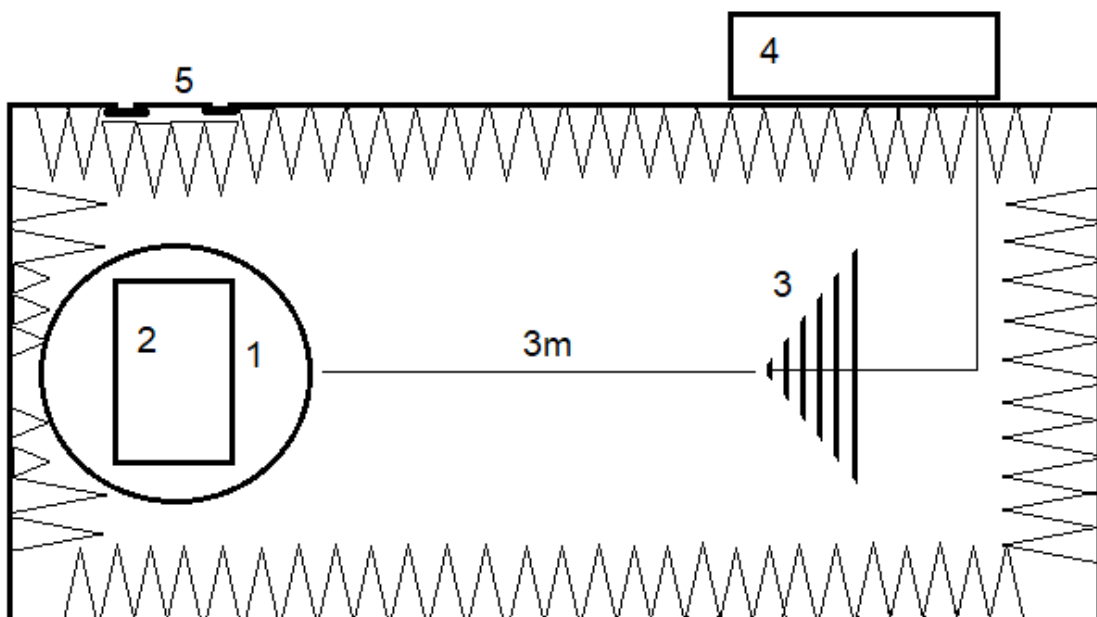


Obr. 24 Notebook Lenovo prepojený s monitorom pomocou VGA káblu

5 MERANIE ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENIA

Počas merania bolo nutné dodržiavať zásady správneho merania elektromagnetického rušenia a taktiež dodržiavať správne umiestnenie prístrojov vo vnútri komora počas ich testovania. Obrázok č.25 bližšie opisuje umiestnenie BiLogovej antény, stola a meraného zariadenia počas merania. Tento náčrt zobrazuje bezodrazovú komoru a umiestnenie určených komponentov v laboratóriu vo vedeckotechnickom parku fakulty FAI

- 1) otočná podlaha
- 2) drevený stôl
- 3) BiLogová anténa
- 4) meracie zariadenie
- 5) vstup do komory

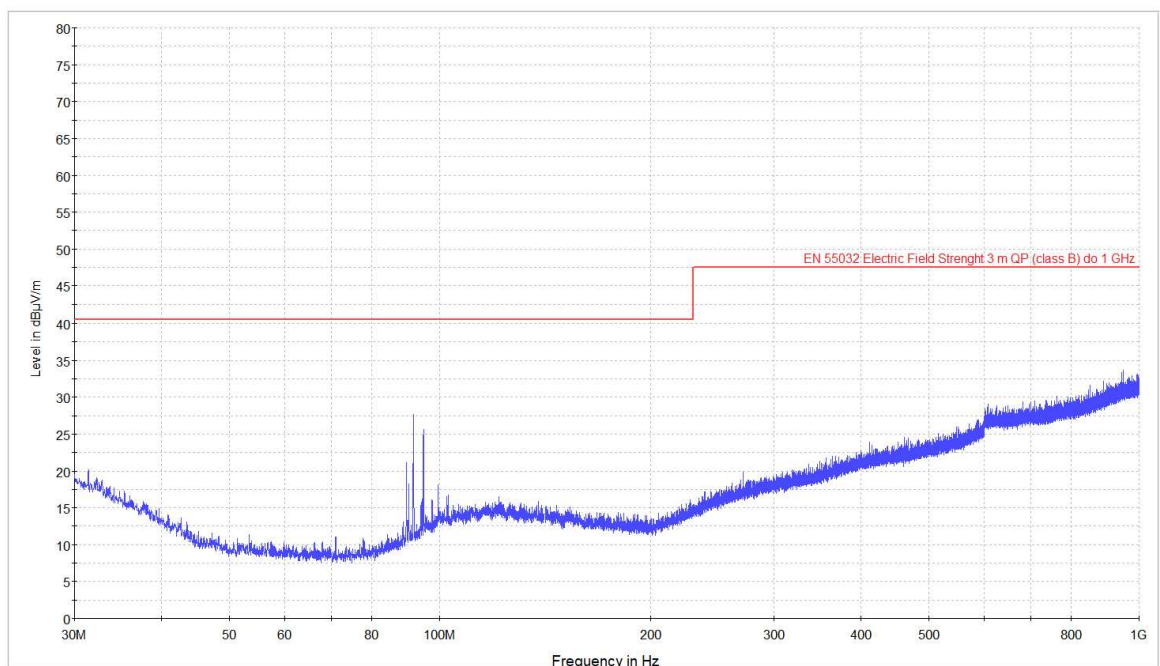


Obr. 25 Usporiadanie v bezodrazovej komore počas merania

5.1 Meranie pozadia a postup pri meraní

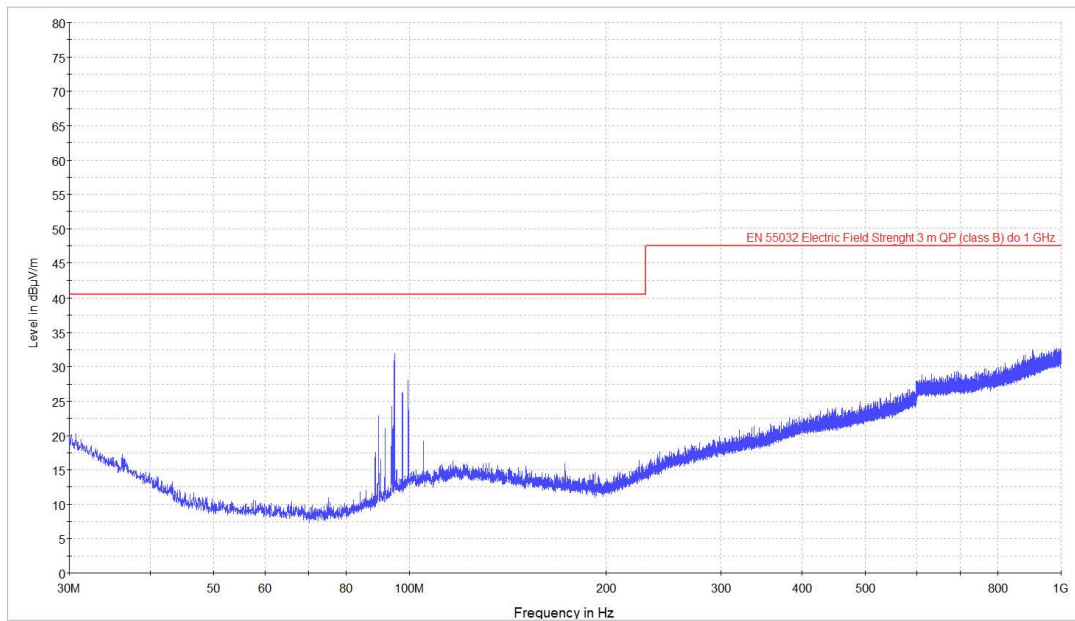
Predtým ako sa začalo merať bolo potrebné sa oboznámiť s problematikou elektromagnetickej kompatibility, jej vplyvom na organizmus a bezpečnosťou pri jej meraní. Komora musela byť počas celého merania správne uzatvorená.

Pred prvým meraním bolo potrebné spraviť meranie pozadia vo vnútri bezodrazovej komory. Tým sa myslí že sa testovalo elektromagnetické rušenie bez toho aby sa vnútri nachádzalo nejaké elektronické zariadenie ktoré by mohlo vyvolávať rušenie. Výsledkom tohto merania je graf (obr. 26 a obr. 27), ktorý nám opisuje spektrum elektromagnetického rušenia. Ďalej je možné na obrázku vidieť červenú čiaru, ktorá nám označuje danú normu ČSN EN 55032, ktorá bližšie hovorí o testovaní elektromagnetickej kompatibility, ktorú by malo zariadenie spĺňať a nemalo by ju za žiadnych okolností prekročiť. Jednotlivé merania boli merané pri vertikálnej (ďalej ako V) a horizontálne (ďalej ako H) polarizácii. Polarizácia antény sa určuje podľa polarizácie emitovanej elektromagnetickej vlny.



Obr. 26 Pozadie pri horizontálne polarizácii

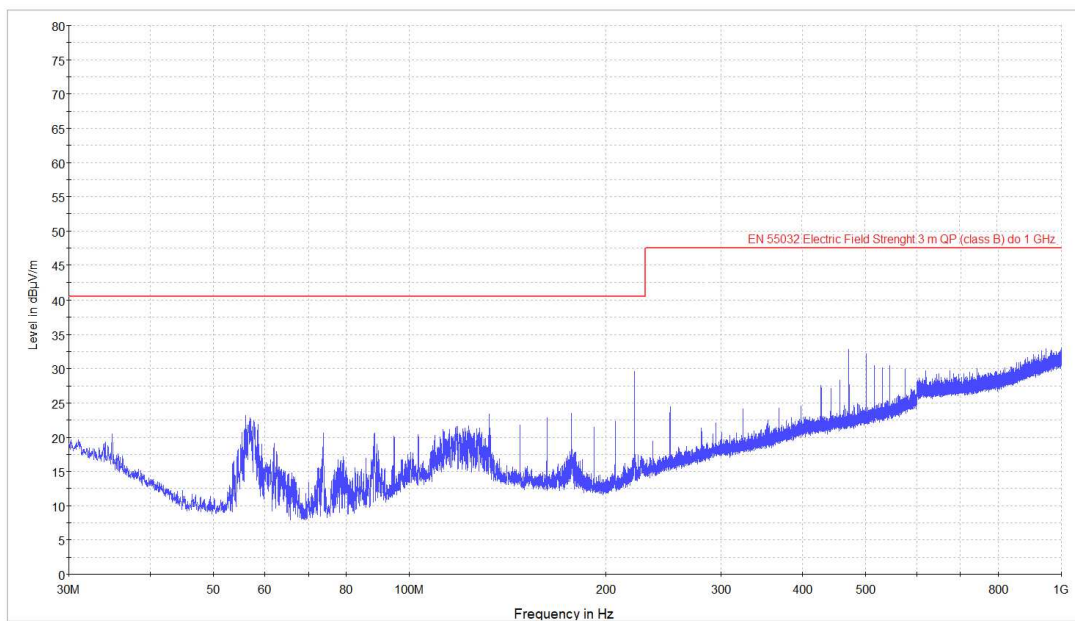
Na obr. 26 a obr.27 je možné sledovať výchylku v oblasti 90 – 100 MHz, to má za príčinu vzdialený rádiový vysielateľ, ktorý dokáže aj na vzdialenosť niekoľkých kilometrov ovplyvniť výsledky merania. Toto nepriaznivé ovplyvnenie má za následok vplyvu rušivého signálu na kable ktoré vedú z vnútra bezodrazovej komory.



