

# Zobrazování elektromagnetických polí pro účely EMC

Bc. Václav Zobaník

---

Diplomová práce  
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav řízení procesů

akademický rok: 2005/2006

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Václav ZOBANÍK**  
Studijní program: **N 2807 Chemické a procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Automatizace a řídicí technika**

Téma práce: **Zobrazování elmag. polí pro účely EMC.**

### Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou vyzařování elektromagnetických vln z výpočetní a měřicí techniky.
2. Vypracujte způsob sběru dat při měření charakteristik elektromagnetických polí pomocí spektrálního analyzátoru FS300
3. Navrhněte měřicí pracoviště pro uvedené měření a proveďte základní ověření systému.
4. Proveďte analýzu vyzařovaných polí z CRT a LCD monitoru.
5. Vypracujte návrh vhodného zobrazení prostorového rozložení elektromagnetického pole

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Vaculíková P., Vaculík E. a kol. : Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů , Grada 1998

Svačina J.: Základy elektromagnetické kompatibility, [www.elektrorevue.cz](http://www.elektrorevue.cz)

ČSN EN 50082-1

Firemní literatura Rohde&Schwarz

Paul C.R.: Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley N.Y. 1992

Proceedings of Sixteenth International Wrocław Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility EMC 2002, Wrocław 2002

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.**  
Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2006**

Ve Zlíně dne 25. února 2006

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*pověřený děkan*



prof. Ing. Petr Dostál, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Tato práce se v teoretické části zabývá problematikou elektromagnetické kompatibility, tj. způsobem vzniku a mechanismem šíření elektromagnetického rušení, a důsledky jejího nedodržení. Dále je zde popsána technika pro měření elektromagnetických polí.

V další části jsou uvedeny postupy a výsledky měření blízkých elektromagnetických polí u počítačové techniky. Dále je zde uveden praktický příklad využití těchto postupů při zjišťování původce rušení u počítačového monitoru.

Klíčová slova: elektromagnetická kompatibilita, měření blízkých elektromagnetických polí, měřicí sondy, spektrální analyzátor

## **ABSTRACT**

The theoretical part of this thesis concerns with electromagnetic compatibility, with a way of appearance and mechanism of propagation of electromagnetic interference and with consequences of electromagnetic compatibility nonobservance. There are also described electromagnetic fields measurement equipments.

In the other part, procedures and results of near electromagnetic fields measurements around computer equipments are mentioned. Then there is described an example using this procedures to find a source of interference affecting a computer monitor.

Keywords: electromagnetic compatibility, measurement of electromagnetic fields, electric-field and magnetic-field probes, spectrum analyzer

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval při řešení zadaných úloh.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ POJMY A ČLENĚNÍ OBORU EMC</b> .....	<b>10</b>
1.1 EMC - DŮVODY SAMOSTATNÉHO ROZVOJE A DŮSLEDKY JEJÍHO PORUŠOVÁNÍ .....	10
1.2 ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ OBORU EMC .....	13
1.2.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů .....	14
1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů .....	16
1.3 ZÁKLADNÍ POJMY EMC .....	22
<b>2 RUŠIVÉ SIGNÁLY A JEJICH ZDROJE</b> .....	<b>25</b>
2.1 PRŮMYSLOVÉ ZDROJE RUŠENÍ .....	27
2.2 ZDROJE NAPĚŤOVÉHO PŘEPĚTÍ .....	30
2.3 ZDROJE KONTINUÁLNÍHO RUŠENÍ .....	31
<b>3 VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ</b> .....	<b>33</b>
3.1 GALVANICKÁ VAZBA.....	33
3.2 KAPACITNÍ VAZBA.....	35
3.3 INDUKTIVNÍ VAZBA .....	36
3.4 VAZBA VYZAŘOVÁNÍM.....	39
<b>4 SNÍMAČE A PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ</b> .....	<b>42</b>
4.1 UMĚLÁ SÍŤ .....	43
4.2 NAPĚŤOVÁ SONDA.....	45
4.3 PROUDOVÁ SONDA .....	45
4.4 ABSORPČNÍ KLEŠTĚ .....	47
4.5 ANTÉNY .....	48
4.6 PŘÍSTOJE POUŽÍVANÉ K MĚŘENÍ RUŠENÍ .....	50
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>53</b>
<b>5 MĚŘICÍ TECHNIKA</b> .....	<b>54</b>
5.1 MĚŘICÍ SONDY .....	54
5.1.1 Sondy pro měření elektrického pole .....	54
5.1.2 Sondy pro měření magnetického pole.....	56
5.2 PŘÍSTROJE .....	57
5.3 PROGRAMY.....	58
<b>6 MĚŘENÍ</b> .....	<b>61</b>
6.1 MĚŘENÍ VYZAŘOVÁNÍ .....	61
6.1.1 Monitor CRT .....	61
6.1.2 Monitor LCD.....	65

6.1.3	Počítačová myš a klávesnice .....	69
6.1.4	Notebook .....	71
6.2	MĚŘENÍ ÚTLUMU MATERIÁLŮ .....	72
<b>7</b>	<b>ŘEŠENÍ CHVĚNÍ OBRAZU MONITORU .....</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>88</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>93</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>97</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>103</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>104</b>

## ÚVOD

Člověk si již od pradávna snažil ulehčit práci. Nejprve se jednalo o používání primitivních nástrojů, které časem zdokonaloval a později začal konstruovat složitější zařízení. Moderní svět je dnes v technice na nesrovnatelně vyšší úrovni, nicméně se také snaží stále vylepšovat technologie. K tomu používá automatické systémy. Aby však mohly spolehlivě pracovat, musí dostávat ze svého okolí nezkreslené informace v podobě údajů o veličinách, které budou řídit.

Kabelová vedení, průmyslová výpočetní technika, senzory a jiná zařízení mohou podléhat rušivým vlivům nebo být samy zdrojem rušení. Samozřejmě se to nevztahuje jen na řídicí výpočetní techniku v průmyslu, ale rušení podléhá i spotřební elektronika, elektronika v automobilech, letadlech atd.. Aby tato elektronika nepodléhala rušivým vlivům jiných zařízení a zároveň nebyla sama zdrojem takových rušení, zjišťuje se pomocí různých měření míra jimi vyzařování, jimiž se zjišťuje míra vyzařovaných rušivých signálů. Ta nesmí překračovat určité hodnoty, které jsou dány normami.

Cílem této práce bylo zaměřit se na problematiku vyzařování elektromagnetických vln z výpočetní a měřicí techniky, vypracovat způsob sběru dat při měření charakteristik elektromagnetických polí pomocí spektrálního analyzátoru FS 300. Dalším cílem je navrhnout pracoviště pro uvedená měření a provést základní ověření systému, provést analýzu vyzařovaných polí z CRT a LCD monitorů a vypracovat návrh vhodného zobrazení prostorového rozložení elektromagnetického pole.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ZÁKLADNÍ POJMY A ČLENĚNÍ OBORU EMC

Název "**elektromagnetická kompatibilita**" pochází z anglického "*Electromagnetic Compatibility*", z něhož pochází i mezinárodně užívaná zkratka **EMC**. **EMC** je definována jako schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé) a naopak svou vlastní "elektromagnetickou činností" nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jenž by byly rušivé pro jiná zařízení. V češtině byl dříve někdy užíván pojem "*elektromagnetická slučitelnost*", dnes se většinou dává přednost názvu **elektromagnetická kompatibilita** (1).

Elektromagnetická kompatibilita vznikla jako samostatná vědecko technická disciplína v 60. letech 20. století v USA a poměrně dlouhou dobu, 10 až 15 let, byla předmětem zájmu jen úzkého okruhu odborníků v elektronice, pracujících ve vojenském a kosmickém průmyslu. S prudkým rozvojem elektroniky, zejména mikroprocesorové a komunikační techniky v posledních desetiletích a jejím pronikáním do všech oblastí každodenního života, ztratila EMC svoji exkluzivnost a stále více se dotýká nás všech (1).

### 1.1 EMC - důvody samostatného rozvoje a důsledky jejího porušování

Zařízení nebo systémy (a to jak technické, tak i biologické) musí být odolné vůči působení jiných zařízení a nesmí přitom samy nepříznivě ovlivňovat normální funkci jiných systémů či zařízení. Přitom každý systém nebo zařízení nebo jejich určitá část může být současně vysílačem i přijímačem rušení. Elektromagnetická kompatibilita je tedy vyšší a širší pojem než prostá spolehlivost daného zařízení.

V důsledku neustále stoupajícího množství elektrických spotřebičů neúnosně stoupá úroveň rušení v kmitočtových pásmech prakticky od 0 Hz až do stovek GHz. Elektronická zařízení nebo přístroje mohou obsahovat generátory netlumených a modulovaných kmitů pracující na různých kmitočtech, generátory obrazových a vysokofrekvenčních impulsů, řetězce výkonových zesilovačů vysokofrekvenčních, nízkofrekvenčních a impulsních. Všechny tyto díly pracují na poměrně vysokých výkonových úrovních měřitelných jak v mW, tak i v MW. Ve stejných zařízeních nebo v zařízeních sousedících mohou být citlivé přijímače pracující na stejných nebo odlišných kmitočtech, citlivé zesilovače či mikroprocesorové obvody. Tyto části pracují často při extrémně nízkých úrovních výkonu řádově až  $10^{-14}$ W. Různé díly elektronického zařízení tak pracují na nejrůznějších úrovních výkonu,

maximální poměr těchto výkonů může dosáhnout až 200 dB, tj.  $10^{20}$ . Pravděpodobnost vzájemného rušení je za těchto podmínek velká (1).

V praxi, kde citlivá elektronická zařízení musí často pracovat v prostředí se silným rušením, vznikají mnohdy značně obtížné situace. Tak např. vstupní měřicí ústředna řídicího počítače se spojuje s výrobním technologickým procesem prostřednictvím množství čidel, k nimž často vedou i několik set metrů dlouhé přívodní kabely nesoucí signály nízkých úrovní mV a  $\mu$ A. Kabely jsou přitom často vystaveny působení silných rušivých polí schopných do nich indukovat napětí dosahující desítek až stovek voltů. Tyto parazitní signály, impulsní nebo harmonické, pak mohou být vyhodnoceny jako informace došlé z technologického procesu a mít za následek nesprávný zásah (mnohdy automatický) s možným rizikem hospodářských škod, havárií na technickém zařízení, ale i ohrožení života či zdraví lidí (1).

**V odborném tisku byly publikovány příklady, kdy nedodržení požadavků EMC mělo katastrofální následky (2):**

V polovině 70. let vyvinula automobilka Volkswagen počítačem řízený systém vstřikování paliva. V Evropě fungoval naprosto spolehlivě, ale v Severní Americe se na něm velmi často projevovaly naprosto nepochopitelné závady. Důvodem bylo použití zesilovačů amatérských radiostanic, které interferovaly s řídicí jednotkou vstřikovače.

V roce 1967 na letadlové lodi USS Forrestal u Vietnamu došlo vlivem radarového signálu k samovolnému spuštění palubních zbraní letadla na palubě. Důsledkem byla smrt 134 námořníků.

V roce 1982 zahynulo 22 členů posádek celkem pěti vrtulníků UH-60 Blackhawk při pádu strojů po selhání elektroniky v blízkosti vysílače místní radiostanice.

Zničení stíhačky NATO typu Tornado. Příčinou katastrofy bylo rušení elektronického řídicího systému letadla elektromagnetickým vlněním. 6. července 1984 letadlo letělo ve výšce 230 m rychlostí 800 km/h nad vysílačem velkého výkonu v Holkirchenu u Mnichova. V důsledku selhání automatického systému řízení se letadlo zřítilo.

Havárie v hutích na východním pobřeží v USA v letech 1983. Příčinou bylo rušení mikroprocesorového systému řízení jeřábu přenášejícího licí pánev s tekutou ocelí příruční vysokofrekvenční vysílačkou. Licí pánev se předčasně převrhla a rozžhavený kov zabil na místě jednoho dělníka a vážně zranil další čtyři.

V roce 1985 na orbitální stanici Spacelab posádka při zapnutí vysavače způsobila napětový impuls, který vyřadil z provozu systém dálkového přenosu dat. Pikantní bylo to, že použitý vysavač nebyl testován na EMC, a přesto se ocitl na palubě.

Potopení britského křižníku Sheffield během falklandské války. Příčinou byla neadekvátní EMC mezi detekčním systémem letadla, radarem a palubním vysílačem lodi. Detekční systém letadla byl zahlcen rádiovým rušením od silného signálu vysílaného vysílačem lodi. Výsledkem bylo samovolné odpálení rakety Argentine Exocet z letadla, která potopila křižník. Dvacet lidí přišlo o život.

Meteorologické satelity NOAA-11 a NOAA-12 v roce 1991 byly vlivem vysokofrekvenčního rušení napadeny a řízeny falešnými příkazy („phantom commands“), které vážně narušily jejich úkoly. Satelit NOAA-12 byl prakticky nefunkční při přeletu nad Evropou, která vyzařuje silné vysokofrekvenční pole. Naštěstí se řídicímu středisku podařilo falešné řídicí pokyny eliminovat.

Havárie rakety Pershing II v SRN v důsledku elektrostatického výboje. Při převozu byla raketa neúmyslně odpálena elektrostatickou elektřinou. Tento případ byl šokujícím pro odborníky i proto, že právě tento typ rakety byl při speciálních zkouškách testován na odolnost vůči účinkům blesku s proudovými pulsy až do 200 kA.

17. června 1996 se nedaleko pobřeží zřítíl do oceánu Boeing 747-131, let č. 800, s 230 cestujícími na palubě. Jedna z hypotéz o příčině zřícení předpokládala použití rakety zeměvzduch nějakou teroristickou organizací. Vyšetřováním se zjistilo, že příčinou výbuchu byl elektrostatický výboj v palivové nádrži. Vlivem nešťastné shody okolností, především použitím klimatizace po dobu dvou hodin stání letadla na letišti, které způsobilo zvýšení teploty v palivových nádržích, a tím zvýšený vznik výbušných par a náhodného elektrostatického výboje na jedné z neuzemněných částí centrální palivové nádrže na křídle, došlo k výbuchu a zničení letadla. Nepřežilo všech 230 cestujících.

### **Příklady domácího původu (2):**

Havarijní stav v důsledku velké poruchovosti a výpadků pohonů odstředivek během cukrovarnické kampaně v cukrovaru Mělník. V cukrovaru byly v rámci modernizace instalovány odstředivky obsahující tyristorové měniče o výkonu 200 kW místo klasických rotačních pohonů. Po připojení pohonů přes transformátory 22/0,4 kV na napájecí síť 22 kV došlo k takovému kolísání a deformacím napájecího napětí, že nastal skupinový výpadek

měníčů způsobený ochranou ztráty napětí. Přitom toto prudké zhoršení kvality napájecí sítě vyvolaly vlastně samy měniče, které podle dosavadních zvyklostí byly připojeny na síť přímo bez potřebné filtrace a kompenzace.

Ztráta rádiového spojení mezi vysílači a přijímači na lodích (remorkérech) Labské plavby a v dolech na Ostravsku. Zde docházelo k velmi intenzivnímu rušení, které naprosto znemožňovalo příjem a vysílání. Kromě toho, v dolech narušilo i funkci automatického havarijního vypínání kombajnu. Zdrojem rušení v dolech byl tyristorový měnič (střídač), který je částí pohonu kombajnu, a na lodích mikroprocesorový řídicí systém obsahující tranzistorové výkonové napáječe.

Rušení elektrokardiografu. Na poliklinice ve středu Prahy ručička zapisovače EKG občas dostávala tak silné šubání, že to zcela znemožňovalo natočení záznamu EKG. Po zatlumení přístroje odrušovacími prostředky byl natočen záznam morseovky. Z volací značky se ukázalo, že je to krátkovlnné vysílání ministerstva dopravy, které mělo anténu 150 m od polikliniky. Nerušený záznam byl dosažen až po kompletním odstínění místnosti EKG a použití jiného elektrokardiografu, odolného proti vysokofrekvenčnímu rušení.

Impulsní rušení v nemocnici. V nemocnici v Praze na jednotce intenzivní péče měla souprava neustále monitorovat dech, tep a teplotu připojených pacientů, avšak spínání okolních výkonových spotřebičů vyvolávalo v kardioskopu přídavné pulsy, které se vyhodnocovaly jako nesynchronní tep srdce. Navíc vadný startér zářivkového svítidla poblíž jednotky, který spínal každou sekundu, vyvolával trvale hlášení překročení meze tepů a blokoval měření. Celá věc skončila tím, že souprava vzhledem k její naprosté neodolnosti vůči rušení musela být vyměněna za systém od jiného výrobce.

Je tedy zřejmé, že nízká odolnost a celkové nerespektování zásad EMC může mít až tragické následky.

## 1.2 Základní členění oboru EMC

Problematiku EMC lze členit podle mnoha různých hledisek. Celkově lze otázky EMC rozdělit na dvě hlavní oblasti: EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení.

### 1.2.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

EMC biologických systémů se zabývá celkovým "elektromagnetickým pozadím" našeho životního prostředí a přípustnými úrovněmi rušivých i užitečných elektromagnetických signálů (přírodních i umělých) s ohledem na jejich vlivy na živé organismy. I když tyto vlivy jsou pozorovány již delší dobu, nejsou výsledky dosavadních biologických a biofyzikálních výzkumů v této oblasti zdaleka jednoznačné. Biologické účinky elektromagnetického pole závisí totiž na jeho charakteru, době působení i na vlastnostech organismu. Protože nejsou známy receptory pole (tj. vstupy elektromagnetického pole do organismu), posuzují se tyto účinky jen podle nespecifických reakcí organismu (1).

Každý člověk reaguje na působení elektromagnetického pole jinak, protože jeho adaptační, kompenzační a regenerační možnosti a schopnosti jsou individuální. Proto je velmi obtížné analyzovat změny v organismu a na základě statistických výsledků dojít k obecně platným závěrům. To je jeden z důvodů, proč je ve světě zatím jen málo konkrétních klinických studií, a ty co existují, jsou zaměřeny na vyšší expozice elektromagnetickým polem v pracovním procesu. Přitom za nežádoucí vlivy na člověka lze dnes považovat nejen přímé působení elektromagnetického pole na pracovišti (obsluha vysílačů, radiolokátorů, výpočetních středisek apod.), ale i dlouhodobé bezděčné působení elektronizovaného životního prostředí zejména doma, kde většina lidí tráví hodiny svého času ve "společnosti" elektrických a elektronických zařízení (televizní a rozhlasové přijímače, kuchyňské spotřebiče, osobní počítače apod.) (1).

Problematikou EMC biologických systémů se zabývají některá výzkumná lékařská pracoviště s cílem posoudit odolnost lidského organismu vůči elektromagnetickým vlivům, mechanismy jejich působení apod. U vysokofrekvenčních a mikrovlnných polí jsou relativně nejvíce objasněny tzv. **tepelné účinky**, tj. účinky, které se objeví jako výsledek ohřevu tkání vystavených vysokým úrovním polí (1).

Účinky elektromagnetického pole na centrální nervový systém, srdečně cévní, krevtovorný a imunitní systémy se přisuzují tzv. **netepelným účinkům**, tj. déle trvajícím expozicím polí s relativně nízkou výkonovou úrovní. Ani tyto, ani genetické či karcinogenní účinky však zatím nebyly jednoznačně prokázány. Všechny tyto skutečnosti v obtížnosti posuzování EMC biologických systémů jsou příčinou toho, že v příslušných hygienických normách ve světě existují velké rozdíly např. v přípustných dávkách elektromagnetického záření. V České republice se této problematice týká vyhláška ministerstva zdravotnictví

č.480/2000 Sb., která s účinností od 1.ledna 2001 stanovuje požadavky pro práci a pobyt osob v elektromagnetickém poli v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 300 GHz, příp. pro optické a laserové záření i do vyšších kmitočtů. Vyhláška požaduje, aby expozice osob elektrickým či magnetickým polem a elektromagnetickým zářením v uvedeném rozsahu kmitočtů byla omezena tak, aby proudová hustota indukovaná v těle, měrný výkon absorbovaný v těle a ani hustota zářivého toku elektromagnetické vlny dopadající na tělo nebo jeho součást nepřekročily jeho stanovené nejvyšší hodnoty. Vyhláška přitom rozlišuje největší přípustné velikosti ozáření u tzv. „zaměstnanců“ (tj. pracovníků kteří profesionálně pracují v blízkosti zdrojů elektromagnetického záření) a u tzv. „ostatních osob“ , tj. u běžného obyvatelstva. V kmitočtové oblasti do 10 MHz se stanovené přípustné hodnoty týkají hustoty indukovaného proudu. O hodnoty měrného absorbovaného výkonu jde v oblasti 100 kHz až 10 GHz. V pásmu od 10 GHz do 300 GHz se sleduje plošná hustota zářivého toku dopadající elektromagnetické vlny. V tabulce (Tab.1) jsou uvedeny základní nejvyšší přípustné hodnoty (1).

Tab. 1. Nejvyšší přípustné hodnoty indukovaných proudů, absorbovaných výkonů a hustoty ozáření podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 480/2000 Sb.

Veličina	Zaměstnanci				Ostatní osoby			
	Kmitočet f [Hz]				Kmitočet f [Hz]			
Indukovaná proudová hustota [A/m <sup>2</sup> ]	<1	1 ÷ 4	4 ÷ 10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> ÷ 10 <sup>7</sup>	<1	1 ÷ 4	4 ÷ 10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> ÷ 10 <sup>7</sup>
	0,057	$\frac{0,04}{f}$	0,01	$\frac{f}{10^5}$	0,011	$\frac{0,008}{f}$	0,002	$\frac{f}{5 \cdot 10^5}$
Měrný absorbovaný výkon [W/kg]	10 <sup>5</sup> ÷ 10 <sup>10</sup>				10 <sup>5</sup> ÷ 10 <sup>10</sup>			
	0,4				0,08			
Plošná hustota zářivého toku [W/ m <sup>2</sup> ]	10 <sup>10</sup> ÷ 3 * 10 <sup>11</sup>				10 <sup>10</sup> ÷ 3 * 10 <sup>11</sup>			
	50				10			

Indukovaná proudová hustota je definována jako efektivní hodnota elektrického proudu tekoucího kolmo k rovinné ploše s obsahem 100 mm<sup>2</sup> dělená obsahem této plochy. Pro kmitočty nad 1 kHz se bere časová střední hodnota této hustoty za dobu 1s. Při současné expozici elektrickým a magnetickým polem o stejném kmitočtu se výsledná proudová hustota

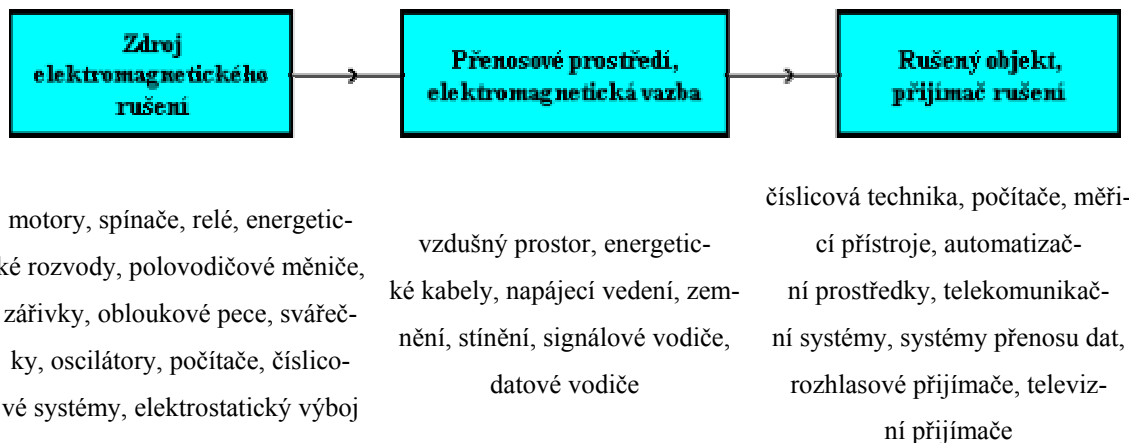
tota určí jako součet hustoty proudu indukovaného elektrickým polem a proudu indukovaného magnetickým polem. Měrným absorbovaným výkonem se rozumí výkon absorbovaný v celém těle vztážený na 1kg hmotnosti a časově zprůměrovaný na dobu 6 minut. Plošná hustota zářivého toku se uvažuje jako průměrná hodnota hustoty na ploše 20 cm<sup>2</sup> libovolné části těla ozařované osoby. Maximální průměrná hodnota této hustoty nesmí překročit dvacetinásobek hodnot z tabulky ( Tab. 1) (1).

### 1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Druhá oblast, tedy EMC technických systémů a zařízení, se zabývá vzájemným působením a koexistencí technických prostředků, zejména elektronických a elektrotechnických přístrojů a zařízení. Elektromagnetická kompatibilita se tak z původní disciplíny, zabývající se pouze ochranou proti rušení radiového příjmu, rozvinula ve velmi široký obor, který se člení na několik dílčích podoborů a oblastí. Při zkoumání jednotlivých problémů EMC je třeba mít na paměti, že EMC je oborem výrazně aplikačním a systémovým. Přitom je vhodné si uvědomit slova Prof. C.R. Paula, jednoho ze světově uznávaných „otců“ vzdělávacích koncepcí v oblasti EMC, že *„elektromagnetická kompatibilita není praktickou aplikací nějakých nových principů či postupů, ale je pouze specifickou aplikací obecných, základních a mnoha oblastem společných zákonů a principů“*. Koncepce a principy EMC lze tedy vždy chápat jako jednu oblast praktické aplikace obecných principů elektrotechniky a elektroniky (1).

Při zkoumání EMC daného zařízení či systému (technického či biologického) se vychází z tzv. základního řetězce EMC. Řetězec je naznačen na obrázku (Obr. 1), a zdůrazňuje již zmíněný systémový charakter EMC, kdy v obecném případě vždy vyšetřujeme všechny tři složky.





Obr. 1. Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí

Oblast **zdrojů elektromagnetického rušení** zahrnuje zkoumání obecných otázek mechanismů vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity. Patří sem jednak tzv. přírodní zdroje rušivých signálů (slunce, vesmír, elektrické procesy v atmosféře apod.), a jednak tzv. umělé zdroje rušení, tj. zdroje vytvořené lidskou činností, k nimž patří nejrůznější technická zařízení – elektrické motory, výroba, přenos a distribuce elektrické energie, elektronické sdělovací prostředky, tepelné a světelné spotřebiče apod..

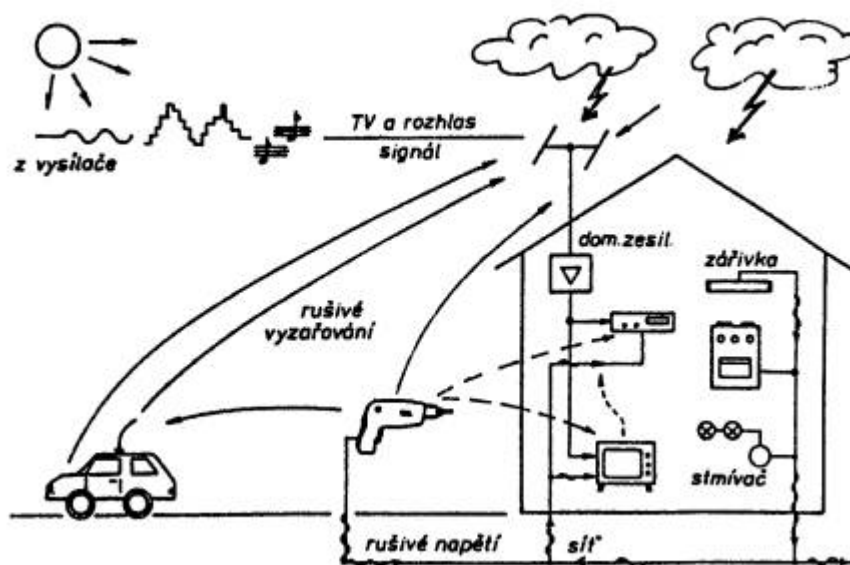
**Přenosové prostředí, elektromagnetická vazba**, což je druhá část na obrázku (Obr. 1) se zabývá způsoby a cestami, kterými se energie ze zdroje rušení dostává do objektů – přijímačů rušení.

Poslední oblastí je problematika **objektů** či **přijímačů rušení** zabývající se klasifikací typů a podrobnou specifikací rušivých účinků na základě analýzy konstrukčních a technologických parametrů zařízení a z toho plynoucí jejich elektromagnetickou odolností (1).

Skutečná souvislost tří oblastí řetězce EMC je samozřejmě mnohem složitější, než je znázorněno na obrázku (Obr. 1). Každý systém nebo zařízení či jeho určitá část může totiž být současně jak zdrojem tak i přijímačem elektromagnetického rušení. Jako zdroj rušivého signálu můžeme označit element jenž je méně citlivý na rušení, ale generující větší úroveň rušivého signálu. Jako přijímač rušivých signálů naopak citlivější element s menší úrovní generovaného rušení. V obou směrech jsou spolu zdroj a přijímač vázány parazitní elektromagnetickou vazbou (1).

Ve skutečném řetězci EMC se rovněž nikdy nejedná o působení jediného zdroje rušení a jediného přijímače, ale řeší se vždy vzájemné vztahy více systémů vzájemně se všestranně ovlivňujících. Přesto obvykle postupujeme tak, že nejprve jeden systém považujeme za systém ovlivňující (zdroj rušení) a všechny ostatní za systémy ovlivňované (přijímače rušení). Pak tento vybraný systém naopak považujeme za ovlivňovaný a hodnotíme důsledky jeho možných ovlivnění všemi ostatními systémy, které tvoří tzv. obklopující elektromagnetické prostředí. Souhrn jejich rušivého působení se ve zkoumaném systému může projevat různými způsoby, počínaje zhoršením kvality systémových parametrů, přes částečné nebo úplné omezení systémové funkce, až k havarijním technologickým či bezpečnostním stavům (3).

Zkoumáme-li tedy např. osobní počítač, musíme jej považovat zároveň za systém, jehož funkci mohou rušivě ovlivnit sousední systémy (např. rušivá napětí z napájecí sítě, blízký rozhlasový vysílač, výboje statického náboje operátora apod.) a zároveň za potenciální zdroj rušivých signálů pro jeho sousední systémy (rušení rádiových přijímačů v blízkém okolí, ovlivnění měřicích přístrojů, šíření rušivých napětí do napájecí sítě, elektromagnetické účinky monitoru počítače na operátora apod.).

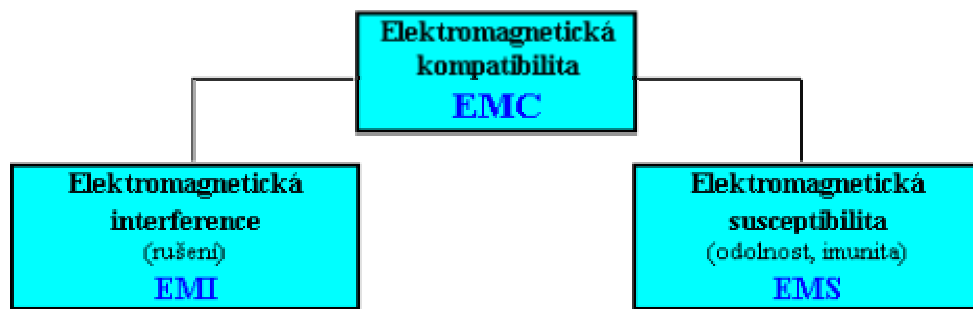


Obr. 2. Příklady různého vzájemného působení rušivých signálů

Vzájemné působení různých systémů je tedy velmi složité a komplexní, což je naznačeno na obrázku (Obr.2). Základní řetězec EMC na obrázku (Obr.1) má proto především metodologický význam. Současně však je vhodné si uvědomit, že pokud by se podařilo

dologický význam. Současně však je vhodné si uvědomit, že pokud by se podařilo *zcela* odstranit *kteroukoli* část tohoto řetězce, ztratila by elektromagnetická kompatibilita svůj smysl, neboť dané zařízení či systém by byl absolutně kompatibilní. Ve snaze se tomuto stavu v praxi alespoň přiblížit, zaměřujeme svou pozornost na jednu ze tří oblastí řetězce EMC. Výběr nejvhodnější z nich, jejíž úpravou dosáhneme nejvyššího efektu EMC, závisí samozřejmě na konkrétním systému a okolnostech jeho činnosti. Především musíme uvážit, zda rušivé účinky ovlivňujícího systému (zdroje rušení) jsou jeho funkčními parametry (např. signál rozhlasového vysílače) nebo zda jsou jeho parazitními (rušivými) produkty (např. jiskření na kontaktech, vyšší harmonické apod.). Podle toho pak směřujeme prostředky pro minimalizaci těchto rušivých vlivů buď převážně na zdroj rušení nebo na rušený objekt, příp. na přenosovou cestu mezi nimi (3).

Podle obrázku ( Obr.3) se celá problematika EMC člení do dvou základních skupin.



Obr. 3. Základní členění problematiky EMC

**Elektromagnetická interference (EMI)** (z anglického “*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. Kompatibility celého systému se dosahuje technickými opatřeními především na straně zdrojů rušení a jejich přenosových cest. EMI se tak týká hlavně **příčin rušení** a jejich odstraňování (3).

**Elektromagnetická susceptibilita či imunita (EMS)** (z anglického “*Electromagnetic Susceptibility*“ či “*Electromagnetic Imunity*“) neboli elektromagnetická citlivost či elektromagnetická odolnost vyjadřuje schopnost zařízení pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS se tedy zabývá především technickými opatřeními, které zvyšují u objektu (příjí-

mače rušení) jeho elektromagnetickou imunitu, tedy jeho odolnost proti vlivu rušivých signálů. EMS se tak týká spíše odstraňování **důsledků rušení**, bez odstraňování jejich příčin (3).

Obě tyto 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 identifikace. 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) (3).

Kromě měření rušení se v současné době rychle rozvíjí i oblast **testování elektromagnetické odolnosti** objektů pomocí tzv. simulátorů rušení (EMC simulátory). Jde tedy v podstatě o praktické ověření stupně EMC navrženého zařízení. Testování se provádí nejen na hotových zařízeních, ale zejména již v průběhu jejich vývoje (3).

Stále rozsáhlejší je i oblast **počítačové simulace a modelování** EMS i EMI, využívající softwarových produktů. Tento přístup je výhodný zejména ve stádiu návrhu a vývoje daného zařízení, kdy poskytuje základní výchozí poznatky o úrovni jeho EMC a umožňuje tak realizovat optimální technický návrh zařízení z hlediska EMC (3).

Na všechny dosud popsané oblasti úzce navazuje oblast **tvorby norem a předpisů EMC**. Vzhledem k šíři problematiky EMC nemůže být oblast všech elektrických a elektronických zařízení ponechána "svému osudu". Pro praktickou nemožnost dosáhnout absolutní elektromagnetické kompatibility jakéhokoli zařízení je nutno stanovit jednotné normy a meze maximálních přípustných hodnot rušivých signálů pro určitý typ zařízení, přesné a reprodukovatelné podmínky pro jejich měření a ověřování odolnosti apod. Státní správy všech vyspělých zemí se snaží tuto situaci řešit vytvořením právních a technicko normativních dokumentů, které vytváří předpoklady pro zamezení nežádoucích emisí a zvyšování odolnosti zařízení a systémů proti "elektromagnetické agresivitě" prostředí. Jedině takovéto zakotvení důležitých poznatků ze všech oblastí EMC v mezinárodně jednotných normách a doporučeních může vytvořit podmínky pro úspěšný vývoj a projektování elektrotechnických systémů s respektováním zásad EMC (3).

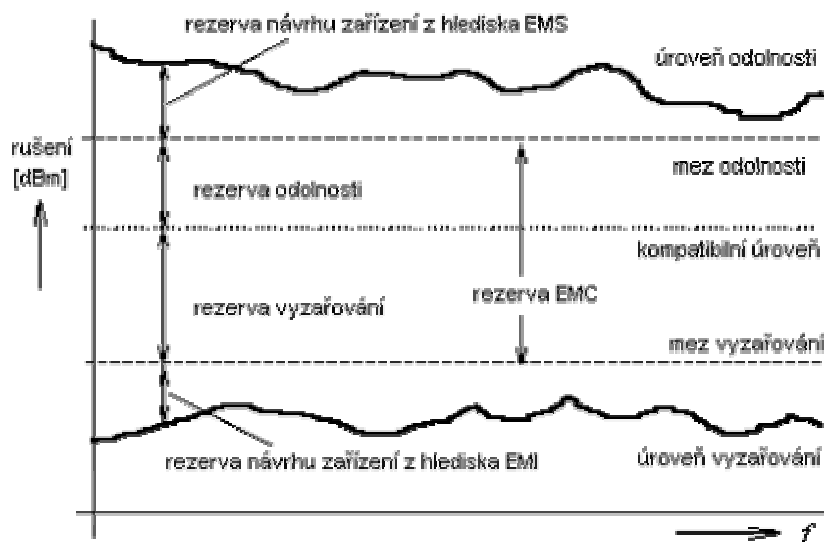
Problematika EMC v sobě slučuje vědní, technické a aplikační poznatky prakticky ze všech oblastí elektrotechniky a elektroniky: silnoproudou elektrotechniku a elektroenergetiku, rádiovou komunikaci a telekomunikaci, informační techniku včetně softwarového inženýrství, měřicí a automatizační techniku, analogovou, číslicovou a mikroprocesorovou techniku, techniku antén, šíření a příjmu elektromagnetických vln, vysokofrekvenční a mikrovlnnou techniku, lékařskou elektroniku a řadu dalších. Elektromagnetická kompatibilita tak představuje výrazně systémovou a integrující disciplínu mající navíc významné **aspekty finanční a ekonomické**. Respektování EMC při vývoji, konstrukci a výrobě prakticky všech elektrotechnických a elektronických zařízení je již v současné době nezbytnou podmínkou jejich prodejnosti na všech trzích. Ve všech průmyslových zemích existují normy EMC, kterým musí vyhovovat každé zařízení či přístroj. Chceme-li exportovat výrobky českého průmyslu na tyto trhy, musejí naše výrobky těmto normám vyhovovat. Toto hledisko se stalo životně důležité po 1.lednu 1996, kdy ve všech zemích EU vstoupila v platnost jednotná přísně sledovaná a sankcionovaná direktiva č.89/336/EEC, předepisující obecné požadavky EMC pro uvedení přístroje či zařízení na trh. Bez splnění všech těchto požadavků a jeho závazného prokázání je prodej zařízení (ale i jeho vystavení či reklama) finančně sankcionován a zakázán (3).

Vzhledem k šíře problematiky EMC nelze pominout ani některé **speciální aspekty EMC**. Ve vojenské oblasti souvisejí tyto aspekty jak s bojeschopností složitých elektronických vojenských zařízení na jedné straně, tak i s vlivem jejich elektromagnetické činnosti na okolní "civilní" sektor. Celá jedna oblast systému obrany státu, tzv. radioelektronický boj, není z tohoto pohledu ničím jiným, než narušováním EMC protivníkovy techniky. K tomu je však nutno napřed vědět, jak je této EMC dosaženo, kde jsou její slabá místa apod. V amerických materiálech o válce v Perském zálivu se např. uvádí, že více než 50 % této války bylo ve prospěch spojenců rozhodnuto právě masivním radioelektronickým bojem, tj. totálním funkčním znehodnocením nepřátelských komunikačních a vojenských elektronických systémů ještě před zahájením vlastních bojových operací. Není proto divu, že vojenská pracoviště u nás i v zahraničí věnují problematice EMC značnou pozornost již řadu let od samého jejího vzniku a mají obvykle "náskok" před civilním sektorem. Rovněž příslušné vojenské normy EMC jsou přísnější a náročnější než odpovídající civilní předpisy (3).

Další (3) významnou speciální oblastí EMC, jejíž aktuálnost vyvstala s rozvojem a nasazením výpočetní techniky jak ve vojenství, tak i v civilních oblastech, je otázka **zachování a ochrany dat** před únikem a zcizením. Problematika utajení dat je klíčovou otázkou např. ve finančnictví, bankovníctví, průmyslovém výzkumu a vývoji, jaderné energetice a jinde.

### 1.3 Základní pojmy EMC

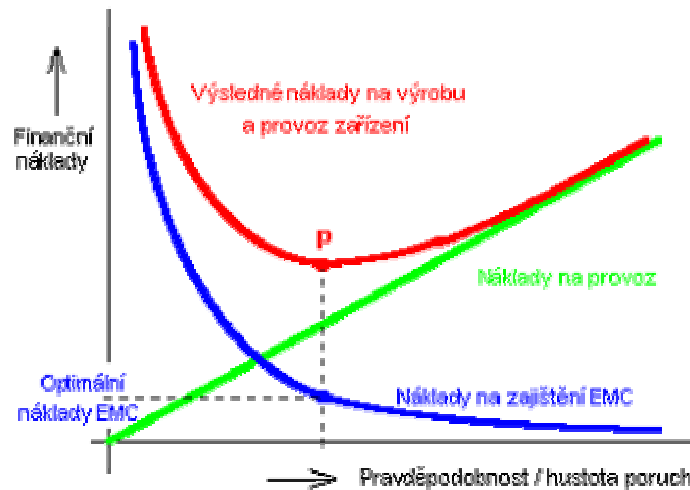
Každé elektrotechnické zařízení je současně jak zdrojem elektromagnetického rušení, tak i jeho přijímačem pracujícím v určitém elektromagnetickém prostředí. Pro každé takové zařízení definuje obecná norma ČSN-IEC 1000-1-1 některé základní pojmy, jejichž základní vztah je vysvětlen na obrázku (Obr. 4.) (3).



Obr. 4. K definici úrovní a mezí vyzařování a odolnosti

**Úroveň vyzařování** je rušení generované samotným konkrétním spotřebičem či zařízením měřené předepsaným způsobem a vyjádřené např. v dBm v závislosti na kmitočtu dle obrázku (Obr. 4.). **Mez vyzařování** je maximální přípustná (tj. normami povolená) úroveň vyzařování daného zařízení. Rozdíl těchto úrovní vyjadřuje tzv. **rezervu návrhu** daného zařízení z hlediska EMI (3).