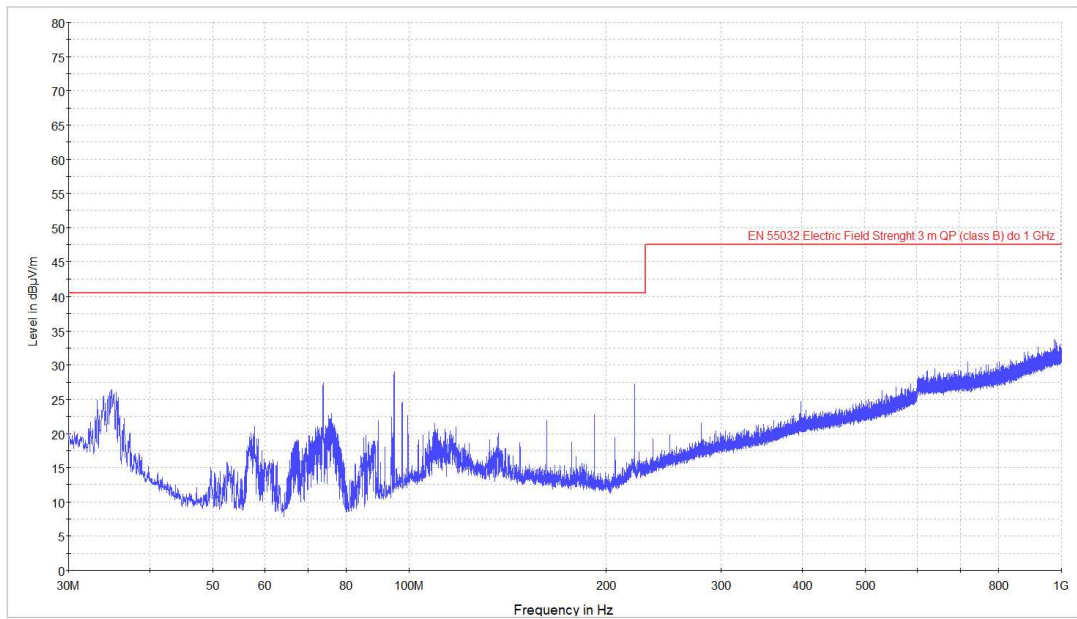
Obr. 27 Pozadie pri vertikálne polarizácii

5.1.1 Meranie elektromagnetického rušenia napájacieho zdroju Array 3721A

Pri meraní elektromagnetického rušenia sa nastavovala iná hodnota odberu prúdu. Hodnota napätia na zdroji sa pohybovala približne na hodnote 12V a hodnota prúdu sa menila po každom meraní od 0A do 8A. Jednotlivé meranie bolo namerané na úrovniach 0A, 3A a 8A. Jednotlivé úrovne merania boli namerané v oboch polarizačných polohách.

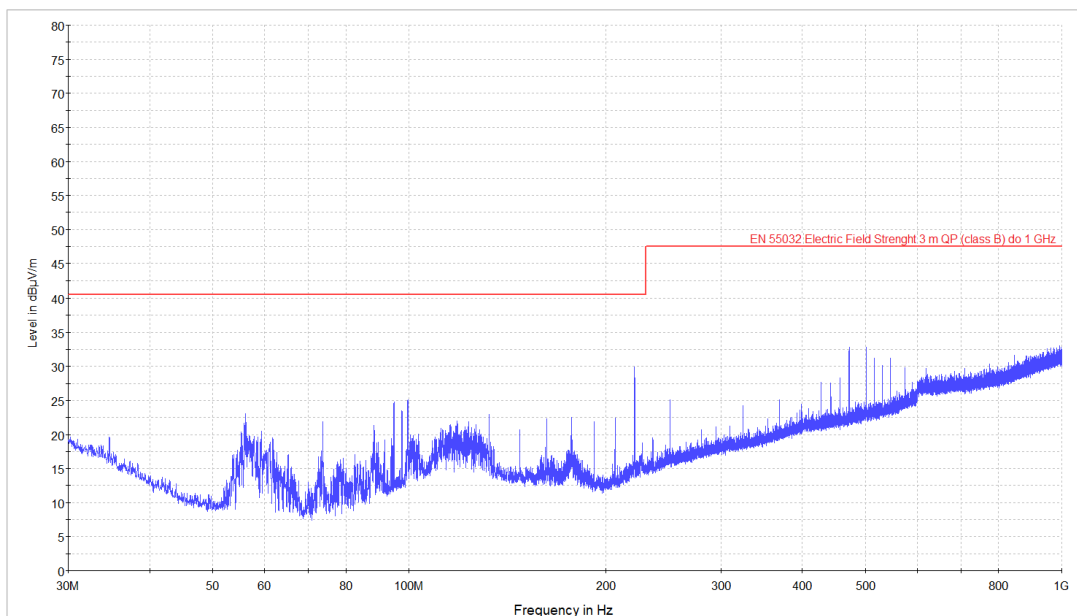


Obr. 28 Elektromag. rušenie generované zdrojom Array 3721A – 12V 0A - H

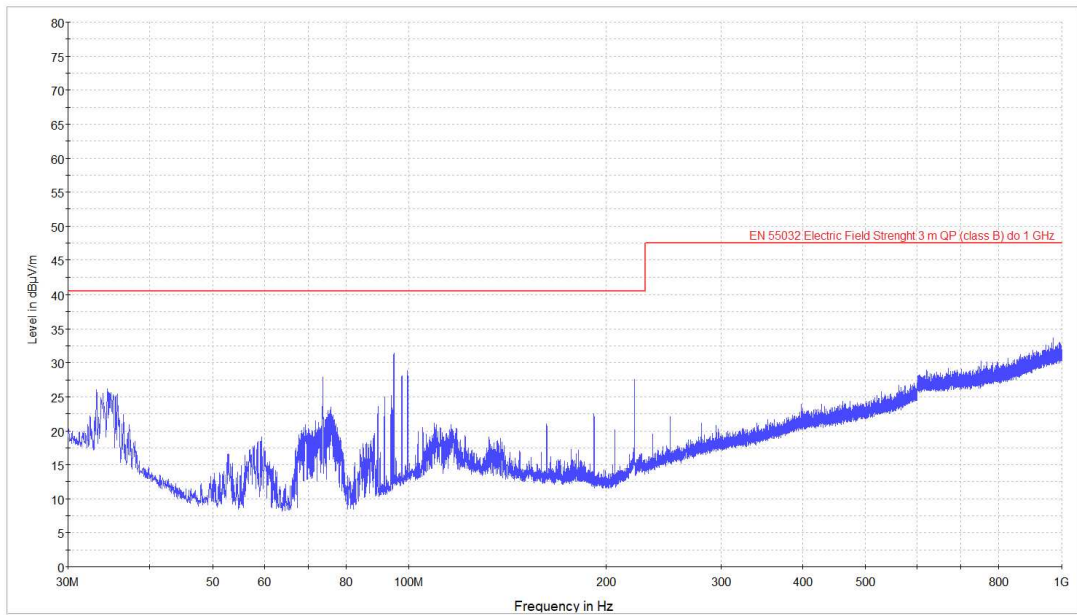


Obr. 29 Elektromag. rušenie generované zdrojom Array 3721A – 12V 0A - V

Obidve merania sa merali pri hodnote napätia 12V a odbere prúdu 0A. Na obr. 27 je možné sledovať meranie pri horizontálnej polarizácii antény. Zmenu oproti pozadiu môžeme sledovať od frekvencie približne 55 MHz až po 200 MHz. Pri vertikálnej polarizácii ktorá je zobrazená na obr. 28, je možné vidieť zmenu oproti pozadiu od frekvencie približne 30 MHz až do 200 MHz. V oblasti frekvencie 90 – 100 MHz je možné pozorovať aj vplyv rušivého signálu z blízkeho vysielateľa.