Podobně **úroveň odolnosti** je maximální úroveň rušení působícího na konkrétní zařízení, při němž nedochází ještě ke zhoršení jeho provozu a **mez odolnosti** je nejnižší normou požadovaná úroveň odolnosti daného zařízení. Rozdíl obou těchto úrovní udává **rezervu návrhu** zařízení z hlediska jeho odolnosti EMS.



Obr. 5. Optimalizace finančních nákladů pro zajištění EMC zařízení

Z logiky zavedení výše uvedených pojmů i z obrázků (Obr. 4) je zřejmé, že aby zkoušené zařízení vyhovělo požadavkům EMC, musí být úroveň jeho vyzařování vždy nižší než maximální přípustná úroveň, tj. než mez vyzařování. Podobně úroveň odolnosti zařízení musí být vždy větší než minimální požadovaná úroveň, tj. než mez jeho odolnosti. Navíc, mez odolnosti musí být vyšší než mez vyzařování, neboť jen tak je dosaženo dostatečné rezervy EMC daného zařízení. Konkrétní velikosti rezervy návrhu zařízení z hlediska EMI a EMS nejsou nijak předepsány a jejich míra je výlučnou záležitostí výrobce daného zařízení. Jsou-li tyto rezervy zvoleny příliš velké, vede to ke zbytečnému zvýšení nákladů např. na odrušení, na parametry odrušovacích prostředků, na stínění a na další ochranu EMC. Vývoj i konečná cena daného zařízení se tím zvyšuje. Naopak, jsou-li rezervy návrhu příliš malé, vzniká velké riziko, že zařízení nevyhoví zkouškám EMC či provozním požadavkům a musí být dodatečně odrušováno, odstíňováno apod., což je obvykle ještě pracnější a nákladnější než v prvním případě. Situace je dokumentována na obrázku (Obr. 5.), kde jsou zobrazeny typické průběhy finančních nákladů na výrobu a provoz určitého technického zařízení v závislosti na pravděpodobnosti poruchy či hustotě poruch zařízení. Náklady na udržení standardního provozu zařízení lineárně rostou se zvyšující se hustotou jeho poruch. Naopak pravděpodobnost poruch je nepřímo úměrná velikosti investic vložených do zabezpečení EMC zařízení. Celkové náklady na výrobu a provoz daného zařízení chápáné jako součet obou těchto položek dosahují dle obrázku (Obr. 5.) své minimální hodnoty v bodě P. Investice do zabezpečení EMC daného zařízení je tedy vhodné volit tak vysoké, aby celkové náklady na zařízení dosáhly právě své minimální hodnoty v tomto bodě. Jeho přesnou "polohu" však samozřejmě nelze exaktně "vypočítat" a lze se jen opřít o zkušenos-

ti z vývoje, výroby a provozu konkrétních zařízení. Ukazuje se, že v závislosti od velikosti a rozsáhlosti zařízení by optimální náklady na zajištění EMC měly činit asi 2 až 10 % celkových vývojových nákladů zařízení. Jsou-li otázky EMC sledovány od samého počátku vývoje zařízení, lze náklady na ně snížit dokonce pod hodnotu 1 % (3).

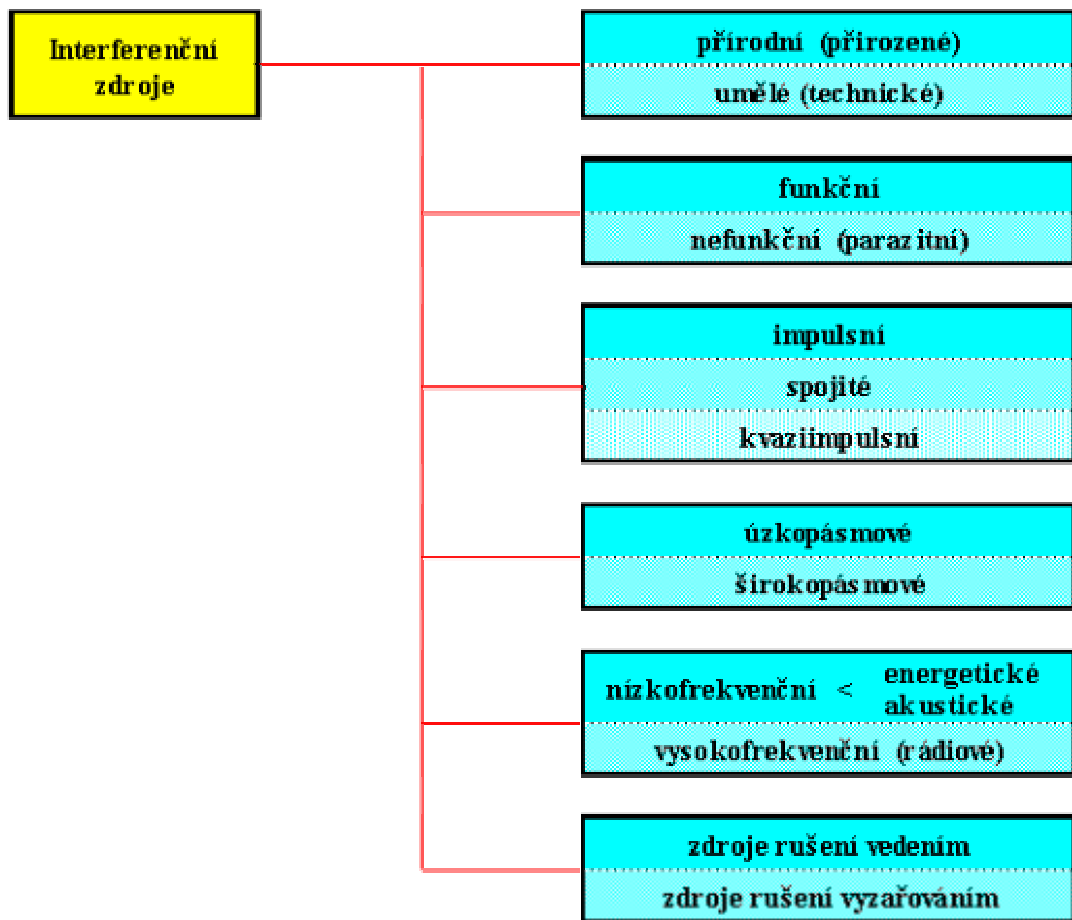
Je jasné, že respektování zásad EMC úzce souvisí s kvalitou a spolehlivostí výrobků. Podceňování těchto zásad při vývoji, projektování, konstrukci a testování výrobků obsahujících elektronické obvody vede k jejich velké poruchovosti, provozní nespolehlivosti, a neprodejnosti. Kromě toho, neznalost zásad a podmínek EMC může za určitých okolností způsobit značné hospodářské škody, havárie technických zařízení či ohrozit život a zdraví lidí.



## 2 RUŠIVÉ SIGNÁLY A JEJICH ZDROJE

Na každý elektrotechnický systém lze pohlížet zároveň jako na zdroj a přijímač elektromagnetického rušení. Z praktického důvodu však vyčleňujeme typickou skupinu systémů u nichž vysoce převažuje proces generování rušivých signálů nad jejich nežádoucím příjmem a nazýváme je **interferenčními zdroji** či **zdroji elektromagnetického rušení**.

Některé možné případy klasifikace rušení a jejich zdrojů jsou na obrázku (Obr. 6.) (3):



Obr. 6. Klasifikace interferenčních signálů

Z hlediska zamezení rušení jsou v centru naší pozornosti především **umělé interferenční zdroje**, tj. zdroje vzniklé lidskou činností. **Přírodní (přirozené) zdroje** rušivých signálů musíme brát jako fakt, jehož vzniku většinou nemůžeme zabránit, zbývá tedy jen předcházet jejich následkům (3).

Dále zde máme tzv. **funkční** či **nefunkční (parazitní) zdroje** rušení. Funkční nazýváme takové interferenční zdroje, jenž jsou základem funkce jednoho systému a přitom ovlivňují základní funkce jiného systému, jsou tedy vůči němu rušivé. Za nefunkční či parazitní

označujeme ostatní zdroje, které při svém provozu produkují parazitní rušivá napětí či pole.

Interferenční zdroje též můžeme rozdělit podle časového průběhu rušivého signálu, kde periodické analogové průběhy vznikají jako vyšší harmonické různých funkčních signálů.

**Impulsní** průběhy jsou náhodně vznikající impulsy při elektrostatických výbojích apod. Opakem je tzv. **spojité rušení**, jenž je posloupností oddělených jevů působících nepřetržitě. Ale vznikají i tzv. **kvaziimpulsní** průběhy které jsou superpozicí rušení spojitého a impulsního rušení a jsou např. produkovány tyristorovými střídači (4).

S časovým průběhem rušivého signálu je jednoznačně vázána i šířka jeho kmitočtového spektra, což je údaj velmi důležitý zejména z hlediska použití vhodných prostředků pro potlačení (filtraci) rušení. **Úzkopásmové rušení** je produkováno zejména "užitečnými" signály rozhlasových a televizních vysílačů, charakter **širokopásmového rušení** má naopak většina tzv. průmyslových rušivých signálů, ať již mají časový průběh spojitý, impulsní či kvazi-impulsní. Rovněž všechna přírodní rušení jsou svou podstatou širokopásmová.

Z hlediska obsazení kmitočtového spektra a fyzikálního působení lze rušení dále členit na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. **Nízkofrekvenční rušení** se projevuje dvojitým způsobem. **Energetické nízkofrekvenční rušení** působí na napájecí energetickou soustavu v pásmu kmitočtů od nuly do 2 kHz a způsobuje hlavně zkreslení (deformaci) napájecího napětí a odebíraného proudu energetických sítí. To se projevuje rušivě v provozu zařízení, která jsou závislá na tvaru křivky napájecího elektrického napětí, jako jsou např. ovládací systémy, osvětlení, stroje a přístroje a další. Zdrojem energetického rušení je obecně každá nelineární zátěž napájecí sítě způsobující deformaci odebíraného proudu.

**Akustické nízkofrekvenční rušení** působí v pásmu do 10 kHz, kde negativně ovlivňuje funkci přenosových informačních systémů jako jsou telefony, rozhlas, měřicí a řídicí zařízení, komunikační a informační soustavy apod. Toto rušení generují prakticky všechny energetické zdroje, systémy přenosu dat, radary apod.

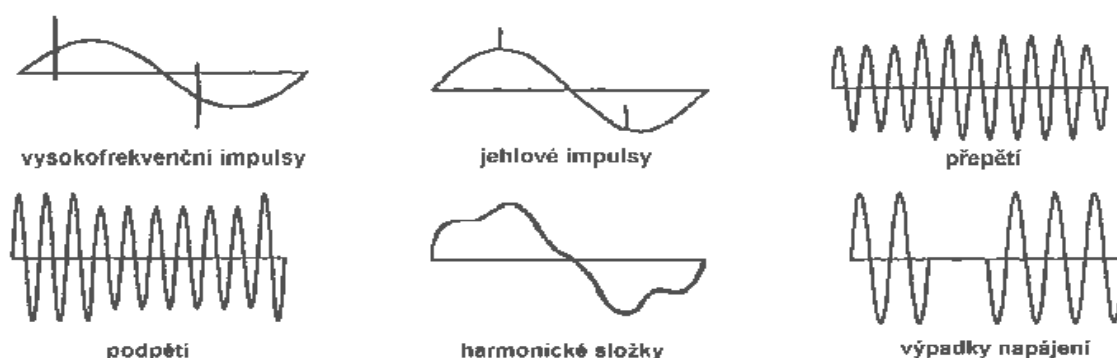
**Vysokofrekvenční** neboli **rádiové rušení** leží podle Radiokomunikačního řádu v pásmu od 10 kHz do 400 GHz. Ke zdrojům rádiového rušení patří prakticky všechny existující interferenční zdroje, neboť jejich rušivé signály sahají prakticky vždy až do těchto kmitočtových oblastí.

Obecně se z každého zdroje šíří rušivá energie **vyzařováním** nebo **vedením**. Protože v praxi v podstatě převažuje jedna z výše uvedených složek nebo jsou v interaktivním vzájemném působení, rozdělují se zdroje rušení na **zdroje interference šířené vedením** a na **zdroje interference šířené vyzařováním** (4).

Z uvedeného přehledu zdrojů rušivých signálů je zřejmé, že není možné provést jejich přesnou a vyčerpávající klasifikaci. Proto budou dále klasifikovány interferenční signály podle jejich vzniku doplněné o některé jejich příklady.

## 2.1 Průmyslové zdroje rušení

Z **periodických spojitých rušivých signálů** jsou nejdůležitější harmonické složky kmitočtu napájecí sítě 50 Hz, které jsou často produkovány již samotnými silnoproudými generátory při výrobě elektrické energie. Takto vzniklé harmonické vyvolávají na nelineárních impedancích sítě (např. na transformátorech s nelineární magnetickou charakteristikou) vznik dalších harmonických složek. V současnosti jsou největšími průmyslovými zdroji tohoto rušení řízené polovodičové měniče velkých výkonů, které produkují v napájecí síti harmonické kmitočty až do 30 MHz. V neprůmyslové sféře představují velkou nelineární zátěž zejména televizní přijímače svým síťovým usměrňovačem. Rušivá napětí v napájecí energetické síti mohou mít řadu různých podob a mohou se projevovat různými formami deformace harmonického napájecího napětí 50 Hz. Typické případy jsou uvedeny na obrázku (Obr. 7) (3).

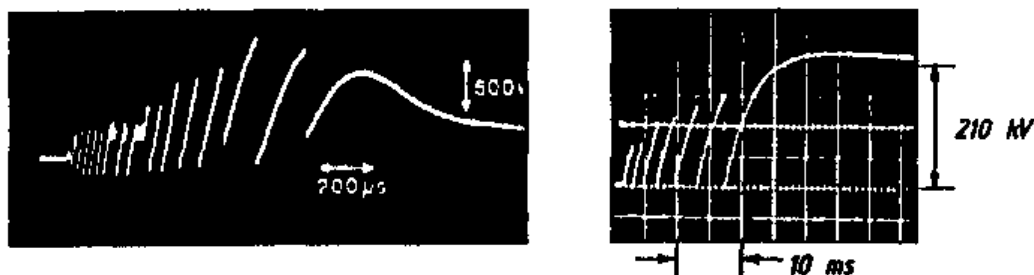


Obr. 7. Typické projevy rušivých signálů v síťovém napájecím napětí

V napájecích energetických sítích se vyskytuje řada přechodových jevů (a tím i rušivých napětí) spojených se spínacími nebo rozpínacími pochody mechanických či elektrických spínačů. V sítích vysokého a velmi vysokého napětí dochází k **vysokofrekvenčním oscilacím při zapínání** vlivem kapacity a indukčnosti spínaných vedení. Tlumené oscilace s

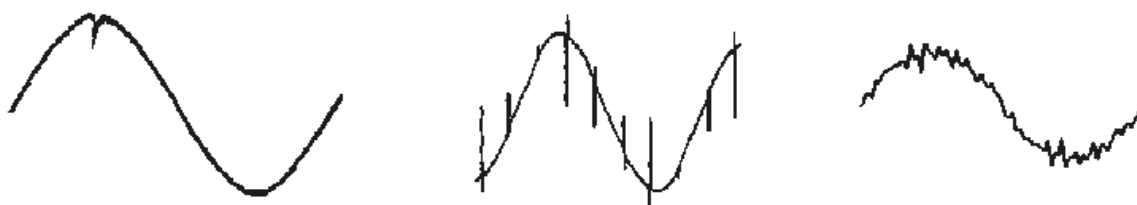
kmitočtem do několika MHz dosahují velikosti několika tisíc V a trvají obvykle pět- až desetinásobek doby své periody. Pro svůj vysoký kmitočet se tyto oscilace kapacitními vazbami snadno šíří až do sítí nízkého napětí.

Další typ rušení vzniká nejčastěji v napájecích sítích nízkého napětí při činnosti **stykačů** a **jističů**, případně **mechanických relé**. Při přechodovém jevu rozpojování obvodu obsahujícího indukčnost dochází v okamžiku rozpojení kontaktů k rychlé změně (přerušení) proudu  $di/dt$  a tím vzniku vysokého rušivého napětí  $u = -L di/dt$ , které leží prakticky celé mezi kontakty spínače. Mezi kontakty tak vznikne obloukový výboj a napětí na kontaktech klesne skokem k nule. Tím výboj zhasne a mezi kontakty opět začíná narůstat napětí. Pokud jeho velikost opět překročí průraznou pevnost vzduchu mezi vzdalujícími se kontakty spínače (to záleží na velikosti rozpojovaného napětí, na rychlosti vzdalování se kontaktů spínače i na velikosti indukčnosti rozpojovaného obvodu), oblouk mezi kontakty se opět zapálí a celý děj se může několikrát opakovat. Na rozpojovaných kontaktech tak vznikají velmi strmé impulsy s krátkou náběžnou hranou jen několika ns, ale s napětím až několika kV. Vznikající pilovitý průběh napětí, znázorněný na dvou oscilogramech na obrázku (Obr. 8), se opakuje s kmitočtem několika kHz a při dostatečně otevřených kontaktech spínače se ustálí na provozní hodnotě odpojovaného napětí v obvodu. Podobné procesy vznikají rovněž při spínání obvodů obsahujících indukčnost. Opět zde dochází k opakovanému vzniku obloukového výboje mezi přibližujícími se kontakty spínače a tím ke vzniku přepětíového přechodného jevu pilovitého průběhu. Vzhledem k odlišným počátečním podmínkám je však velikost vznikajících impulsů menší. Pro rychle po sobě jdoucí ostré impulsní poruchy generované ve skupinách po větších časových intervalech (např. při každém rozpojení a spojení stykače) se v angličtině používá výstižný název "*burst*" (česky "*trhlina*" či "*průtrž*").



Obr. 8. Oscilogramy rušivých napětí vznikajících na rozpojovaných kontaktech nízkonapětového relé (a) a vysokonapětového spínače (b)

Další typ rušení, který souvisí se spínacími pochody, vzniká v **usměrňovačích diodového typu** a zejména v případech **tyristorového řízení** výkonových průmyslových zařízení, např. tramvají, trolejbusů, lokomotiv, ale i při tyristorové regulaci otáček velkých motorů, např. u výtahů, těžních klecí a podobných zařízení. Při činnosti všech těchto obvodů a zařízení jsou opakovaně spínány velké proudy, takže zde vznikají rušivá napětí v podobě periodicky se opakujících impulsů, které značně deformují průběh napájecího napětí a jejichž kmitočtové spektrum sahá až do kmitočtů desítek MHz. Jsou-li tyto usměrňovače a tyristorové spínače, regulátory či měniče připojeny k energetické napájecí síti přímo bez patřičné filtrace, příp. bez přepět'ových ochran, deformují svými výstupními průběhy síťové napětí do té míry, že mohou způsobit celoplošné výpadky energetické sítě. Oscilogramy některých těchto deformací jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 9) (3).



Obr. 9. Deformace síťového napětí vlivem diodového usměrňovače a tyristorových měničů

Dalším zdrojem poruch mohou být tzv. **spínané napájecí zdroje**, u nichž se síťové napětí 50 Hz transformuje na požadované (obvykle nižší) stejnosměrné napětí prostřednictvím pomocného harmonického napětí s kmitočtem řádu až stovek kHz. Tím se výrazně zmenší rozměry potřebných transformátorů a zvýší se účinnost celého zdroje, což je ovšem zapláceno výrazným vyzařováním širokého spektra rušivých kmitočtů, které se navíc mění se změnami odběru v důsledku regulace výstupního napětí pulsní šířkovou modulací.

Značně silné rušící účinky vykazují venkovní energetická vedení vysokého (vn) a velmi vysokého (vvn) napětí. Patří k těm zdrojům rušení, která se obtížně vyhledávají a ještě obtížněji odstraňují. Produkované rušivé spektrum sahá od několika kHz až k 1000 MHz, takže může negativně ovlivnit provoz prakticky jakékoli radiokomunikační služby. Zdrojem rušivých signálů vedení vn a vvn jsou výboje dvojího druhu. **Koronové výboje** vznikají jen u vedení velmi vysokého napětí (110 kV a více) na nerovnostech vodičů, na armaturách a zařízeních rozveden. Korona se podobá doutnavému výboji a její spektrální složky nepřesahují 10 MHz. Velikost výbojů se zvyšuje za vlhka (projevuje se jako intenzivní slyšitelný praskot pod vedením vvn).

**Kapacitní výboje** jsou typické pro vedení vysokého napětí 22 kV, kde vznikají na nedokonalém spojení kovových předmětů, které se nacházejí v těsné blízkosti částí vedení pod napětím. Takovými místy jsou především kovové kloubové spoje závěsných izolátorů, u nichž se v důsledku koroze vytvoří izolační vrstvička a dielektricky se oddělí kovové části kloubového spoje. Po překročení dielektrické pevnosti této vrstvičky či při jejím mechanickém narušení (např. při kývání izolátoru ve větru) dojde k jiskrovému výboji. Vznikající kmitočtové spektrum sahá až k 1000 MHz a rušivý signál se "dobře" vyznačuje částmi armatur i vlastním vn vedením. Za suchého počasí bývá toto rušení větší, za vlhka někdy i zcela vymizí.

## 2.2 Zdroje napěťového přepětí

Zdroje napěťového přepětí lze z hlediska jejich původu rozdělit na dvě skupiny: přírodní zdroje a zdroje uměle vytvořené lidskou činností. Základní příčinou neustále se zvyšující poruchovosti a klesající odolnosti elektronických zařízení proti přepětí je rostoucí hustota součástek v elektronických obvodech. Zatímco zařízení s diskretními součástkami snesla napěťové přepětí až několik kV, moderní integrované obvody (s počtem součástek až několik miliónů na čipu) bývají poškozovány napětími od několika V i při mizivě malé energii přepětí. Na obrázku (Obr. 10) jsou uvedeny typické hodnoty energie přepětí, které vedou ke zničení některých elektrických či elektronických zařízení a součástek. Dalším nepříznivým faktorem je stále vyšší rychlost polovodičových součástek, které tak reagují na stále kratší rušivé signály. Lze tedy konstatovat, že rostoucí citlivost moderních součástí vůči rušení je daň placená technickému pokroku.

Objekt	Ničivá energie → [ J ]							
	$10^{-8}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^0$	$10^2$	$10^4$	$10^6$
Motory, transformátory								█
Přístroje, relé								
Počítače								
Rezistory								
Kondenzátory								
Cívky								
Vakuové elektronky								
Usměňovací diody								
Zennerovy diody								
Výkonové tranzistory								
Vf. tranzistory								
Integrované obvody								
Obvody CMOS								
Mikrovlnné diody								

Obr. 10. Rozmezí ničivé energie pro různé součástky a zařízení

Nejdůležitějším **přírodním zdrojem přepětí** je především **bleskový výboj**, jakožto nejsilnější přírodní elektrický výboj. Úder blesku ohrožuje elektrická zařízení až do vzdálenosti cca 4 km. Vybíjení atmosférické elektřiny bleskem způsobuje vznik strmého elektromagnetického impulsu (v literatuře označovaného zkratkou **LEMP** – “*Lightning Electromagnetic Pulse*”), který má na zasažená i vzdálenější zařízení rušivé až destrukční účinky. Velikost vyrovnávacího proudu bleskového výboje činí až 200 kA. Z kmitočtového hlediska produkuje blesk rušení o hodnotě až 140 dB $\mu$ V v pásmu 2 - 30 kHz, dále úroveň rušení klesá se strmostí 20 dB/dek. až do kmitočtu cca 100 MHz (3).

Umělé zdroje přepětí jsou, jak již bylo naznačeno v předchozí kapitole, prakticky všechna spínací zařízení. Velikost vzniklého přepětí závisí především na velikosti spínaného proudu a napětí. K umělým zdrojům přepětí, patří také lokální elektrostatické výboje (ESD - *Electrostatic Discharge*).

### 2.3 Zdroje kontinuálního rušení

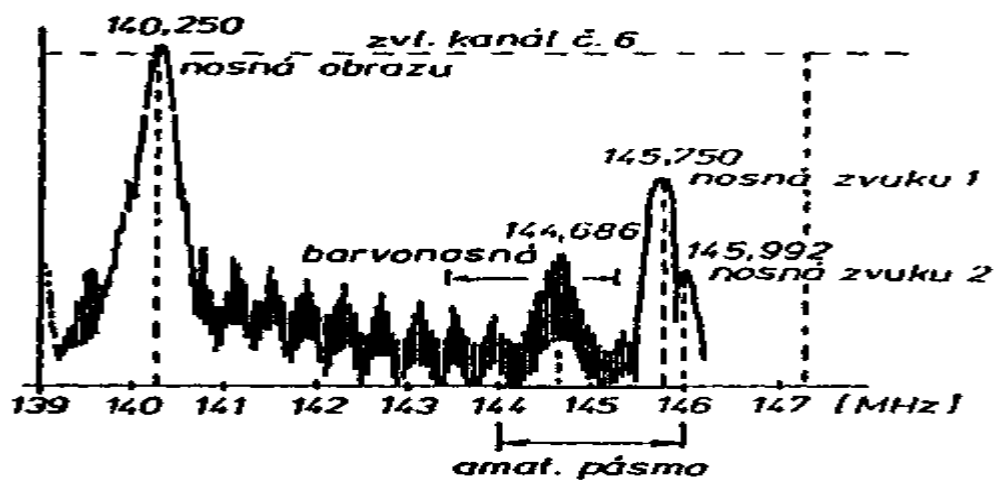
Kromě obávanějšího průmyslového a přepět'ového rušení mohou ohrozit správnou činnost elektronického systému i rušivé signály kontinuálního (spojitého) charakteru, jejichž působení trvá obvykle buď nepřetržitě (příp. jen s krátkými přerušováními) nebo alespoň relativně delší dobu.

Nejznámějšími zdroji tohoto rušení jsou rozhlasové a televizní vysílače, příp. radarové vysílače. Jejich signály jsou buď parazitně injektovány do kabelových a jiných vedení, nebo se šíří pouze vyzařováním. V napájecích rozvodech mají kontinuální charakter rovněž harmonické složky proudu vyvolané některými (nelineárními) spotřebiči.

Ke zdrojům kontinuálního rušení lze připočítat nežádoucí vyzařování různých systémů rychle se rozvíjejících neveřejných radiokomunikačních služeb. K nejmasovějším patří tzv. **CB radio** (“*Citizen Band radio*“) v pásmu 27 MHz.

Dalším masově rozšířeným potencionálním zdrojem elektromagnetického spojitého rušení jsou systémy pro společný rozvod rozhlasových a televizních signálů, zejména společné televizní antény a celoplošné televizní kabelové rozvody. Širokopásmové kabelové systémy v pásmu 40 až 300 MHz používají k rozvodu televizních signálů stejná kmitočtová pásma jaká ve volném prostoru užívají pozemní pohyblivá i pevná služba, letecké služby,

družicová meteorologická služba i amatérská radiokomunikační služba obrázku (Obr.11). Na vyzařování kabelových rozvodů se nejvíce podílí prosakování vysokofrekvenčního signálu přes plášť souosých kabelů a vysokofrekvenční netěsnosti aktivních a pasivních prvků rozvodu (odbočnice, rozbočovače, konektory, účastnické šňůry a zásuvky). Těmito cestami se mohou současně dostávat i vnější rušivé signály dovnitř kabelového rozvodu a (celoplošně) tak rušit televizní či rozhlasový příjem. Stupeň rušení je především věcí kvality koaxiálního kabelu, uplatňuje se zde však i stínící účinek budov a způsob uložení jednotlivých vedení. Záleží rovněž na úrovni užitečného signálu v té části kabelového rozvodu, která je vystavena vnějšímu rušení.



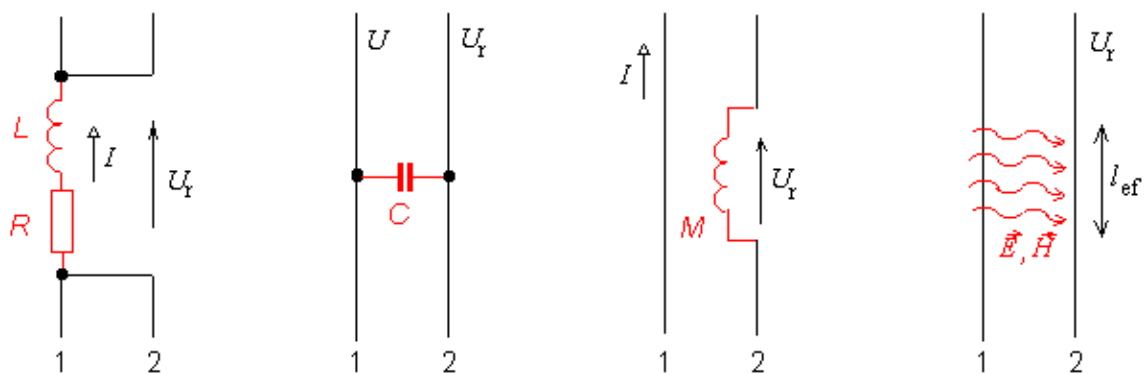
Obr. 11. Kmitočtové spektrum vyzařované TV kabelovým rozvodem na 6. kanálu při zkušební obrazci v systému PAL



### 3 VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Podle základního řetězce EMC závisí přenos rušivých signálů z jejich zdroje do přijímače rozhodující měrou na elektromagnetickém vazebním prostředí, tedy na druhu a způsobu vazby mezi zdrojem a přijímačem rušení. Tyto vazby můžeme dělit podle různých hledisek. Např. podle technické realizace může být vazební prostředí tvořeno vzdušným prostorem, stínicími či absorpčními materiály, kmitočtovými filtry, signálovými či napájecími kabely, zemnicími systémy, elektroenergetickými soustavami a dalšími druhy mezisystémových vazeb.

Z hlediska fyzikálního principu rozlišujeme vazbu galvanickou, kapacitní, induktivní a vazbu vyzařováním (vazbu elektromagnetickým polem). Jejich základní principy působení mezi dvěma vodiči či obvody 1 a 2 jsou schematicky naznačeny na obrázku (Obr. 12) (3).

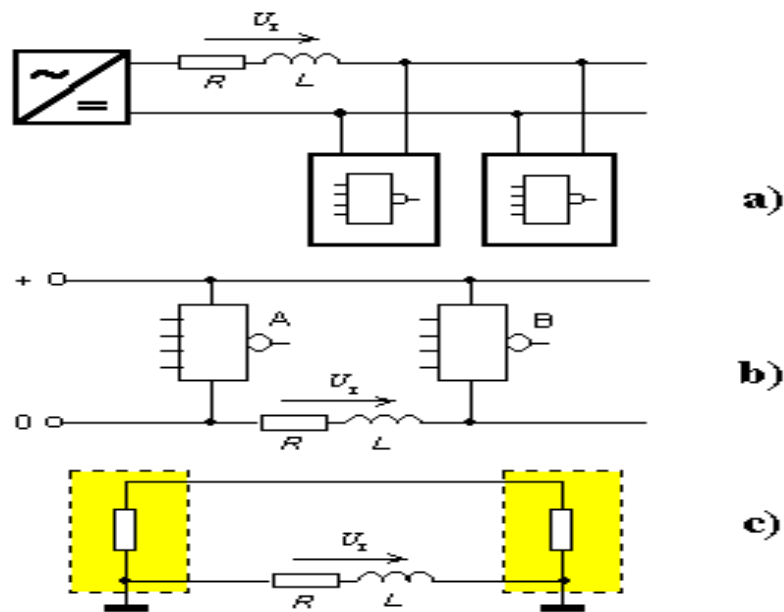


Obr. 12. Základní druhy elektromagnetických vazeb: a) galvanická, b) kapacitní, c) induktivní, d) vyzařováním

#### 3.1 Galvanická vazba

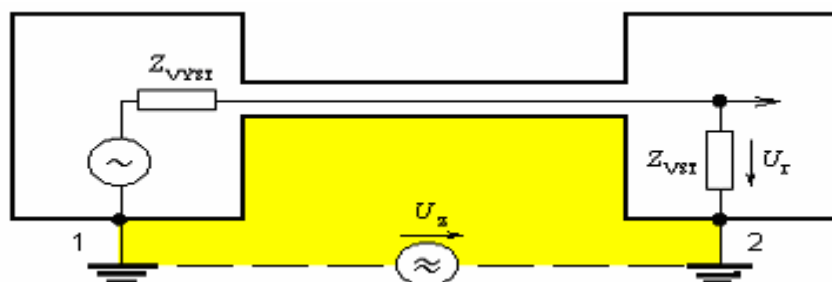
Galvanická vazba neboli **vazba společnou impedancí** je vazbou dvou elektrických systémů, bloků či částí, jejichž proudové smyčky se uzavírají přes společné úseky spojovacích vedení, tedy přes společnou impedanci. Tato společná impedance, která má nejčastěji charakter sériového obvodu RL, může být tvořena např. vnitřní impedancí společného napájecího zdroje (Obr. 13a), či společného přívodu řídicích obvodů (Obr. 13b) nebo být impedancí společného zemnicího systému (Obr. 13c). Společnou impedancí procházejí proudy všech (obou) bloků, takže napětí  $U_T$  vznikající na této impedanci průtokem proudu prvního bloku představuje pro druhý blok rušivé napětí. Na nízkých kmitočtech (v pásmu kHz) je rozhodující část společné impedance tvořena její odporovou složkou  $R$ . V oblasti vyšších

kmitočtů se výrazně uplatňuje především induktivní složka, na níž i poměrně malý proud prvního bloku může při své rychlé časové změně vyvolat nezanedbatelné napětí, které je rušivé pro druhý blok zařízení. Indukčnost  $L$  společné impedance a rozložené kapacity spojů i součástí mohou navíc vytvářet rezonanční obvody, jejichž vlivem může být společná impedance (a tím i galvanická vazba) na některých vyšších kmitočtech dosti velká (3).



Obr. 13. Galvanická vazba společnou impedancí v napájecím vedení (a), ve vedení řídicích signálů (b), ve vícebodovém uzemnění (c)

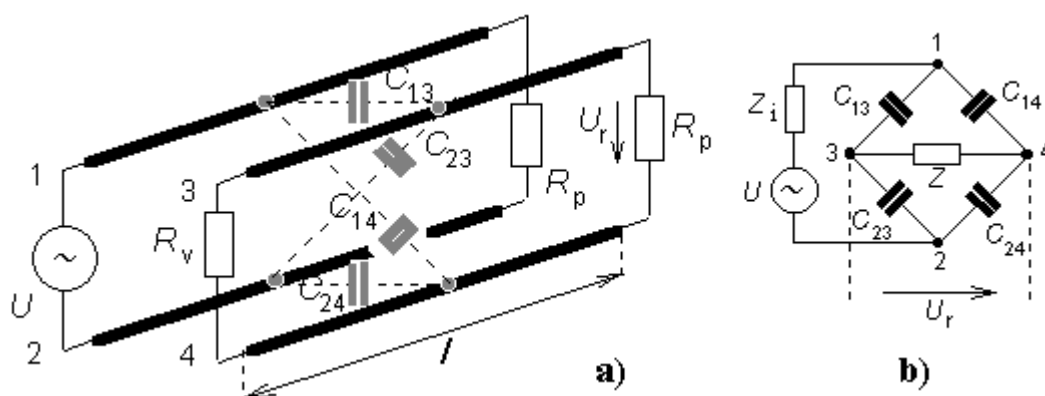
Častým případem parazitní galvanické vazby je vzájemná vazba dvou systémů či zařízení zapříčiněná tzv. **zemní smyčkou**, která vzniká v případě jejich separátního zemnění ve dvou různých bodech. Vlivem nahodilých (bludných) zemních proudů vzniká mezi těmito body nahodilé rušivé zemní napětí  $U_z$ . Podle obrázku (Obr. 14) pak toto napětí přes uzavřenou zemní smyčku vyvolává na vstupu zařízení 2 (spotřebiče) rušivé napětí  $U_r$  (3).



Obr. 14. Galvanická parazitní vazba uzavřenou zemní smyčkou

### 3.2 Kapacitní vazba

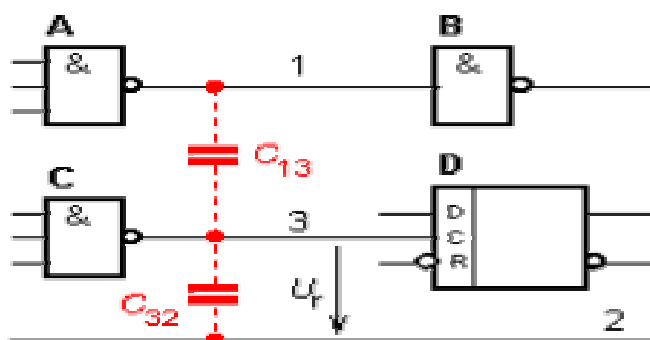
Kapacitní vazba je způsobena existencí parazitních kapacit mezi vodiči (rušícím a rušeným) nebo mezi jednotlivými částmi obvodů či konstrukcemi zařízení. Parazitní kapacitou modelujeme elektrické pole, které existuje mezi každými dvěma vodiči (vodivými částmi) s různým potenciálem. Tato situace typicky nastává např. při souběžném vedení energetických a signálových či datových kabelů a linek, příp. při paralelním vedení vodivých drah plošných spojů. V technické praxi existuje velké množství různých variant parazitních kapacitních vazeb mezi různými typy obvodů. Prakticky jsou zajímavé zejména následující tři případy (3).



Obr. 15. Parazitní kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů

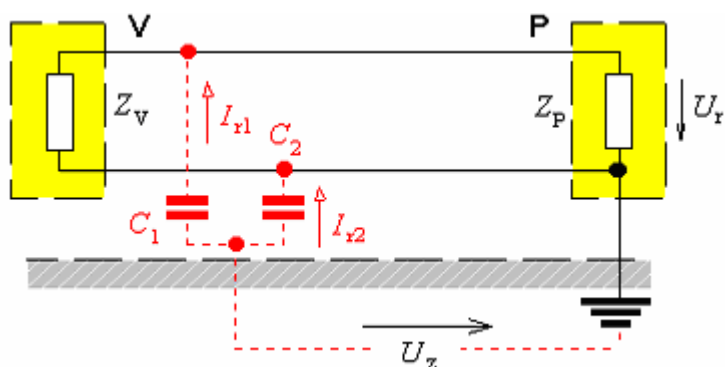
**Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů** je modelově naznačena na obrázku (Obr. 15a). Vodiče 1 a 2 představují rušící vedení (rušící obvod), vodiče 3 a 4 rušené vedení (rušený obvod). V případě, že délka obou vedení (obvodů)  $l$  je podstatně kratší než vlnová délka rušivého signálu o nejvyšším uvažovaném kmitočtu, lze daný obvod a vazby v něm popsat náhradním schématem podle obrázku (Obr. 15b). V něm náhradní impedance  $Z_i$  je závislá na impedančních parametrech rušícího obvodu 1-2 a náhradní impedance  $Z$  závisí na impedančních parametrech rušeného obvodu 3-4. Z tohoto schématu je zřejmé, že výstupní rušivé napětí  $U_r$  rušeného obvodu bude nejmenší při vyvážení příslušného kapacitního můstku, tedy např. při  $C_{13} \approx C_{23}$  a  $C_{14} \approx C_{24}$  (3).

Dalším častým případem parazitní vazby v analogových a číslicových obvodech je **kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem**. Příklad je uveden na obrázku (Obr. 16). Vlivem parazitní vazební kapacity  $C_{13}$  ovlivňuje signálový výstup obvodu **A** stav na vstupu (nesouvisejícího) klopného obvodu **D**. Oba obvody mají společný vztažný vodič 2. Stejný typ vazby nastává též mezi vodiči ve vícežilovém kabelu (3).



Obr. 16. Parazitní kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem a její možný vznik v číslicových obvodech

Častým typem parazitní vazby je rovněž **kapacitní vazba vůči zemi**, vyvolaná velkou kapacitou např. přívodů obvodu vůči společné zemi jak je znázorněno na obrázku (Obr. 17). Rušivé napětí v zemi  $U_Z$  se průtokem rušivých proudů  $I_{r1}$  a  $I_{r2}$  parazitními vazebními kapacitami  $C_1$  a  $C_2$  přenáší jako rušivé napětí  $U_r$  na vstupní svorky obvodu P (přijímače rušení) (3).



Obr. 17. Kapacitní vazba vůči zemi

### 3.3 Induktivní vazba

Prochází-li obvodem elektrický proud, vzniká v prostoru kolem obvodu magnetické pole, konstantní nebo proměnné, v závislosti na časovém průběhu proudu. Ve vodičích, které jsou v časově proměnném magnetickém poli se indukuje napětí, jehož velikost roste se zvyšováním kmitočtu, příp. se zvyšující se rychlostí časových změn proudu v primárním obvodu. Při časové změně magnetického toku se v obvodu indukuje rušivé napětí dané Faradayovým indukčním zákonem jako (3):

$$U_r = -\frac{d\Phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -S \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} = -\mu_0 \cdot S \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (1)$$

kde  $S$  je plocha smyčky, v níž je rušivé napětí indukováno. Je-li magnetické pole vytvářeno průtokem proudu  $I$  vodičem přibližně kruhového průřezu, lze pro jeho intenzitu  $H$  ve vzdálenosti  $r$  podle Ampérova zákona celkového proudu psát

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (2)$$

takže indukované rušivé napětí

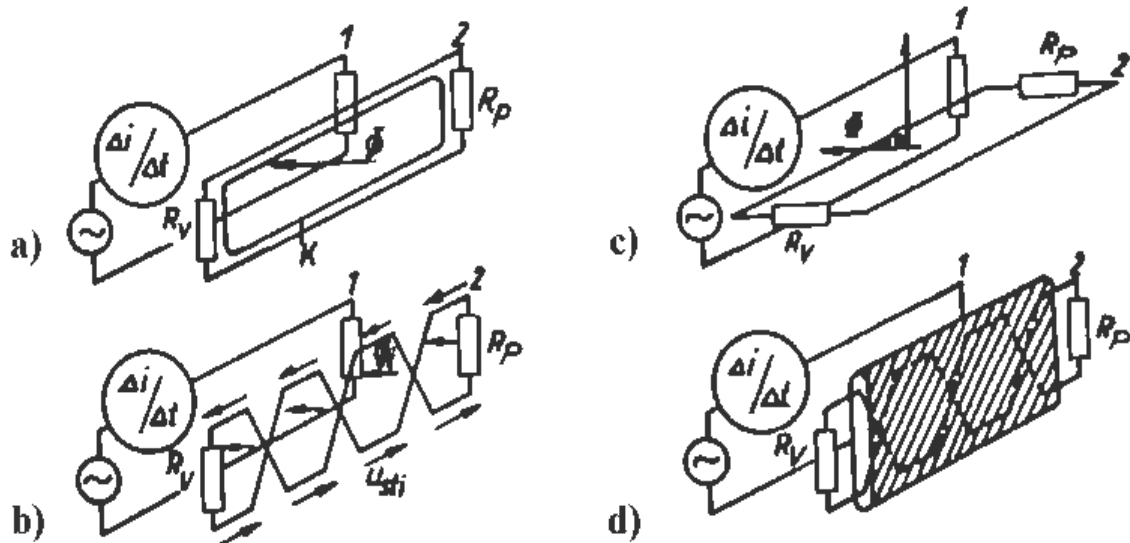
$$U_r \approx -\frac{\mu_0 S}{2\pi r} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (3)$$

Parazitní induktivní vazba je nebezpečná zejména v případech velmi rychlých změn primárního (rušivého) proudu velké velikosti. Takové situace nastávají typicky při elektrostatických výbojích, ať již přírodních (blesk) či umělých lokálních výbojích (ESD). Proudové impulsy bleskového výboje dosahují strmosti jednotek až několika stovek kA/ $\mu$ s, proudové impulsy lokálních elektrostatických výbojů ESD mají typickou strmost jednotek až desítek A/ns. Dle předcházejícího vztahu tak v řadě případů dochází k indukování nepřipustně velkých rušivých napětí v parazitně vázaných elektronických obvodech (3).