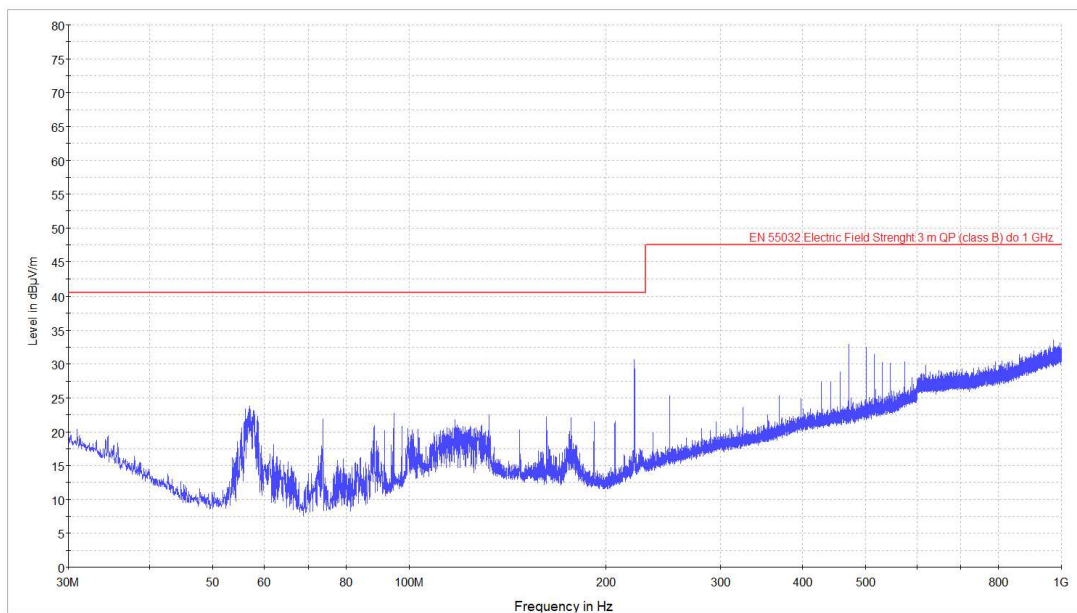


Obr. 30 Elektromag. rušenie generované zdrojom Array 3721A – 12V 3A - H

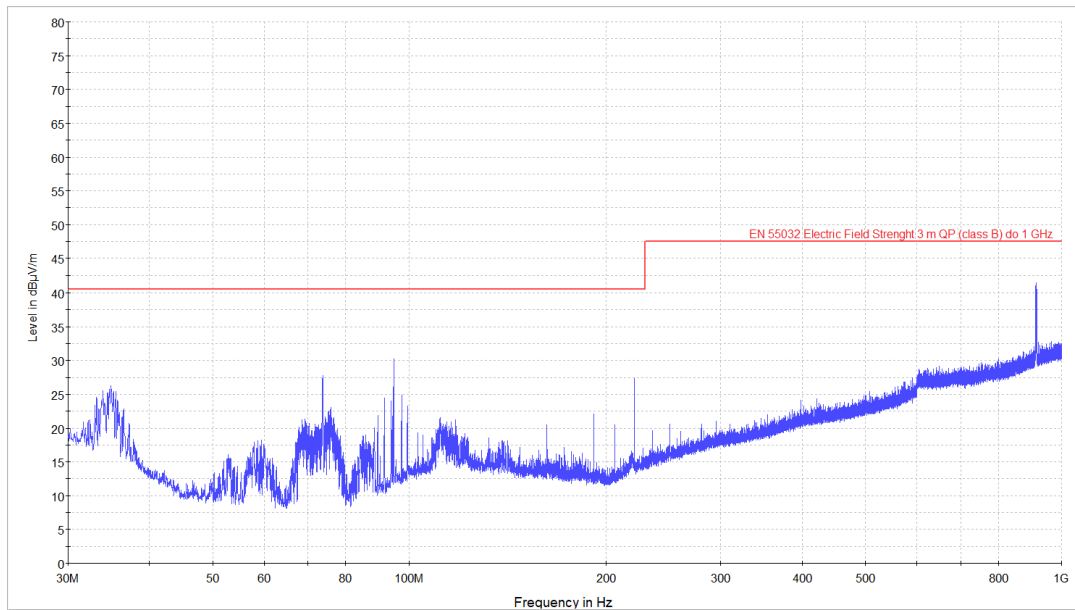


Obr. 31 Elektromag. rušenie generované zdrojom Array 3721A – 12V 3A - V

Pri ďalšom meraní tohto typu napájacieho zdroja sa menila odberová hodnota prúdu z 0A na 3A. Napájanie bolo nastavené na hodnotu 12V. Vplyv rušenia je možné sledovať na úrovni frekvencie od 30 MHz až po 40 MHz a od 50 do 200 MHz pri meraní vo vertikálnej polarizácii. Na oboch polarizáciách je možné sledovať, že pri zmene prúdu z 0A na 3A nie sú vidieť veľké, až takmer žiadne rozdiely.



Obr. 32 Elektromag. rušenie generované zdrojom Array 3721A – 12V 8A - H

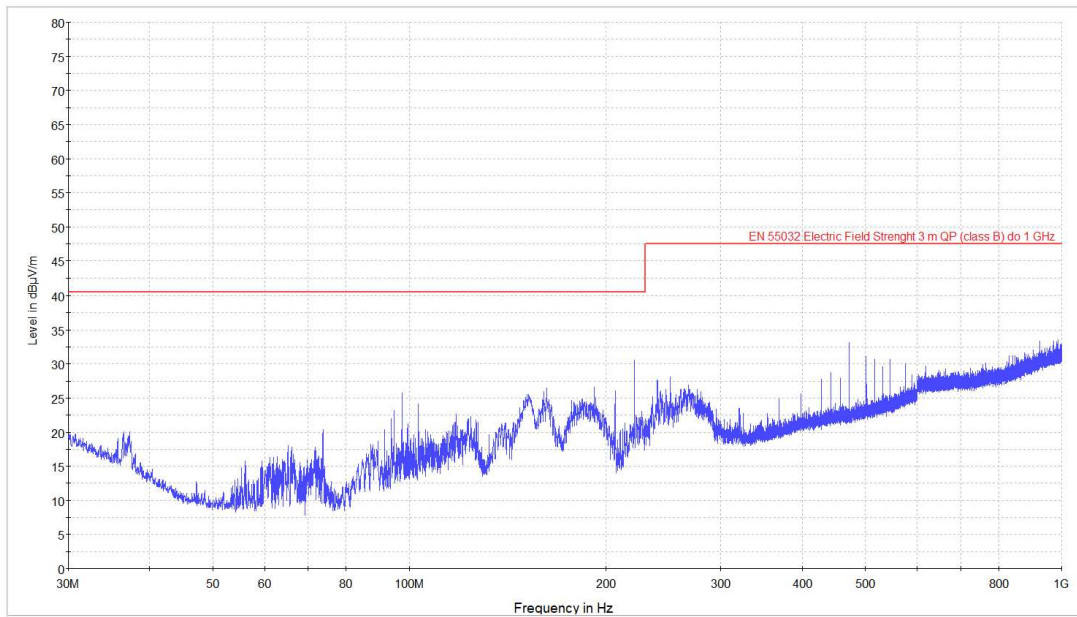


Obr. 33 Elektromag. rušenie generované zdrojom Array 3721A – 12V 8A – V

Posledné meranie tohto typu zdroja prebehlo na úrovni napätia 12V a odbere prúdu 8A. Prvá časť merania bola nameraná v horizontálne polarizácii antény(obr.32). Pozorovateľné zmeny oproti pozadiu, a elektromagnetickú interferenciu bolo možné vidieť v oblasti od 50 do 200 MHz, nesmie sa tiež z zabudnúť na vplyv rádiového vysielača ktorý ovplyvňuje časť v oblasti 90 – 100 MHz. V druhej časti merania bola anténa nastavená vo vertikálne polarizácii, pri tomto meraní bolo možné sledovať, že rozdiel prúdu z 3A na 8A nemá taký vplyv na výsledky merania. Grafy merania sú takmer identické a pozorovateľné zmeny sú v oblasti od 30 MHz do 200 MHz. Čo je však zvláštne sledovať je výstupok na grafe v oblasti medzi 800 MHz až 1 GHz. Výška antény bola nastavená na 2m a vzdialenosť antény od meraného zdroja bola 3m počas všetkých meraní tohto typu napájacieho zdroja.

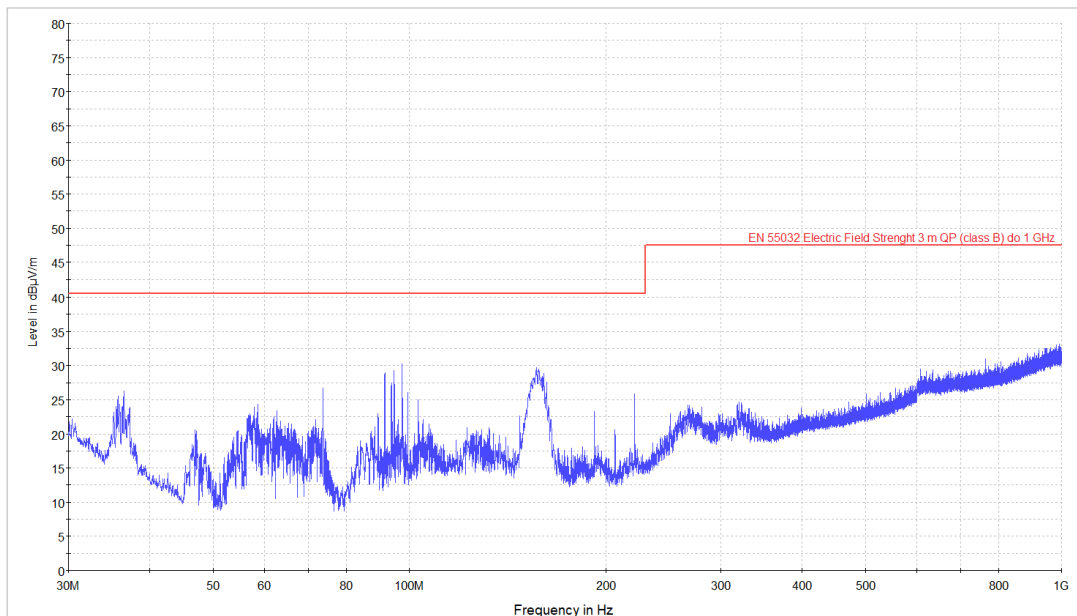
5.1.2 Meranie elektromagnetického rušenia napájacieho zdroju Picotest P9610A

Meranie tohto typu zdroju prebehlo trikrát, pri čom sa menili hodnoty prúdu. Hodnota napätia bola rovnaká ako pri predchádzajúcom zdroji. Napätie zdroja 12V a odber prúdu sa menil na hodnoty 1A, 3A a 5A. Celkovo bolo spravených šesť meraní, kde tri merania prebehli vo vertikálnej a horizontálne polohe antény. Výška antény bola nastavená na 2m a vzdialenosť antény bola 3m od meraného zdroja. Pri meraní počítame s rušením z blízkeho vysielača v pásme od 90 – 100 MHz.



Obr. 34 Elektromag. rušenie generované zdrojom P9610A – 12V 1A – H

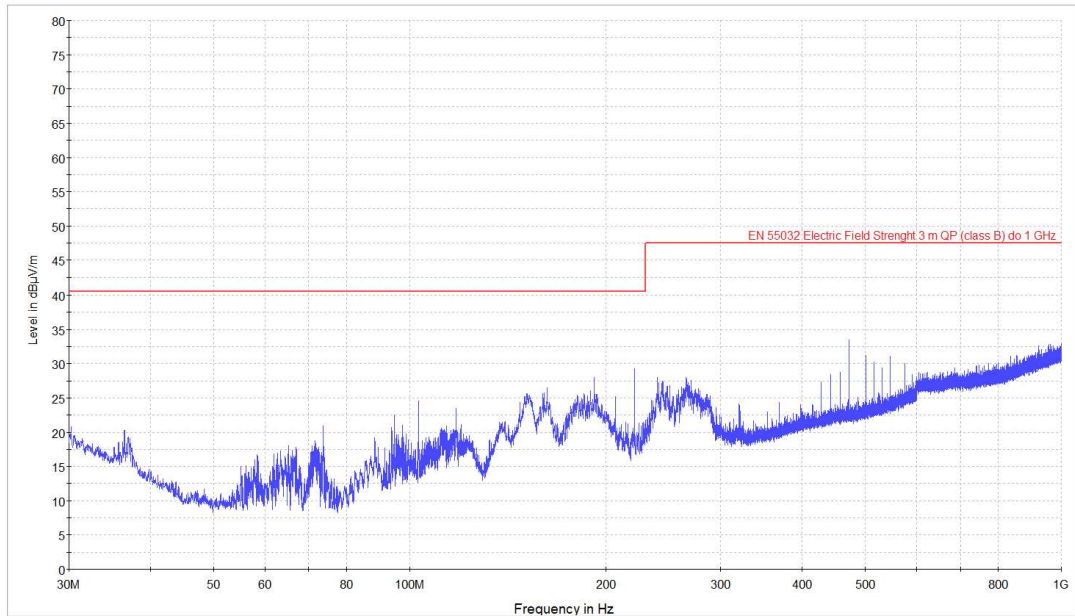
Po meraní je možné vidieť elektromagnetické rušenie v oblasti 36 - 38 MHz a od 50 MHz do 300 MHz. Napätie zdroja bolo nastavené na úroveň 12V a odber prúdu bol 1A počas merania v horizontálnej polarizácii (obr. 34).