Pro minimalizaci parazitní induktivní vazby mezi obvody je třeba, aby (3):

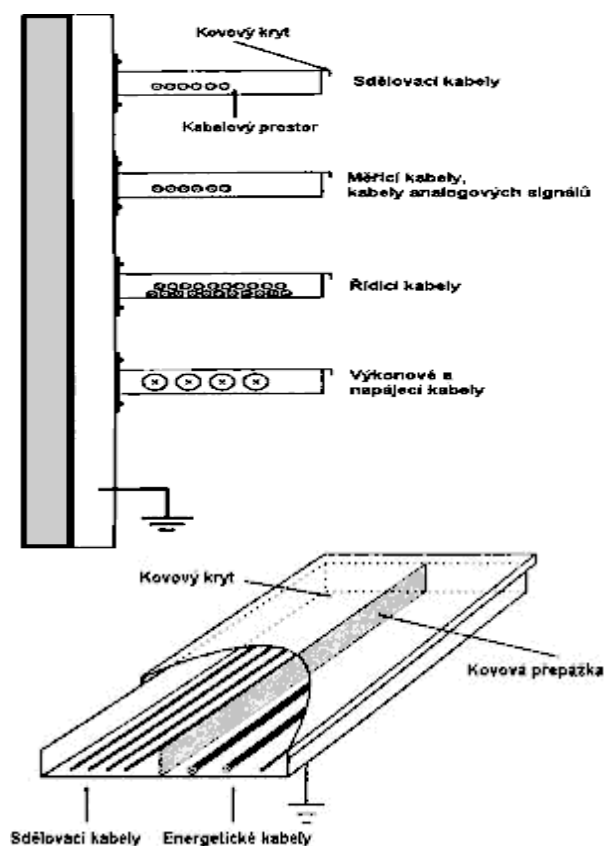
- délka souběžně probíhajících vodičů obou obvodů byla minimální
- vzdálenost obou obvodů byla co největší
- velikost proudové smyčky rušeného obvodu (obvodu přijímače) byla co nejmenší

Další způsoby omezení parazitní induktivní vazby dvou obvodů, příp. jejich přívodů, jsou uvedeny na obrázku (Obr. 18) (3).



Obr. 18. Způsoby omezení induktivní vazby: a) omezení induktivní vazby pomocí závitu nakrátko b) kompenzace induktivní vazby zkroucením vodičů obvodu přijímače c) minimalizace vazby kolmým natočením vazebních smyček d) minimalizace vazby stíněním obvodu přijímače

Jak plyne z předchozích rozborů, dochází k významným parazitním induktivním, ale i kapacitním vazbám zejména při souběžném vedení energetických silových kabelů s datovými a signálovými kabely či s kabely řídicích obvodů a systémů. K této situaci přitom dochází téměř ve všech běžných budovách, kde všechny druhy kabelových rozvodů bývají na dlouhých úsecích paralelně vedeny společnými šachtami a stavebními rozvody. Z hlediska maximálního omezení parazitních vazeb mezi kabely je nezbytně nutné jejich rozdělení do samostatných vzájemně elektromagneticky stíněných rozvodných sekcí. Dva obvyklé způsoby jejich konstrukce jsou na obrázku (Obr. 19) (3).



Obr. 19. Omezení parazitních vazeb mezi souběžnými kabely jejich separátním vedením ve stíněných sekcích.

### 3.4 Vazba vyzařováním

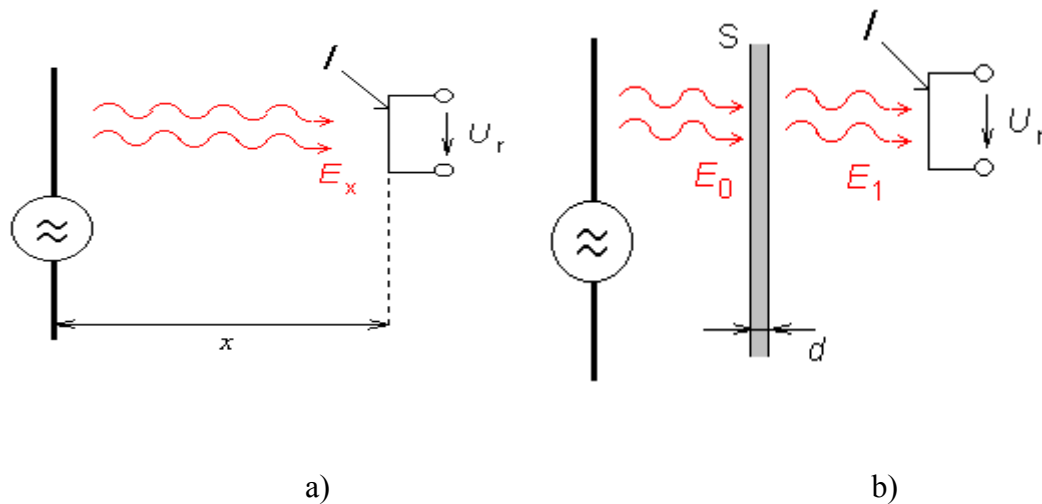
Při větších vzdálenostech mezi zdrojem a přijímačem rušení, kdy je prakticky vyloučena jak kapacitní, tak induktivní parazitní vazba, je možná vzájemná vazba obou objektů vyzařeným elektromagnetickým polem. K parazitním vazbám vyzařováním lze typicky počítat rušení blízkými vysílači, atmosférická rušení 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 sčítá s užitečným signálovým napětím nebo jej dokonce zcela překryje. Elementární situace při parazitní vazbě vyzařováním je naznačena na obrázku (Obr. 20a). Intenzitu elektrického pole ve vzdálenosti  $x$  od "zdroje", který vysílá signál s výkonem  $P$  lze přibližně vyjádřit vztahem:

$$E_x \approx 0,3 \cdot \frac{\sqrt{P}}{x} \quad (4)$$

jenž platí pro tzv. vzdálené elektromagnetické pole, tedy pro vzdálenosti  $x \gg \lambda/2\pi$ , kde  $\lambda$  je vlnová délka signálu. Toto elektrické pole pak indukuje ve vodiči "přijímače" rušivé napětí

$$U_x = E_x \cdot l_{ef} \quad (5)$$

kde  $l_{ef}$  je tzv. efektivní délka "antény". Tato veličina závisí na tvaru a rozměrech "antény" přijímače a na vlnové délce (kmitočtu) přijímaného signálu (3).



Obr. 20. Princip vazby elektromagnetickým vyzařováním (a) a vliv vložené stínící přepážky (b)

Účinnou ochranu proti elektromagnetickému rušení vyzařováním lze realizovat pomocí stínícího krytu či přepážky umístěné mezi zdroj a přijímač rušení, viz. obrázek (Obr. 20b). Stínící přepážkou je vyzařená intenzita  $E_0$  zeslabena na hodnotu  $E_1$  na jejím "výstupu". Zeslabení nastává jednak vlivem absorpce (pohlcení) energie části vlny v materiálu stínící přepážky, jednak vlivem odrazu elektromagnetické vlny od přepážky zpět směrem ke zdroji záření. Velikost zeslabení vlny přitom závisí na tloušťce přepážky, na její vodivosti a permeabilitě a rovněž na kmitočtu signálu. Přímou v samotném zařízení může dojít k parazitní vazbě vyzařováním na mikrovlnných kmitočtech s vlnovými délkami menšími než jsou příčné rozměry přístroje. Kovový kryt přístroje lze za těchto podmínek považovat za úsek dutého kovového vlnovodu, kterým se mohou šířit různé vidy elektromagnetického



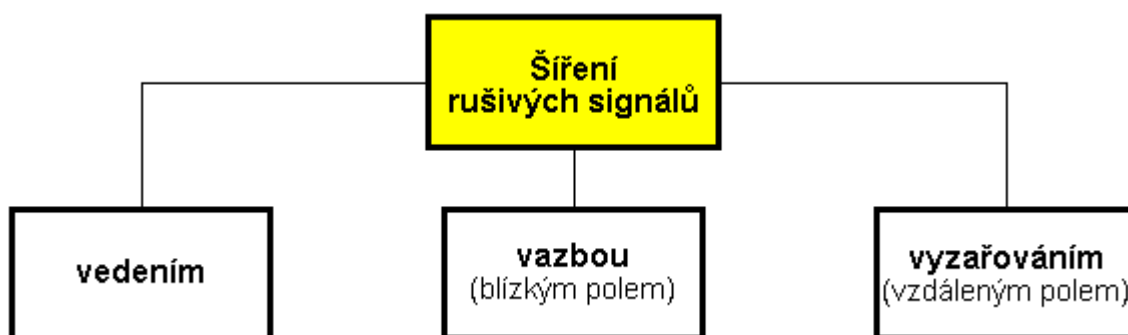
vlnění. Takovým způsobem je možná parazitní vazba vyzařováním (tzv. vlnododová vazba), jsou-li v jednom společném kovovém krytu zdroj i přijímač rušení, pracující v oblasti vlnových délek kratších než je dvojnásobek nejdelší strany uzavřeného kovového krytu (3).

Odstranit tuto vazbu lze zmenšením příčných rozměrů "parazitního" vlnovodu tak, aby vlnová délka nejvyššího kmitočtu rušivého signálu byla delší než dvojnásobek největšího rozměru. Rušivý signál se pak tímto "vlnovodem" nešíří, zůstává v něm pouze pole vybuze-  
zené v těsné blízkosti rušivého zdroje. Toto pole se pak velmi rychle tlumí s rostoucí vzdá-  
leností od zdroje rušení (3).

## 4 SNÍMAČE A PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Jednou z nejdůležitějších částí problematiky EMC je měření rušivých signálů, neboť v podstatě představuje praktické ověření dosaženého stupně EMC testovaného zařízení z hlediska jeho rušivého vyzařování.

Rušivé signály mohou ze zařízení vystupovat nebo do zařízení vstupovat třemi možnými způsoby znázorněnými na obrázku (Obr. 21) (3).



Obr. 21. Způsoby šíření rušivých elektromagnetických signálů

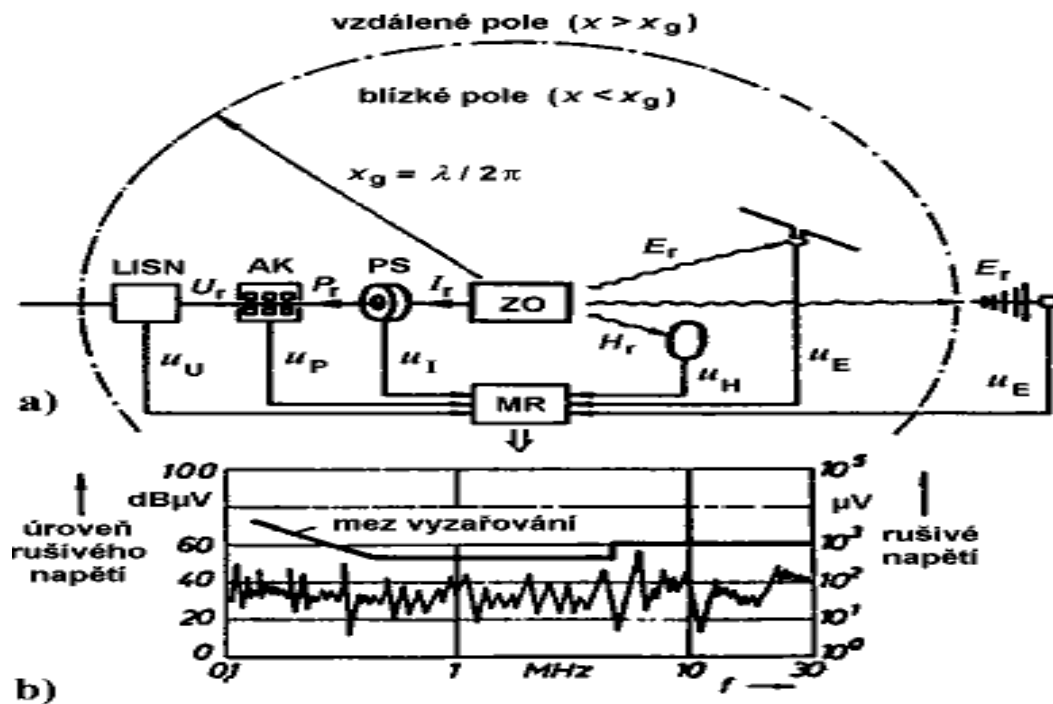
**Přenos vedením** (např. napájecím či datovým vedením daného zařízení). Měřenými veličinami, kterými v tomto případě charakterizujeme elektromagnetické rušení, jsou rušivé napětí  $U_r$ , rušivý proud  $I_r$ , příp. rušivý výkon  $P_r$  signálu (3).

**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  $H_r$  (3).

**Přenos vyzařováním** elektromagnetických vln (vzdáleným elektromagnetickým polem). Uplatňuje se 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 elektromagnetického pole) (3).

Základní možnosti měření rušivých signálů na vedení a vyzařovaných rušivých signálů jsou přehledově znázorněny na obrázku (Obr. 22). Základním přístrojem, kterým jsou měřeny a vyhodnocovány všechny druhy elektromagnetických rušivých signálů, je měřič rušení **MR**, což je selektivní mikrovoltmetr, spektrální analyzátor či speciální měřicí přijímač pro požadovaný rozsah měřících kmitočtů, v obvyklých případech od 9 kHz do 1÷2 GHz. Měřená rušivá veličina (napětí  $U_r$ , proud  $I_r$  či výkon rušivého signálu  $P_r$ , případně

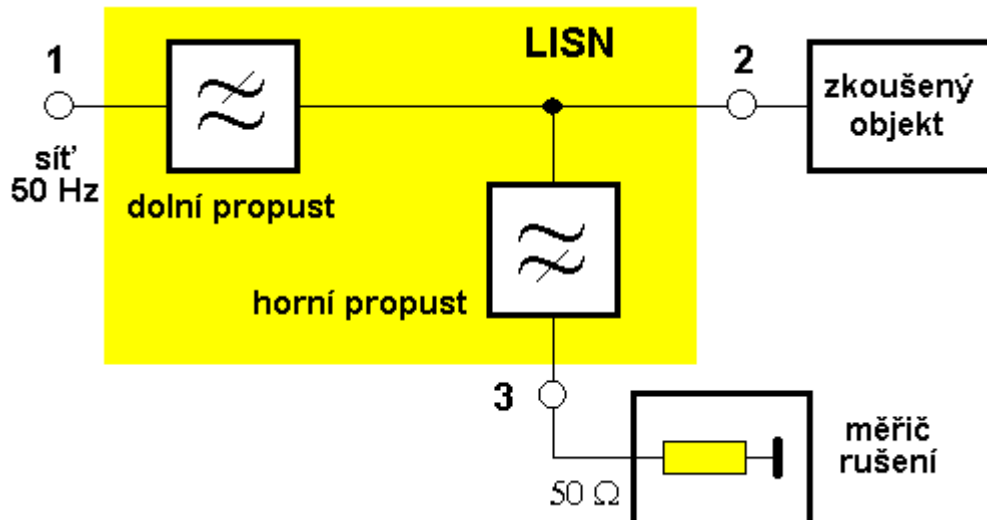
intenzity rušivých polí  $E_r$  a  $H_r$ ) je snímána vhodným snímačem, senzorem, jímž je převedena na napětí. Toto napětí je pak měřeno měřičem rušení **MR**. Obvyklými druhy snímačů v technice EMC jsou: umělá síť (umělá zátěž vedení **LISN**), napěťová sonda, proudová sonda **PS** a absorpční kleště **AK** pro měření vedených rušivých signálů a různé typy měřících antén pro měření vyzařovaných rušivých signálů (3).



Obr. 22. a) Přehled způsobů měření rušivých elektromagnetických signálů; b) příklad vyhodnocení výsledku měření (**LISN** - umělá zátěž vedení, **AK** - absorpční kleště, **PS** - proudová sonda, **ZO** - zkoušený objekt (zdroj rušení), **MR** - měřič rušení)

#### 4.1 Umělá síť

Umělá síť („*Artificial Mains Network*“), označovaná též jako **umělá zátěž vedení LISN** („*Line Impedance Stabilizing Network*“) se užívá k měření rušivých signálů, které vznikají v zařízení napájeném z rozvodné elektrické sítě a které z tohoto spotřebiče vystupují právě tímto napájecím vedením. Blokové schéma je na obrázku (Obr. 23) (3).



Obr. 23. Blokové schéma umělé sítě LISN

Osahuje tři druhy svorek (3):

1. vstupní síťové svorky pro připojení vnější napájecí sítě
2. výstupní síťové svorky pro připojení zkoušeného objektu
3. výstupní přístrojové svorky pro připojení měřicího zařízení - měřiče rušení.

LISN plní při měření tři funkce (3):

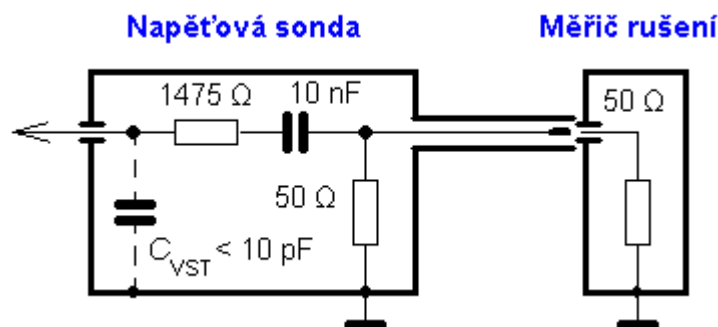
1. Zajišťuje připojení měřicího zařízení (měřiče rušení) k proměřovanému (zkoušenému) objektu pro celý rozsah měřených kmitočtů, to je **funkce horní propusti** na obrázku (Obr. 23). Tato propust je často tvořena pouze oddělovacím kondenzátorem o hodnotě několika set nF.
2. Zajišťuje, že se na vstup měřicího zařízení dostanou jen měřené rušivé signály ze zkoušeného objektu, ale nikoli z vnější napájecí sítě, to je **funkce dolní propusti 50 Hz** na obrázku (Obr. 23). Tyto "vnější" rušivé signály se tak nedostanou ani k vlastnímu zkoumanému spotřebiči a neovlivňují tedy výsledky měření. Jejich zeslabení, tedy provozní útlum dolní propusti, musí být v celém pracovním kmitočtovém pásmu nejméně 30 dB. Dolní propust je obvykle tvořena jednoduchým filtrem LC  $\Gamma$ .
3. Zajišťuje impedanční přizpůsobení měřicího zařízení (měřicího přijímače) k výstupním přístrojovým svorkám 3 umělé sítě LISN a současně zajišťuje definovanou hodnotu impedance na jejích výstupních síťových svorkách 2. Impedance LISN ze strany horní propusti (na přístrojových výstupních svorkách 3) je tedy v celém pásmu přibližně rovna vstupní impedanci měřicího přijímače, obvykle 50  $\Omega$ , impe-

dance LISN ze strany zkoušeného objektu (na výstupních síťových svorkách 2), tzv. **impedance umělé sítě**, simuluje impedanci příslušné napájecí sítě v daném pásmu kmitočtů.

## 4.2 Napěťová sonda

Pro měření rušivých napětí na jiných místech než na napájecích svorkách zkoušeného objektu. Napěťová sonda umožňuje přímé "připojení" měřicího přijímače (měřiče rušení) do zadaného bodu zkoumaného zařízení, takže je velmi vhodná zejména při laboratorních a diagnostických měřeních EMC ve stádiu vývoje daného zařízení. Díky své vysoké vstupní impedanci je napěťová sonda nepostradatelná při měření rušivých napětí ve vysokoimpedančních obvodech, které by umělá síť svou příliš nízkou impedancí nepřípustně zatěžovala.

Z příkladu zapojení jednoho typu napěťové sondy na obrázku (Obr. 24) plyne, že se jedná o kapacitně vázaný odporový dělič napětí. Vstupní odpor sondy je větší než  $1500 \Omega$ , vstupní kapacita menší než  $10 \text{ pF}$ , napěťové zeslabení  $35,4 \text{ dB}$ . Zemnicí konektor sondy musí být přímo spojen s referenční zemí zkoušeného zařízení nízkoimpedančním páskem (3).

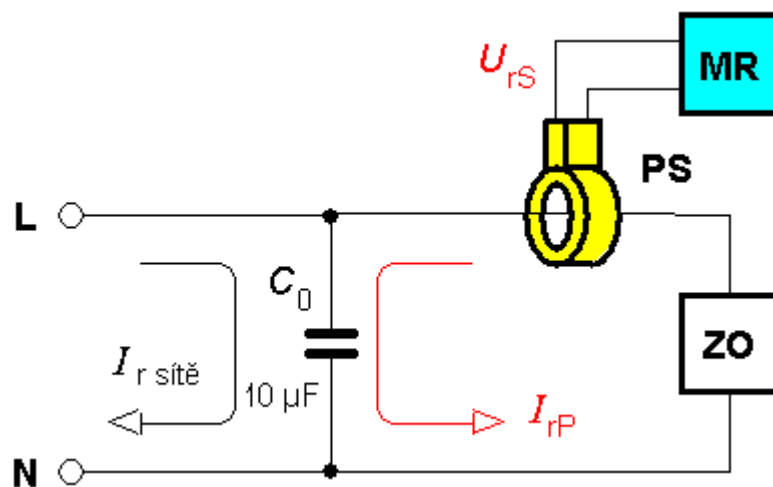


Obr. 24. Schéma zapojení napěťové sondy

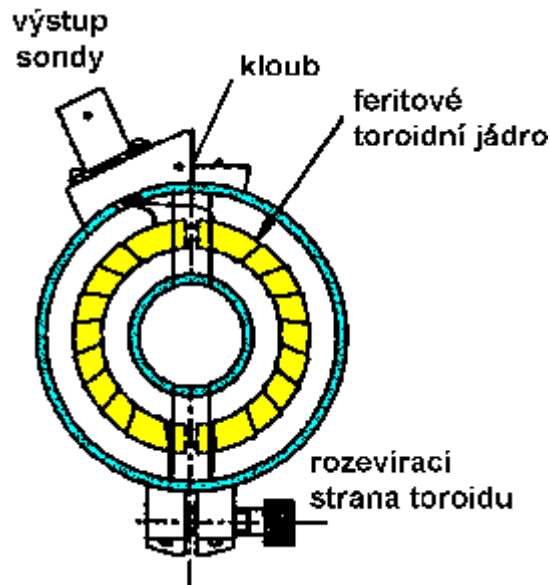
## 4.3 Proudová sonda

**Proudová sonda** (*proudový transformátor, proudové kleště*) slouží k měření rušivého elektrického proudu protékajícího vodičem, a to bez jeho přerušení. Princip měření proudovou sondou je naznačen na obrázku (Obr. 25), příklad konstrukce sondy podle normy ČSN-CISPR 16-1 je na dalším obrázku (Obr. 26). Proudová sonda je zhotovena tak, že obepíná vodič, jehož rušivý proud chceme měřit. Tento vodič představuje (jednozávitové)

primární vinutí transformátoru sondy, sekundární vinutí, tj. vlastní proudová sonda, má tvar toroidního transformátoru. Tento toroid je přitom rozdělen na dvě rozevratelné poloviny pro možnost vložení zkoumaného vedení (kabelu). Po uzavření kleští sondy kolem měřeného vodiče je jím protékající rušivý (primární) proud  $I_{rP}$  převeden na napětí  $U_{rS}$  na výstupu sekundárního vinutí sondy. To se pak měří připojeným měřicím přijímačem. Zkratovací kondenzátor  $C_0$  v obrázku (Obr. 25) uzavírá vysokofrekvenční "cestu" měřeného rušivého proudu produkovaného zkoušeným objektem ZO a brání jeho postupu do napájecí sítě, a též zamezuje průniku rušivých signálů (proudů) z vnější napájecí sítě do proudové sondy (3).



Obr. 25. Měření rušivého proudu proudovou sondou (ZO - zkoušený objekt; MR - měřič rušení; PS - proudová sonda)

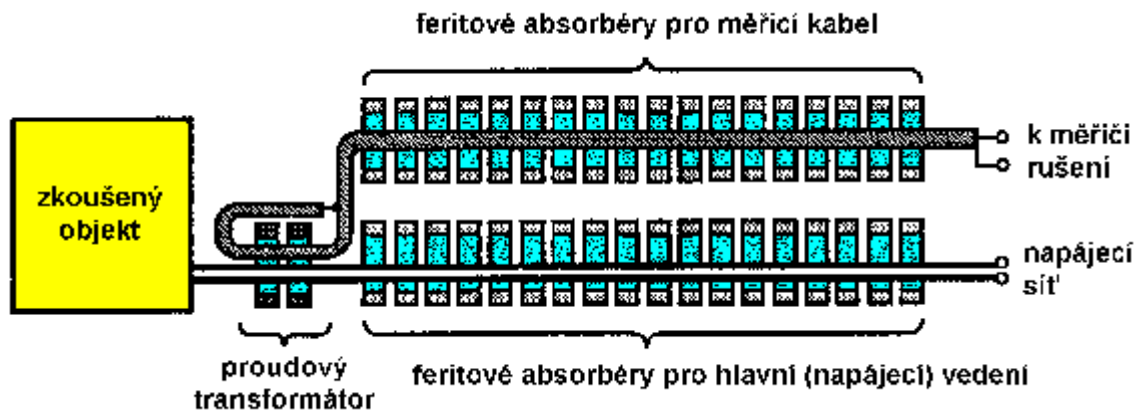


Obr. 26. Konstrukce proudové sondy  
(otevřený stínící kryt)

#### 4.4 Absorpční kleště

**Absorpční kleště** (*absorpční transformátor*, *absorpční odbočnice*) představují kombinaci širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy (proudového transformátoru) a ferritového absorbéru (přizpůsobené zátěže). Používají se v kmitočtovém pásmu 30 - 1000 MHz k měření výkonu rušivého signálu, který je vyšetřovaným zařízením vyzařován prostřednictvím přípojných kabelů a vedení (např. napájecím vedením).

Na obrázku (Obr. 27) je znázorněna obvyklá konstrukce absorpčních kleští. Kromě proudové sondy pro daný rozsah kmitočtů jsou kleště tvořeny přibližně 60 ferritovými kroužky umístěnými jak kolem zkoušeného kabelu, tak kolem měřicího kabelu, jímž je měřený signál veden k měřiči rušení. Ferritové kroužky "kolem" zkoušeného kabelu působí jako širokopásmový absorbér výkonu rušivého signálu a tím jako stabilizátor vysokofrekvenční impedance kabelu. Soustava ferritových kroužků, příp. ferritový rukáv kolem měřicího kabelu omezuje parazitní (nežádoucí) vysokofrekvenční proud tekoucí po jeho povrchu do měřiče rušení (3).



Obr. 27. Konstrukce absorpčních kleští

## 4.5 Antény

Rušivé signály vyzařované vyšetřovaným zařízením do okolního prostoru na kmitočtech od 10 kHz do 1000 MHz a výše jsou měřeny pomocí různých druhů měřicích antén. Rušivé elektromagnetické pole se měří přístrojem pro měření rušení doplněným vhodnou měřicí anténou. Jejich celkový přehled je uveden v tabulce (Tab. 2) (3)

Tab. 2. Přehled měřicích antén pro systémy EMI

Druh antény	Rozsah kmitočtů	Měří složku
Rámová (smyčková) anténa	9 kHz – 30 MHz	H
prutová anténa (monopól)	9 kHz - 30 MHz	E
symetrické (laděné) dipóly	30 MHz - 1000 MHz	E
Bikónická anténa	20 MHz - 300 MHz	E
logaritmicko-periodická anténa	200 MHz - 3000 MHz	E
kónicko-logaritmická anténa	200 MHz - 3000 MHz	E
složená širokopásmová anténa	30 MHz - 2000 MHz	E
trychtýřové antény	1 GHz - 40 GHz	E, H



V nejnižším kmitočtovém pásmu 9 kHz až 150 kHz je drtivá většina rušivých jevů způsobována magnetickou složkou pole. K měření magnetického rušivého pole  $H_r$  se v tomto rozsahu kmitočtů používají **feritové**, ale především **rámové (smyčkové) antény** o maximálních rozměrech 60 x 60 cm. Antény mohou být buď pasivní nebo aktivní, vybavené měřicími zesilovači pro dané pásmo kmitočtů. Stejnými typy antén se měří rušivé magnetické pole i v pásmu 150 kHz až 30 MHz (3).

Rušivé elektrické pole  $E_r$  se zde měří nesymetrickou vertikální **prutovou (tyčovou) anténou**, tzv. **monopólem** o doporučené celkové délce 1 m. Při měření v tzv. blízkém poli rušivého zdroje je měření elektrické intenzity  $E_r$  pomocí této antény nepřesné, neboť kromě vazby vysokofrekvenčním polem se zde uplatňuje i přímá kapacitní vazba mezi anténou a zdrojem rušení. Přesto se i zde toto měření pomocí prutových antén provádí (3).

K přesnému určení intenzity rušivého pole  $E_r$  v blízkém poli se v uvedeném kmitočtovém pásmu používá **symetrická dipólová anténa** o malých rozměrech. Tato anténa umožňuje navíc určit směr měřeného pole i průběh siločar v okolí rušivého zdroje. Její efektivní výška je však velmi malá a proto se používá pouze při laboratorních měřeních (3).

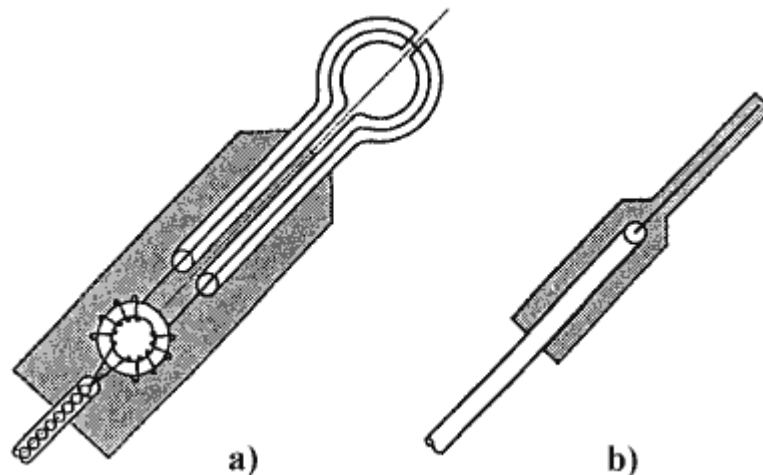
V kmitočtovém pásmu 30 až 80 MHz se jako měřicí anténa nejčastěji uplatňuje **symetrický půlvlnný dipól** nastavený na rezonanční délku odpovídající kmitočtu 80 MHz. Ve vyšších kmitočtových pásmech až do 1000 MHz slouží rezonanční půlvlnné dipóly jako přesné referenční, příp. kalibrační antény, pro běžná provozní měření však nejsou příliš vhodné z důvodu jejich pracnějšího nastavení, délka ramen dipólu musí být nastavena (naladěna) vždy na příslušný měřicí kmitočet (3).

Pro měření elektromagnetického rušení na kmitočtech desítek MHz až 2000 MHz se nejčastěji používají různé typy širokopásmových antén: **bikónické antény**, **logaritmicko-periodické antény**, **kónicko-logaritmické (spirálové) antény**, příp. **složené širokopásmové antény**, které jsou konstrukčně řešeny jako kombinace předchozích typů.

V gigahertzových kmitočtových pásmech se jako měřicí antény využívají především pyramidální kovové vlnovody, tzv. **trychtýřové antény**.

Rušivé signály vyzařované do prostoru jednotlivými elektronickými součástkami, obvody a funkčními bloky jsou často měřeny **speciálními měřicími sondami** elektrického či magnetického pole. Tyto malé ruční antény jsou užívány zejména při vývoji a diagnostice elek-

tronických zařízení. Měřicí sonda blízkého magnetického pole obrázek (Obr. 28a) je obvykle tvořena malou smyčkou o průměru několika cm. Pro kompenzaci nežádoucího vlivu elektrického pole se někdy používají dvě smyčky zapojené vzájemně v protifázi. Základem měřicí sondy elektrického pole (Obr. 28b) je obnažený konec středního vodiče koaxiálního kabelu o délce  $6 \div 10$  mm (3).



Obr. 28. Měřicí sondy pro blízké magnetické (a) a elektrické pole (b)

Měření pomocí měřicích sond není příliš reprodukovatelné, neboť výsledek závisí na mnoha faktorech. Tato měření nejsou proto regulována žádnými normami a dávají je relativní představu o intenzitě rušivého vyzařování v daném obvodu. Tyto sondy se s výhodou užívají ke kontrole elektromagnetické těsnosti stínících krytů a k identifikaci míst největšího úniku záření z nich. (3).

#### 4.6 Přístroje používané k měření rušení

Každý snímač (senzor) rušivého signálu svým výstupem připojen na vstup tzv. **měřiče rušení (měřicího přijímače)**. Tento měřič pak uskutečňuje vlastní měření výstupního rušivého napětí daného snímače, jeho kvantitativní vyhodnocení a případné srovnání s povolenými mezemi vyzařování zkoušeného objektu podle příslušných norem. Pokud by měřené rušivé napětí mělo harmonický časový průběh, bylo by možné k jeho měření použít běžný (rádiový) přijímač pracující v lineárním režimu, k jehož výstupním svorkám by byl připojen vhodný indikátor (např. nízkofrekvenční milivoltmetr apod.). V praxi jsou však daleko nejčastější rušivé signály neharmonického průběhu, jejichž kmitočtové spektrum obsahuje velké množství složek. Výsledky jejich měření pak značně závisejí na vlastnos-

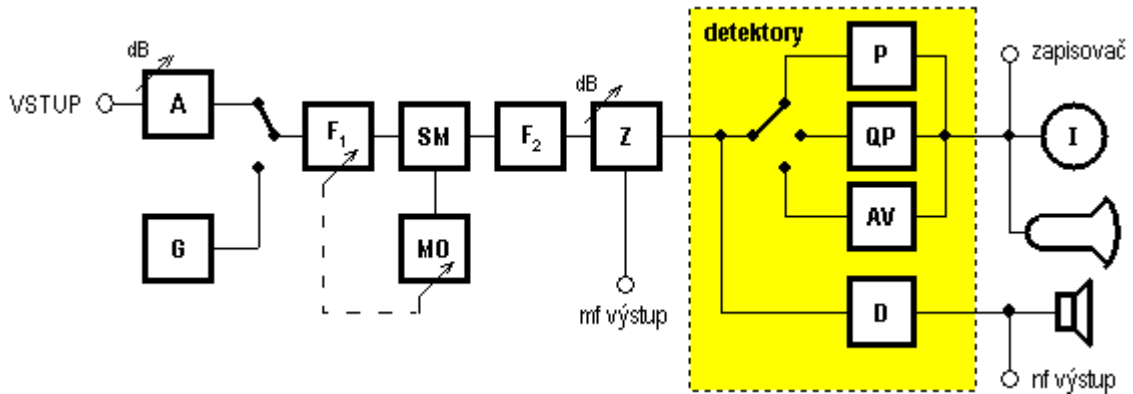
tech použitého měřiče (přijímače), zejména na jeho šířce pásma, na průběhu modulové a argumentové charakteristiky jeho vysokofrekvenční i nízkofrekvenční části, na elektrických nabíjecích a vybíjecích konstantách detektoru apod. (3).

Obvyklý měřič rušivých signálů (*RFI Meter*) je koncipován jako speciální selektivní mikrovoltmetr pracující na superheterodynním principu. Jeho základní vlastnosti jsou určeny příslušnými normami, hlavně ČSN-CISPR 16-1. Na kvalitní měřič rušení jsou zde kladeny zejména tyto specifické požadavky (3):

- možnost spojitého přeladování v širokém kmitočtovém rozsahu minimálně 9 kHz až 1000 MHz, s budoucím výhledem k vyšším pásmům
- vysoká citlivost a nízký vlastní šum pro možnost měřit i nízké úrovně rušivých napětí;
- velký dynamický rozsah (větší než 40 dB) a vysoká přebuditelnost umožňující v lineárním režimu měřit i vysoké úrovně rušivých napětí
- přesně definované přenosové charakteristiky pro jednoznačné měření impulsních rušivých napětí
- různé typy detektorů pro různé způsoby vyhodnocení rušivých napětí v souladu s normami
- výstupy, příp. obvody pro zvukovou a obrazovou analýzu a monitorování měřených signálů
- kvalitní elektromagnetické stínění celého měřiče i jeho dílčích bloků pro dosažení jeho vysoké elektromagnetické odolnosti vůči vlastnímu i vnějšímu rušení

Blokové schéma typického měřiče rušení je na obrázku (Obr. 29). Velikost vstupního měřeného napětí je nejprve upravena v širokopásmovém děliči napětí (atenuátoru) **A**, poté signál prochází vysokofrekvenčním pásmovým filtrem **F<sub>1</sub>** (preselektorem), který bývá často aktivní, tj. jde o laděný selektivní zesilovač. Po směšování se signálem místního oscilátoru **MO** ve směšovači **SM** prochází získaný mezifrekvenční signál o konstantním rozdílovém (mezifrekvenčním) kmitočtu mezifrekvenčním pásmovým filtrem **F<sub>2</sub>** a několikastupňovým mezifrekvenčním zesilovačem **Z**. K jeho výstupu je připojen blok detektorů umožňující výběr z několika různých typů detektorů (viz dále). Celý měřič je vybaven několika výstupními indikátory: zvukovým (po demodulaci signálu v AM/FM demodulátoru **D**), obrazovým displejem a výstupním elektronickým mikrovoltmetrem (indikátorem **I**). Důle-

žité jsou rovněž výstupy pro připojení vnějšího zapisovače, nahrávacího či jiného záznamového zařízení, číslicový záznam apod. Pro přesnou a současně operativní kalibraci měřiče je často přímo v něm zabudován kalibrační generátor **G** poskytující harmonický a pulsní kalibrační signál s přesnými elektrickými parametry.



Obr. 29. Blokové schéma měřiče rušení

Dalším typem přístroje, pro měření EMI je **spektrální analyzátor**. Jeho základní předností je rychlé vizuální zobrazení měřeného rušivého spektra na displeji, a tím získání celkového přehledu o elektromagnetickém rušení v daném kmitočtovém pásmu. Kvalitní spektrální analyzátoři pro měření EMI, na rozdíl od analyzátorů pro obecné použití, však musí rovněž splňovat všechny hlavní požadavky normy ČSN-CISPR 16-1 kladené na měřicí přijímače, tj. zejména šířku propustného pásma, vstupní impedanci, impulsní odezvu, selektivitu, účinnost stínění a další. Protože spektrální analyzátoři jsou většinou širokopásmové (tj. nejsou vybaveny vstupním preselektorem jako měřicí přijímače), nedosahují zdaleka tak velkého dynamického rozsahu měření a rovněž jejich citlivost je obvykle nižší než citlivost měřicích přijímačů superheterodynového typu. Tím dochází ke zkreslení až znehodnocení výsledků měření zejména impulsního rušení. Přední světoví výrobci elektronické měřicí techniky se v poslední době snaží kombinovat výhodné vlastnosti obou druhů přístrojů. Vznikají tak vysoce kvalitní měřicí přijímače s rozmítáním kmitočtu a přesným zobrazením celého kmitočtového spektra, nebo naopak spektrální analyzátoři vybavené vstupním vysokofrekvenčním preselektorem schopné pracovat na diskretních kmitočtech s vlastnostmi plnohodnotného měřicího přijímače (3).






## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 MĚŘICÍ TECHNIKA

Pro měření signálů se používají nejrůznější měřicí přístroje a sondy (viz oddíl 4). V tomto oddíle je uveden stručný přehled použitého měřicího vybavení a některé jeho parametry.