Obr. 35 Elektromag. rušenie generované zdrojom PO9610A – 12V 1A – V

Druhé meranie prebehlo pri vertikálnej polarizácii a úrovni napätia 12V s odberom prúdu 1A. Po meraní bolo možné sledovať malé elektromagnetické rušenie v oblasti 35 až 38 MHz a od

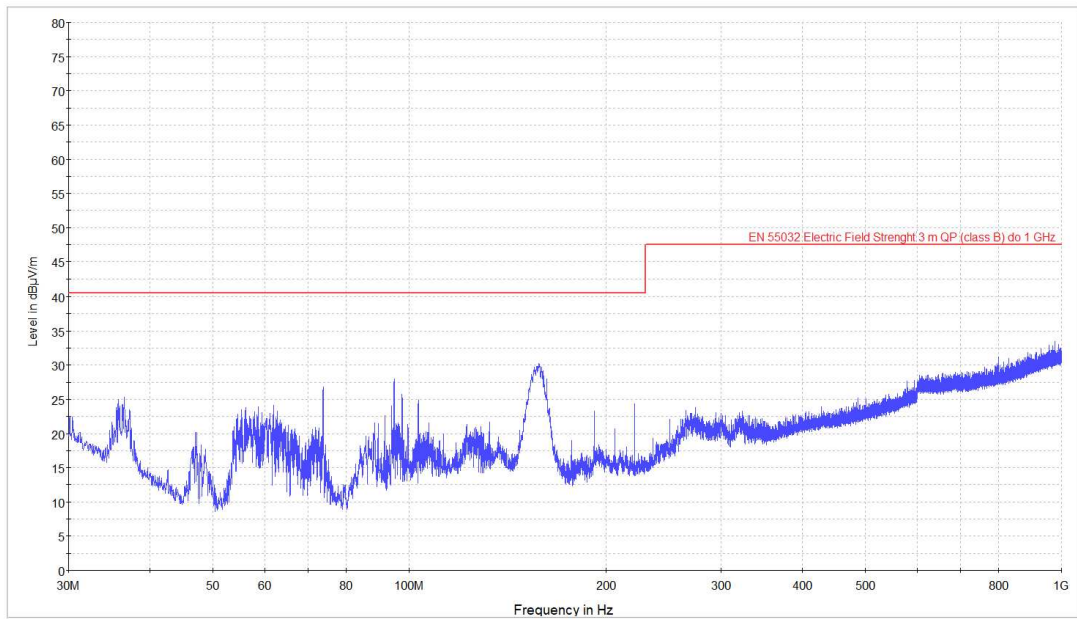
45 MHz do 340 MHz značne vyššie rušenie. Vyššie elektromagnetické rušenie si je možné všimnúť v oblasti 160 až 180 MHz (obr. 35).



Obr. 36 Elektromag. rušenie generované zdrojom PO9610A – 12V 3A – H

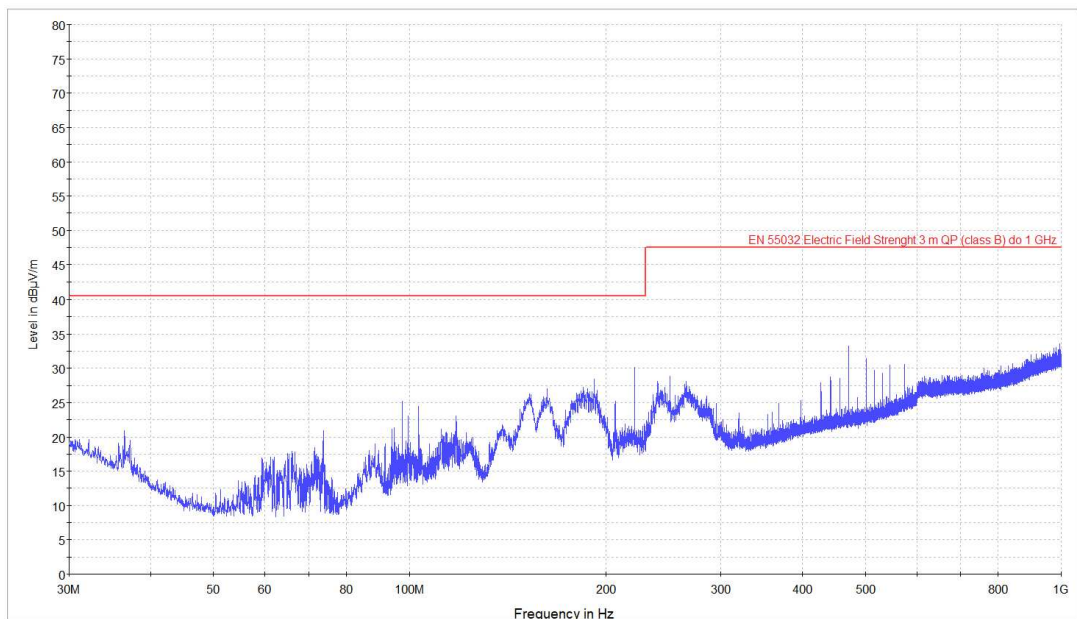
Pri ďalšom meraní boli zvolené hodnoty 12V a 3A pri oboch polarizáciách antény. Zmeny ktoré je možné pozorovať pri meraní v horizontálne polohe polarizácie sú takmer identické s meraním pri úrovni 1A. Výskyt elektromagnetického rušenia je možné vidieť v oblasti 36 - 38 MHz kde je nižšia úroveň rušenia a od 50 MHz do 300MHz značne vyššia (obr. 36).

Druhou časťou tohto merania bola zmena polohy polarizácie antény na vertikálnu. Ostatné hodnoty sa nemenili a ostali rovnaké. Napätie na úrovni 12V a hodnota prúdu 3A. Ako bolo možné sledovať pri predchádzajúcom meraní, grafy merania elektromagnetického rušenia sú takmer identické a úrovne rušenia sú podobne. Rušenie je možné sledovať v oblasti 35 až 38 MHz a od 45 MHz do 340 MHz značne vyššie rušenie. Rovnaké vysoké rušenie je tiež v oblasti 160 až 180 MHz (obr.37).



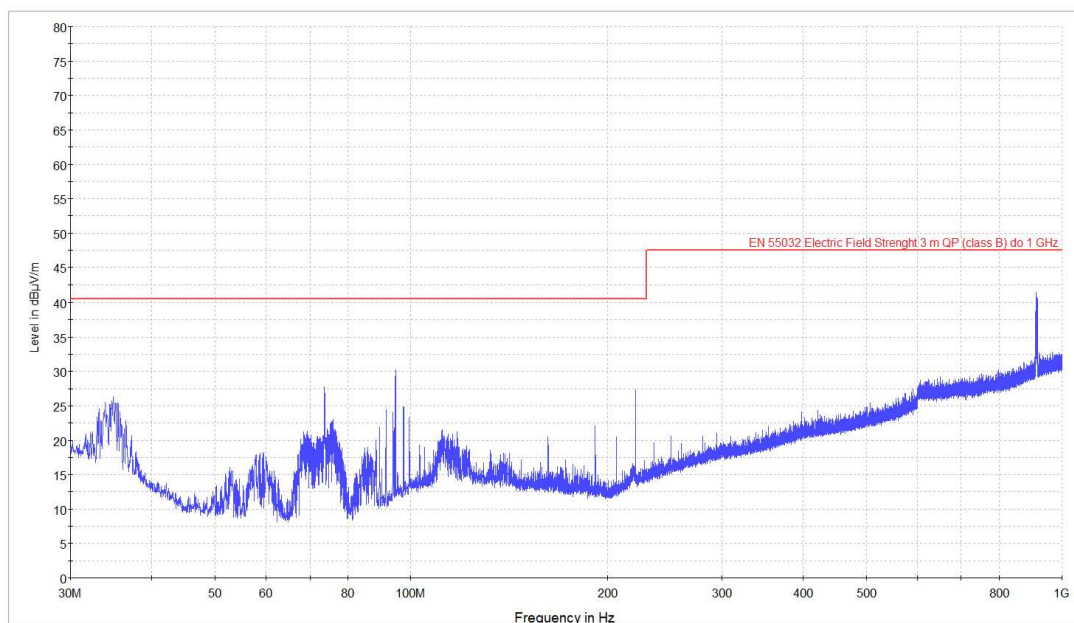
Obr. 37 Elektromag. rušenie generované zdrojom PO9610A – 12V 3A – V

Posledné meranie pri tomto type zdroju bolo merané na hodnotách napätia 12V a hodnote prúdu 5A. Pri porovnaní tohto merania kde hodnota prúdu bola 1A a 3A je možné vidieť, že úroveň elektromagnetického rušenia sa nemenila. Elektromagnetické rušenie je možné vidieť v rozsahu 36 - 38 MHz a od 50 MHz do 300MHz. Meranie bolo merané pri horizontálnej polarizácii (obr.38).



Obr. 38 Elektromag. rušenie generované zdrojom PO9610A – 12V 5A – H

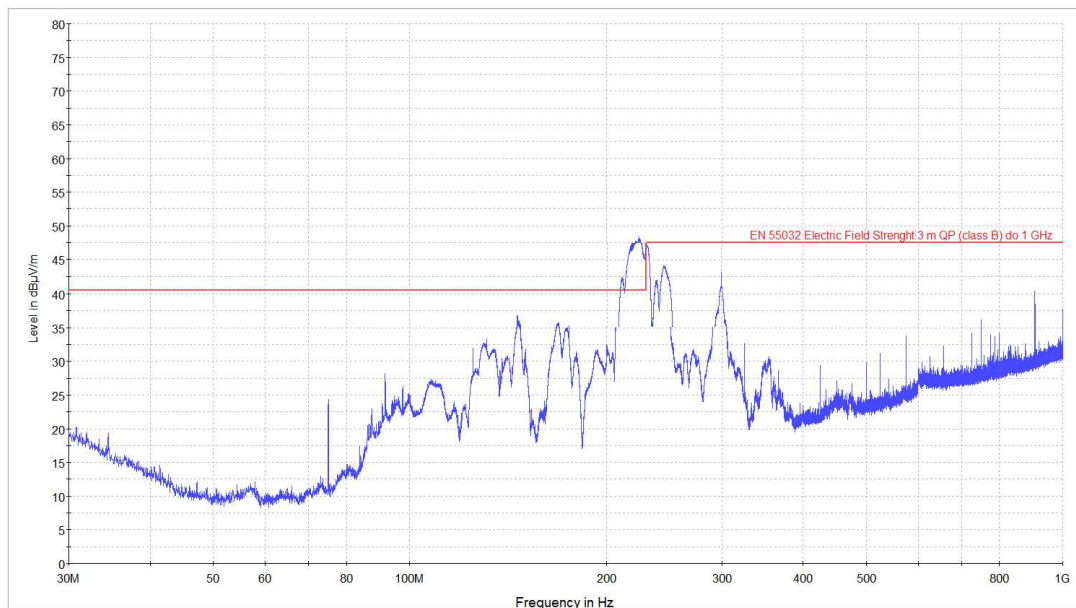
Posledná časť merania sa merala vo vertikálne polarizácii a hodnoty napätia a prúdu ostali rovnaké ako pri vertikálne polarizácii (obr. 39). Podobne ako u predchádzajúcich meraní vo vertikálne polohe úrovne rušenia ostali rovnaké až na niektoré časti. Úroveň rušenia v oblasti 35 – 39 MHz sa o niečo málo zvýšila oproti predchádzajúcim meraniam. Ďalšie rušenie je možné sledovať od 50 MHz do 120 MHz. Oblasť rušenia ktorú bolo možné vidieť počas merania pri hodnote 1A(obr. 35) a 3A(obr. 37) od 160 – 180 MHz sa zmenila. Zaujímavou okolnosťou je aj značné rušenie v oblasti 800 MHz – 1 GHz s ktorým sa bolo možné stretnúť pri meraní predchádzajúceho zdroja napätia (obr. 33).



Obr. 39 Elektromag. rušenie generované zdrojom PO9610A – 12V 5A – V

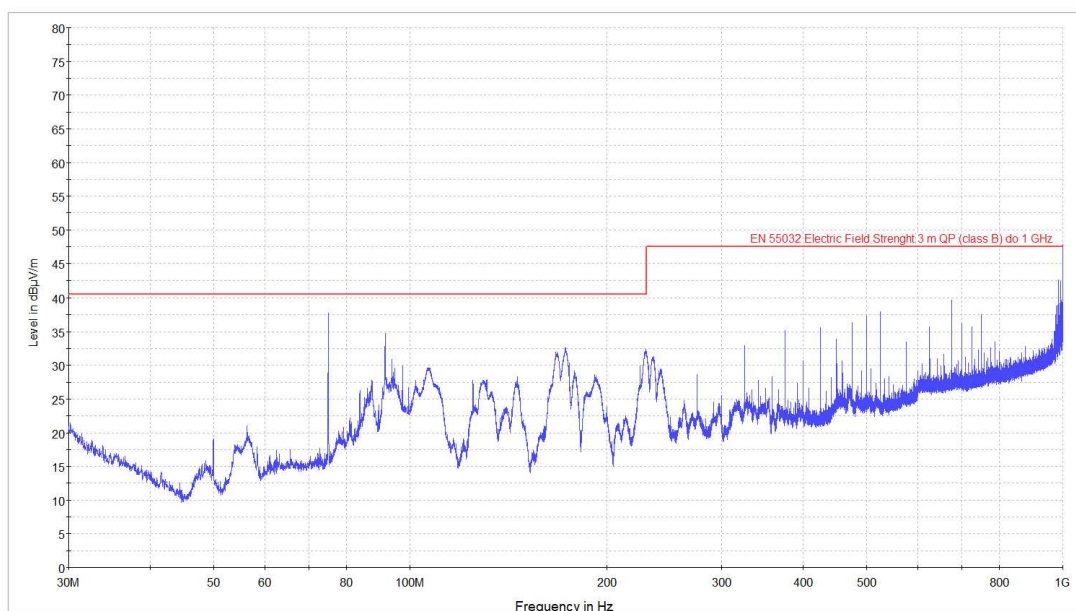
5.1.3 Meranie elektromagnetického rušenia osciloskopu Rigol DS1052E

Meranie elektromagnetického rušenia pri osciloskope prebiehalo iným spôsobom ako testovanie napájacích zdrojov. Tú už som na osciloskope nenastavoval žiadne hodnoty a nastavené bolo len testované generovanie signálu. Počas testovania boli spravené štyri merania, kde dve merania boli vo vertikálne a dve v horizontálne polarizácii antény. Počas merania je nutné rešpektovať nežiadúce rušivé vplyvy z neďalekého rádiového vysielateľa. Výška antény bola nastavená na úroveň 2m a vzdialenosť antény od meraného zariadenia 3m. Tieto hodnoty sa počas nemenili. Prvé meranie prebehlo pri horizontálne polarizácii a zapnutého osciloskopu. Úroveň elektromagnetického rušenia je možné sledovať na úrovni od 75 MHz do 400 MHz. Oproti predchádzajúcim meraniam je toto rušenie značne výrazne ba dokonca prekračuje stanovenú normu (obr. 40).



Obr. 40 Elektromag. rušenie generované osciloskopom Rigol – test 1 – H

U vertikálnu polarizáciu môžeme sledovať nižšiu úroveň elektromagnetického rušenia oproti horizontálnej. Elektromagnetické rušenie je možné vidieť od 45 MHz do 1 GHz. Značne vyššie rušenie je ale v oblasti od 70 MHz do 300 MHz (obr. 41).

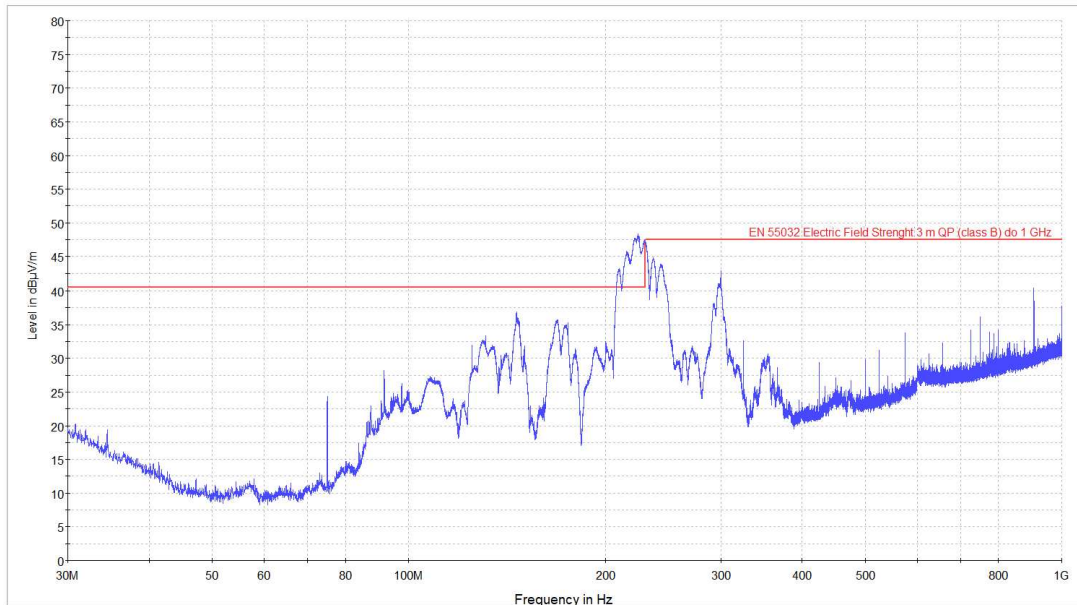


Obr. 41 Elektromag. rušenie generované osciloskopom Rigol – test 1 – V

Druhé a posledné meranie toho typu osciloskopu prebehlo za rovnakých podmienok. V prvej časti tohto merania sa pokračovalo v meraní rušenia pri horizontálnej polarizácii. Ako je

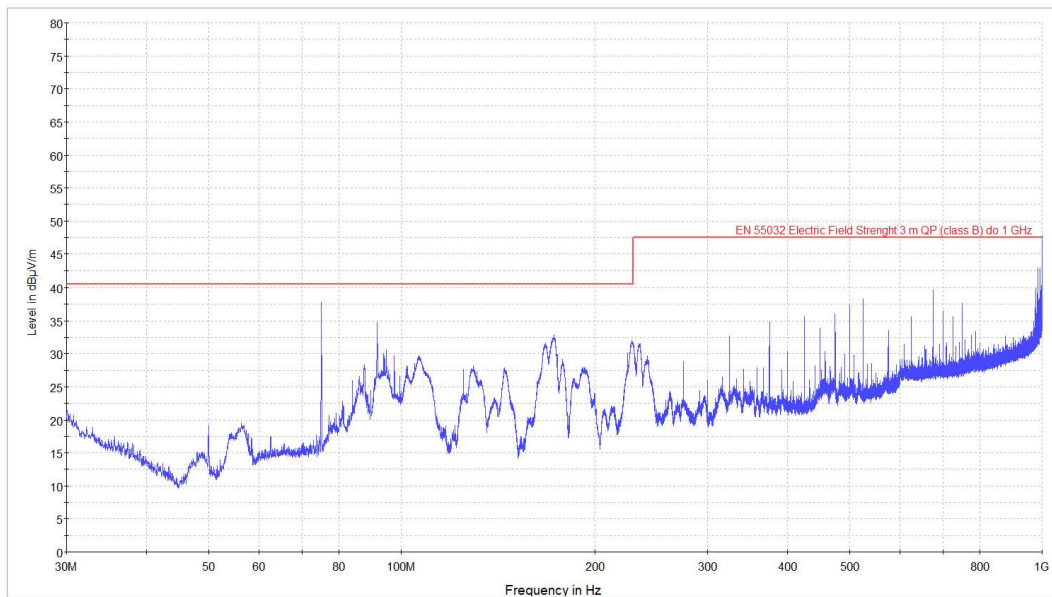
možné sledovať na obr. 40 a obr. 42 úroveň elektromagnetického rušenia je takmer identická.

Rušenie sa sústreďuje na úroveň od 80 do 400 MHz a ako aj v predchádzajúcom meraní, tak aj tu prekročilo normu ČSN EN 55032 (obr. 42).