### 5.1 Měřicí sondy

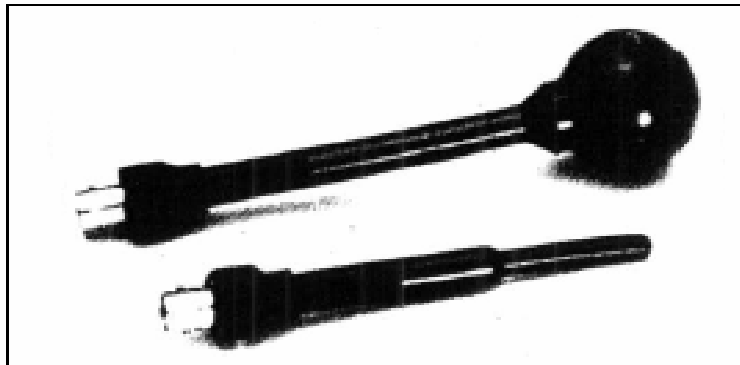
Sada sond s označením „Hz-11“ je sada antén pro měření blízkých střídavých elektromagnetických polí. Sada obsahuje 3 antény pro měření magnetického pole a 2 antény pro měření pole elektrického. V sadě je též předzesilovač, stejnosměrný napájecí zdroj a prodlužovací nástavec o délce 20 centimetrů. Na obrázku (Obr. 30) (5) jsou uvedena technická data jednotlivých sond. Sondy jsou určeny k propojení se zařízením na analýzu signálů, obvykle to bývá spektrální analyzátor nebo osciloskop. S měřicím zařízením se sondy propojují pomocí koaxiálního kabelu.

	Model Number	Probe Type	Primary Sensor Type	E/H or H/E Rejection	Upper Resonant Frequency
	901	6 cm Loop	H-Field	41 dB	790 MHz
	902	3 cm Loop	H-Field	29 dB	1.5 GHz
	903	1 cm Loop	H-Field	11 dB	2.3 GHz
	904	3.6 cm Ball	E-Field	30 dB	2.3 GHz
	905	6 mm Stub Tip	E-Field	30 dB	23.6 GHz

Obr. 30. Technická data sond

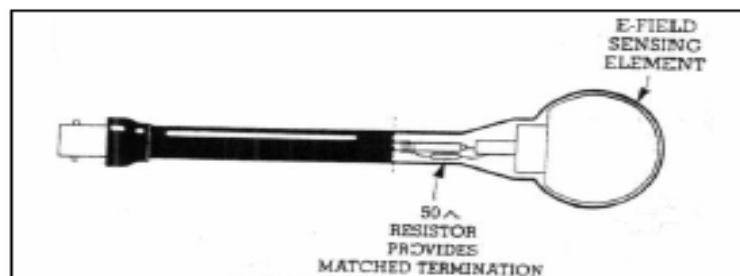
#### 5.1.1 Sondy pro měření elektrického pole

Jak již bylo řečeno, sada obsahuje dvě různé sondy pro měření elektrického pole. Sondy jsou znázorněny na obrázku (Obr. 31) (5).



Obr. 31. Sondy pro měření elektrického pole

Sonda první je tzv. „balónková“. Tělo této sondy jak, je patrné z obrázku (Obr. 32), je tvořeno nepružným koaxiálním kabelem o impedanci 50 Ohm. Tento kabel je zakončen rezistorem o jmenovité hodnotě 50 Ohm. Centrální vodič koaxiálního kabelu je napojen na kovový balónek o průměru 3,6 cm. Balónek slouží jako anténa pro elektrické pole. Nepřítomnost uzavřené smyčky brání toku proudu a tak umožňuje této sondě neměřit magnetické pole (5).



Obr. 32. Provedení tzv. „balónkové“ sondy

Sonda druhá je tzv. „stub“ sonda. Tělo je tvořeno jedním kusem nepružného koaxiálního kabelu o impedanci 50 Ohm na jehož špičce je obnaženo 6 mm centrálního vodiče jak je vidět na obrázku (Obr. 33) (5).



Obr. 33. Provedení tzv. „stub“ sondy

Tato obnažená část centrálního vodiče slouží jako anténa pro zachycení proudění elektrického pole. Protože ani zde není žádná smyčka, která by vedla proud, sonda měří jen elek-

trické pole. Sonda je relativně necitlivá v důsledku malé velikosti vlastní detekční zóny. Což je výhodou v případě, že je nutno určit přesné umístění zdroje záření.

Pro srovnání „balónková“ sonda je mnohem citlivější. Její větší senzorová plocha neumožňuje tak přesné zaměření zdroje signálu jako je tomu u „*stub*“ sondy. Zato umožňuje zachytit mnohem slabší signály.

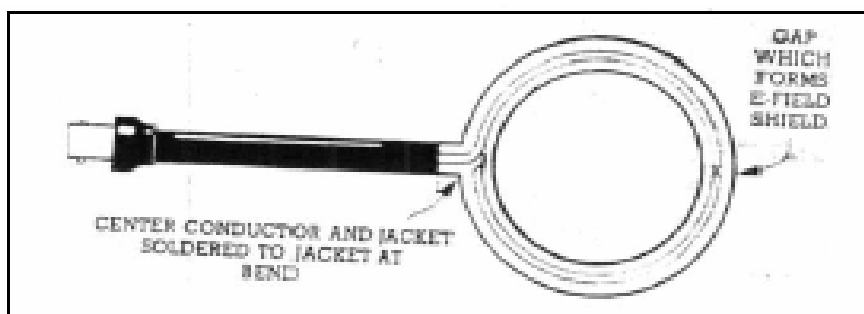
### 5.1.2 Sondy pro měření magnetického pole.

V sadě „Hz -11“ jsou tři sondy různé velikosti pro měření magnetického pole. Sondy jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 34) (5).



Obr. 34. Přehled sond pro měření magnetického pole

Každá sonda je tvořena jedním kusem 50 Ohmového nepružného koaxiálního kabelu na konci zatočeného do smyčky jak je patrné z obrázku (Obr. 35) (5).



Obr. 35. Provedení sondy pro měření magnetického pole



Smyčka leží uvnitř kovového stínění pro vyloučení parazitního vlivu elektrické složky pole. Různé průměry smyčky u sond udávají, citlivost sond. Z toho vyplývá, že sonda o průměru smyčky 6 cm je citlivější než sonda s průměrem smyčky 1 cm. Čím je sonda menší, tím lépe se dostane do úzkých prostor. Dále též čím menší je použita sonda, tím lépe je zaměřen zdroj signálu v systému měřeného zařízení.

## 5.2 Přístroje

Pro měření frekvenčního spektra byl použit spektrální analyzátor FS 300 od ROHDE&SCHWARZ, obrázek (Obr. 36).

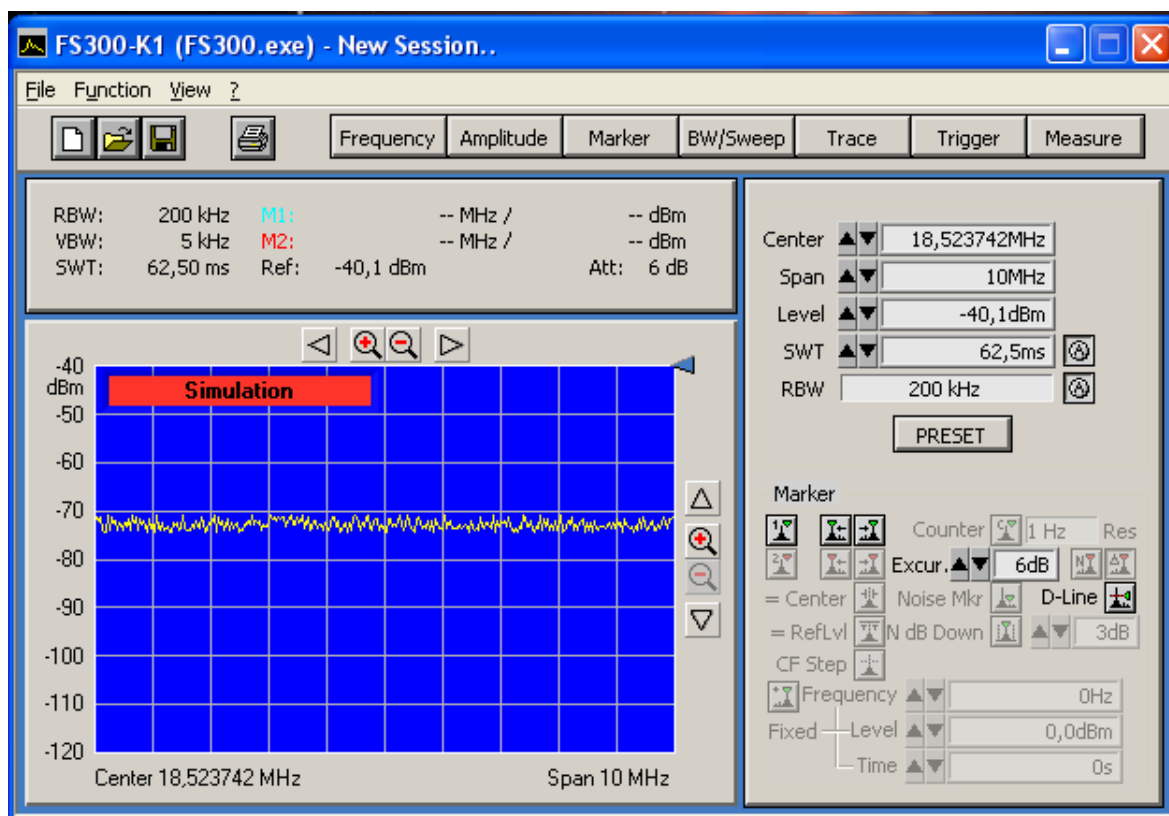


Obr. 36. Spektrální analyzátor R&S FS300

Spektrální analyzátor je zařízení, jenž měří a analyzuje spektrum modulovaných a nemo-  
dulovaných signálu ve zvoleném kmitočtovém rozsahu s využitím zadaného rozlišení pás-  
ma a rozmítání. Frekvenční rozsah tohoto spektrálního analyzátoru je 9 kHz až 3GHz.  
Spektrum je zobrazováno na displeji. Tento spektrální analyzátor dále obsahuje rozhraní  
USB pro propojení s osobním počítačem. Toto rozhraní slouží k nastavení spektrálního  
analyzátoru a k načítání měřených spekter osobním počítačem. Způsob použití tohoto při-  
stroje je uveden příručce Návod k použití (5).

### 5.3 Programy

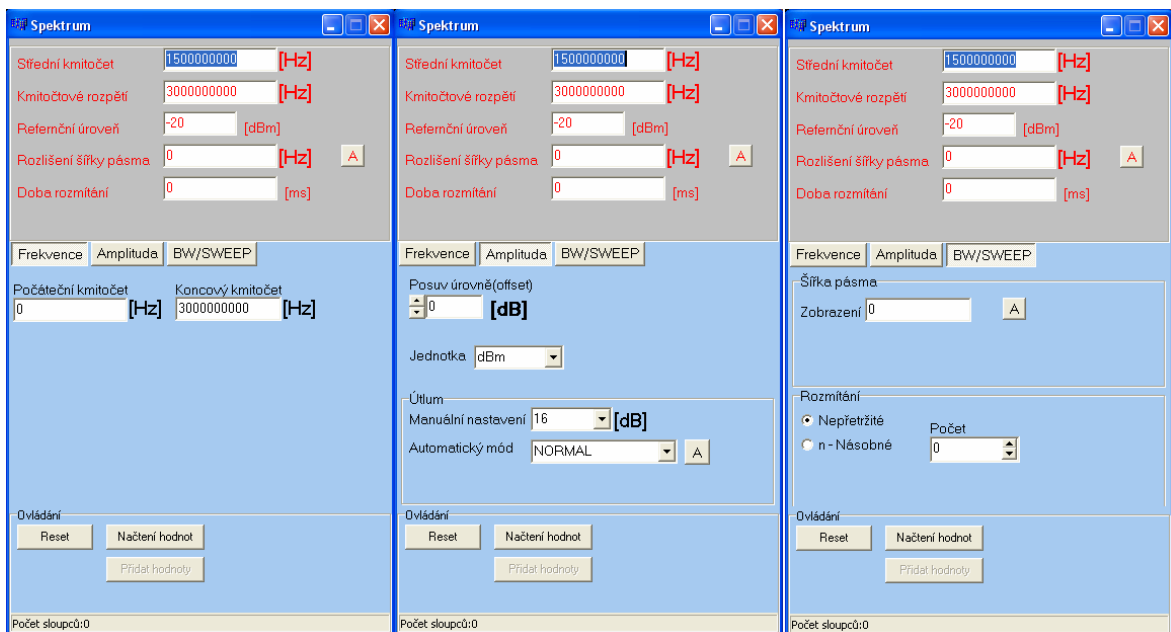
Jeden z programů, který byl při měření použit, je program jenž je dodáváný přímo se spektrálním analyzátozem. Prostředí programu je znázorněno na obrázku (Obr. 37). Okno programu je rozděleno na čtyři základní části. První částí je modrá mřížka, v níž je zobrazován aktuální měřený průběh. Druhou částí je panel, v obrázku nad zobrazovací mřížkou, na němž jsou vypsané hlavní nastavené parametry. Nad částí dvě je panel, na němž jsou přepínací tlačítka. Tlačítka slouží pro přepínání mezi jednotlivými nastavovacími menu programu. Tato nastavovací menu se objevují v části čtyři pod tlačítkem PRESET. Nastavovací menu obsahují stejné nastavovací funkce, jenž jsou přímo na spektrálním analyzátozu a tak zde nebudou popisovány neboť jsou uvedeny v příručce (5). Tento program byl použit pro vizualizaci při měření.



Obr. 37. Okno programu

Další program jenž byl použit je program „Spektrum“. Program byl napsán v programovacím jazyku C++. Prostředí tohoto programu je znázorněno na obrázku (Obr. 38). Obrázek má tři části, z nichž každá část představuje jedno nastavovací menu. Program byl vytvořen pro jednoduché načítání a archivování měřeného frekvenčního spektra. Obsahuje jen základní nastavení jako např. počáteční kmitočet, koncový kmitočet aj. Základem je dyna-

micky linkovaná knihovna funkcí (rssifs\_32.dll) pro spektrální analyzátor od společnosti Rohde&Schwarz. Knihovna obsahuje nastavovací a měřicí funkce pro komunikaci po rozhraní USB se spektrálním analyzátozem. Popis těchto funkcí je v manuálu této knihovny (5). Měřené spektrum je programem načítáno a ukládáno do tabulky. Hodnoty z tabulky jsou pak ukládány ve formátu souborů „txt“, přičemž jednotlivé sloupce jsou od sebe odděleny tabulátorem, pro snadné načítání hodnot např. programem MS Excel. Pro načítání neboli měření frekvenčního spektra slouží tlačítko „Načtení hodnot“, toto tlačítko otevře okno v němž se zobrazí tabulka s načtenými hodnotami. Je-li toto okno otevřeno tak po zmáčknutí tlačítka „Přidat hodnoty“ se do tabulky přidá nový sloupec s naměřenými hodnotami.



Obr. 38. Okno programu „Spektrum“

Zdrojové kódy spolu programem jsou v příloze na CD.

Pro ilustraci je zde vypsána jedna funkce zdrojového kódu programu:

```
//-----
//Nastavení Start frekvence
void __fastcall TForm1::edtStartKeyDown(TObject *Sender, WORD &Key,
    TShiftState Shift)
{ if (Key == VK_RETURN) /*jeli po zadání hodnoty stisknut Enter provede se nastavení*/
  { startFrequency=StrToFloat(edtStart->Text);
    Status=rssifs_confStartStopFrq(instrumentHandle,1,startFrequency,StrToFloat(edtStop->Text));
    if (Status!=0) /*při nastavování hodnoty došlo k chybě*/
      {Error_Message(Status);
      }
  }
}
```

```
        Status=rssifs_getCenterFrequency(instrumentHandle,&centerFrequency);/*načtení středního
kmitočtu frekvence*/
        if (Status!=0) /*při nastavování hodnoty došlo k chybě*/
            {Error_Message(Status);
            }
        else{edtCenter->Text=centerFrequency;
        }
        Status=rssifs_getFrequencySpan (instrumentHandle,&frequencySpan);/*načtení rozshu frek-
vence*/
        if (Status!=0) /*při nastavování hodnoty došlo k chybě*/
            {Error_Message(Status);
            }
        else{edtSpan->Text=frequencySpan;
        }
        Status=rssifs_getSweepTime (instrumentHandle,&sweepTime);
        if (Status!=0) /*při nastavování hodnoty došlo k chybě*/
            {Error_Message(Status);
            }
        else{edtTime->Text=sweepTime*1000;
        }
    }
}
//-----
```

## 6 MĚŘENÍ

### 6.1 Měření vyzařování

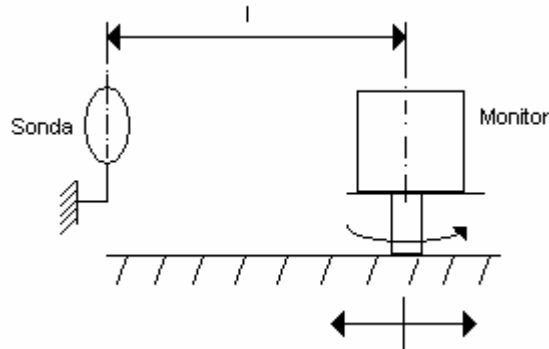
Byla provedena měření blízkých magnetických a elektrických polí na spektrálním analyzátoru pomocí různých typů sond. Popis použité měřicí techniky je v části 5. Měřeno bylo střídavé magnetické a elektrické pole kolem CRT, LCD monitorů, dále dvou polohovacích zařízení (počítačové myši), klávesnice a notebooku. Vyhodnocení měření a naměřené hodnoty jsou v následujících oddílech.

#### 6.1.1 Monitor CRT

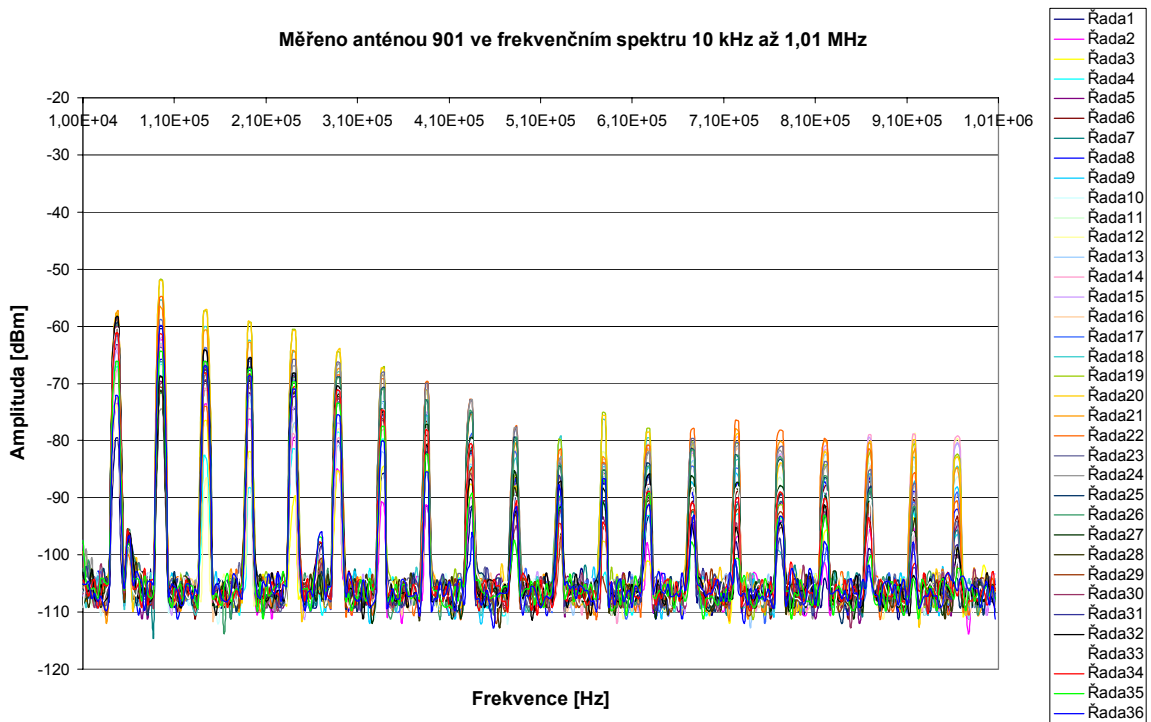
První z měřených zařízení byl monitor typu CRT ("Cathode Ray Tube"). Obraz na monitoru vzniká pomocí tří vysílaných elektronových svazků, jenž jsou usměrňovány pomocí elektromagnetického pole vychylovacích cívek. Svazky dopadají na stínítko potažené luminiscenční vrstvou. Jedním z důležitých parametrů je tzv. obnovovací frekvence monitoru. Tato frekvence udává kolikrát se za daný časový úsek vykreslí obraz na ploše monitoru. Je-li tedy obnovovací frekvence např. 85 Hz znamená to, že se obraz vykreslí 85krát za sekundu. Dalším z důležitých parametrů je tzv. frekvence řádkového rozkladu – tj. horizontální frekvence – udává maximální zobrazitelný počet linek za sekundu. Při běžném rozlišení 1024x768 musí monitor vykreslit 768 řádků. Za jednu sekundu se však obraz při obnovovací frekvenci 85 Hz obnoví 85x. Tj.:  $85 \times 768 = 65280$  Hz, tedy 65,28 kHz. Horizontální frekvence monitoru zobrazujícího rozlišení 1024x768 při obnovovací frekvenci 85 Hz musí být nejméně 65,28 kHz (7).

Měření bylo provedeno na monitoru o úhlopříčce 15" (SAMTRON DT15LT7L – Samsung) při obrazovém rozlišení 1024x768 a obnovovací frekvenci 60 Hz. U monitoru bylo nejprve měřeno magnetické a pak elektrické pole. Měřicí sonda byla umístěna v pevném uchycení a monitor stál na otočném a posuvném podstavci. Podstavec bylo možno otáčet v rozsahu 0 až 360°. Vzdálenost „l“ měřicí sondy od monitoru (od osy monitoru) byla nejprve 30 cm a následně pak 50 cm jak je znázorněno na obrázku (Obr. 39). Měřené frekvenční spektrum bylo zvoleno v rozsahu 10 kHz až 1,01 MHz s ohledem na horizontální frekvenci monitoru a případné její násobky. Frekvenční spektrum bylo měřeno v jednotlivých místech kolem monitoru v rozsahu 0 až 360°, po 10° (při otáčení stojánku s monitorem). Před začátkem měření magnetického a elektrického pole zapnutého monitoru

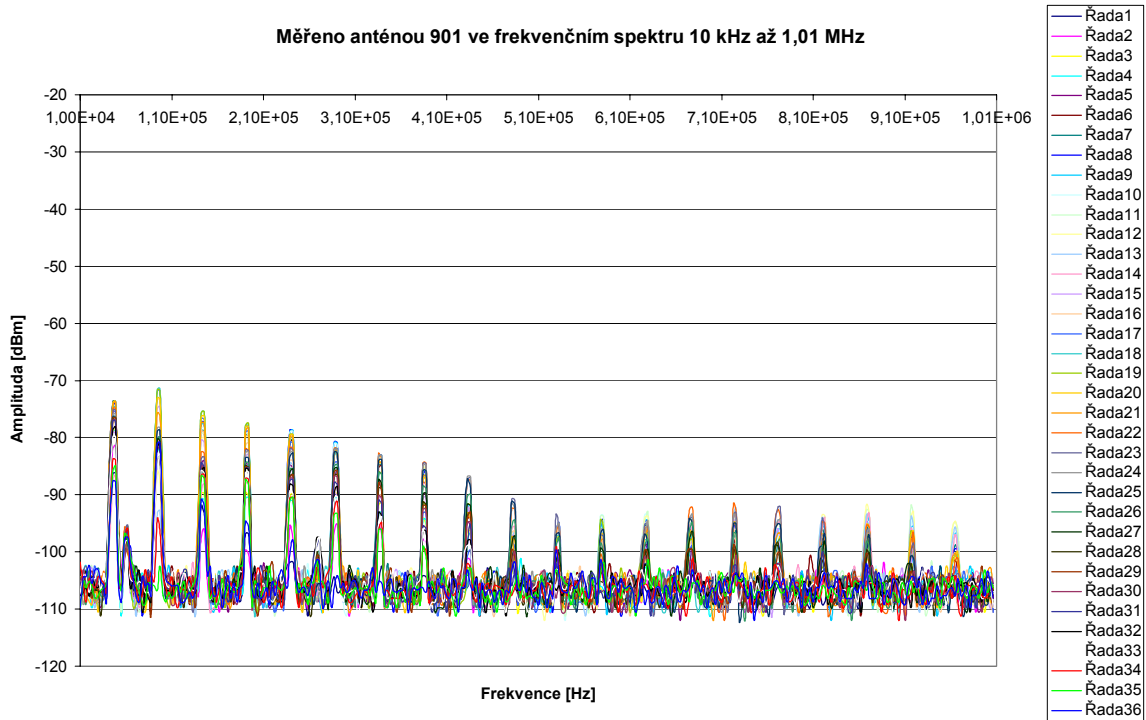
bylo změřeno frekvenční spektrum pozadí v místě prováděných měření. Toto spektrum je bráno jako referenční. Výsledky tohoto měření pro magnetické a elektrické pole jsou na obrázcích (Obr. 77 a Obr. 78) v příloze.



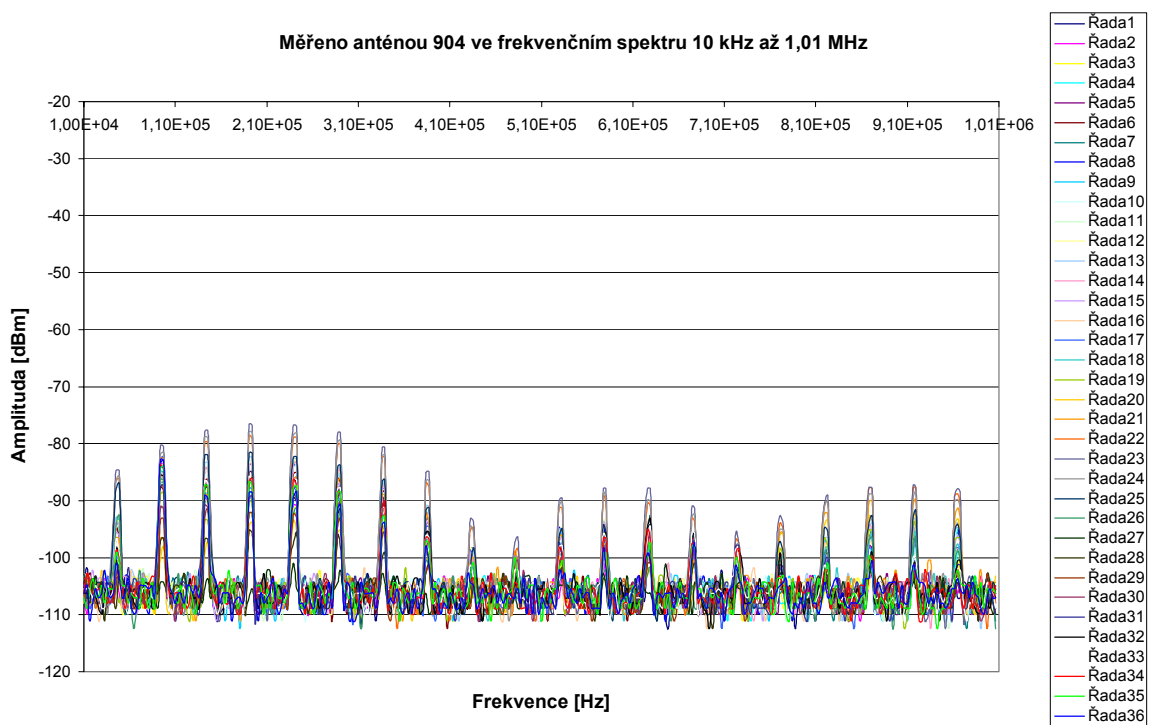
Obr. 39. Měřicí pracoviště



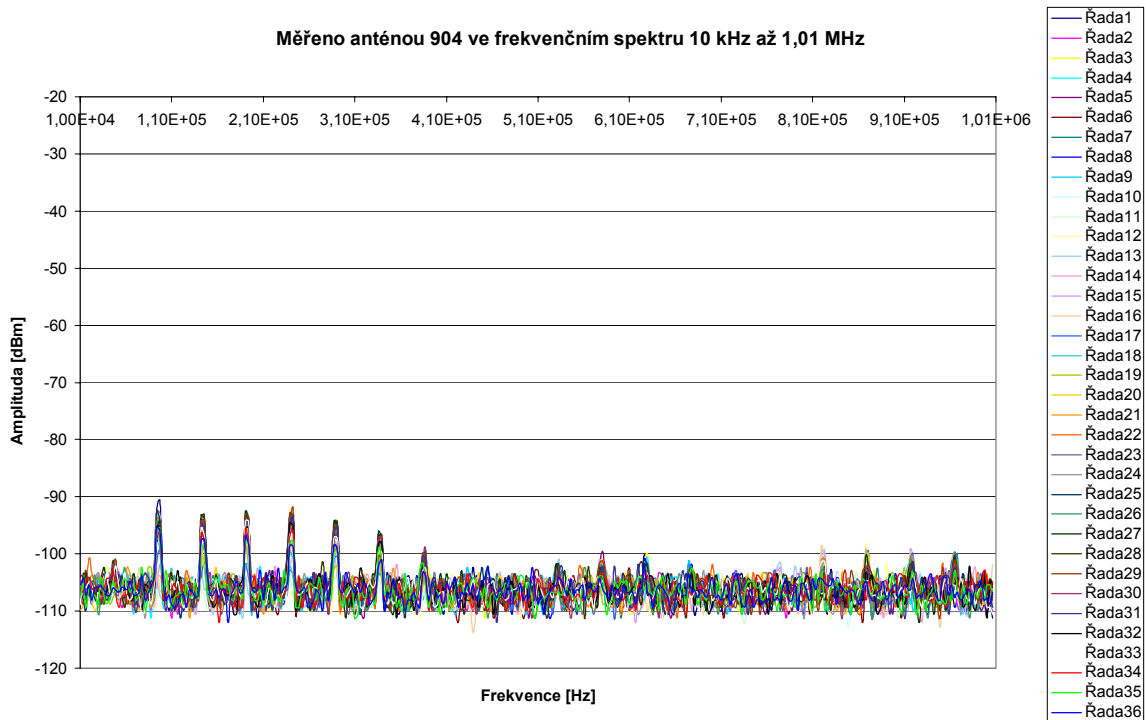
Obr. 40. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetického pole,  $l = 30\text{cm}$



Obr. 41. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetického pole,  $l = 50\text{cm}$



Obr. 42. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole,  $l = 30\text{ cm}$



Obr. 43. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole, při  $l = 50$  cm

Na obrázcích (Obr. 40 a Obr. 41) je vykresleno frekvenční spektrum magnetického pole a na obrázcích (Obr. 42 a Obr. 43) elektrického pole v daném rozsahu kolem monitoru. Jednotlivé barevné řady představují měřená místa kolem monitoru. Při porovnání obrázků (Obr. 40 a Obr. 41) znázorňujících úroveň magnetického pole je vidět, že se vzrůstající vzdáleností sondy od měřeného monitoru se úroveň signálů zmenšuje. To samé platí i při porovnání obrázků (Obr. 42 a Obr. 43) znázorňujících úroveň pole elektrického.

Pro přesnější určení míst zdrojů signálů byly citlivé sondy nahrazeny méně citlivými sondami. Měření bylo provedeno posunováním sondy po krytu monitoru. Na obrázku (Obr. 44) jsou červeným kroužkem vyznačena místa zdrojů signálů. Frekvenční spektra pro jednotlivé složky elektromagnetického pole získaná v těchto bodech jsou na obrázcích (Obr. 79 až Obr. 82) v příloze.

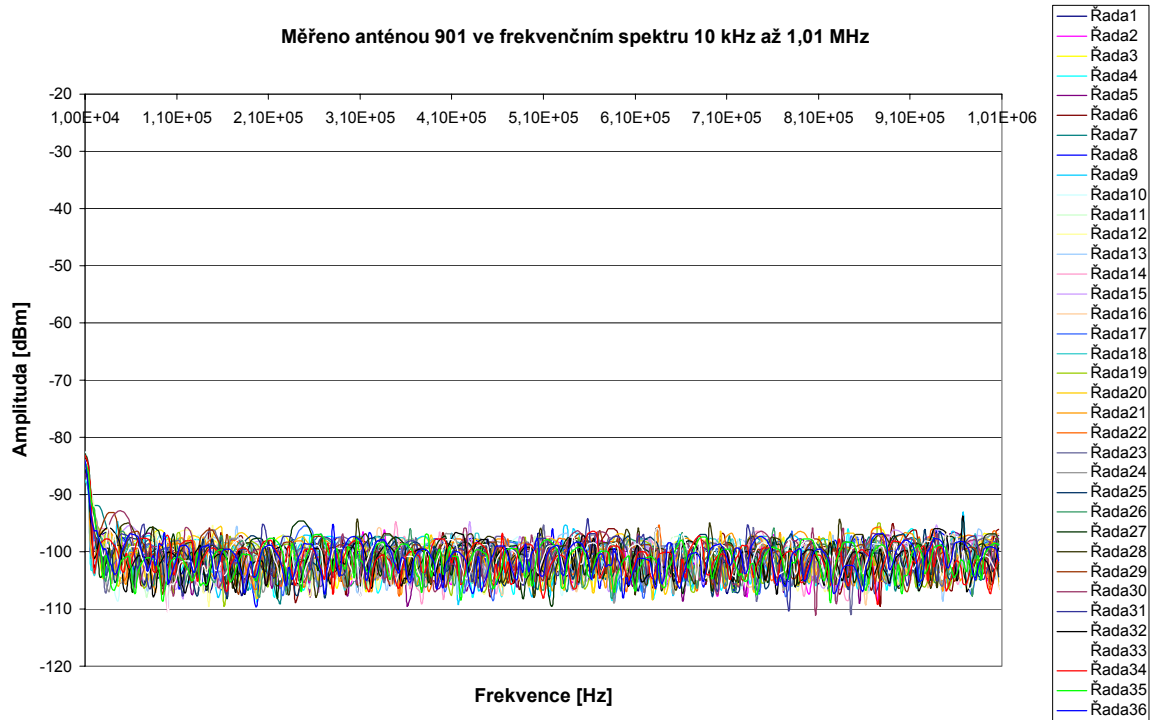




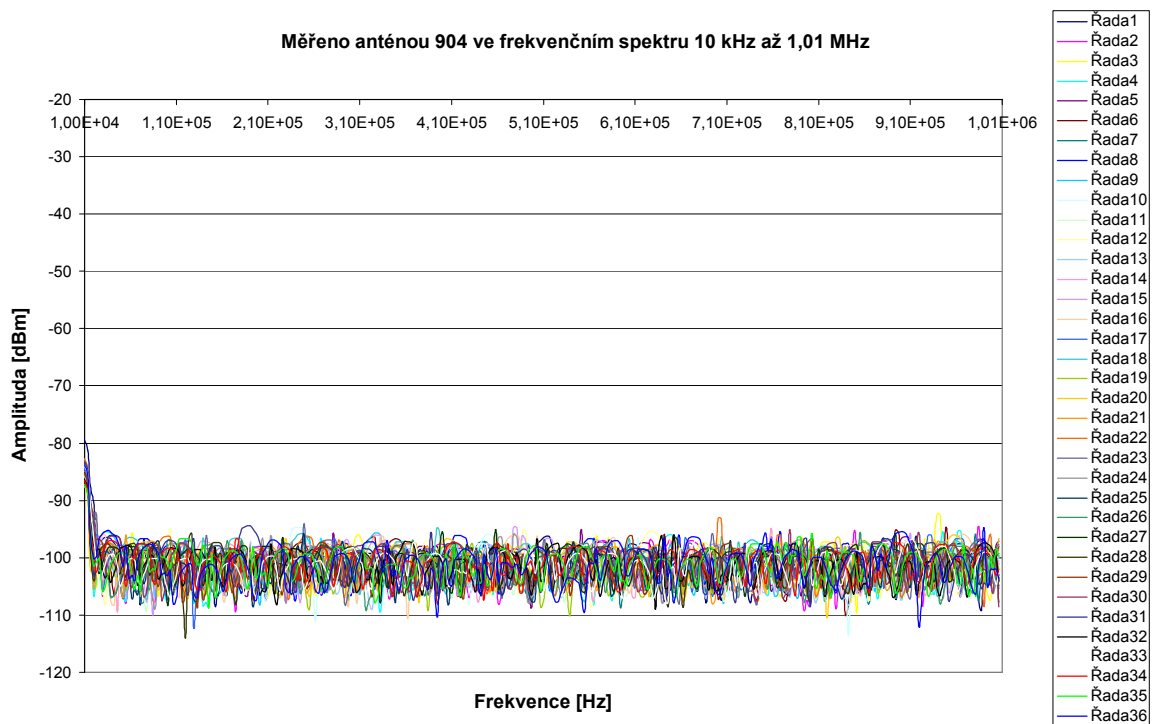
Obr. 44. Místa měření u CRT monitoru

### 6.1.2 Monitor LCD

Pro srovnání byl ve stejném frekvenčním spektru změřen i LCD monitor (17“ LG – Flatron L1750SQ). Základ obrazu zde není tvořen zářením z katodových trubice jako u CRT. Zářičem je zde fluorescentní trubice po straně displaye (může jich být 1-4). Z nich se světlo rozvede pomocí světlovodivého panelu rovnoměrně přes celou obrazovku. Fotony postupují přes polarizační filtr, vrstvu s tekutými krystaly a další polarizační filtr. Vrstvy polarizačního filtru jsou orientovány stejně jako jsou natočeny drážkované destičky u vrstvy LCD. Světlo při průchodu přes polarizační filtr změní svůj charakter. Přes první filtr totiž projdou jen rovnoběžné vlny. Struktura tekutých krystalů dále světlo natočí tak, že projde i přes druhý polarizační filtr, který je vůči prvnímu otočen o  $90^\circ$ . Normálně by světlo při průchodu dvou polarizačních vrstev vzájemně pootočených o  $90^\circ$  neprocházel, ale vše funguje právě díky vrstvě z tekutých krystalů (9). Protože tento typ monitoru pracuje na jiném principu a neobsahuje žádné prvky pro vychylování paprsků byl zde předpoklad, že úroveň vyzářovaného magnetického a elektrického pole bude na měřenou vzdálenost minimální. Měření bylo provedeno ve vzdálenosti „l“ 30 cm od monitoru.



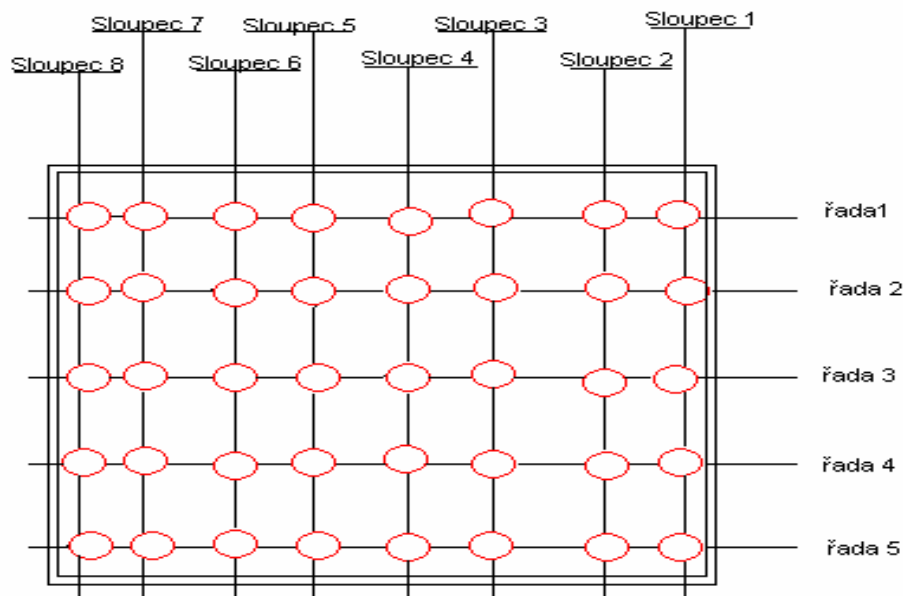
Obr. 45. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetické pole



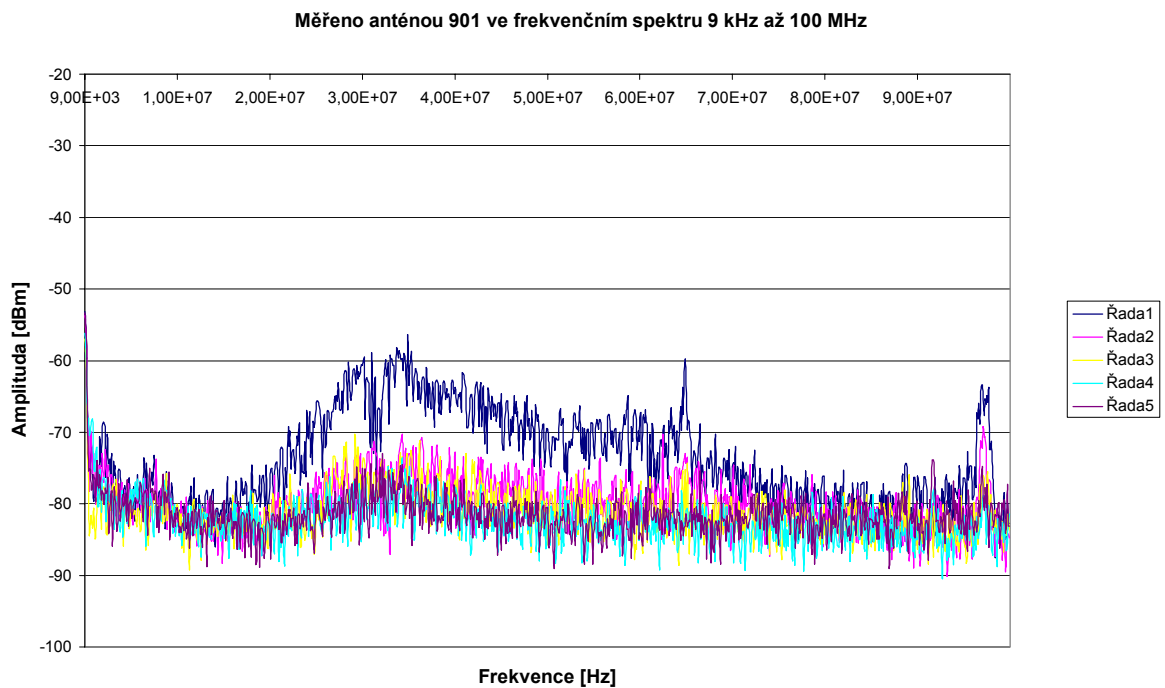
Obr. 46. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole

Z porovnání obrázků (Obr. 45 a Obr. 46) jednotlivých složek elektromagnetického pole vyplývá, že vyzařované úrovně magnetického a elektrického pole monitorem jsou podle předpokladu v měřené vzdálenosti minimální (rozsah hodnot odpovídá změřenému frekvenčnímu pozadí viz. obrázky (Obr. 77 a Obr. 78)). Metodika měření byla stejná jako při měření vyzařování monitoru CRT.