Obr. 42 Elektromag. rušenie generované osciloskopom Rigol – test 2 – H

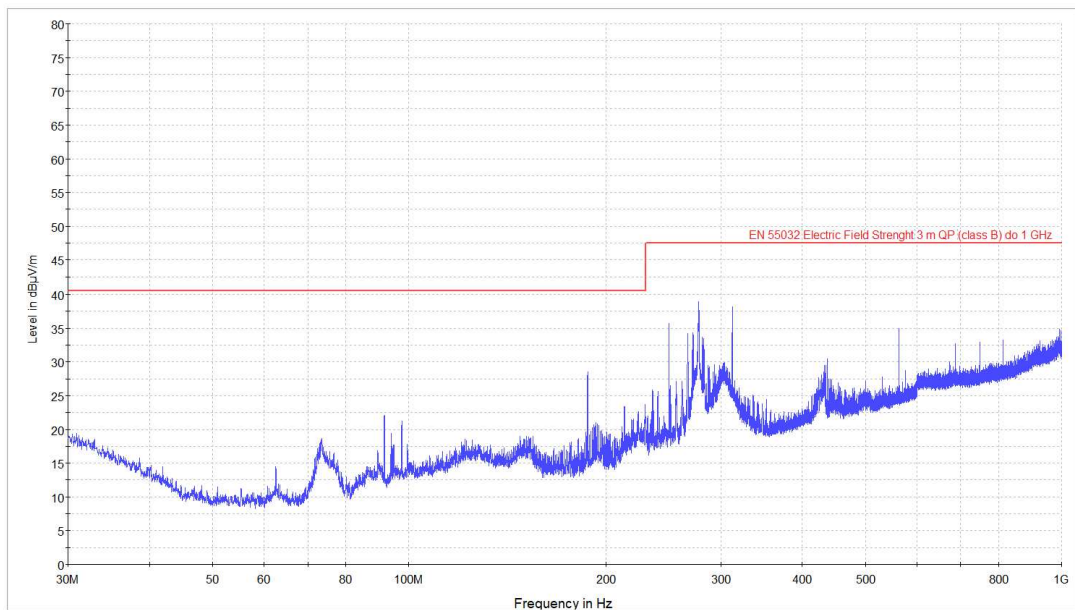
Posledné meranie sa nelíšil nijak od predchádzajúcich a namerané výsledky a hodnoty sú rovnako ako pri predchádzajúcom meraní vo vertikálnej polarizácii. Značné elektromagnetické rušenie je vidieť na úrovni od 55 MHz do 1GHz. Najvyššie rušenie je však na úrovni od 75 MHz do 400 MHz (obr. 43).



Obr. 43 Elektromag. rušenie generované osciloskopom Rigol – test 2 - V

5.1.4 Meranie elektromagnetického rušenia osciloskopu Hameg HMO722

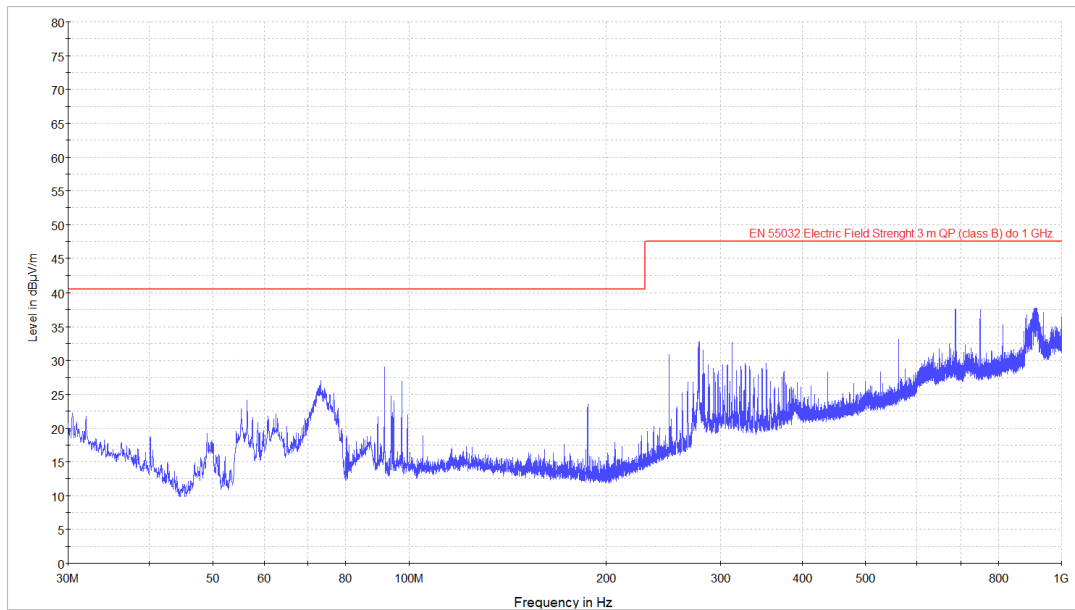
Toto meranie prebehlo podobne ako predchádzajúce meranie osciloskopu. V tomto prípade boli namerané len dva výsledne grafy, tj. Boli spravené len dva testy. Jeden test pre každú polarizáciu. Počas merania bol osciloskop zapnutý a bolo na ňom nastavené generovanie testového signálu. Všetky merania boli spravené v rovnakých podmienkach, kde anténa bola nastavená do výšky 2m a vzdialenosť antény od meraného zariadenia bolo 3m. Počas merania sa musí počítať s nepriaznivým vplyvom rušivého signálu blízkeho rádiového vysielateľa.



Obr. 44 Elektromag. rušenie generované osciloskopom Hameg – H

Pri poslednom testovaní elektromagnetického rušenia osciloskopom Hameg, boli prevedené dve skúšky pri ktorých sme menili len polarizáciu antény. V prvom z testov sa meralo pri horizontálnej polarizácii antény. Vplyv elektromagnetického rušenia bolo možné vidieť v oblasti od 60 MHz do 450 MHz (obr. 44). Toto rušenie nie je však tak značné ako bolo vidieť u predchádzajúceho osciloskopu.

V poslednom meraní sa menila už len polarizácia z horizontálnej na vertikálnu a elektromagnetické rušenie bolo možné vidieť na úrovni od 45 MHz do 1 GHz. Tieto rušenia však neboli až tak značné oproti predchádzajúcemu osciloskopu. Ak by sme rozdelili spektrum rušenia tak rušenie je možné vidieť od 45 MHz do 120 MHz, od 280 MHz do 430 MHz a v oblasti 900 MHz (obr. 45).

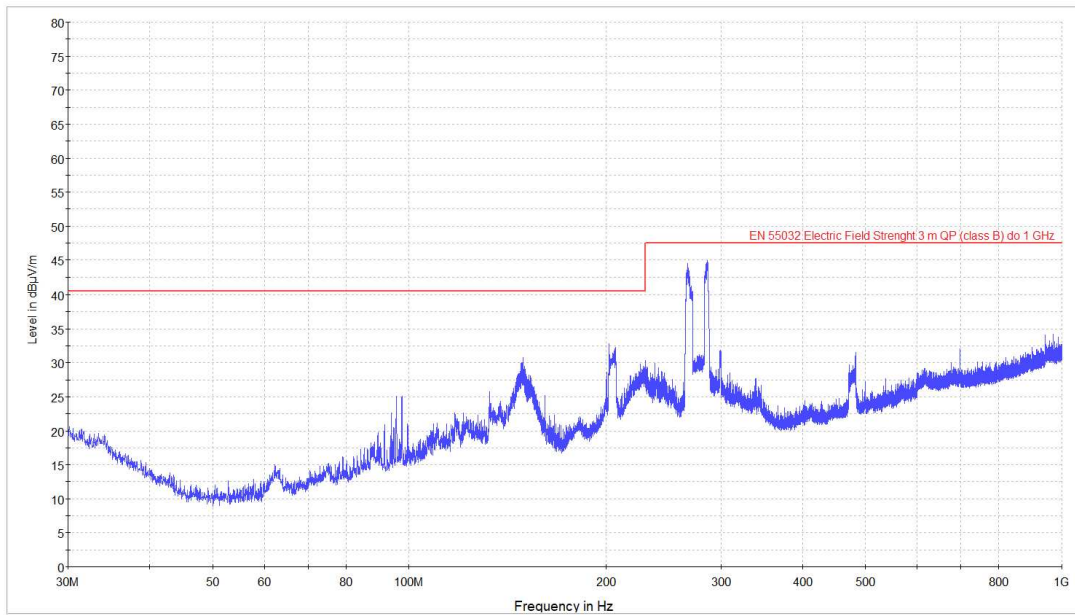


Obr. 45 Elektromag. rušenie generované osciloskopom Hameg – V

5.1.5 Meranie elektromagnetického rušenia notebooku a monitoru

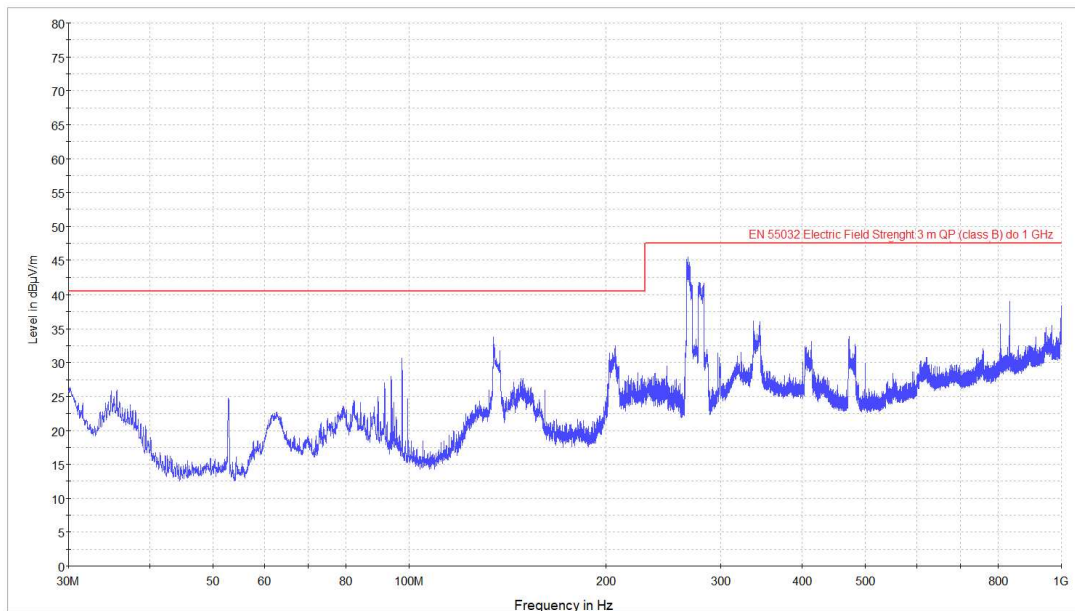
K poslednému meraniu som si vybral zariadenie ktoré bežné používa každý z nás pri práci v škole, doma alebo v zamestnaní. Pri tomto meraní som meral elektromagnetické rušenie u notebooku ktorý bol prepojený s monitorom za pomoci VGA kabelu. Testovanie prebiehalo počas toho ako boli obe zariadenia zapnuté. Testovanie prebehlo v dvoch kolách pre overenie nameraných hodnôt. Počas merania bola výška antény nastavená na 2m a vzdialenosť antény od meraného zariadenia bola 3m. Počas merania je nutné počítať s rušivými signálmi z blízkeho rádiového vysieláča.

V prvom teste sa meranie začalo s meraním elektromagnetického rušenia pri horizontálnej polarizácii antény. Ako je možné vidieť, a porovnať namerané výsledky (obr. 46) s pozadím (obr. 26) namerané elektromagnetické rušenie sa nachádza v oblasti od 60 MHz do 500MHz. Vyššie úrovne rušenia je vidieť v oblastiach 80 – 180 MHz a od 200 do 380 MHz. Spomínané rušenie z rádiového vysieláča je v oblasti 90 – 100 MHz (obr. 46).



Obr. 46 Elektromag. rušenie generované notebookom a monitorom – test 1 – H

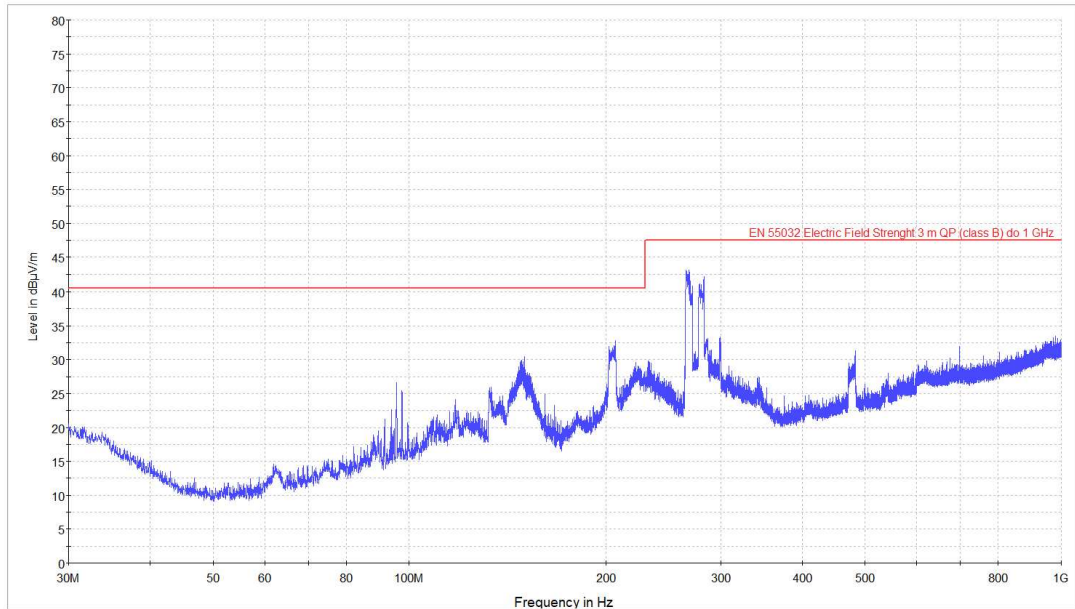
Meranie elektromagnetického rušenia pri vertikálnej polarizácii je možné sledovať od úrovne 34 MHz do 1GHz. Vyššie úrovne rušenie je možné sledovať v oblasti 30 – 40 MHz, 50 – 100 MHz a 150 MHz – 500 MHz (obr. 47). Obidve merania sa držia pod úrovňou normy.



Obr. 47 Elektromag. rušenie generované notebookom a monitorom – test 1 – V

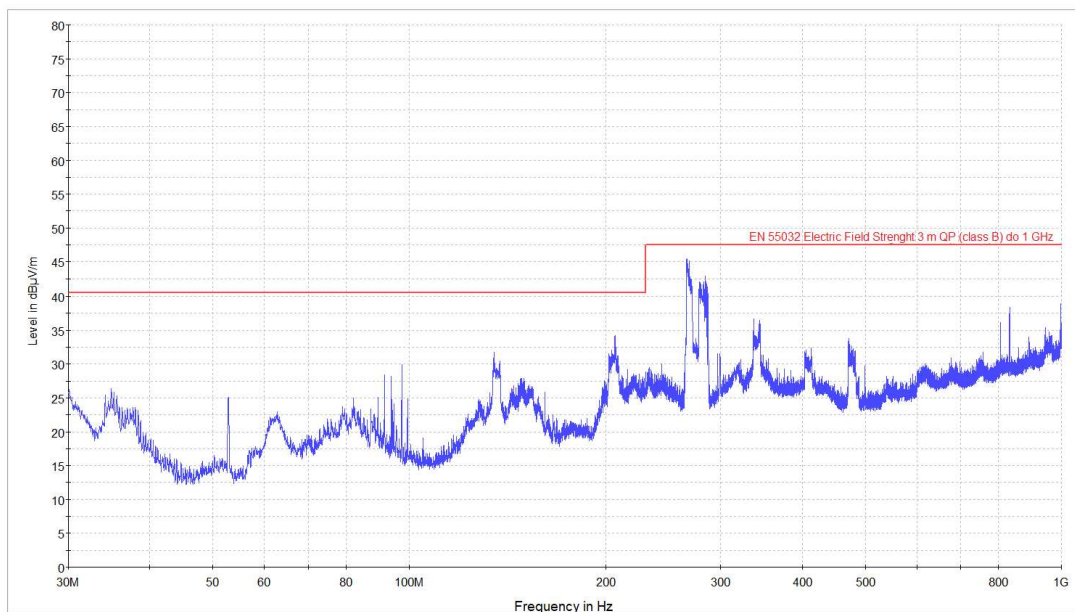
Posledné dve merania prebiehali rovnakým spôsobom ako predchádzajúce, menila sa len polarizácia antény. S funkcie zariadení neboli menené. Na obr. 48 môžeme vidieť namerané

hodnoty elektromagnetického rušení pri horizontálnej polarizácii. Namerané výsledky sa takmer nemenia od tých ktoré sa namerali pri prvom meraní.



Obr. 48 Elektromag. rušenie generované notebookom a monitorom – test 2 – H

Namerané elektromagnetické rušenie sa nachádza v oblasti od 60 MHz do 500MHz. Vyššie úrovne elektromagnetického rušenia sú v oblasti 80 – 180 MHz a od 200 do 380 MHz. Spomínane rušenie z rádiového vysieláča je v oblasti 90 – 100 MHz (obr. 48).



Obr. 49 Elektromag. rušenie generované notebookom a monitorom – test 2 – V

Posledné meranie elektromagnetického rušenia notebooku a monitoru bolo merané pri vertikálnej polarizácii. Všetky ostatné nastavenia ostali rovnaké a nezmenené. Pri porovnaní nameraných výsledkov vertikálnej polarizácie, sú hodnoty skoro rovnaké a menia sa len v malých detailoch. Elektromagnetické rušenie je možné vidieť od úrovne 34 MHz do 1GHz. Vyššie úrovne rušenie je možné sledovať v oblasti 30 – 40 MHz, 50 – 100 MHz a 150 MHz – 500 MHz (obr. 49).

Počas merania bolo možné sa stretnúť s tým, že dané namerané hodnoty by prekračovali normu ČSN EN 55032. Bolo by to spôsobené tým, že sme testovali dve rôzne zariadenia ktoré boli prepojenie káblom. Pri skúškach EMC sa jednotlivé zariadenia testujú osobitne, a nie tak ako boli testované v poslednom meraní. Preto mohlo dôjsť k situácii kde by obidve tieto zariadenia spolu, nespĺňali požadovanú normu ale pri osobitnom testovaní by prešli cez testovanie bez problému.

5.2 Zhodnotenie nameraných výsledkov

Jednotlivé výsledky meraní sa líšili podľa toho či šlo o meranie v horizontálnej alebo vertikálnej polarizácii antény. Jednotlivé výsledky z meraní bolo spriemerované a spracované. V tabuľkách je možné nájsť rozmedzia frekvencií v ktorých dochádzalo k elektromagnetickému rušeniu jednotlivých meraných zariadení. V prvej tabuľke (tab. 3) sa nachádzajú spriemerované výsledky nameraných zariadení ktoré boli merané pri horizontálnej polarizácii. V druhej tabuľke (tab. 4) sú spriemerované výsledky z meraní pri vertikálnej polarizácii antény.

Tab. 3 Oblať elektromagnetického rušenia u meraných zariadení v horizontálnej polarizácii antény

Merané zariadenia	Oblať elektromagnetického rušenia (meraná v MHz)					
	30 – 50	50 - 100	100 - 200	200 - 500	500 - 800	800 - 1000
Napájací zdroj Array 3721A		Áno	Áno			
Napájací zdroj Picotest P9610A	Áno	Áno	Áno	Áno		
Osciloskop Rigol DS1052E		Áno	Áno	Áno	Áno	Áno

Osciloskop Hameg HMO722		Áno	Áno	Áno		
Notebook a monitor		Áno	Áno	Áno		

Tab. 4 Oblasť elektromagnetického rušenia u meraných zariadení vo vertikálnej polarizácii antény

Merané zariadenia	Oblasť elektromagnetického rušenia (meraná v MHz)					
	30 – 50	50 - 100	100 - 200	200 - 500	500 - 800	800 - 1000
Napájací zdroj Array 3721A	Áno	Áno	Áno			
Napájací zdroj Picotest P9610A	Áno	Áno	Áno	Áno		
Osciloskop Rigol DS1052E	Áno	Áno	Áno	Áno	Áno	Áno
Osciloskop Hameg HMO722	Áno	Áno	Áno	Áno	Áno	Áno
Notebook a monitor		Áno	Áno	Áno	Áno	Áno

Všetky namerané výsledky spĺňali normu ČSN EN 55032 až na osciloskop Rigol ktorý túto hranicu mierne prekročil. Čo sa však ale od osciloskopom očakáva, keďže slúžia ku generovaniu signálov. Pred a počas merania sa nepredpokladalo že by došlo k prekročeniu danej normy, a to z dôvodu že všetky otestované zariadenia už dávno predtým ako prišli do predaja prešli skúškami EMC.

ZÁVER

Teoretická časť práce bola zameraná na problematiku elektromagnetickej kompatibility, jeho rozvoja, histórie, delenia a bližšieho opisu. Časť bola venovaná nehodám ktoré sa v histórii stali a príčinou ich vzniku bolo elektromagnetické rušenie, ktoré nežiaducim vplyvom spôsobilo zlyhanie zariadení či systémov. Ďalšia časť sa zaoberala problematikou delenia elektromagnetickej kompatibility a jeho bližšieho špecifikovania.

Praktická časť práce sa zaoberala meraním elektromagnetického rušenia vyvolávaného laboratórnou technikou. Predtým ako bolo možné začať s meraním, bolo potrebné sa oboznámiť s problematikou EMC, laboratóriom vo vedecko technickom parku a jeho vybavením. Všetky testovania boli spracované a namerané v laboratóriu vedecko technického parku.