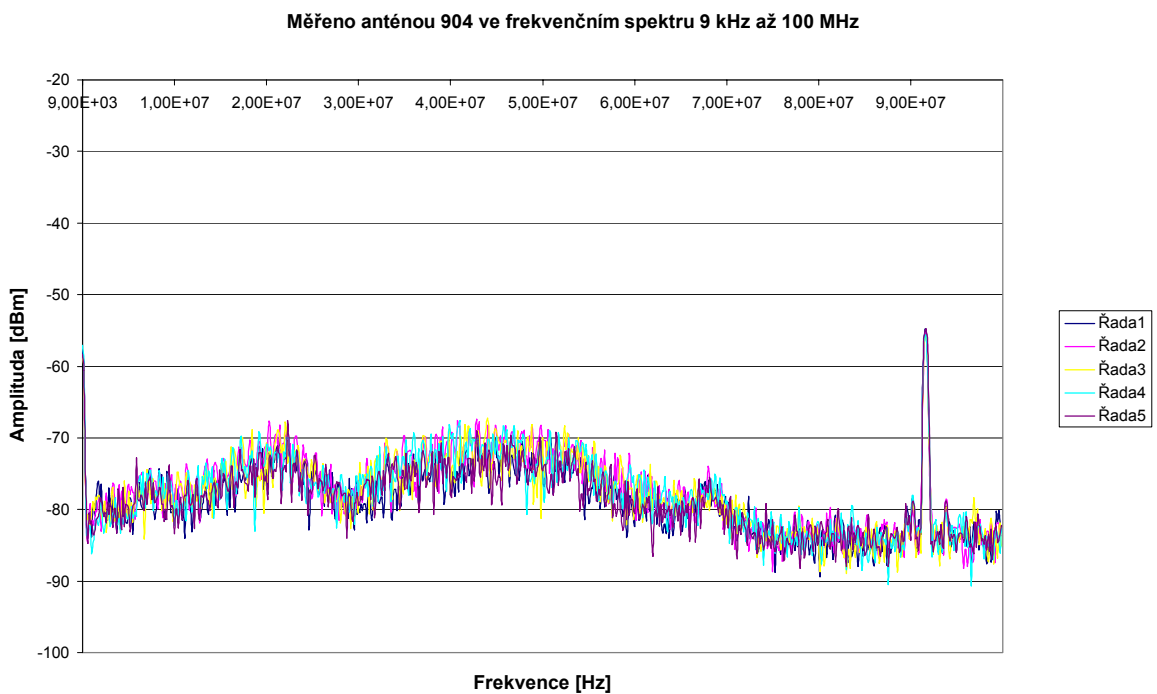
Další měření bylo provedeno ve 40 místech na zobrazovací ploše monitoru sondou 901 a 904 jak je znázorněno na obrázku (Obr. 47). Jelikož se toto měření neuskutečnilo ve stejný den jako předchozí měření, byla před započítím samotného měření změřena tzv. referenční spektra, tj. spektra magnetického a elektrického pole v místě prováděných měření. Tato spektra jsou na obrázcích (Obr. 83 a Obr. 84) v příloze. Při měření bylo postupováno po sloupcích a to tak, že v každém sloupci bylo 5 měřících míst (řad). Na obrázku (Obr. 48) je uveden průběh frekvenčního spektra magnetického pole pro sloupec 1. Ostatní spektra jednotlivých sloupců mají podobný průběh, proto jsou uvedena na obrázcích (Obr. 85 až Obr. 91) v příloze. Na obrázku (Obr. 49) je uvedené spektrum elektrického pole pro sloupec 5. Ostatní měřená spektra elektrického pole jednotlivých sloupců mají podobný průběh lišící se jen svou velikostí.



Obr. 47. Znázorněná měřících místa na ploše LCD monitoru



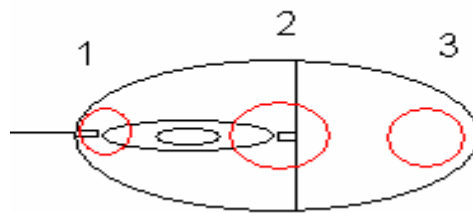
Obr. 48. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 1



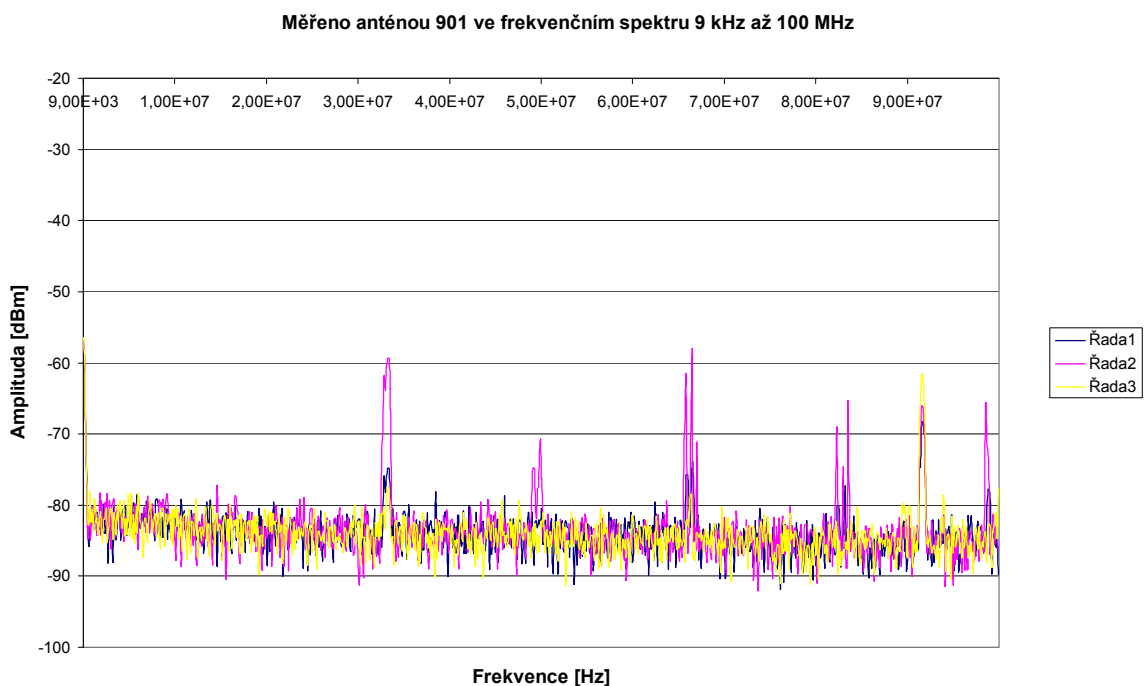
Obr. 49. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření elektrického pole u LCD monitoru – sloupec 5

### 6.1.3 Počítačová myš a klávesnice

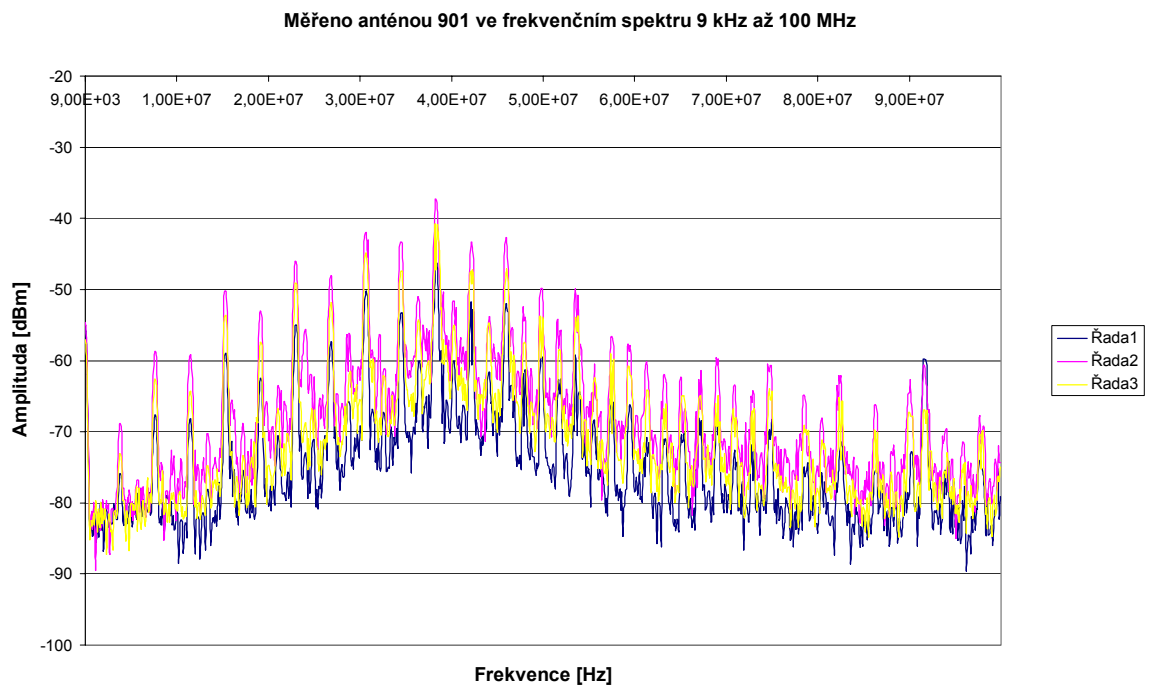
Dalšími objekty pro měření úrovně vyzařovaných signálů byly dvě různé optické počítačové myši. Měření bylo provedeno citlivou sondou 901 (magnetické pole) a 904 (elektrické pole) na třech místech na povrchu jak je naznačeno na obrázku (Obr. 50), místa jsou vyznačena 3 kruhy. Měřené hodnoty jsou vztaženy ke grafům jenž jsou na obrázcích (Obr. 83 a Obr. 84) v příloze.



Obr. 50. Místa měření u počítačové myši – pohled shora



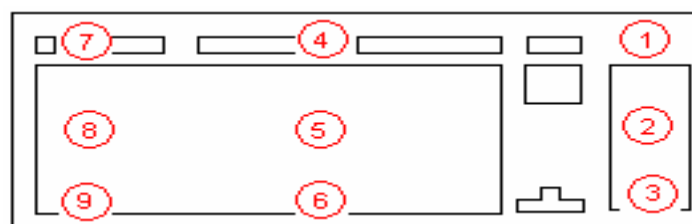
Obr. 51. Frekvenční spektrum magnetického pole u počítačové myši A4Tech\_OP-620



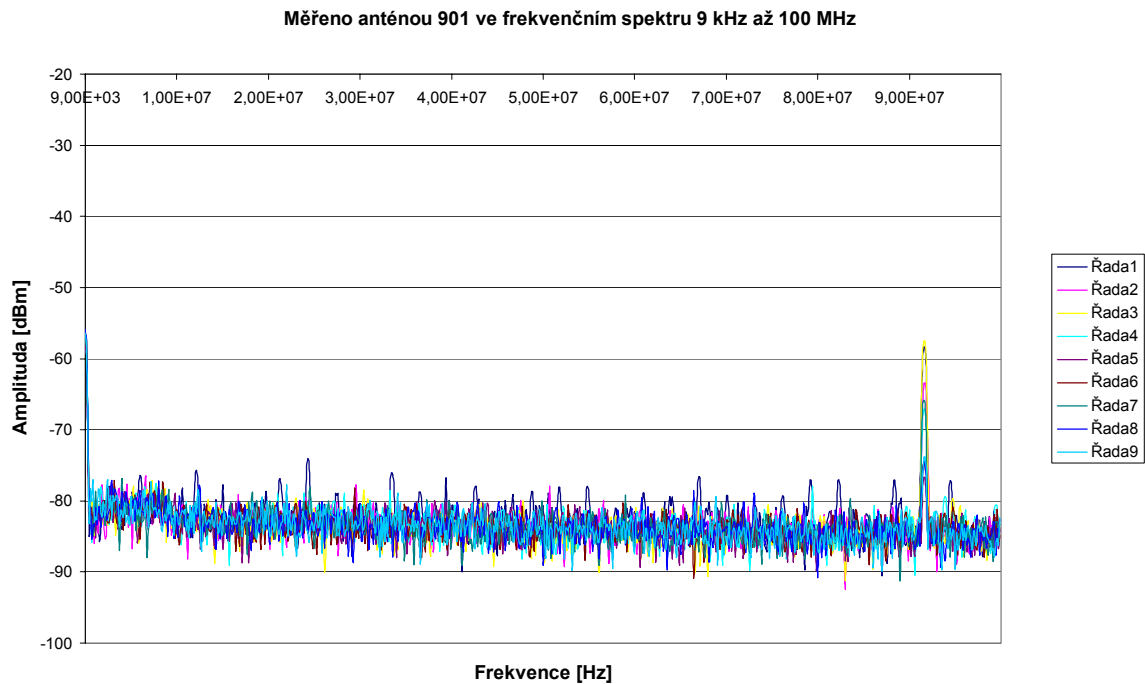
Obr. 52. Frekvenční spektrum magnetického pole u počítačové myši Genius\_GM-04003P

Frekvenční spektrum bylo měřeno v rozsahu 9 kHz až 100 MHz. Jednotlivé řady v grafech odpovídají jednotlivým místům měření. Z obrázků (Obr. 51 a Obr. 52) je patrné že úroveň vyzařovaného magnetického pole u první myši je menší než u myši druhé. Na obrázcích (Obr. 92 a Obr. 93) v příloze jsou uvedeny spektra elektrického pole těchto jednotlivých myší.

Dalším objektem pro měření úrovně vyzařovaných signálů byla počítačová klávesnice (Genius – K627). Měření bylo provedeno citlivou sondou 901 na devíti místech na povrchu jak je naznačeno na obrázku (Obr. 50) - místa jsou vyznačena 9 kruhy. Jednotlivá místa měření odpovídají jednotlivým řadám v grafu (Obr. 54).



Obr. 53. Rozložení měřených míst na klávesnici



Obr. 54. Frekvenční spektrum magnetického pole klávesnice Genius

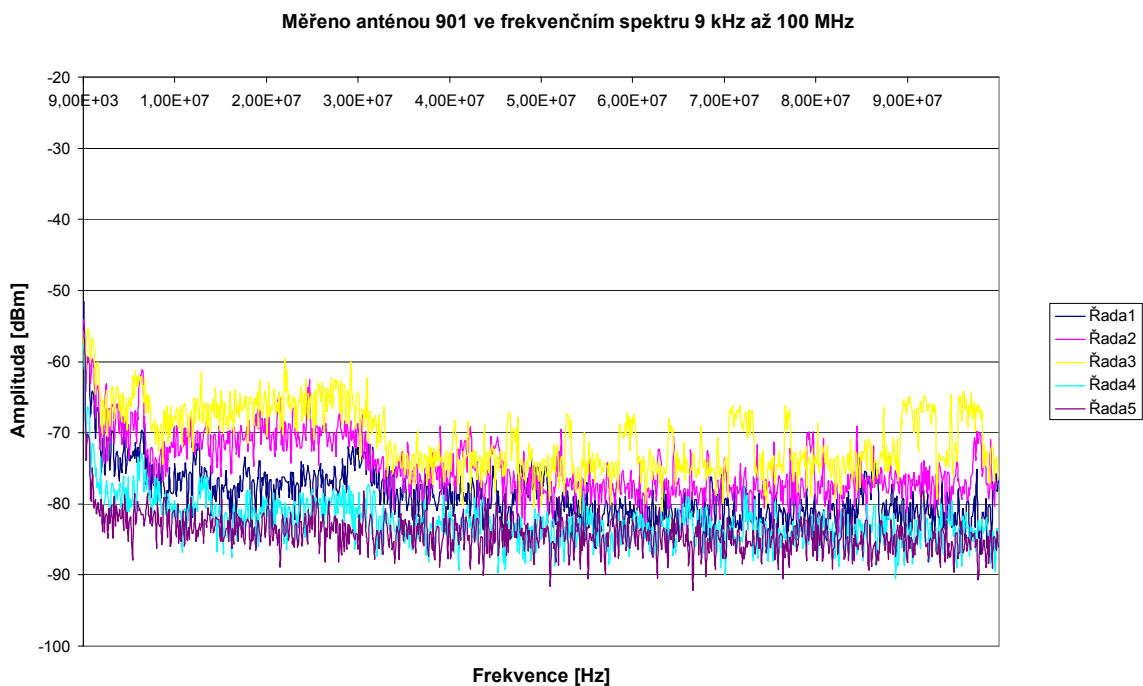
Na obrázku je vidět, že se úroveň vyzařovaných signálů magnetické složky se pohybuje v rozmezí -90 až -80 dBm. Z porovnání s referenčním spektrem jenž je na obrázku (Obr. 83) v příloze vyplývá, že úroveň těchto signálů je zanedbatelná. Platí to i pro složku elektrickou jenž je na obrázku (Obr. 94) v příloze.

#### 6.1.4 Notebook

Dalším z proměřovaných zařízení byl přenosný počítač (notebook – Umax – VisionBook 632LX). Při měření bylo postupováno stejně jako při měření na povrchu LCD monitoru, nebyl však proměřován monitor notebooku, ale plocha v níž je klávesnice jak je znázorněno červenou mřížkou na obrázku (Obr. 55). Měření bylo provedeno ve frekvenčním rozsahu 9 kHz až 100 MHz a výsledky pro magnetickou složku jsou uvedeny na obrázku (Obr. 56) a na obrázcích (Obr. 95 až Obr. 101) v příloze, a pro elektrickou složku na obrázku (Obr. 102) v příloze. Samotné měření bylo stejně jako u LCD monitoru prováděno od displeje k vnější hraně a zprava doleva. Řady v grafech odpovídají jednotlivým měřicím místům v daném sloupci a jednotlivé grafy představují jednotlivé sloupce.



Obr. 55. Měřená místa na notebooku



Obr. 56. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 1

## 6.2 Měření útlumu materiálů

Při tomto měření byl zjišťován útlum jednotlivých vzorků materiálů. Měření bylo prováděno tak, že se materiál vkládal mezi dvě anténky a to anténu vysílací a přijímací. Vysílací anténa byla připojena k signálovému generátoru a přijímací anténa k spektrálnímu analyzá-



toru. Na generátoru byly postupně nastaveny frekvence 900, 1100, 1300, 1800, 2200, 2600 MHz. Úroveň výstupního signálu byla nastavena na 5 dBm. Velikost jednotlivých vzorků byla 100 x 100 mm. Vzdálenost antén od sebe byla 30 mm. Vzorky byly testovány na útlum magnetické složky a na útlum složky elektrické. Vzorky byly testovány bez uzemnění a s uzemněním. Nejprve byla změřena úroveň signálu bez vloženého materiálu a poté byl mezi antény vložen materiál. Rozdíl jednotlivých úrovní udává útlum.

Složení jednotlivých vzorků bylo:

Vzorek:

1. Složený z nomexu, jedné vrstvy uhlíkové a skelné tkaniny na každé straně a jedné vrstvy AL síťky. Na krajích zalaminované hliníkové destičky pro ukostření. Orientace síťky stejná jako orientace skelné tkaniny.
2. Jako vodivá vrstva byla použita 1 vrstva Cu síťky. Na okrajích zalaminované měděné destičky. Orientace síťky stejná jako orientace skelné tkaniny.
3. Z nomexu, jedné vrstvy uhlíkové a skelné tkaniny na každé straně. Na krajích zalaminované Al destičky na horní straně tkaniny.
4. Složený ze čtyř vrstev uhlíkové tkaniny. Na krajích zalaminované Cu destičky na horní straně uhlíkové tkaniny. Jako vodivá vrstva použita Cu síťka.

Výsledky jednotlivých měření útlumu magnetické složky jsou znázorněny na obrázcích (Obr. 103 až Obr. 106), a útlumu elektrické složky na obrázcích (Obr. 107 až Obr. 110) v příloze.

## 7 ŘEŠENÍ CHVĚNÍ OBRAZU MONITORU

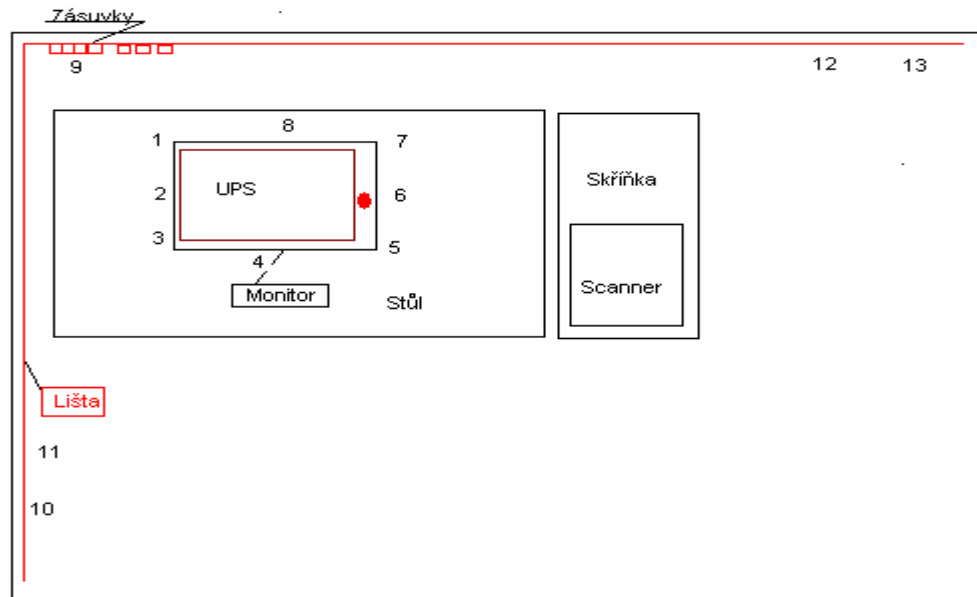
Na grafickém pracovišti ve společnosti DAVEX-CZ byl monitor jehož obraz kmital a zašumoval se. Tento problém pro grafika sedícího 8 hodin u tohoto monitoru byl neúnosný. Po výměně monitoru se tento jev projevoval i u druhého monitoru s čehož bylo zřejmé, že problém není v samotném monitoru ale je způsobován vnějším působením. Proto úkolem bylo zjistit zdroj rušení, jenž způsobuje rozkmit a zašumění obrazu u počítačového grafického monitoru ve společnosti DAVEX-CZ. Typ monitoru: 21'' Vision Master Pro 514. Výrobce: YAMA Corporation.

Při měření byl použit

- Spektrální analyzátor: FS 300 – Rohde & Schwarz
- Sada antén pro blízká pole - magnetické a elektrické složky elektromagnetického pole: Hz - 11- Rohde & Schwarz
- Paměťový osciloskop: 54622D – Agilent

První měření byla provedena spektrálním analyzátozem FS 300 pomocí antén pro měření magnetické a elektrické složky střídavého elektromagnetického pole.

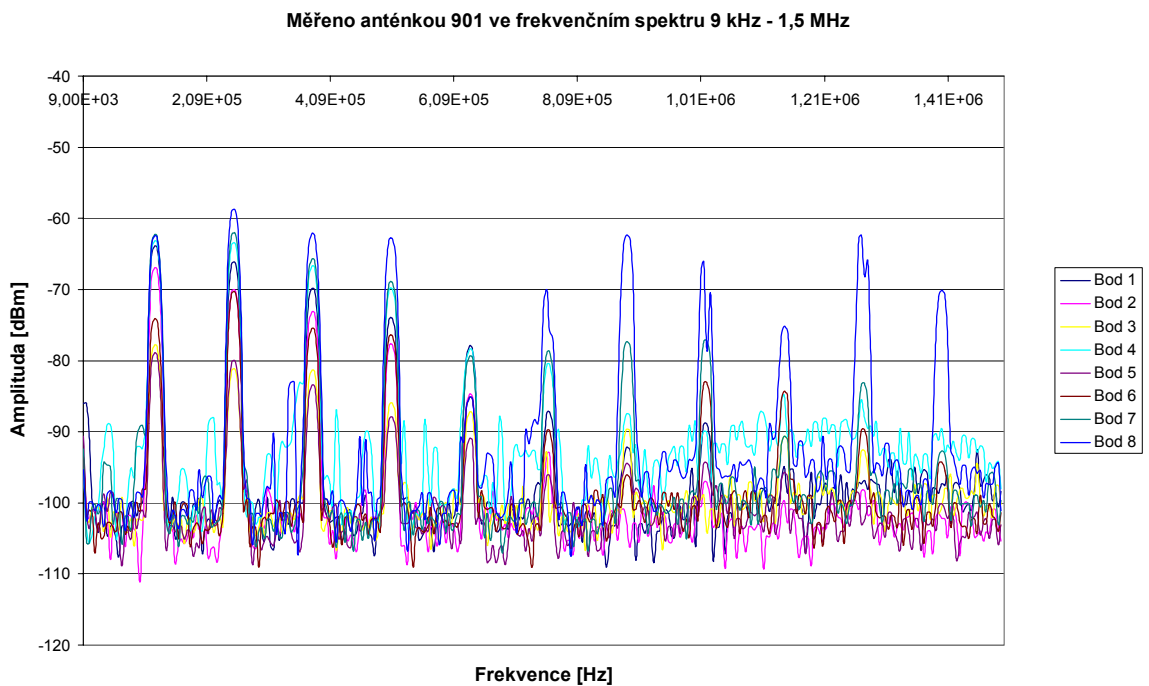
Naměřené hodnoty byly zaznamenávány na osobním počítači pomocí programu Spektrum. Pro měření kolem monitoru bylo vytyčeno 8 měřících míst (body 1 – 8), jak je uvedeno na schematicém vyobrazení prostoru na obrázku (Obr. 57). Tento prostor na je obrázku nakreslen při pohledu shora. Body 9 – 13 představují měřící místa vytyčená kolem stolu. Tečka na obrázku (Obr. 57) znázorňuje místo, v němž byl nalezen a naměřen zdroj rušivého signálu viz. níže.



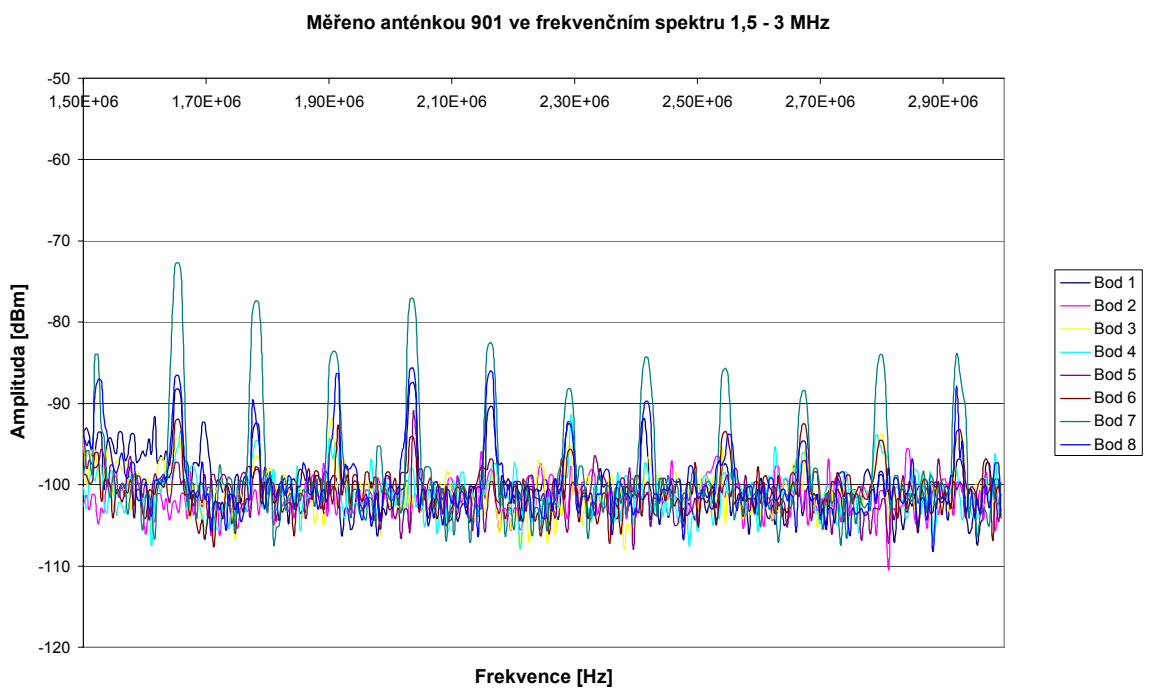
Obr. 57. Situační náčrt prostoru kolem monitoru

K vychylování paprsků u CRT („*Cathode Ray Tube*“) monitorů se používá magnetické pole, proto byla nejprve měřena magnetická složka elektromagnetického pole. Předpokladem bylo, že zdroj rušení musí být téhož charakteru jako vychylovací zdroj svazku elektronů. Měřit se začalo v těsné blízkosti monitoru pomocí antény 901 v mezích frekvenčních spekter 9 kHz - 1,5 MHz, 1,5 MHz - 3 MHz, 3 MHz - 4,5 MHz, 4,5 MHz - 6 MHz, při zapnutém monitoru.

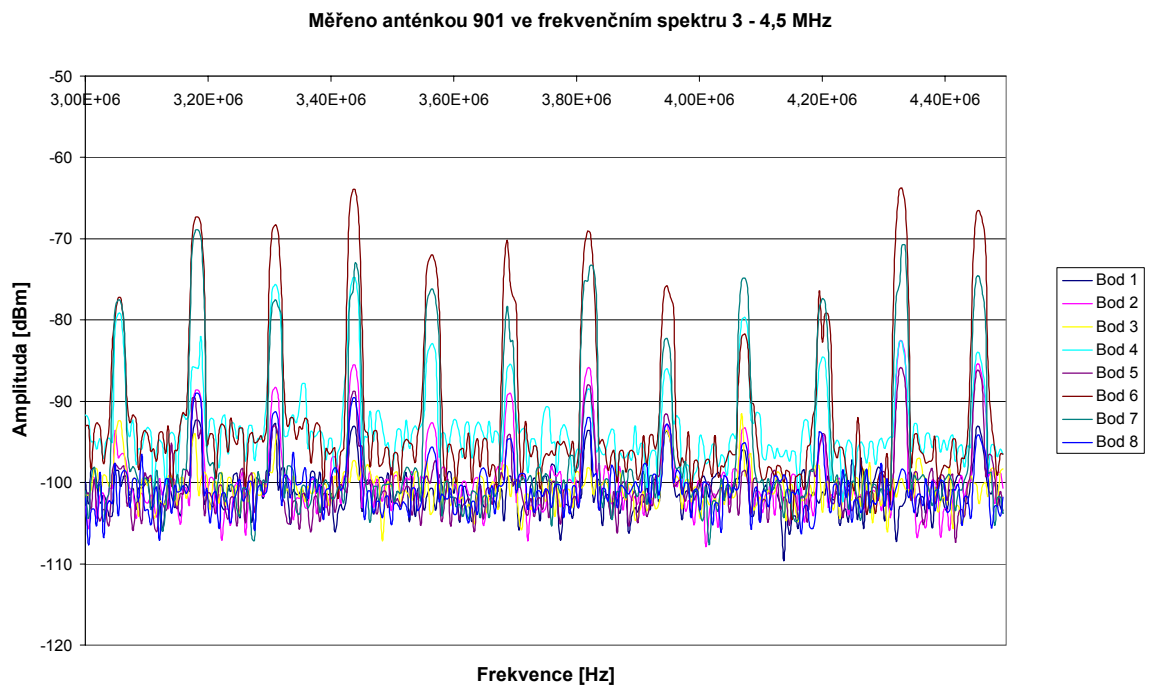
Jednotlivá měření pro jednotlivé části frekvenčních spekter jsou uvedeny na obrázcích (Obr. 58 až Obr. 61).



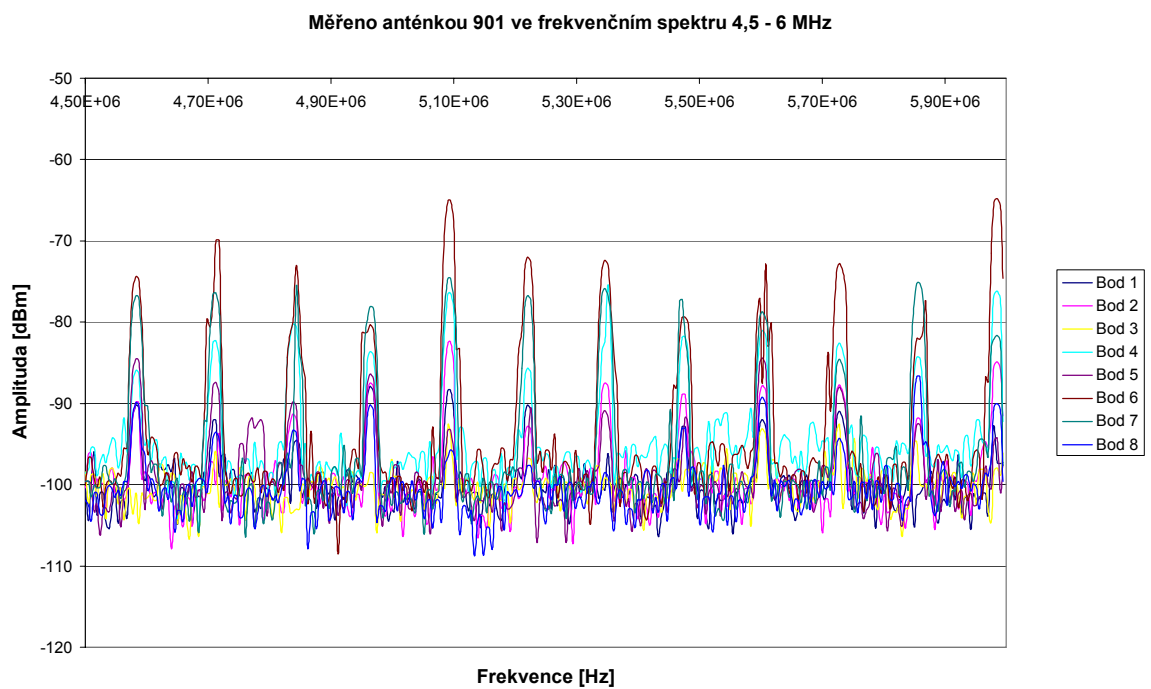
Obr. 58. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 1,5 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole



Obr. 59. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 1,5 – 3 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole



Obr. 60. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 3 – 4,5 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole



Obr. 61. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 4,5 – 6 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole

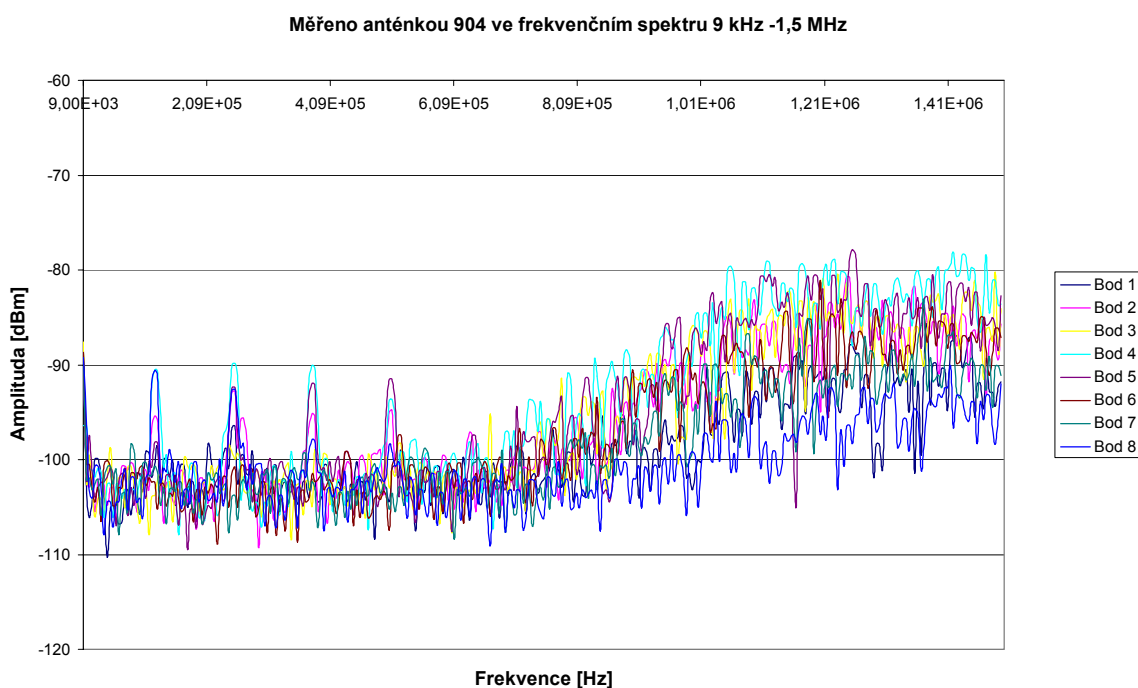
Na obrázcích (Obr. 58 až Obr. 61) jsou zobrazeny průběhy signálů frekvenčních spekter vyzařovaných počítačovým monitorem. Frekvenční šum pozadí v měřené místnosti se pohyboval kolem hodnoty -100 dBm. Velikost píků pak ukazuje úroveň střídavého magnetického pole detekovaného kolem monitoru.

Další měření byla provedena ve vzdálenosti 15 cm od daného počítačového monitoru.

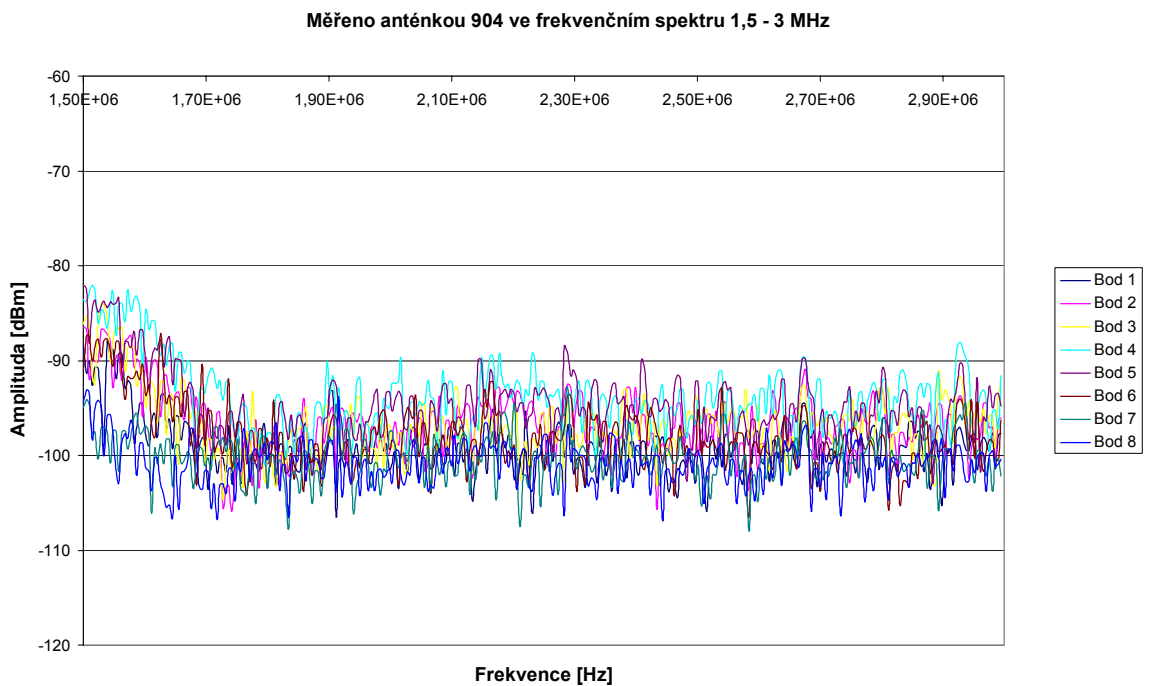
Obrázky (Obr. 111 až Obr. 114) jenž jsou v příloze, ukazují velikost detekovaného signálu ve vzdálenosti 15 cm od daného monitoru. Při porovnání obrázků (Obr. 58 až Obr. 61 a Obr. 111 až Obr. 114) je vidět, že frekvenční šum pozadí se pohybuje kolem hodnoty -100 dBm. Z obrázků je patrné, že se vzrůstající frekvencí a vzdáleností od monitoru se úroveň detekované amplitudy magnetického pole zmenšuje.

Pro úplnost a porovnání jednotlivých složek byla naměřena i elektrická složka elektromagnetického pole. Měření bylo prováděno anténou 904 v těsné blízkosti kolem monitoru, stejně jako v případě magnetické složky.

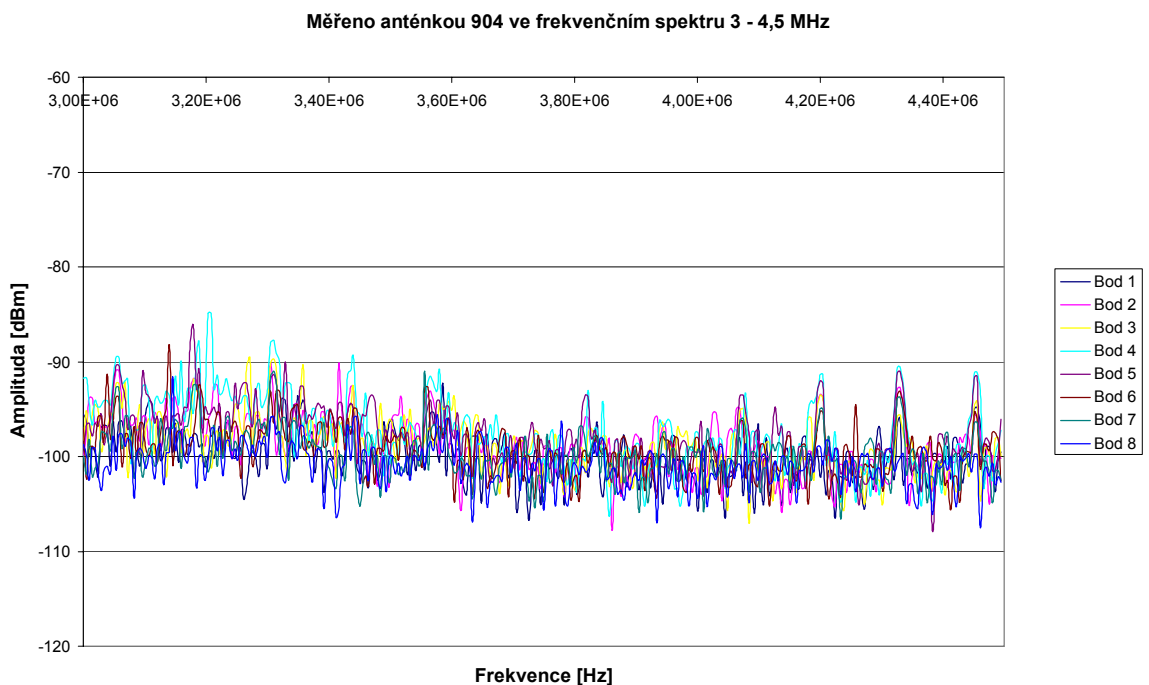
Z tohoto měření jsou grafy, jenž jsou na obrázcích (Obr. 62 až Obr. 65).



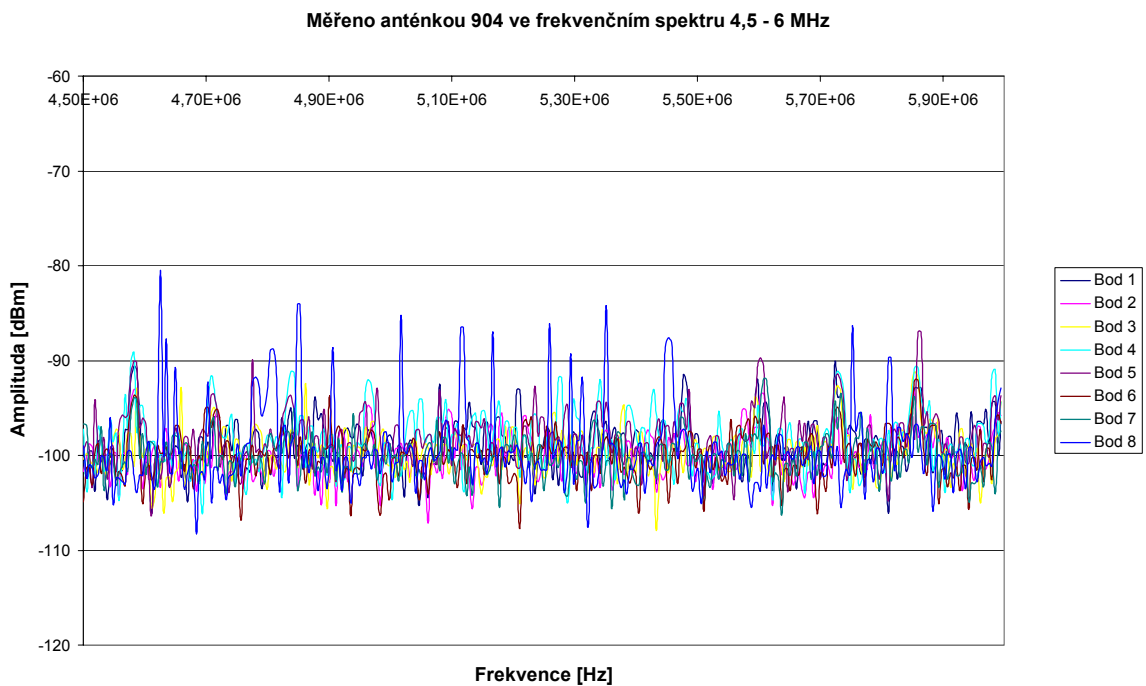
Obr. 62. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 1,5 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole



Obr. 63. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 1,5 – 3 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole



Obr. 64. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 3 – 4,5 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole



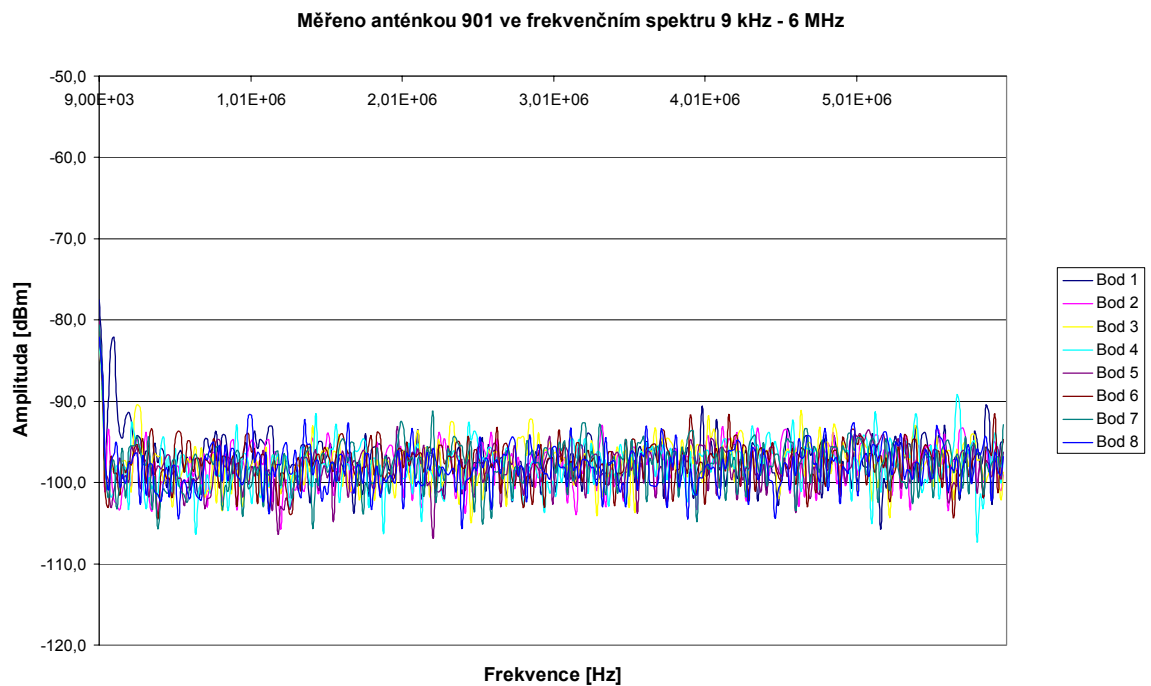
Obr. 65. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 4,5 – 6 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole

Na obrázcích (Obr. 62 až Obr. 65) je zobrazena velikost detekované elektrické složky elektromagnetického pole. Jak je vidět, velikost pozadí okolního šumu se pohybuje kolem hodnoty -100 dBm.

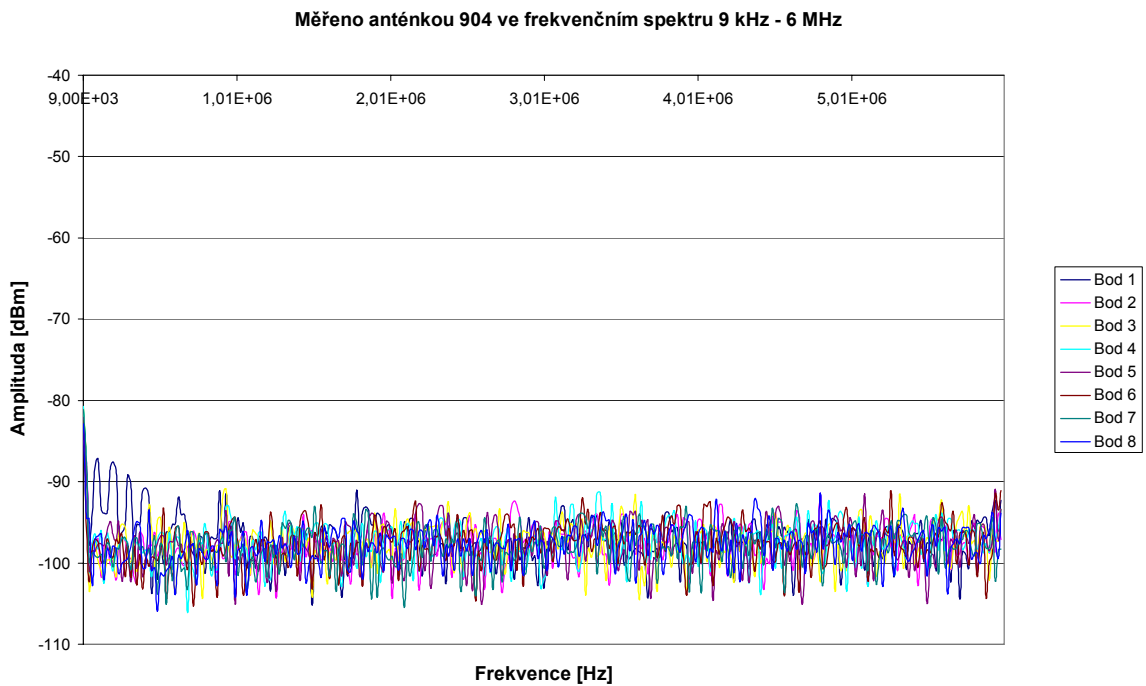
Z porovnání magnetické a elektrické složky elektromagnetického pole vyplývá, že velikost elektrické složky je menší než velikost složky magnetické.

Následně bylo provedeno měření magnetické a elektrické složky elektromagnetického pole kolem vypnutého počítačového monitoru.





Obr. 66. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 6 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole

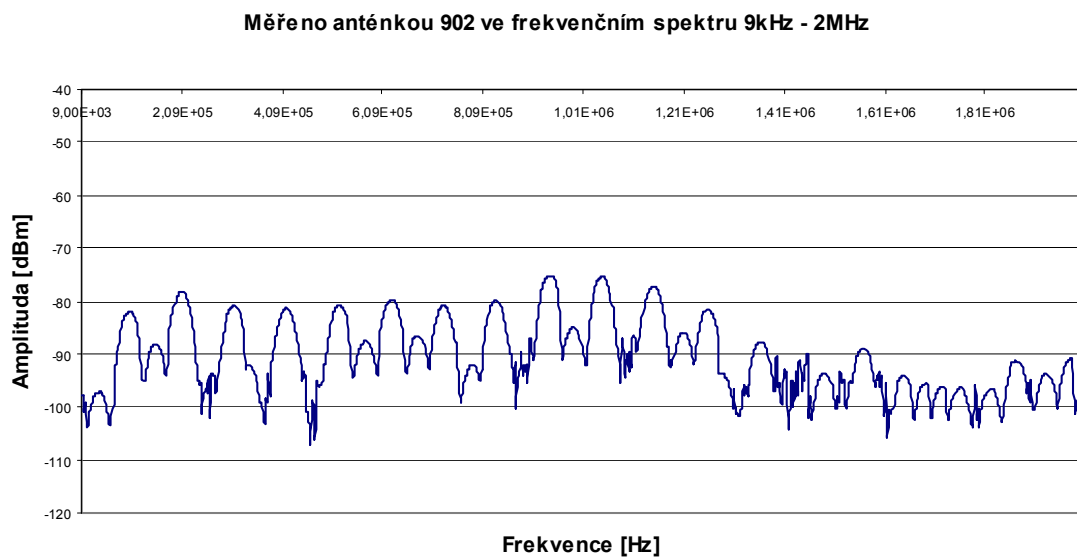


Obr. 67. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 6 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole

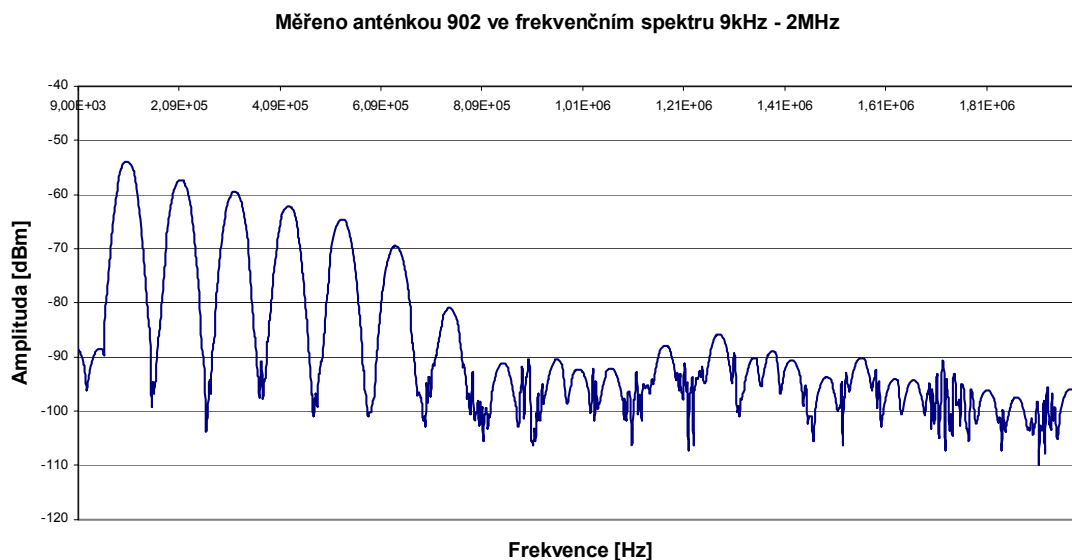
Na obrázcích měření prováděného při vypnutém monitoru je vidět pouze frekvenční šumové pozadí.

Cílem předcházejících měření jenž jsou na obrázcích (Obr. 58 až Obr. 67) bylo zjistit jaké signály se vyskytují kolem zapnutého či vypnutého monitoru ve frekvenčním spektru 9 kHz až 6MHz.

V dalších měřeních byl hledán potenciaální zdroj rušení jenž by mohl způsobovat rozostření obrazu monitoru.



Obr. 68. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 9 kHz – 2 MHz při vypnutém monitoru u napáječe scanneru

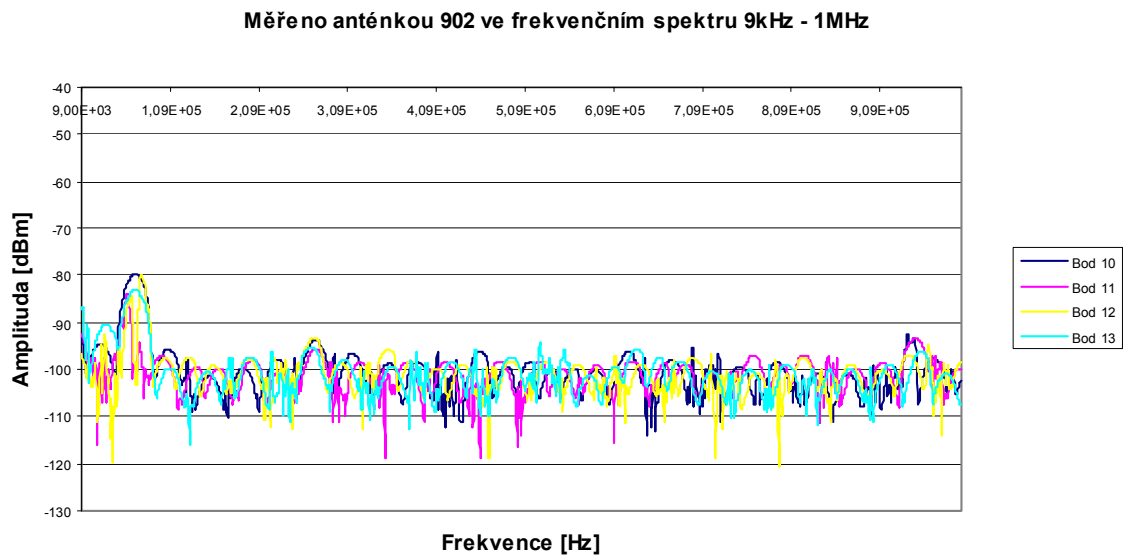


Obr. 69. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 9 kHz – 2 MHz při zapnutém monitoru u napáječe scanneru

Obrázek (Obr. 68) představuje úroveň detekovaného signálu jenž je generován napájecím zdrojem stolního scanneru při vypnutém monitoru, zatímco obrázek (Obr. 69) ukazuje úroveň signálu generovaného napájecím zdrojem stolního scanneru při zapnutém monitoru. Při porovnání obrázků (Obr. 68 a Obr. 69) je vidět, že úrovně signálů detekovaných z monitoru překryje úrovně signálů jenž vychází z napájecího zdroje scanneru.

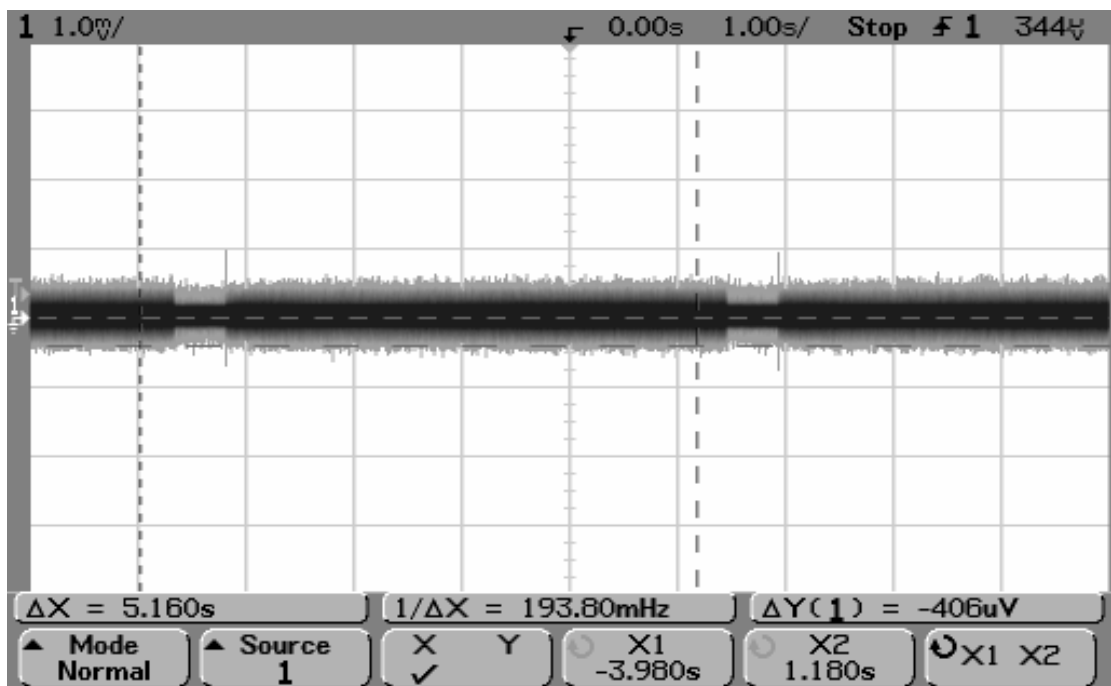
Místo měření je naznačeno na schématu (Obr. 57) jako bod 9.

Dále byly měřeny signály kolem rozvodných lišt elektrického napětí. Měření bylo provedeno ve 4 bodech (bod 10 – 13) vyznačených na obrázku (Obr. 57). Na obrázku (Obr. 70) jsou zobrazeny hodnoty šumového pozadí okolních signálů, které se pohybují v rozmezí -110 dBm až -100 dBm. V grafu je vidět, že se lištou s kabely šíří signál jehož úroveň je větší než úroveň okolního šumu a pohybuje se kolem hodnoty -80 dBm

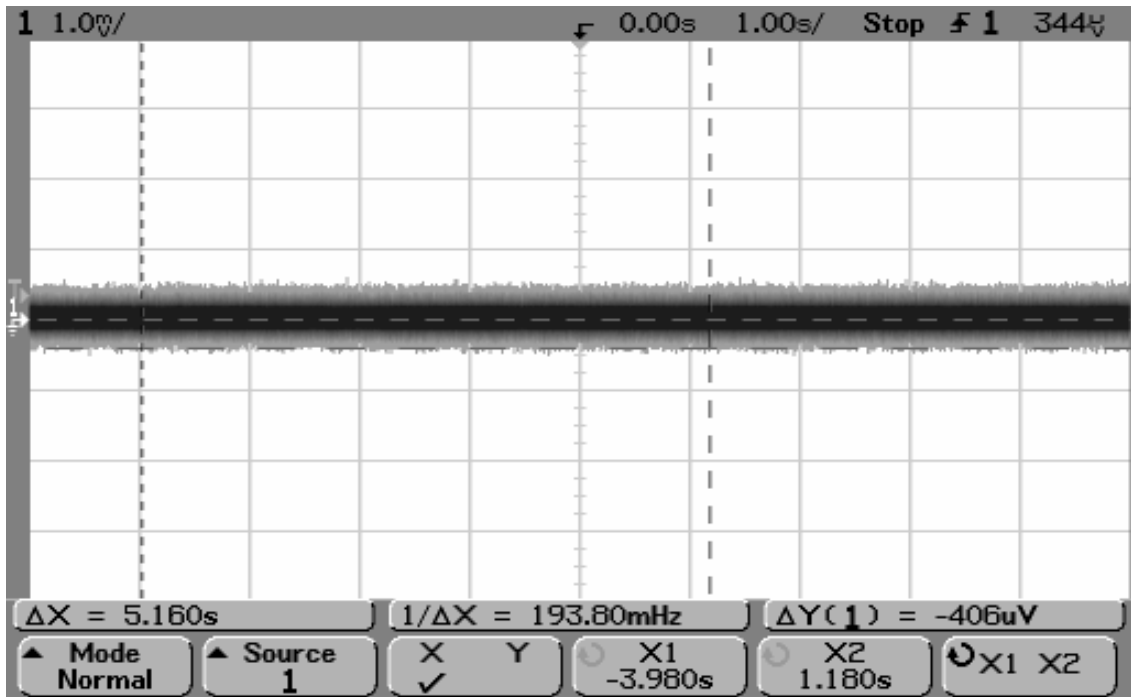


Obr. 70. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 9 kHz – 1 MHz u rozvodných lišt

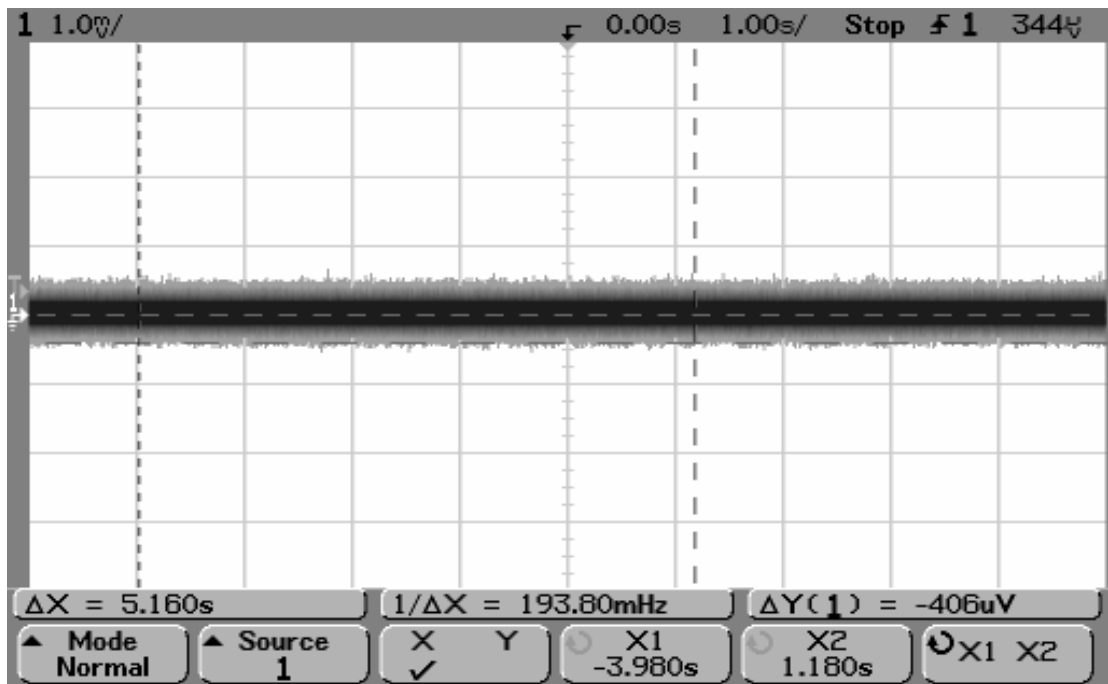
Jelikož ve vyšších frekvencích nebyl nalezen signál jenž by způsoboval chvění obrazu monitoru, byla provedena měření frekvencí pod hodnotou 9 kHz. Tato měření byla provedena pomocí paměťového osciloskopu s označením 54622D (výrobce: Agilent) a anténou 901 pro měření magnetické složky elektromagnetického pole. Měření bylo provedeno okolo celého monitoru.



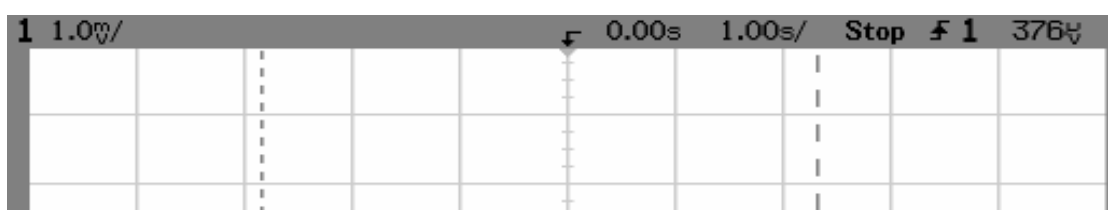
Obr. 71. Zapnutý monitor, UPS, PC, scanner



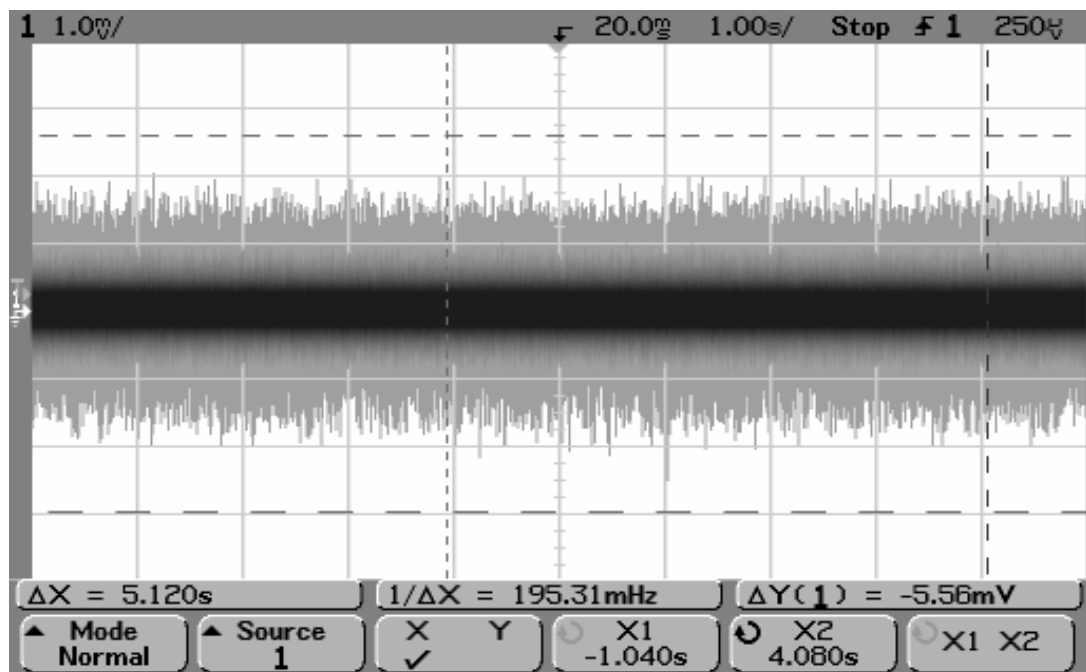
Obr. 72. Vypnutý monitor a UPS, zapnutý PC a scanner



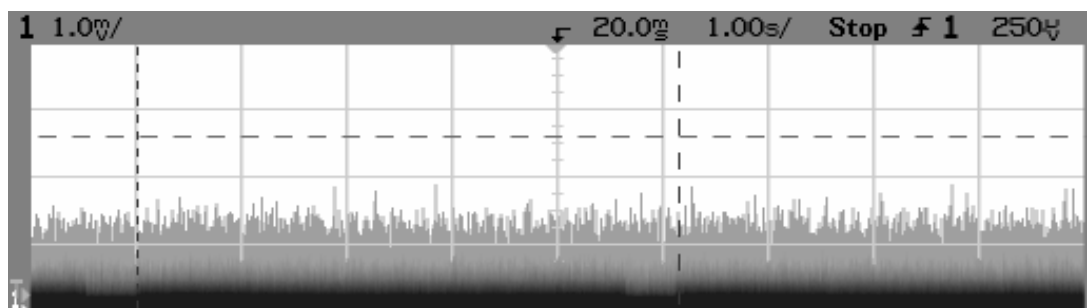
Obr. 73. Vypnutý monitor, UPS, PC a scanner



Obr. 74. Vypnutý monitor, PC a scanner, zapnuté UPS



Obr. 75. Vypnuté UPS, zapnutý monitor, PC a scanner



Obr. 76. Zapnutý monitor, PC, scanner a UPS

Měření bylo prováděno nejprve se zapnutým UPS zdrojem k němuž byl připojen osobní počítač a již zmíněný monitor. Následně PC a monitor byl zapojen zvlášť (nebyly připojeny přes UPS). Na obrázcích (Obr. 71,

Obr. 74 a Obr. 76) je patrné, že při zapnutém UPS se objevoval rušivý signál, který způsoboval chvění monitoru v rozích. Signál se opakoval s periodou 5,160 s. (viz.

Obr. 74) a této periodě odpovídal i nástup zachvívání v rozích monitoru, což je jev který bylo požadováno omezit. Naopak při vypnutém UPS zdroji jenž je na obrázcích (Obr. 72, Obr. 73 a Obr. 75) rušivý signál nebyl vidět. Pozorováním obrazu monitoru bylo potvrzeno, že při zapnutém UPS se v pravém rohu monitoru obraz chvěl, zatímco při vypnutém UPS zůstal nehybný.

Místo v němž byl nalezen signál, který způsobuje rušení a v důsledku toho rozkmit obrazu monitoru je znázorněn na obrázku (Obr. 57) tečkou .

## 8 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pomocí antén pro blízká elektromagnetická pole, byla měřena střídavá elektromagnetická pole kolem počítačové techniky, a to vždy pro každou složku zvlášť (magnetickou, elektrickou). Měření byla prováděna v místnosti neodstíněné vůči elektromagnetickým polím, proto byla před každým měřením změřena tzv. referenční frekvenční spektra elektromagnetického pozadí v měřicím pracovišti. První takto naměřená spektra jsou na obrázcích (Obr. 77 a Obr. 78) v příloze. Z obrázků vyplývá, že okolní frekvenční pozadí pro oblast frekvenčních spekter 10 kHz až 1,01 MHz u obou složek elektromagnetického pole se pohybovala v rozmezí amplitud  $-110$  až  $-100$  dBm. Po té bylo v rozmezí frekvenčního spektra 10 kHz až 1,01 MHz změřeno vyzařování signálů magnetického a elektrického pole u CRT a LCD monitorů.

Z grafů na obrázcích (Obr. 40 až Obr. 43) vyplývá, že dolní mez signálů se u jednotlivých složek elektromagnetického pole pohybuje v rozmezí naměřených referenčních spekter (tj. v rozmezí  $-110$  až  $-100$  dBm). Horní meze signálu dosahovaly hodnot  $-90$  dBm a více. Při porovnání obrázků (Obr. 40 a Obr. 41) magnetického a obrázků (Obr. 42 a Obr. 43) elektrického pole je patrné, že se vzrůstající vzdáleností sondy od monitoru se úroveň signálu zmenšuje. Při měření magnetického a elektrického pole citlivými sondami je z obrázků (Obr. 40 až Obr. 43) vidět, že se tato pole vyskytují s různou intenzitou kolem celého monitoru, ale nelze zaměřit přesné umístění zdroje signálu. Proto byly pro další měření použity méně citlivé antény s nimiž se podařilo zaměřit místa s největšími úrovněmi vyzařovaných signálů viz obrázek (Obr. 44). Průběhy spekter získaných méně citlivými anténami se v těchto místech příliš neliší od těch získaných citlivějšími anténami. Lze tedy předpokládat, že jde skutečně o umístění zdrojů signálů.

Jako další byla měřena frekvenční spektra u LCD monitoru a to nejprve ve stejných rozmezích jako u monitoru CRT. Na obrázcích (Obr. 45 a Obr. 46) jsou vykreslena spektra pro jednotlivé složky elektromagnetického pole. Při jejich porovnání s obrázky (Obr. 77 a Obr. 78) referenčních spekter zjistíme, že úroveň vyzařování signálů na měřenou vzdálenost (30 cm) je minimální a odpovídá úrovni signálu pozadí. Proto byla změřena spektra přímo na povrchu monitoru.

Protože tato měření byla prováděna v jiný den, byla proměřena nová referenční spektra v rozmezí 9 kHz až 100 MHz viz obrázky v příloze (Obr. 83 a Obr. 84). Hodnota pozadí v těchto spektrech byla nižší než u prvních referenčních spekter a navíc je zde pik o frek-



venci 91,7 MHz, který odpovídá vysílací frekvenci místní rozhlasové stanice. (To svědčí o nedostatečném odstínění pracoviště). Spektra magnetické složky naměřená přímo na povrchu LCD monitoru v rozmezí 9 kHz – 100 MHz se kromě řady 1 podstatně nelišila od úrovně amplitudy naměřeného referenčního spektra. Spektra elektrické složky jsou při určitých frekvencích asi o 10 jednotek vyšší než je pozadí. A i zde je patrný pík odpovídající vysílací frekvenci místní rozhlasové stanice. Z naměřených dat vyplývá, že LCD monitor vyzařuje v daném rozsahu frekvenčního spektra jen minimálně. Z vyšší úrovně řady 1 v grafech u magnetické složky též vyplývá, že zdroj signálu je u horní hrany monitoru.

Ve stejný den byla proměřována i vyzařovaná spektra signálů u myši, klávesnice a notebooku, proto se k nim vztahují stejná referenční spektra.

Spektra signálů magnetických polí pro jednotlivé počítačové myši jsou na obrázcích (Obr. 51, Obr. 52, Obr. 92, Obr. 93). Myš A4Tech vyzařuje jen na pěti izolovaných frekvencích. Ze srovnání vyplývá, že úroveň vyzařovaného magnetického pole u myši A4Tech je celkově menší než u myši Genius. Spektra signálů elektrických polí u obou myši odpovídají úrovni signálu pozadí. A i zde je patrný pík odpovídající vysílací frekvenci místní rozhlasové stanice.

Z obrázků (Obr. 54 a Obr. 94) vyplývá, že úroveň vyzařovaného signálu u magnetického i elektrického střídavého pole klávesnice odpovídá úrovni signálu pozadí.

Úroveň signálů magnetického pole notebooku se liší podle pořadí sloupce. Celková úroveň signálu zprava doleva (od sloupce 1 ke sloupci 8) klesá. Ve sloupci 1 až 3 je také patrný prudký pokles úrovně signálu přibližně při 40 MHz. U dalších sloupců tento pokles není tak výrazný, případně nastává dříve. Elektrická složka se pohybuje ve stejné úrovni jako naměřené referenční spektrum. Zvýšená úroveň vyzařovaného signálu je jen mezi 30 až 50 MHz.

Příkladem praktické aplikace uvedených měření bylo zjišťování zdroje rušení, který způsoboval rozkmit a zašumění obrazu monitoru. Byla proměřována elektromagnetická spektra v rozsahu 9 kHz – 6 MHz. Rozsah byl zvolen na základě znalosti obrazové frekvence (do 6 MHz) a nejnižší frekvence kterou detekuje spektrální analyzátor (9 kHz). Výsledky měření jsou uvedeny v oddílu 7. Jelikož ve vyšších frekvencích nebyl nalezen signál jenž by způsoboval chvění obrazu monitoru, byla provedena měření frekvencí pod hodnotou 9

kHz. Tato měření byla provedena pomocí paměťového osciloskopu, nejprve se zapnutým UPS zdrojem, k němuž byl připojen osobní počítač a již zmíněný monitor, následně s vypnutým UPS zdrojem, PC a monitor byly zapojeny zvlášť. Na obrázcích (Obr. 71,

Obr. 74 a Obr. 76) je patrné, že při zapnutém UPS se objevoval rušivý signál, který způsoboval chvění monitoru v rozích. Signál se opakoval s periodou 5,160 s. (viz

Obr. 74) a této periodě odpovídal i nástup zachvívání v rozích monitoru. Naopak při vypnutém UPS zdroji (Obr. 72, Obr. 73 a Obr. 75) rušivý signál nebyl vidět. Pozorováním obrazu monitoru bylo potvrzeno, že při zapnutém UPS se v pravém rohu monitoru obraz chvěl, zatímco při vypnutém UPS zůstal nehybný.

Dále bylo provedeno srovnání útlumu vzorků různých materiálů. Nejprve byla srovnávána magnetická složka. Útlum magnetického pole u vzorku 1 byl větší byl-li uzemněný. U vzorků 2 až 4 se stoupající frekvencí v rozmezí 900 až 2000 MHz je útlum uzemněného vzorku větší. U všech vzorků s rostoucí frekvencí v rozsahu 900 až 1300 MHz útlum klesá. V rozsahu 1300 – 2000 útlum u všech vzorků roste a v rozsahu 2000 až 2600 útlum zase klesá. Dále byla srovnávána elektrická složka. U neuzemněných a uzemněných vzorků byl útlum přibližně stejný a jak se v závislosti na frekvenci signálu měnil je zřejmé z obrázků (Obr. 107 až Obr. 110) v příloze. Na základě naměřených hodnot nelze tvrdit, který ze vzorků celkově tlumí signál nejlépe, protože velikost útlumu je závislá na frekvenci signálu.

## ZÁVĚR

Tato práce seznamuje s vyzařováním elektromagnetických vln z výpočetní a měřicí techniky, způsobem sběru dat pomocí spektrálního analyzátoru FS 300 od Rohde&Schwarz a byl k němu vytvořen jednoduchý program pro snadné načítání a archivaci hodnot amplitud frekvenčních spekter.

Bylo vytvořeno měřící pracoviště a změřeny okolní elektromagnetické signály v rozsahu 9 kHz až 100 MHz jenž jsou na obrázcích (Obr. 83 a Obr. 84) v příloze.

Dále byla provedena analýza vyzařovaných polí nejen z CRT a LCD monitorů, ale i z další počítačové techniky. Při ní bylo zjištěno, že okolní frekvenční pozadí pro oblast frekvenčních spekter 10 kHz až 1,01 MHz u obou složek elektromagnetického pole se pohybovala v rozmezí amplitud – 110 až – 100 dBm, v tomto rozmezí se pohybovala také frekvenční spektra obou složek u LCD monitoru ve vzdálenosti 30 cm. Naopak u CRT monitoru je velikost vyzařovaného signálu až o 40 dB větší než u LCD monitoru, CRT monitor tedy vyzařuje více než LCD monitor a se vzrůstající vzdáleností sondy od monitoru se úroveň signálu zmenšuje. Díky použití méně citlivých sond byla u CRT monitoru určena pravděpodobná umístění zdrojů těchto signálů. I při měření spekter přímo na povrchu LCD monitoru bylo jeho vyzařování mnohem nižší než CRT monitoru.

Ze srovnání vyzařování u myši vyplývá, že úroveň vyzařovaného střídavého magnetického pole v celém spektru u myši A4Tech je celkově menší než u myši Genius. Velikost střídavého elektrického pole těchto myši je rozsahově stejná.

Úroveň signálu u střídavého magnetického i elektrického pole klávesnice odpovídá úrovni signálu pozadí.

U notebooku bylo zjištěno, že intenzita signálu střídavého magnetického pole klesá zprava doleva (tedy od sloupce 1 po sloupec 8). Intenzita střídavého elektrického pole je nízká.

Při zjišťování příčin rozkmitu obrazu u monitoru byla porovnáována naměřené frekvenční spektra u CRT monitoru na grafickém pracovišti se spektry naměřenými v laboratoři. Spektra byla porovnána v rozsahu 10 kHz až 1,01 MHz. Bylo zjištěno, že mají podobný průběh. Při následujícím měření pod frekvencí 9 kHz a pozorováním bylo zjištěno, že zdrojem rušení jenž způsobuje rozkmit obrazu monitoru je UPS zdroj umístěný na stole pod monitorem a proto bylo doporučeno umístit tento zdroj do větší vzdálenosti od monitoru.

Při zkoumání tlumícího efektu u jednotlivých materiálů a na základě naměřených hodnot nelze jednoznačně tvrdit, který ze vzorků celkově tlumí signál nejlépe, protože velikost útlumu je závislá na frekvenci signálu.

Všechny naměřené hodnoty průběhů amplitud střídavých elektromagnetických polí ve frekvenčních spektrech mají pouze informativní charakter. Popis povolených úrovní vyzařovaných signálů a způsoby jejího měření u tzv. informační techniky udává norma ČSN EN 55022. Dalšími důležitými normami je norma ČSN EN 50091-1 a ČSN EN 50091-2. Norma v první části specifikuje požadavky na EMC – nízkofrekvenční a vysokofrekvenční rušení u nepřerušovaného napájení (UPS) a v druhé části specifikuje požadavky EMC – na odolnost nepřerušovaného napájení (UPS).