K meraniu som si vybral päť zariadení u ktorých som meral elektromagnetickú interferenciu. Meranými zariadeniami boli dva napájacie zdroje, dva osciloskopy a notebook ktorý bol prepojený s monitorom VGA káblom. Celkovo bolo spravených 34 meraní elektromagnetického rušenia. V práci je spracovaných 24 meraní: 12 meraní bolo spravených v horizontálne polarizácii antény, 12 meraní vo vertikálne polarizácii antény. Z toho dvoma meraniami sa meralo len pozadie danej komory. Zvyšné merania neboli spracované pre ich chyby spôsobené počas merania, chybe softwaru ktorý prestal pracovať počas merania alebo šlo chybu pri uložení merania. Platných bolo celkovo 24 meraní.

Výsledne hodnoty u takmer všetkých zariadení splňali normu ČSN EN 55032, väčšina z nich sa ani nepriblížila k hranici tejto normy. U osciloskopu Rigol bolo možné sledovať prekročenie normy na úrovni frekvencie od 200 do 220 MHz pri horizontálnej polarizácii. Najväčší výskyt rušenia pri horizontálne polarizácii bol v oblasti od 50 do 500 MHz. Bližšie údaje o meraní udáva tab. 3. U vertikálnej polarizácie dochádzalo k najvyššiemu výskytu rušenia na úrovni frekvencie od 30 do 500 MHz. Bližšie opisuje tieto výsledky tab. 4. Jednotlivé merania sa počas merania stretávali zrušením z okolitého prostredia, presnejšie šlo o rádiový vysielateľ vzdialený neďaleko od Zlína, ktorý i na vzdialenosť niekoľko kilometrov vytváral nepriaznivé rušenie v oblasti 90 až 100 MHz.

Už pred meraním sa dalo predpokladať že jednotlivé zariadenia budú splňať normu a prejdú skúškou elektromagnetického rušenia. Je to z toho dôvodu že k meraniu boli použité zariadenia ktoré predtým ako prišli na trh museli prejsť skúškou elektromagnetickej kompatibility, ináč by nespĺňali podmienky a nemohli by byť uvedené na trh. Výsledkami

meraní sa overila funkčnosť zariadení, a to že zariadenia splňujú danú normu ČSN EN 55032.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita. Brno: Vysoké učení technické, 2002.
- [2] MAYER, Daniel. Aplikovaný elektromagnetismus. České Budějovice: Kopp, 2012. ISBN 978-80-7232-436-1.
- [3] TRNKA, Zdeněk. Teoretická elektrotechnika: Učebnice pro elektrotechn. fakulty. 4., upr. a dopln. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1972.
- [4] MYSLÍK, Jiří. Elektromagnetické pole. Základy teorie. Praha: BEN - technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-43-0.
- [5] VACULÍKOVÁ, Polina a Emil VACULÍK. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení : ČSN-ČSN EN-ČSN IEC-ČSN CISPR-ČSN ETS. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-7169-568-8.
- [6] OTT, Henry W. Electromagnetic compatibility engineering. Hoboken: Wiley, c2009. ISBN 978-0-470-18930-6.
- [7] Paul, C.R. Introduction to Electromagnetic Compatibility. John Wiley, New York 1992
- [8] VACULÍK, P. Úvod do problematiky EMC. In Sborník celostátní konference RADIO-KOMUNIKACE 94. Pardubice 1994, s. 51-59
- [10] ČESKO. Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 28. 4. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-291>
- [9] Soubor elektrotechnických předpisů v oblasti elektromagnetické kompatibility, přepětí a rušení (I. díl). SELTEKO Praha, 1999
- [11] ČSN EN 61000-6-1 ED. 2. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 6-1: Kmenové normy - Odolnost - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu. 2. vydání. Český normalizační institut, 2007.
- [12] SVAČINA, Jiří. BiLog vytvořena anglickou firmou CHASE. In: Elektrovue: Základy elektromagnetické kompatibility [online]. Brno, 2001, 24.4.2001 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.elektrovue.cz/clanky/01021/Image21.gif>

- [13] Electromagnetic Radiation and Radio Waves: Natural and Man-Made Miracles. The Electropaedia [online]. United Kingdom, 2005 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.mpoweruk.com/radio.htm>.
- [14] SVAČINA, Jiří. Základy elektromagnetické kompatibility (EMC) - Část 4: Způsoby a metody měření rušivých signálů. Elektrovue [online]. Brno: Ústav radioelektroniky FEI VUT, 2001, 24.4.2001 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.elektrovue.cz/clanky/01021/index.html>
- [15] SVAČINA, Jiří. Základy elektromagnetické kompatibility Část 1 - Základní pojmy a členění oboru EMC. Elektrovue [online]. Brno: Ústav radioelektroniky FEI VUT, 2000, 19.6.2000 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.elektrovue.cz/clanky/00025/index.html>
- [16] Přístroje pro měření elektromagnetické kompatibility. In: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně - Fakulta aplikované informatiky [online]. 2010, 2010 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://nod32.fai.utb.cz/promotion/cebia/img/Spektraky/receiver.gif>
- [17] R&S®ENV216 Two-Line V-Network. In: Rohde&Schwarz [online]. 2016, 2017 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/product/e_2/env216/ENV216_front_stage_landscape.jpg
- [18] Přístroje pro měření elektromagnetické kompatibility. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně - Fakulta aplikované informatiky [online]. Zlín, 2010 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.utb.cz/fai/o-fakulte-fai/program-kurzu-elektromagneticka-kompatibilita-pro>
- [19] SVAČINA, Jiri. Elektromagnetická kompatibility: Prezentácia. DocPlayer [online]. 2001 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/9613943-Elektromagneticka-kompatibilita.html>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

EMC Elektromagnetická kompatibilita

EMI Elektromagnetická interferencia

EMS Elektromagnetická susceptibilita

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Vplyv elektromagnetických vln na organizmus[19], upravil Novosád 2018..	13
Obr. 2 Vyobrazenie priebehu elektromagnetického rušenia a jednotlivých častí[5] upravil Novosád 2018	15
Obr. 3 Základné delenie problematiky EMC[15], upravil Novosád.....	17
Obr. 4 Definícia úrovne a medze vyžarovania[15].....	18
Obr. 5 Finančné náklady na zaistenie EMC u zariadenia[1][6] upravil Novosád 2018	19
Obr. 6 Spôsoby šírenia rušivých elektromagnetických signálov[14] upravil Novosád 2018.....	21
Obr. 7 Elektromagnetická vlna[13]	22
Obr. 8 a) Prehľad spôsobov merania rušivých elektromagnetických signálov; b) príklad vyhodnotenia výsledku rušenia [1], upravil Novosád 2018.....	23
Obr. 9 Rámová anténa do 30 MHz[14].....	24
Obr. 10 Prúťová anténa do 30 MHz[14]	25
Obr. 11 Sada ladených symetrických dipólov 30 – 1000MHz [14]	25
Obr. 12 Sada lievikových antén 1 – 12 GHz [14].....	26
Obr. 13 Typy antén; A) bikónická anténa; B) logaritmicko-periodická anténa; C) kónicko-logaritmická anténa[14]	27
Obr. 14 Bezodrazová komora Frankonia SAC-3.....	29
Obr. 15 Merací prijímač Rohde&Schwarz ESU8[16]	31
Obr. 16 Umelá sieť Rohde-Schwarz ENV216[17].....	31
Obr. 17 BiLog anténa nachádzajúca sa v laboratóriu EMC	32
Obr. 18 Popis BiLog antény[12].....	32
Obr. 19 Regulovateľný zdroj HQ PS3010	33
Obr. 20 Napájací zdroj Array 3721A.....	34
Obr. 21 Napájací zdroj Picotest P9610A	34
Obr. 22 osciloskop Hameg HMO722	35
Obr. 23 osciloskop Rigol DS1052E.....	36
Obr. 24 Notebook Lenovo prepojený s monitorom pomocou VGA káblu	36
Obr. 25 Usporiadanie v bezodrazovej komore počas merania	37
Obr. 26 Pozadie pri horizontálne polarizácii	38
Obr. 27 Pozadie pri vertikálne polarizácii	39

Obr. 28 Elektromag. rušení generované zdrojom Array 3721A – 12V 0A - H.....	39
Obr. 29 Elektromag. rušení generované zdrojom Array 3721A – 12V 0A - V.....	40
Obr. 30 Elektromag. rušení generované zdrojom Array 3721A – 12V 3A - H.....	40
Obr. 31 Elektromag. rušení generované zdrojom Array 3721A – 12V 3A - V.....	41
Obr. 32 Elektromag. rušení generované zdrojom Array 3721A – 12V 8A - H.....	41
Obr. 33 Elektromag. rušení generované zdrojom Array 3721A – 12V 8A – V.....	42
Obr. 34 Elektromag. rušení generované zdrojom P9610A – 12V 1A – H.....	43
Obr. 35 Elektromag. rušení generované zdrojom PO9610A – 12V 1A – V.....	43
Obr. 36 Elektromag. rušení generované zdrojom PO9610A – 12V 3A – H.....	44
Obr. 37 Elektromag. rušení generované zdrojom PO9610A – 12V 3A – V.....	45
Obr. 38 Elektromag. rušení generované zdrojom PO9610A – 12V 5A – H.....	45
Obr. 39 Elektromag. rušení generované zdrojom PO9610A – 12V 5A – V.....	46
Obr. 40 Elektromag. rušení generované osciloskopom Rigol – test 1 – H.....	47
Obr. 41 Elektromag. rušení generované osciloskopom Rigol – test 1 – V.....	47
Obr. 42 Elektromag. rušení generované osciloskopom Rigol – test 2 – H.....	48
Obr. 43 Elektromag. rušení generované osciloskopom Rigol – test 2 - V.....	49
Obr. 44 Elektromag. rušení generované osciloskopom Hameg – H.....	50
Obr. 45 Elektromag. rušení generované osciloskopom Hameg – V.....	51
Obr. 46 Elektromag. rušení generované notebookom a monitorom – test 1 – H.....	52
Obr. 47 Elektromag. rušení generované notebookom a monitorom – test 1 – V.....	52
Obr. 48 Elektromag. rušení generované notebookom a monitorom – test 2 – H.....	53
Obr. 49 Elektromag. rušení generované notebookom a monitorom – test 2 – V.....	53

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Prehľad meracích antén pre systémy EMI [14].....	24
Tab. 2 Technické parametre bezodrazovej komory[18].....	30
Tab. 3 Oblasť elektromagnetického rušenia u meraných zariadení v horizontálnej polarizácii antény	54
Tab. 4 Oblasť elektromagnetického rušenia u meraných zariadení vo vertikálnej polarizácii antény	55

ZOZNAM PRÍLOH