V této práci jsou splněny všechny body zásad pro vypracování kromě bodu posledního. Tento bod se týká vypracování vhodného zobrazení prostorového rozložení elektromagnetického pole. Tento bod nebylo z důvodů časové náročnosti a komplikovanosti problému možno splnit.

Technika měření je již zvládnuta, proto bych doporučoval zabývat se dále problémem zobrazování elektromagnetických polí v 3D prostoru a jejich modelováním na počítači.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] J. Svačina : Elektromagnetická kompatibilita. 1.vyd. Brno: VUT Brno, 2001.  
ISBN 80-214-1873-7
- [2] P.Vaculík: Elektromagnetická kompatibilita pro každého: EMC - mýtus nebo skutečná hrozba? Elektroinstalatér. 2006, číslo.1
- [3] Svačina J. (2001), *Základy elektromagnetické kompatibility*, VUT Brno.
- [4] Ivanka, J.: *Interferenční zdroje rušení a jejich technické charakteristiky*. In: Security magazín, Roč.XIII, vyd. 63, 1/2006, vyd. Familymedia, Praha, 2006, str. 2-3, ISSN 1210 – 8723
- [5] Firemní literatura fy Rohde&Schwarz
- [6]Sengupta D.L., Liepu V.V.: *Applied Electromagnetics and Electromagnetic Compatibility*. vyd. John Wiley&Sons, Hobokem, New Jersey. 2006
- [7]Monitory online, Dostupný z WWW:  
< <http://hardware.mysteria.cz/data/monitor.htm>>
- [8]Ivanka, J.: *Měření elektromagnetické interference v měřících a měřených systémech zabezpečovací techniky*. In.: Security magazín, Roč. XIII, vyd. 63, 2 / 2006, vyd. Familymedia, Praha, 2006, str. 59 – 60, ISSN 1210 – 8723
- [9]LCD versus CRT monitory , Dostupný z WWW:  
<[http://www.computerweb.cz/lcdmonitory/jak\\_vybirat\\_lcd.php?typ=2&PHPSESSID=453dccb82d1dad176ff3a21af402aac6](http://www.computerweb.cz/lcdmonitory/jak_vybirat_lcd.php?typ=2&PHPSESSID=453dccb82d1dad176ff3a21af402aac6)>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A	Atenuátor, dělič napětí.
AK	Absorpční kleště.
AM/FM	Amplitudová/frekvenční modulace
B, $\Delta B$	magnetická indukce
C	Kapacita, kondenzátor.
C	Kondenzátor.
CB radio	Citizen Band radio
CRT	,z anglického "Cathode Ray Tube" katodová trubice
D	Demodulátor.
dBm	decibel na miliWatt
di/dt	Derivace proudu podle času.
d $\Phi$ /dt	Derivace magnetického toku podle času
E	Intenzita elektrického pole.
EKG	Elektrokardiogram.
EMC	Elektromagnetická kompatibilita, z anglického " <i>Electromagnetic Compatibility</i> ".
EMI	Elektromagnetická interference, z anglického " <i>Electromagnetic Compatibility</i> ".
EMS	Elektromagnetická susceptibilita, z anglického " <i>Electromagnetic Susceptibility</i> ".
E <sub>r</sub>	Intenzita rušivého elektrického pole.
ESD	Elektrostatický výboj, z anglického " <i>Electrostatic Discharge</i> ".
E <sub>x</sub>	Intenzita elektrického pole ve vzdálenosti x od zdroje.
f	frekvence
F <sub>1</sub>	Preselektor, pásmový filtr vysokofrekvenční.

$F_2$	Pásmový filtr mezirekvenční.
G	Generátor.
$H, \Delta H$	Intenzita proudu.
$H_r$	Intenzita rušivého magnetického pole.
I	Indikátor, mikrovoltmetr.
$I, \Delta I$	Proud.
$I_r$	Rušivý proud.
$I_{rP}$	Primární rušivý proud.
J	zkratka jednotky Joule
L	Indukčnosti.
l	Délka.
LCD	Zobrazovací jednotka z tekutých krystalů “ <i>liquid crystal display</i> “.
$l_{ef}$	Efektivní délka.
LEMP	Strmý elektromagnetický impuls, z anglického “ <i>Lightning Electromagnetic Pulse</i> “.
LISN	Umělá zátěž vedení.
MO	Místní oscilátor.
MR	Měřič rušení.
P	Výkon
PAL	Přenosová soustava, standard pro televizní vysílání užívaný v Evropě
$P_r$	Rušivý výkon.
$p_r$	Hustota vyzářeného výkonu rušivé signálu.
PS	Proudová sonda.
R	Značka odporu.
r	Poloměr

---

S	Plocha smyčky.
SM	Směšovač.
t, $\Delta t$	čas
u	Napětí.
UPS	,z anglického “ <i>universal power source</i> “
$U_r$	Rušivé napětí.
$U_{rS}$	Sekundární rušivé napětí.
$U_z$	Zemní napětí.
vn	Vysoké napětí.
vvn	Velmi vysoké napětí.
Z	Mezifrekvenční zesilovač.
$Z_i$	Náhradní impedance.
ZO	Zkoušený objekt.
$\Delta\Phi, \Phi$	magnetický tok
$\lambda$	Vlnová délka.
$\mu_0$	permeabilita vakua



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí .....	17
Obr. 2. Příklady různého vzájemného působení rušivých signálů.....	18
Obr. 3. Základní členění problematiky EMC .....	19
Obr. 4. K definici úrovní a mezí vyzařování a odolnosti.....	22
Obr. 5. Optimalizace finančních nákladů pro zajištění EMC zařízení .....	23
Obr. 6. Klasifikace interferenčních signálů .....	25
Obr. 7. Typické projevy rušivých signálů v síťovém napájecím napětí .....	27
Obr. 8. Oscilogramy rušivých napětí .....	28
Obr. 9. Deformace síťového napětí vlivem diodového usměrňovače a tyristorových měničů .....	29
Obr. 10. Rozmezí ničivé energie pro různé součástky a zařízení.....	31
Obr. 11. Kmitočtové spektrum vyzařované TV kabelovým rozvodem.....	32
Obr. 12. Základní druhy elektromagnetických vazeb.....	33
Obr. 13. Galvanická vazba společnou impedancí.....	34
Obr. 14. Galvanická parazitní vazba uzavřenou zemní smyčkou.....	34
Obr. 15. Parazitní kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů.....	35
Obr. 16. Parazitní kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem a její možný vznik v číslicových obvodech .....	36
Obr. 17. Kapacitní vazba vůči zemi.....	36
Obr. 18. Způsoby omezení induktivní vazby.....	38
Obr. 19. Omezení parazitních vazeb mezi souběžnými kabely jejich separátním vedením ve stíněných sekcích. ....	39
Obr. 20. Princip vazby elektromagnetickým vyzařováním .....	40
Obr. 21. Způsoby šíření rušivých elektromagnetických signálů .....	42
Obr. 22. a) Přehled způsobů měření rušivých elektromagnetických signálů; b) příklad vyhodnocení výsledku měření.....	43
Obr. 23. Blokové schéma umělé sítě LISN .....	44
Obr. 24. Schéma zapojení napěťové sondy .....	45
Obr. 25. Měření rušivého proudu proudovou sondou.....	46
Obr. 26. Konstrukce proudové sondy .....	47
Obr. 27. Konstrukce absorpčních kleští.....	48

Obr. 28. Měřicí sondy pro blízké pole.....	50
Obr. 29. Blokové schéma měřiče rušení.....	52
Obr. 30. Technická data sond.....	54
Obr. 31. Sondy pro měření elektrického pole.....	55
Obr. 32. Provedení tzv. „balónkové“ sondy.....	55
Obr. 33. Provedení tzv. „stub“ sondy.....	55
Obr. 34. Přehled sond pro měření magnetického pole.....	56
Obr. 35. Provedení sondy pro měření magnetického pole.....	56
Obr. 36. Spektrální analyzátor R&S FS300.....	57
Obr. 37. Okno programu.....	58
Obr. 38. Okno programu „Spektrum“.....	59
Obr. 39. Měřicí pracoviště.....	62
Obr. 40. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetického pole, $l = 30\text{cm}$ .....	62
Obr. 41. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetického pole, $l = 50\text{cm}$ .....	63
Obr. 42. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole, $l = 30\text{ cm}$ .....	63
Obr. 43. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole, při $l = 50\text{ cm}$ .....	64
Obr. 44. Místa měření u CRT monitoru.....	65
Obr. 45. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetické pole.....	66
Obr. 46. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole.....	66
Obr. 47. Znázorněná měřicích místa na ploše LCD monitoru.....	67
Obr. 48. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 1.....	68
Obr. 49. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření elektrického pole u LCD monitoru – sloupec 5.....	68
Obr. 50. Místa měření u počítačové myši – pohled shora.....	69
Obr. 51. Frekvenční spektrum magnetického pole u počítačové myši A4Tech_OP-620.....	69

Obr. 52. Frekvenční spektrum magnetického pole u počítačové myši Genius_GM-04003P.....	70
Obr. 53. Rozložení měřených míst na klávesnici .....	70
Obr. 54. Frekvenční spektrum magnetického pole klavesnice Genius_GM-04003P.....	71
Obr. 55. Měřící místa na notebooku .....	72
Obr. 56. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 1 .....	72
Obr. 57. Situační náčrt prostoru kolem monitoru .....	75
Obr. 58. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 1,5 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole.....	76
Obr. 59. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 1,5 – 3 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole.....	76
Obr. 60. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 3 – 4,5 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole.....	77
Obr. 61. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 4,5 – 6 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole.....	77
Obr. 62. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 1,5 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole .....	78
Obr. 63. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 1,5 – 3 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole .....	79
Obr. 64. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 3 – 4,5 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole .....	79
Obr. 65. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 4,5 – 6 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole .....	80
Obr. 66. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 6 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole.....	81
Obr. 67. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 6 MHz v měřených místech při měření elektrické složky elektromagnetického pole .....	81
Obr. 68. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 9 kHz – 2 MHz při vypnutém monitoru u napáječe scanneru .....	82
Obr. 69. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 9 kHz – 2 MHz při zapnutém monitoru u napáječe scanneru.....	83

Obr. 70. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 9 kHz – 1 MHz u rozvodných lišt .....	84
Obr. 71. Zapnutý monitor, UPS, PC, scanner .....	84
Obr. 72. Vypnutý monitor a UPS, zapnutý PC a scanner .....	85
Obr. 73. Vypnutý monitor, UPS, PC a scanner .....	85
Obr. 74. Vypnutý monitor, PC a scanner, zapnuté UPS .....	86
Obr. 75. Vypnuté UPS, zapnutý monitor, PC a scanner .....	86
Obr. 76. Zapnutý monitor, PC, scanner a UPS .....	87
Obr. 77. Frekvenční spektrum pozadí magnetického pole na měřícím pracovišti .....	105
Obr. 78. Frekvenční spektrum pozadí elektrického pole na měřícím pracovišti .....	105
Obr. 79. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetického pole (Obr. 44a) .....	106
Obr. 80. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole (Obr. 44a) .....	106
Obr. 81. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetického pole (Obr. 44b) .....	107
Obr. 82. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole (Obr. 44b) .....	107
Obr. 83. Frekvenční spektrum pozadí magnetického pole na měřícím pracovišti .....	108
Obr. 84. Frekvenční spektrum pozadí elektrického pole v na měřícím pracovišti .....	108
Obr. 85. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 2 .....	109
Obr. 86. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 3 .....	109
Obr. 87. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 4 .....	110
Obr. 88. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 5 .....	110
Obr. 89. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 6 .....	111
Obr. 90 Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 7 .....	111

Obr. 91. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 8.....	112
Obr. 92. Frekvenční spektrum magnetického pole u počítačové myši A4Tech_OP-620.....	112
Obr. 93. Frekvenční spektrum magnetického pole u počítačové myši Genius_GM-04003P.....	113
Obr. 94. Frekvenční spektrum elektrického pole klávesnice Genius_GM-04003P.....	113
Obr. 95. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 2 .....	114
Obr. 96. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 3 .....	114
Obr. 97. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 4 .....	115
Obr. 98. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 5 .....	115
Obr. 99. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 6 .....	116
Obr. 100. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 7 .....	116
Obr. 101. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 8 .....	117
Obr. 102. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření elektrického pole u notebooku – všechna místa.....	117
Obr. 103. Útlum magnetického pole u vzorku 1.....	118
Obr. 104. Útlum magnetického pole u vzorku 2.....	118
Obr. 105. Útlum magnetického pole u vzorku 3.....	119
Obr. 106. Útlum magnetického pole u vzorku 4.....	119
Obr. 107. Útlum elektrického pole u vzorku 1 .....	120
Obr. 108. Útlum elektrického pole u vzorku 2 .....	120
Obr. 109. Útlum elektrického pole u vzorku 3 .....	121
Obr. 110. Útlum elektrického pole u vzorku 4 .....	121
Obr. 111. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 1,5 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole.....	122

- Obr. 112. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 1,5 – 3 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole..... 122
- Obr. 113. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 3 – 4,5 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole..... 123
- Obr. 114. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 4,5 – 6 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole..... 123

**SEZNAM TABULEK**

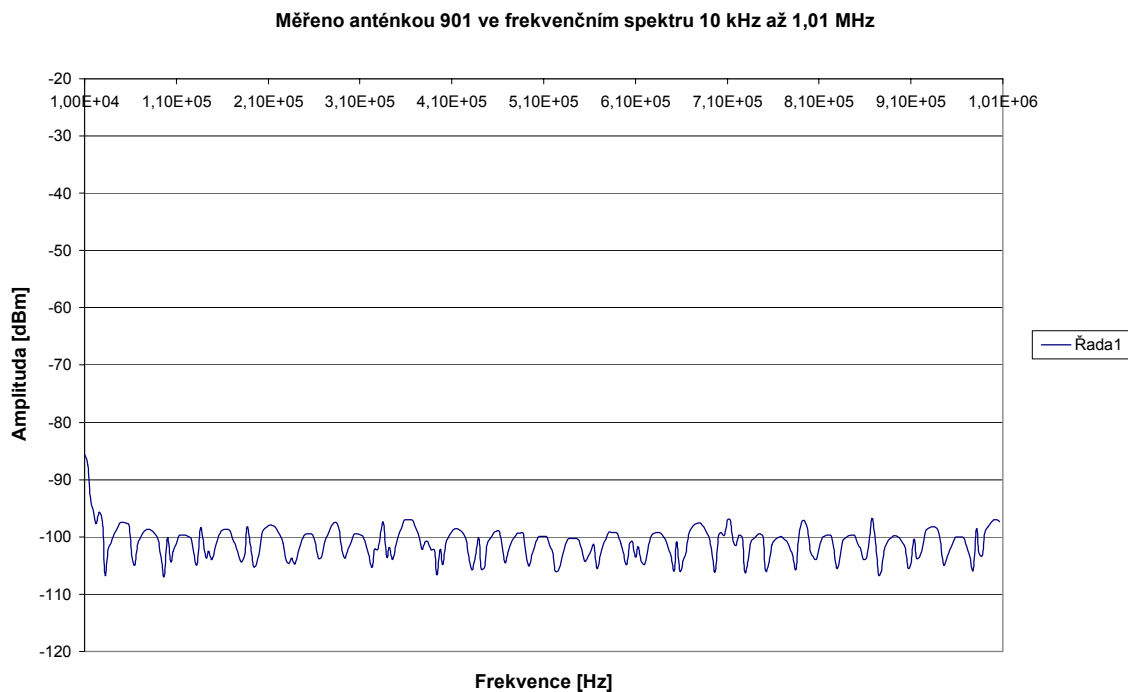
Tab. 1. Nejvyšší přípustné hodnoty indukovaných proudů, absorbovaných výkonů a hustoty ozáření podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 480/2000 Sb. ....	15
Tab. 2. Přehled měřicích antén pro systémy EMI.....	48

## SEZNAM PŘÍLOH

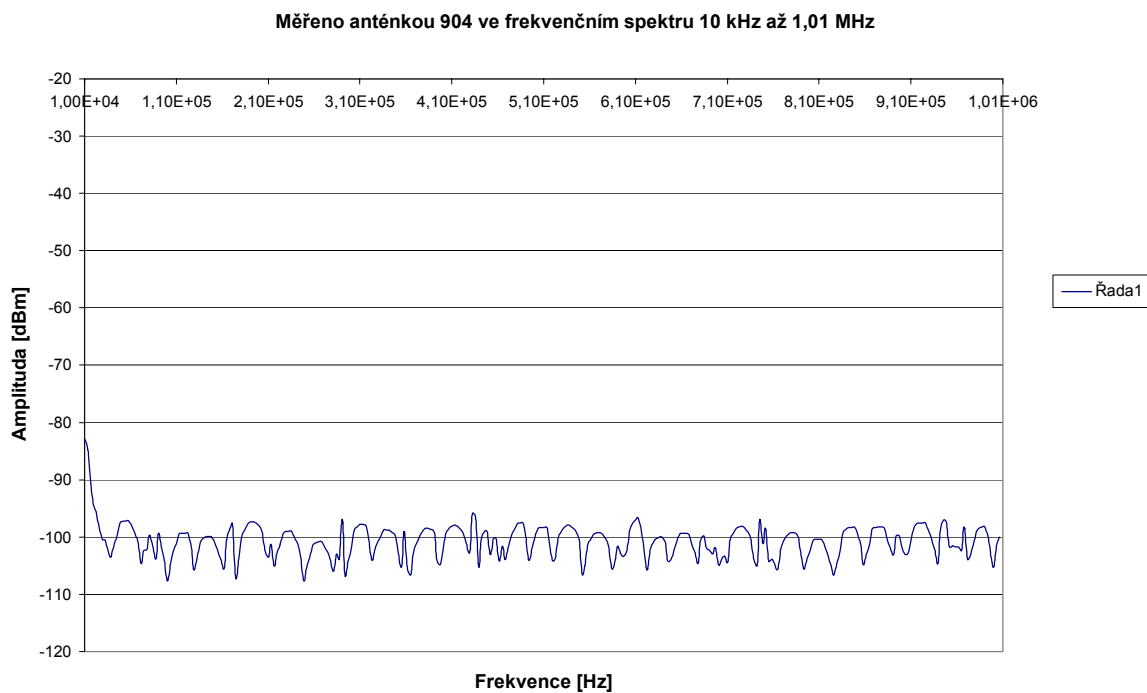
- P I Grafy naměřených frekvenčních spek-  
ter
- P II CD-ROM



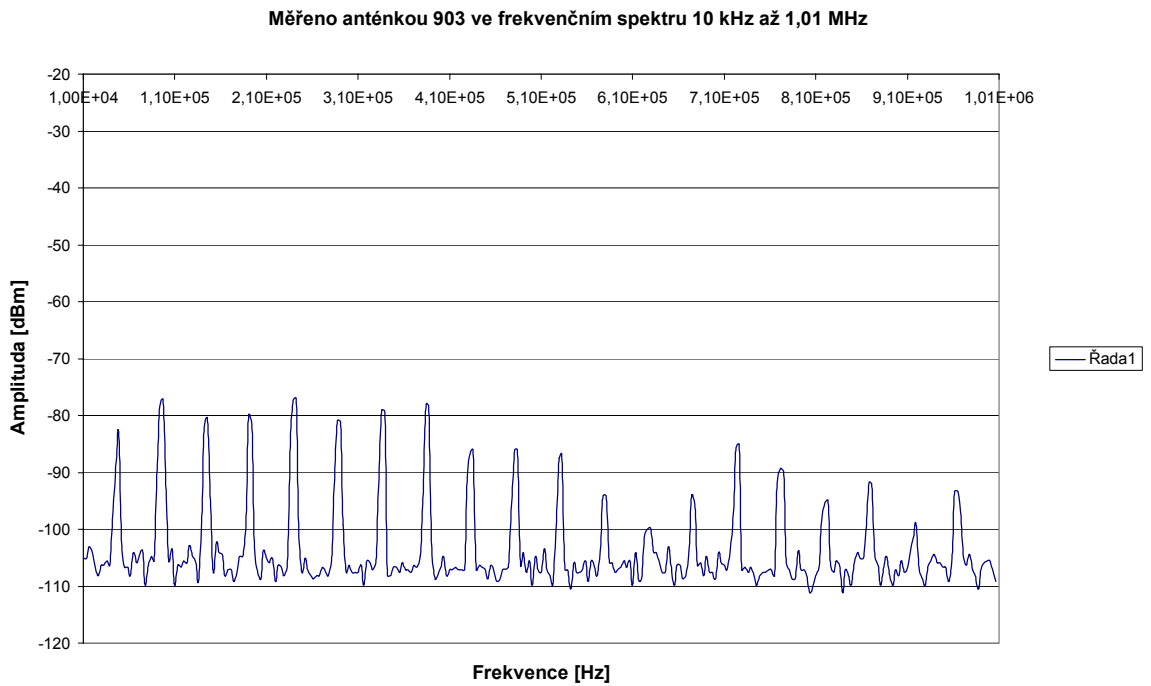
## PŘÍLOHA P I: GRAFY NAMĚŘENÝCH FREKVENČNÍCH SPEKTER



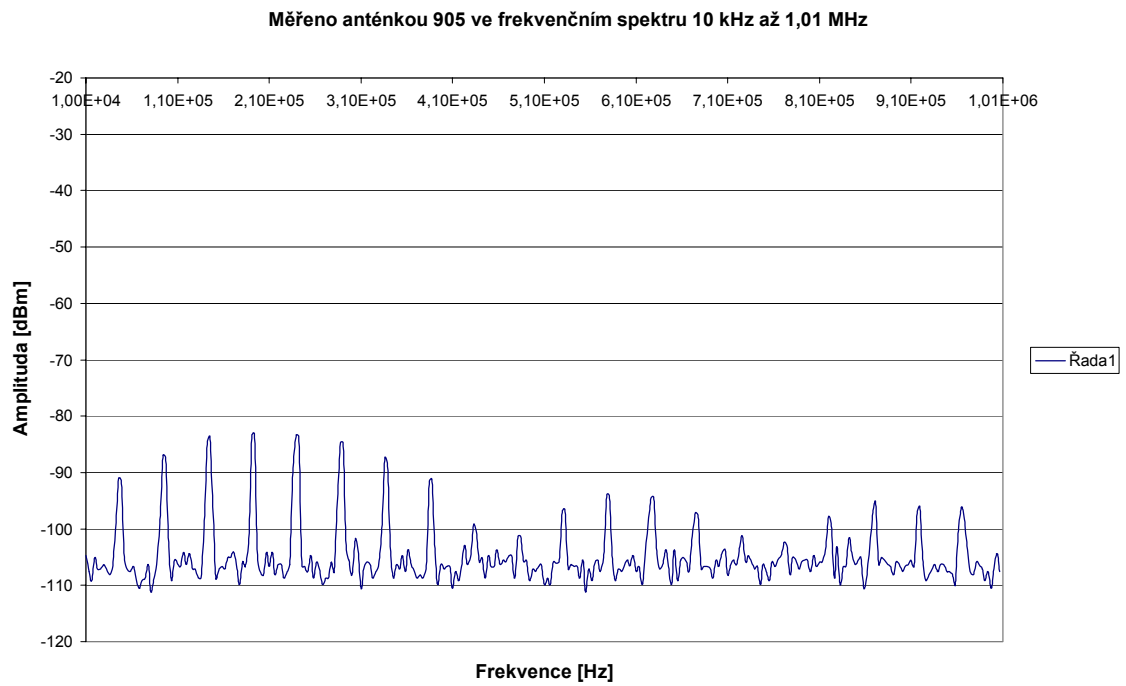
Obr. 77. Frekvenční spektrum pozadí magnetického pole na měřicím pracovišti



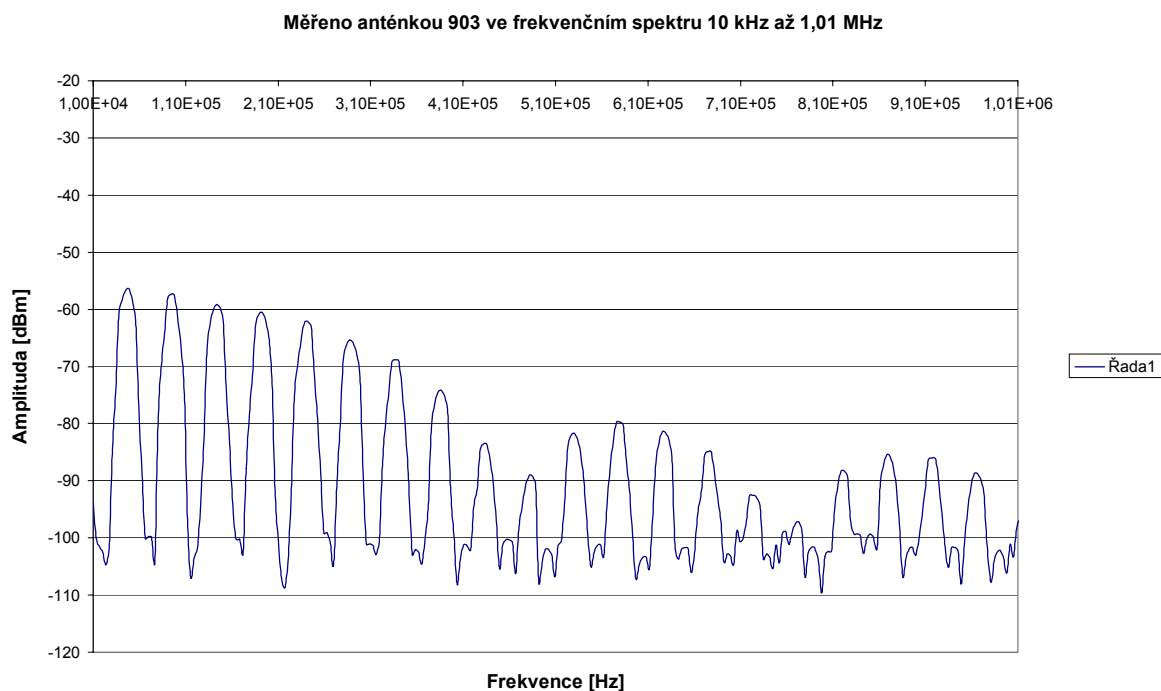
Obr. 78. Frekvenční spektrum pozadí elektrického pole na měřicím pracovišti



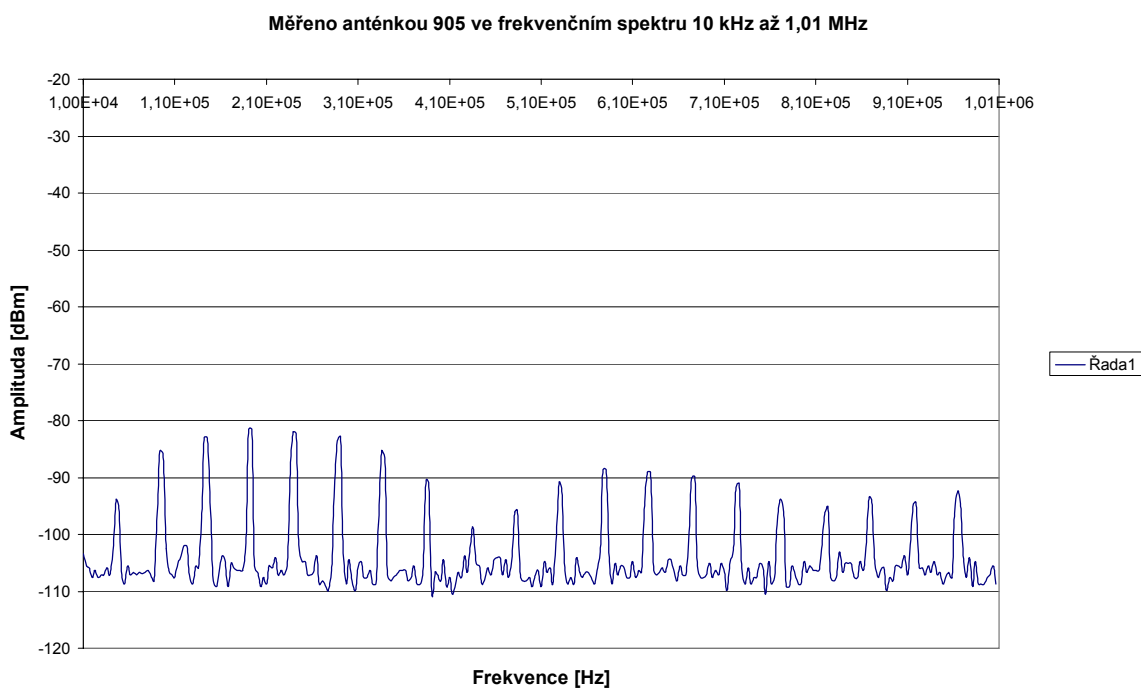
Obr. 79. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetického pole (Obr. 44a)



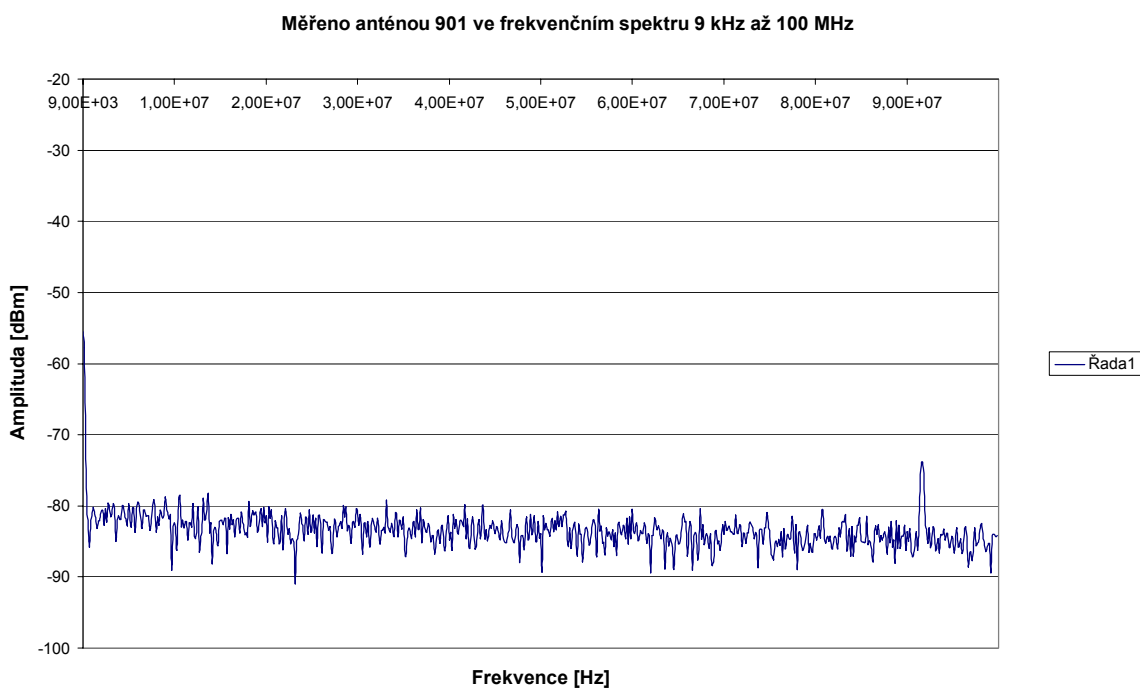
Obr. 80. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole (Obr. 44a)



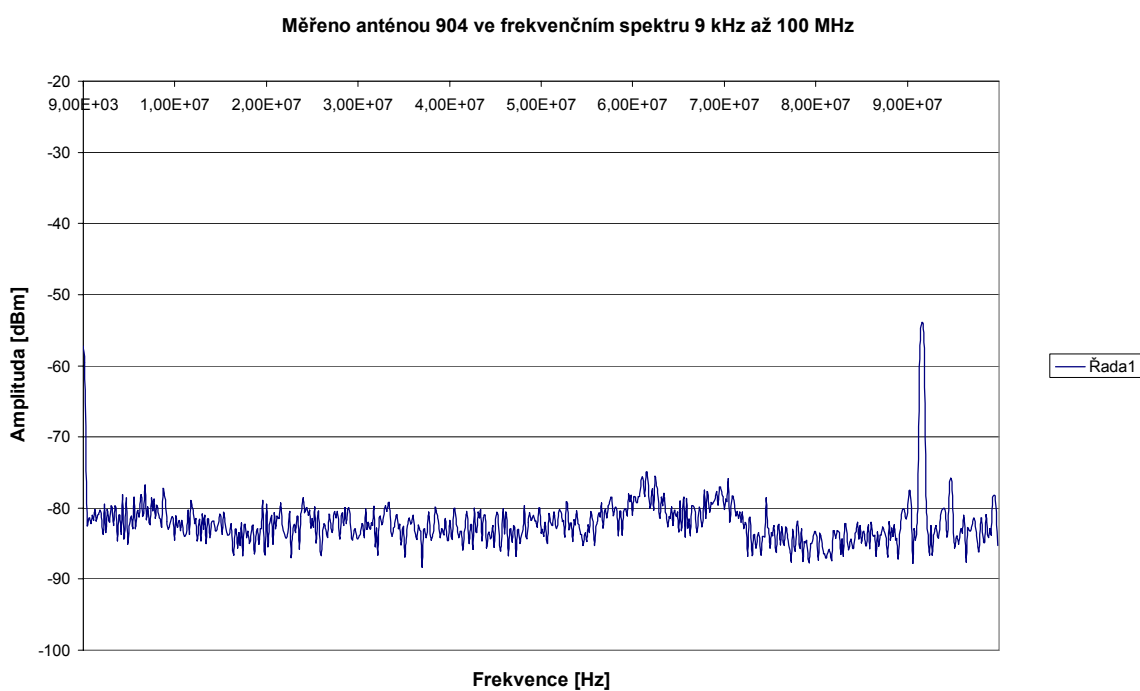
Obr. 81. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření magnetického pole (Obr. 44b)



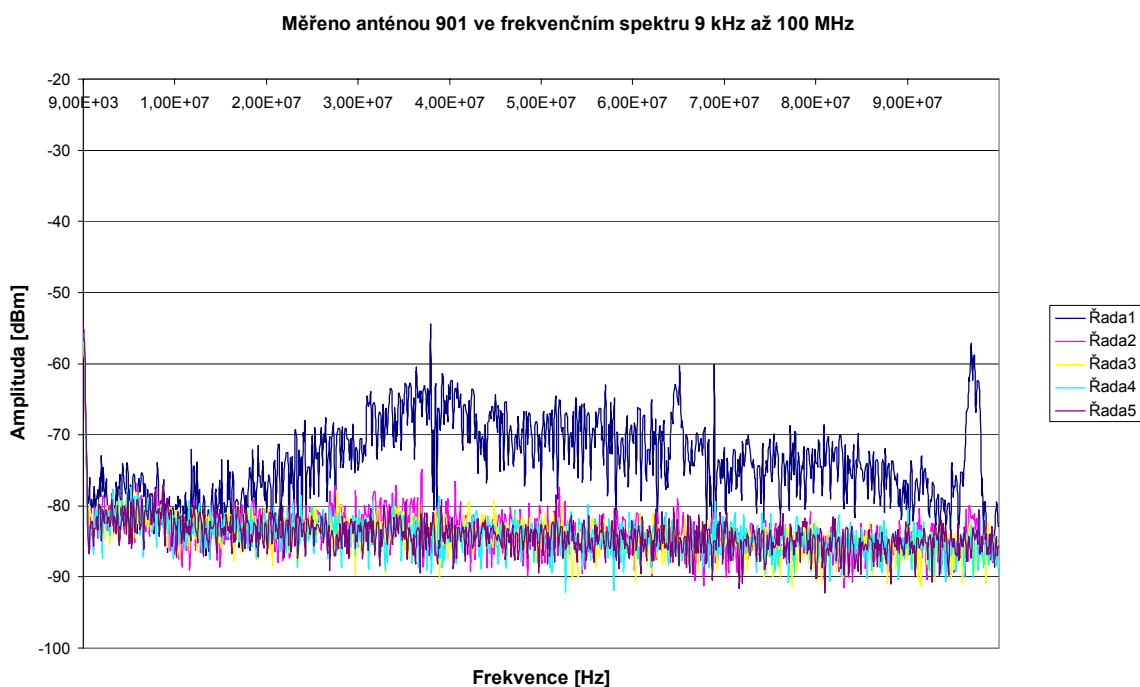
Obr. 82. Průběh amplitudy signálu ve frekvenčním spektru 10 kHz – 1,01 MHz při měření elektrického pole (Obr. 44b)



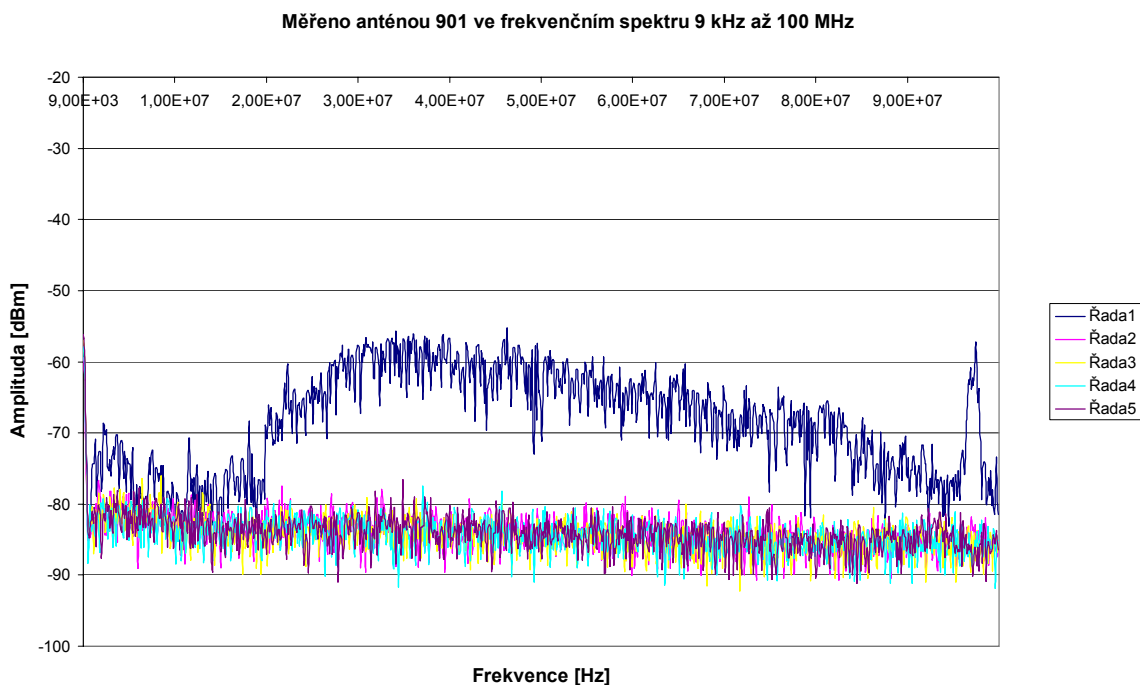
Obr. 83. Frekvenční spektrum pozadí magnetického pole na měřícím pracovišti



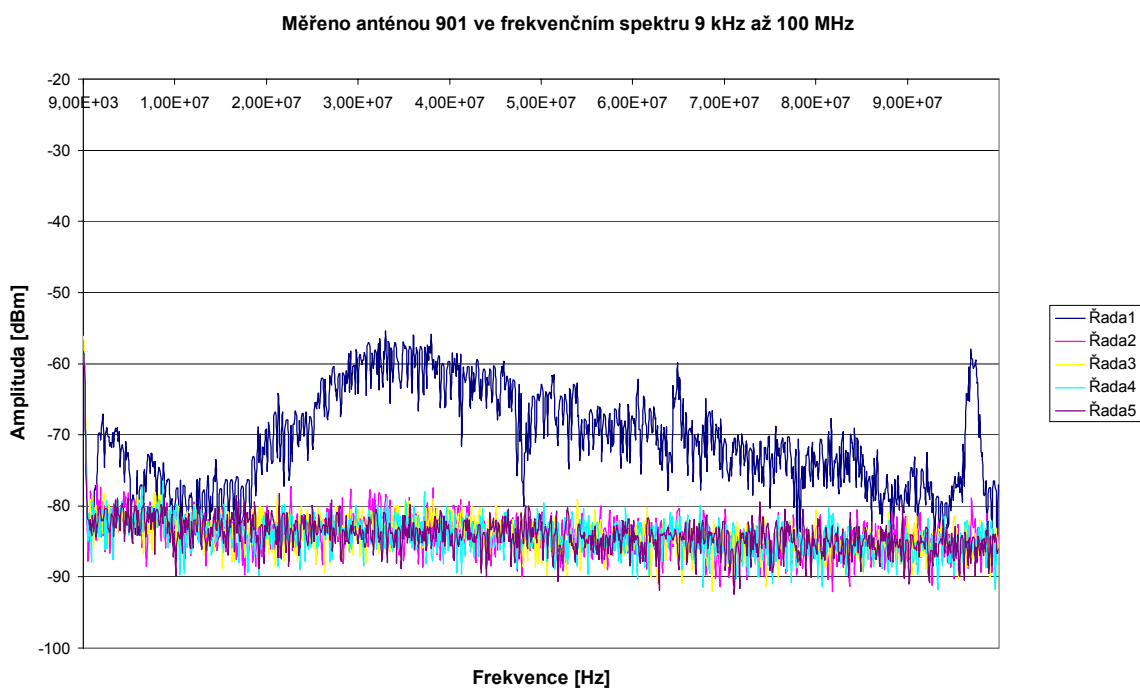
Obr. 84. Frekvenční spektrum pozadí elektrického pole v na měřícím pracovišti



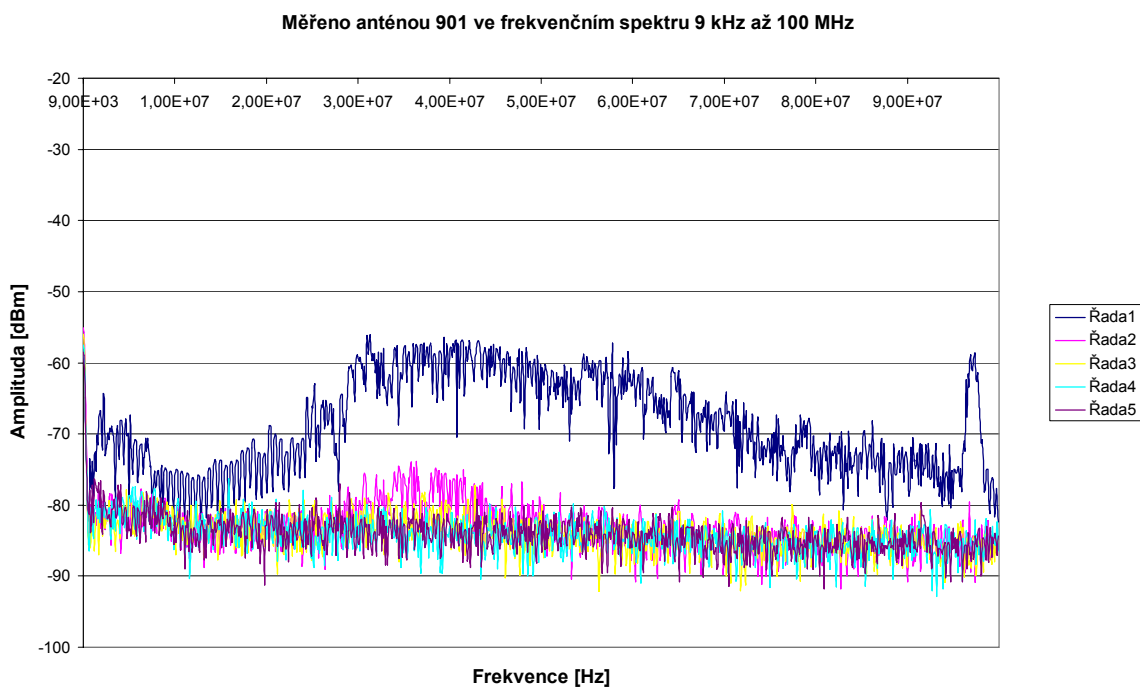
Obr. 85. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 2



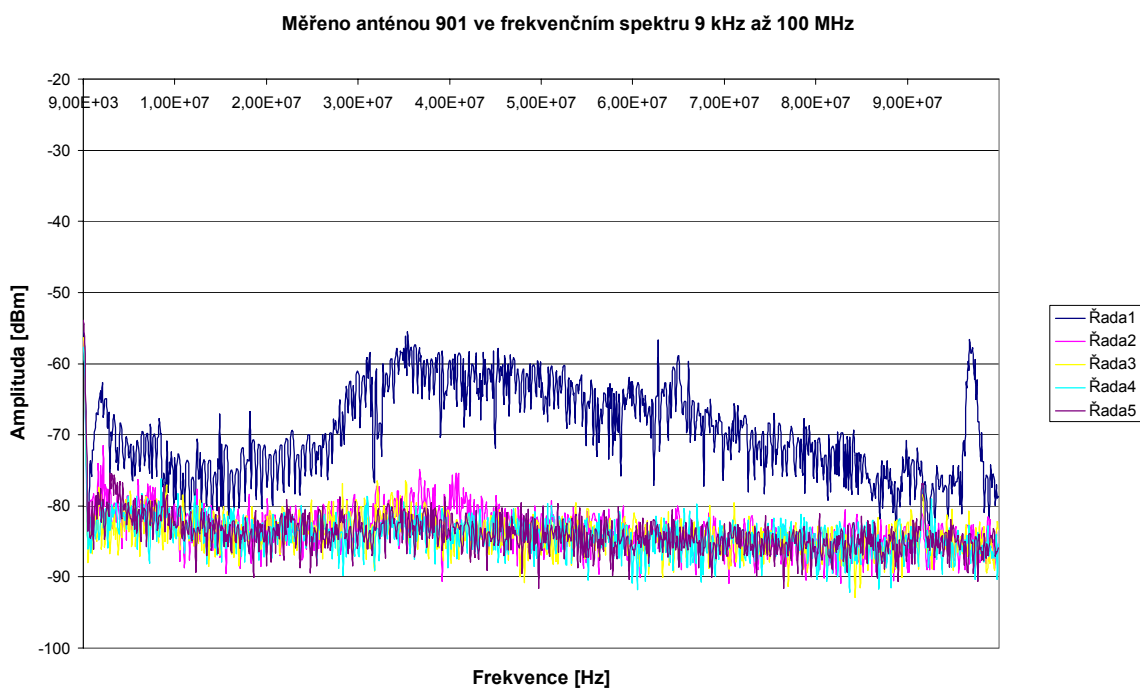
Obr. 86. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 3



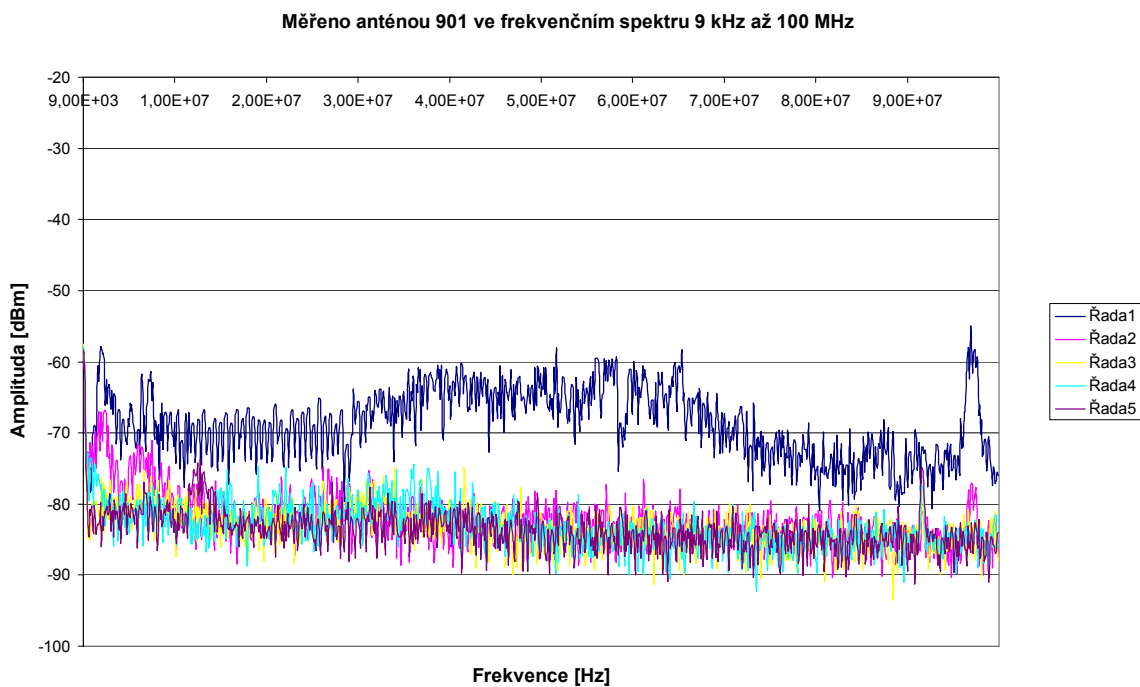
Obr. 87. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 4



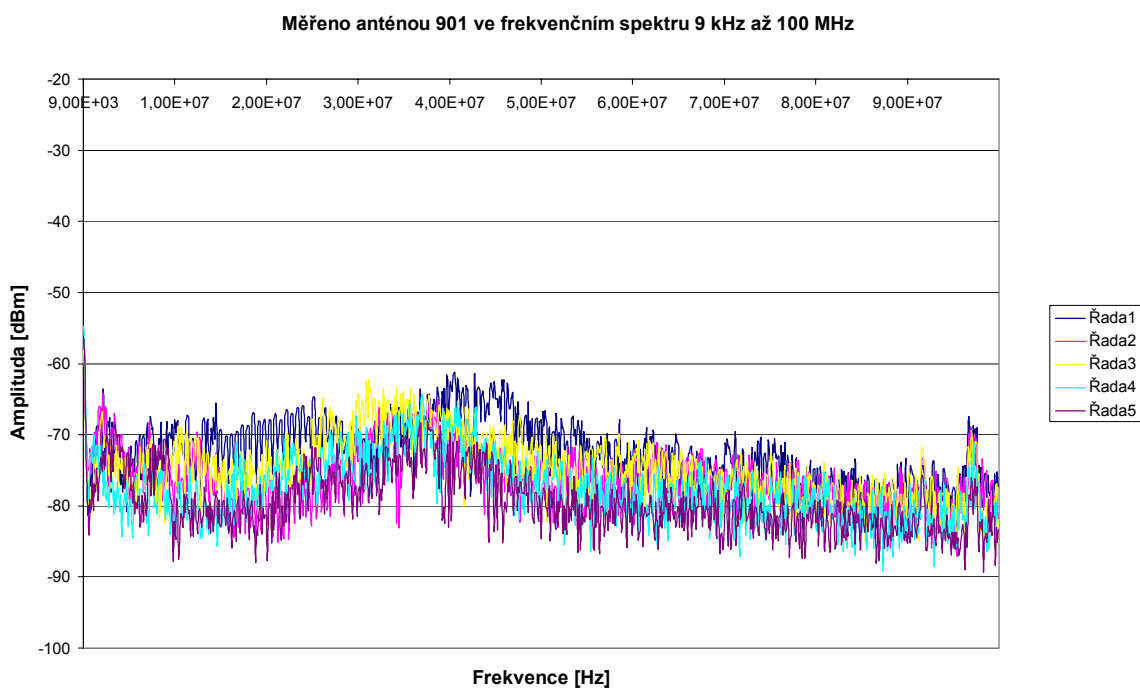
Obr. 88. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 5



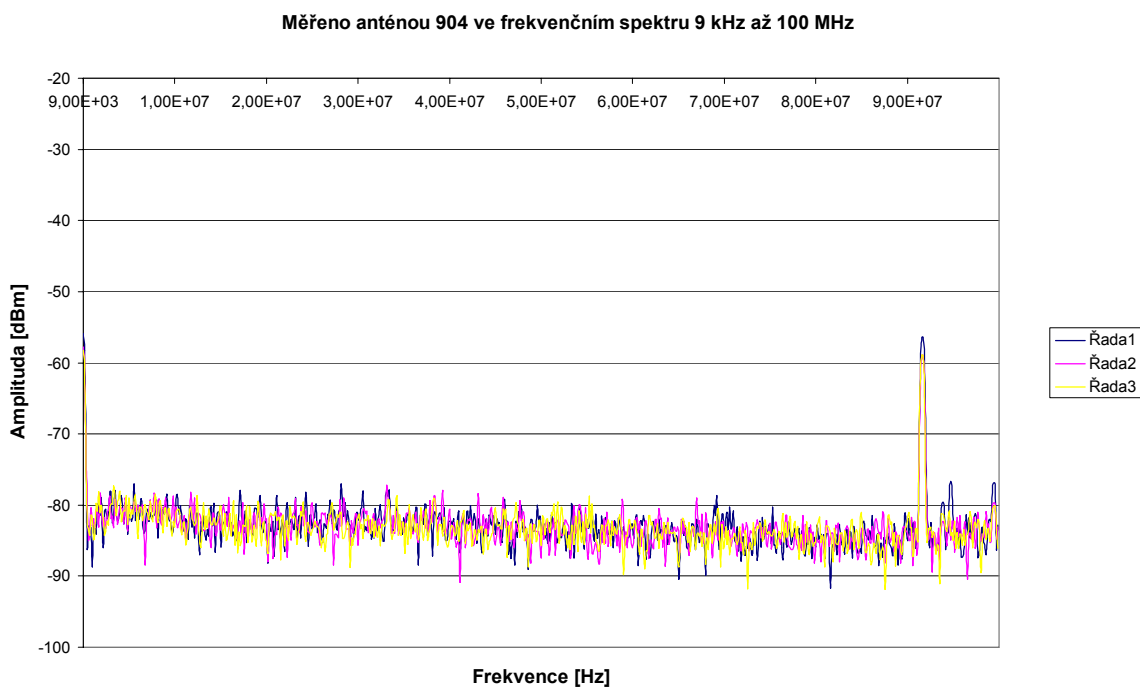
Obr. 89. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 6



Obr. 90 Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 7

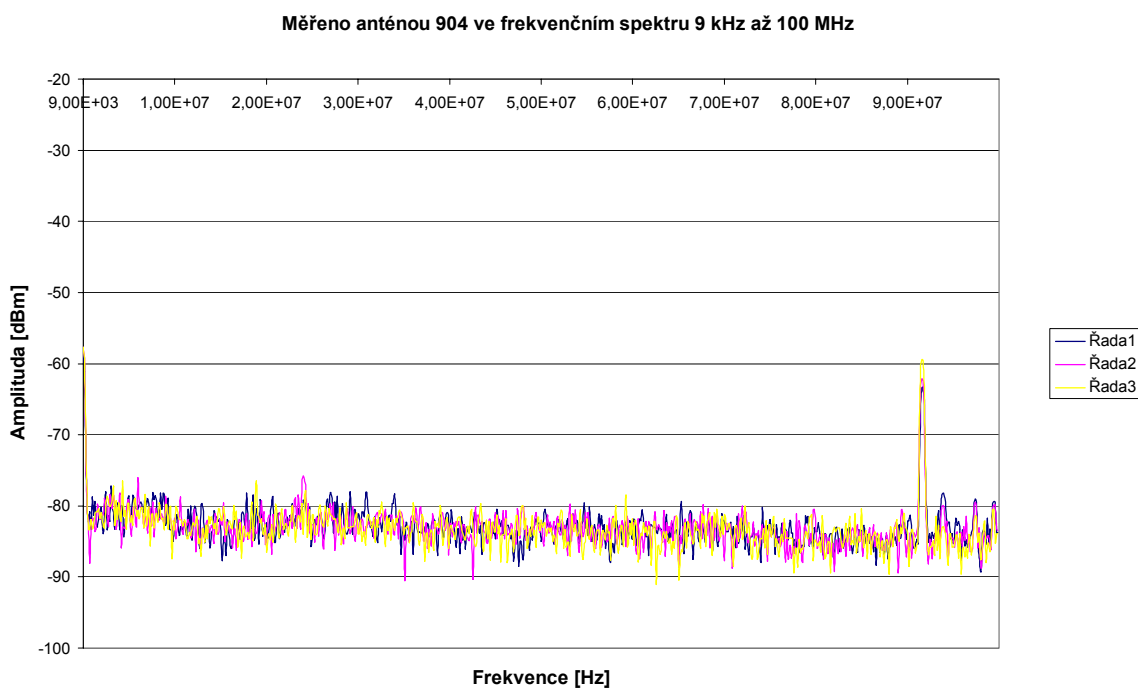


Obr. 91. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u LCD monitoru – sloupec 8

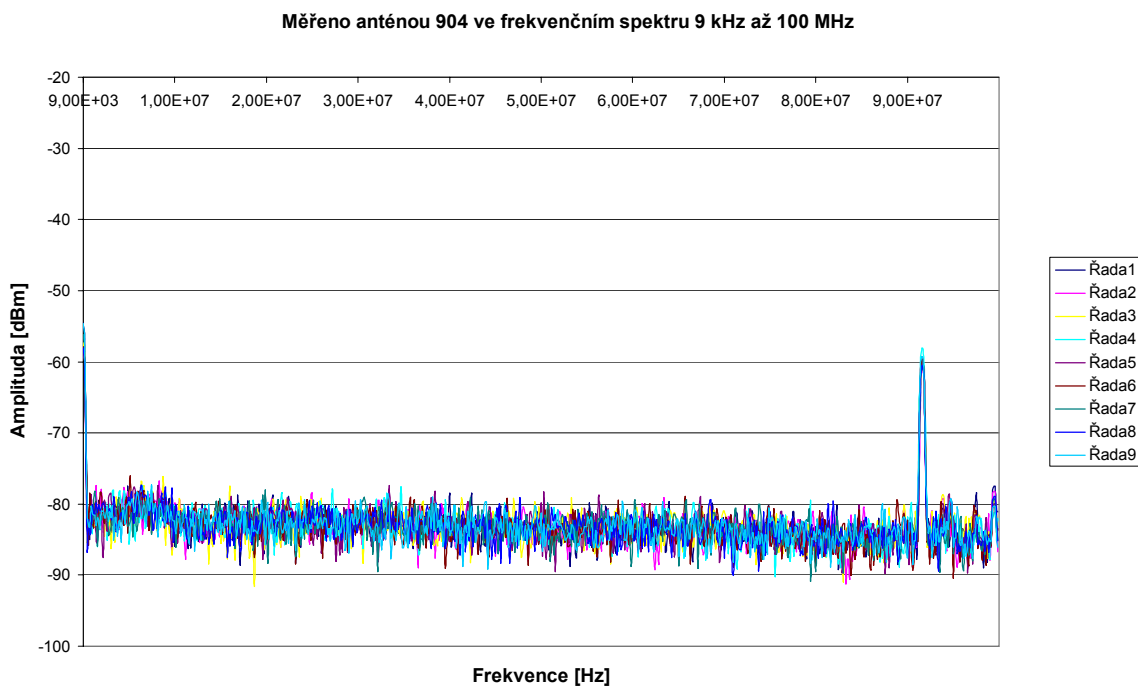


Obr. 92. Frekvenční spektrum magnetického pole u počítačové myši A4Tech\_OP-620

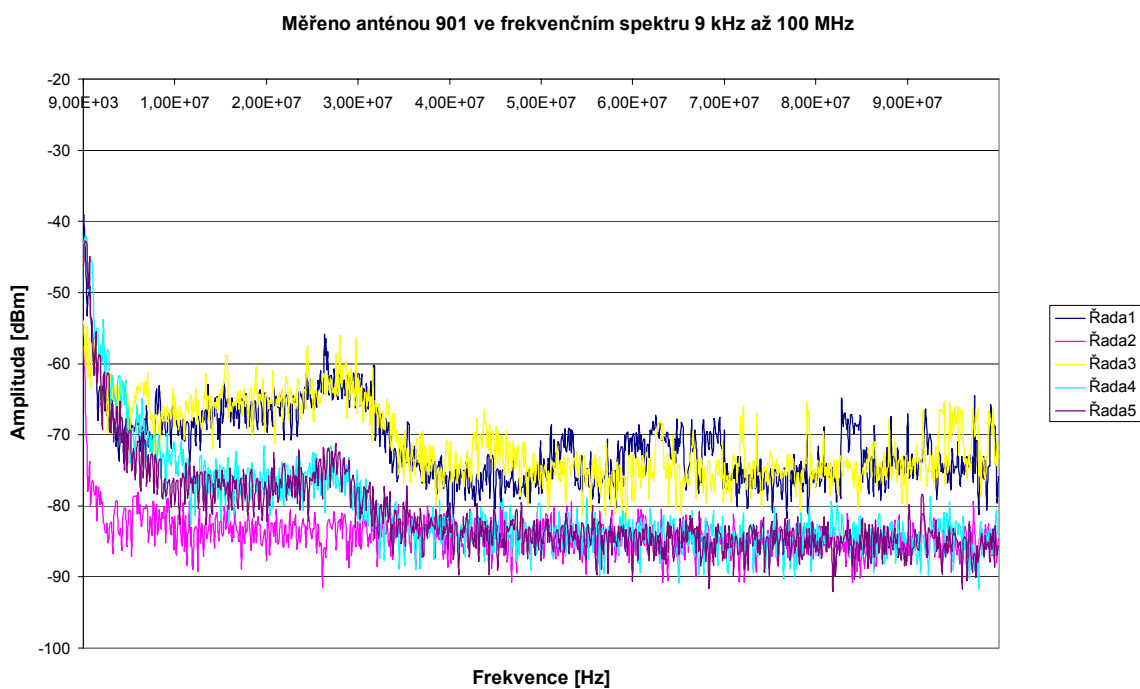




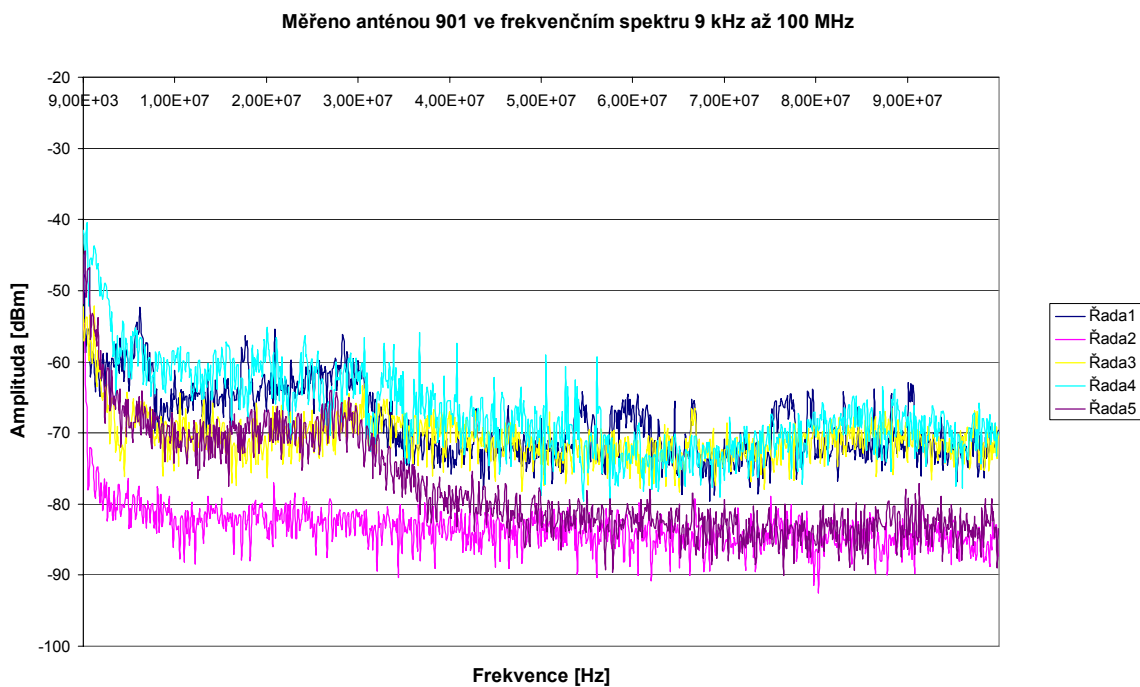
Obr. 93. Frekvenční spektrum magnetického pole u počítačové myši Genius\_GM-04003P



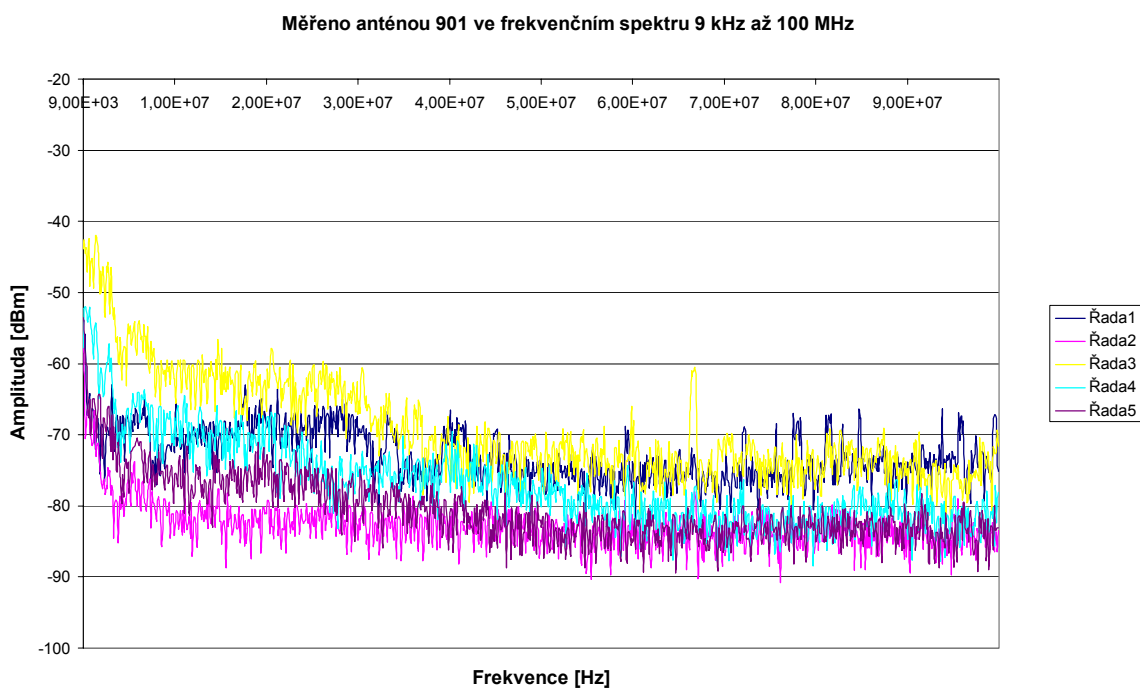
Obr. 94. Frekvenční spektrum elektrického pole klávesnice Genius\_GM-04003P



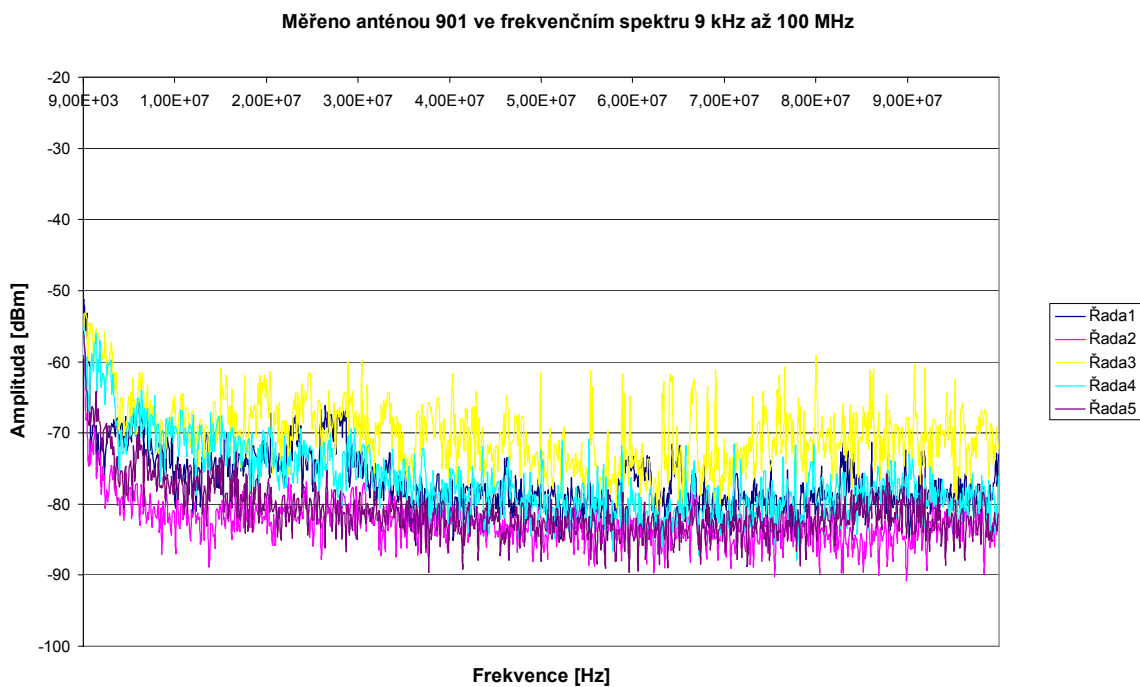
Obr. 95. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 2



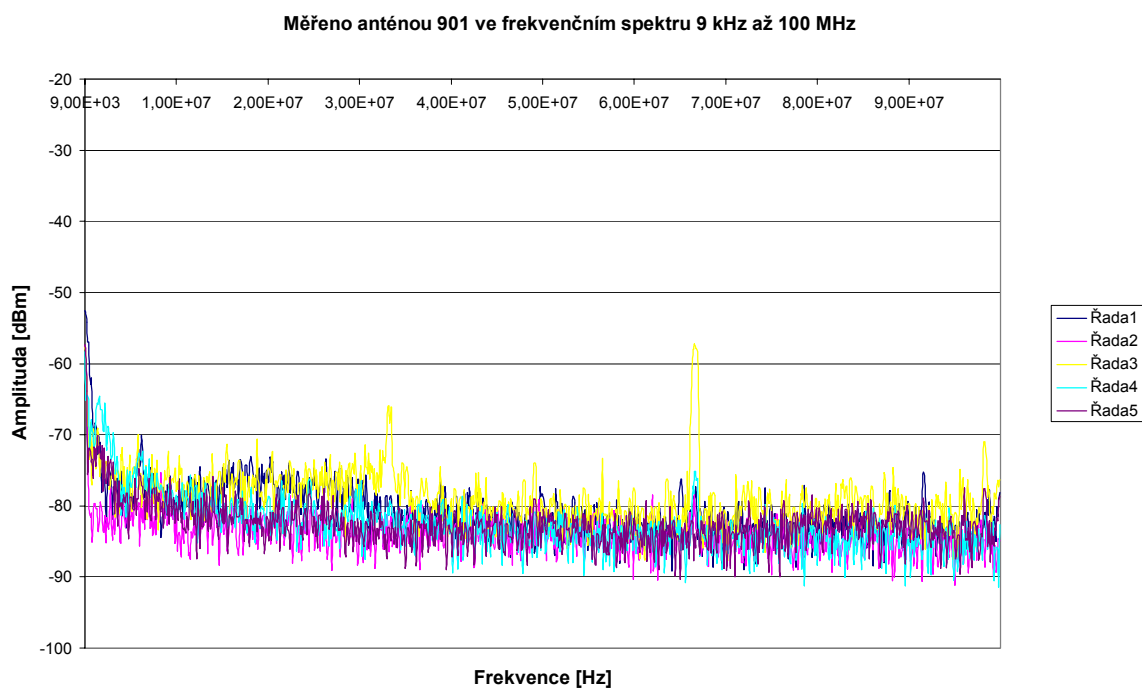
Obr. 96. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 3



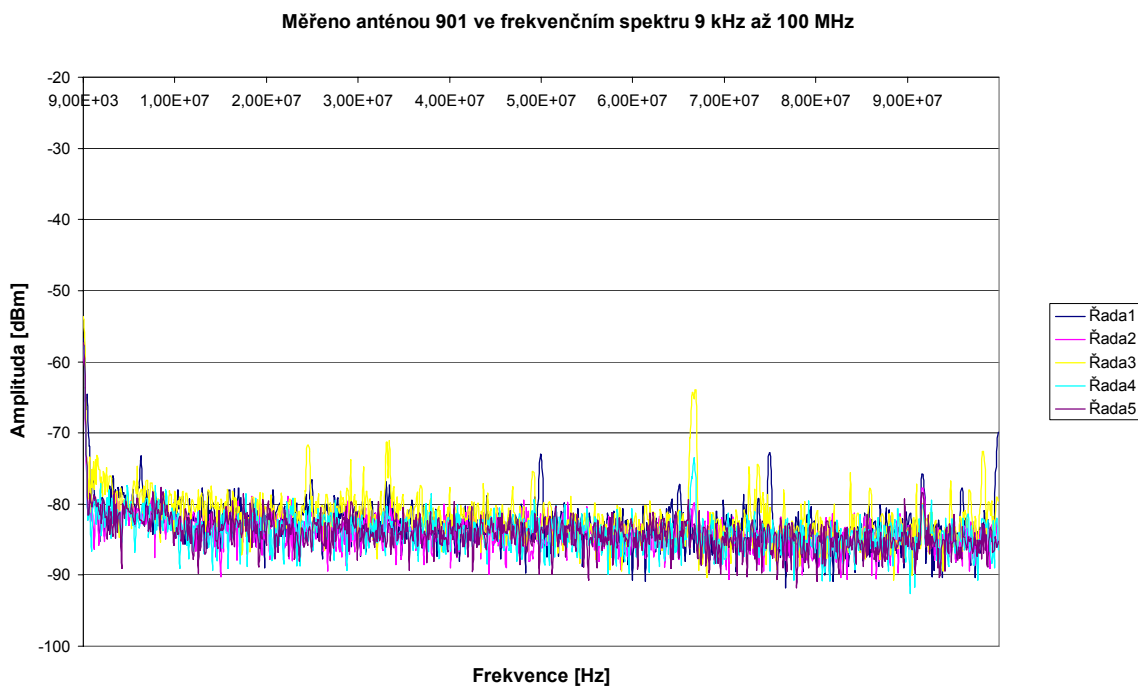
Obr. 97. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 4



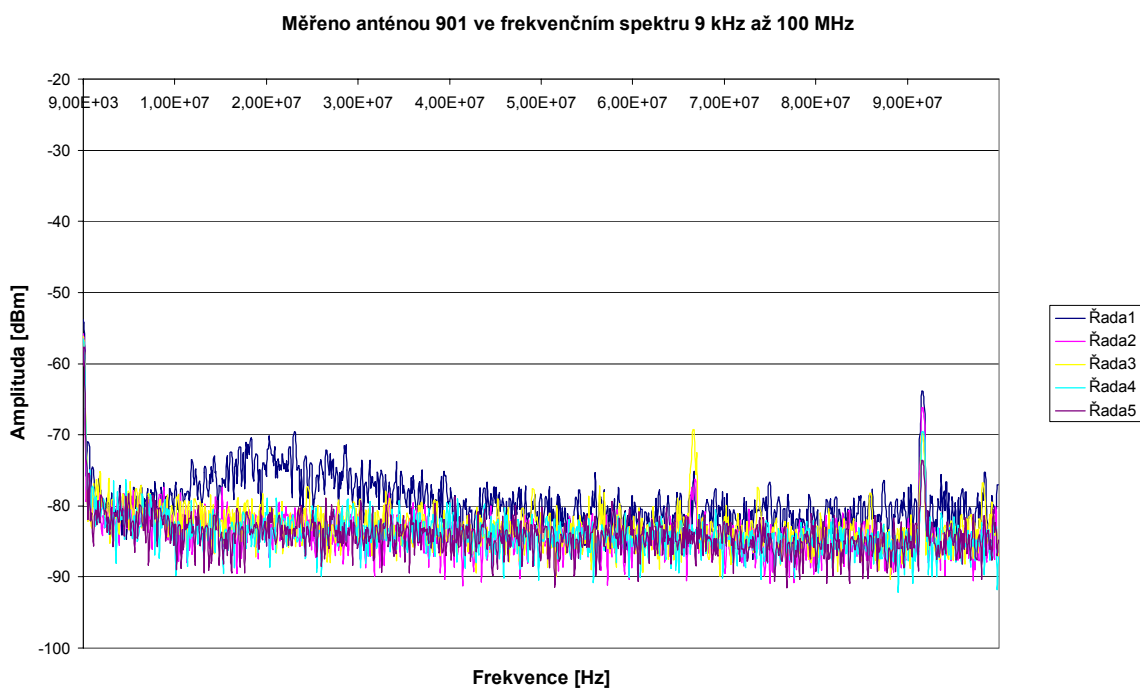
Obr. 98. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 5



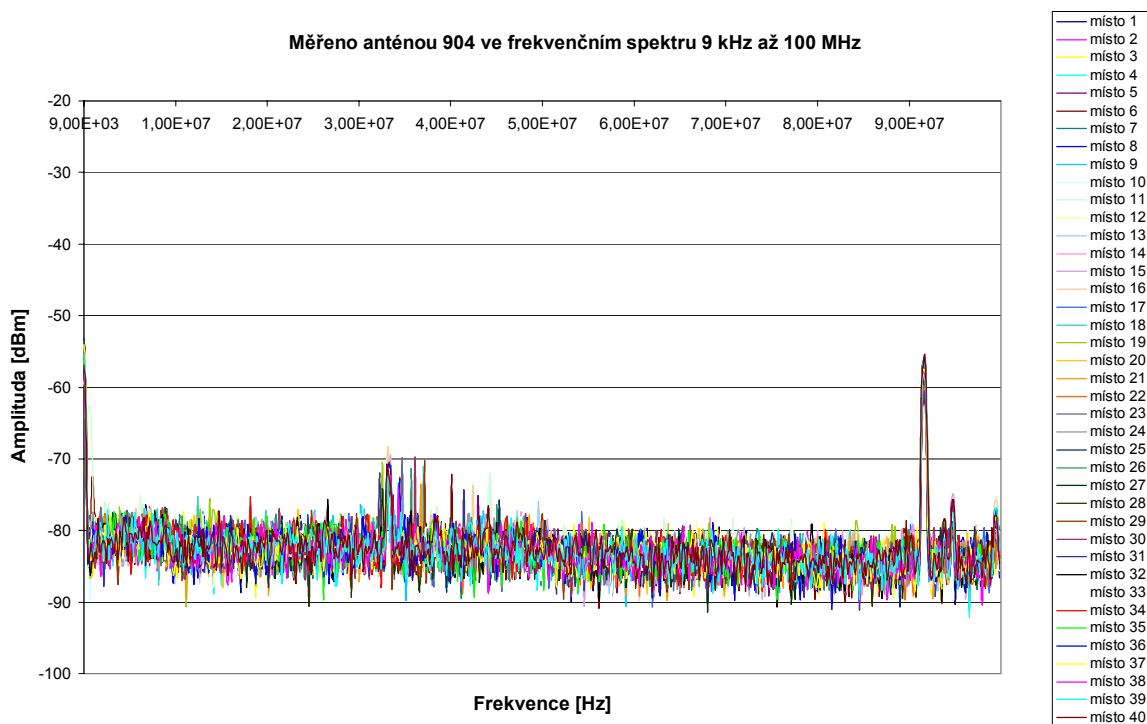
Obr. 99. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 6



Obr. 100. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 7

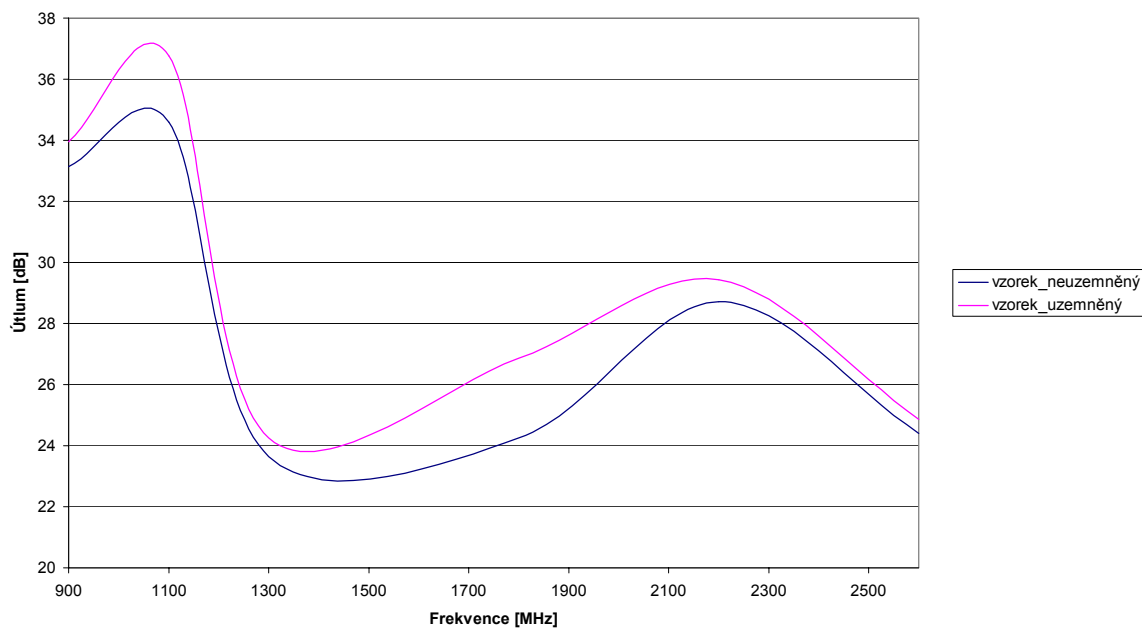


Obr. 101. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření magnetického pole u notebooku – sloupec 8



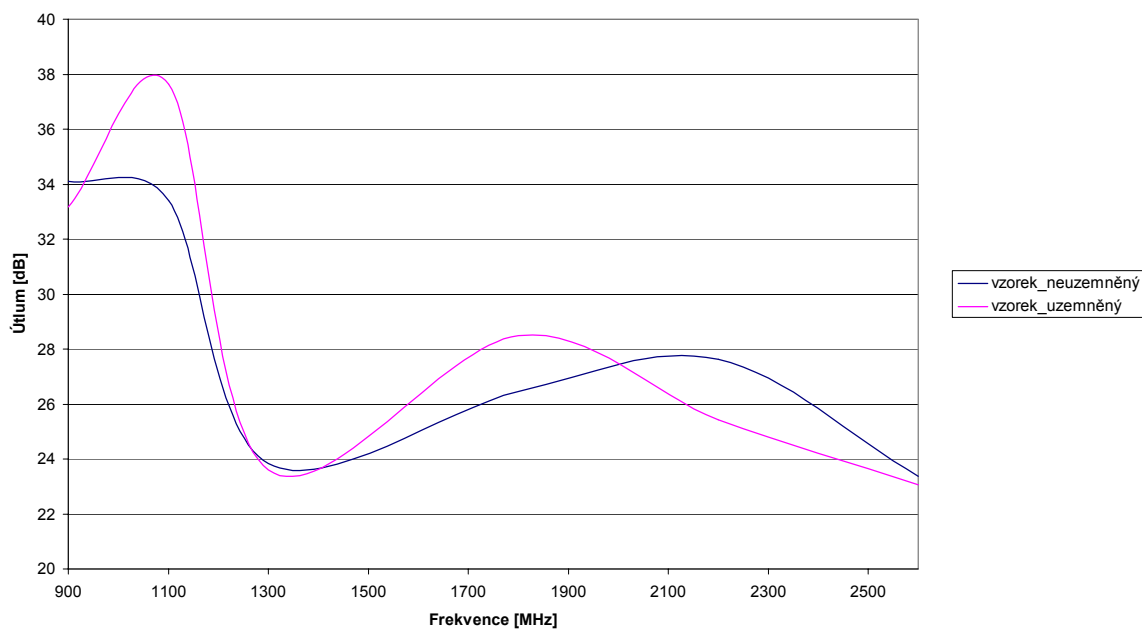
Obr. 102. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 100 MHz při měření elektrického pole u notebooku – všechna místa

Útlum magnetického pole vzorku 1



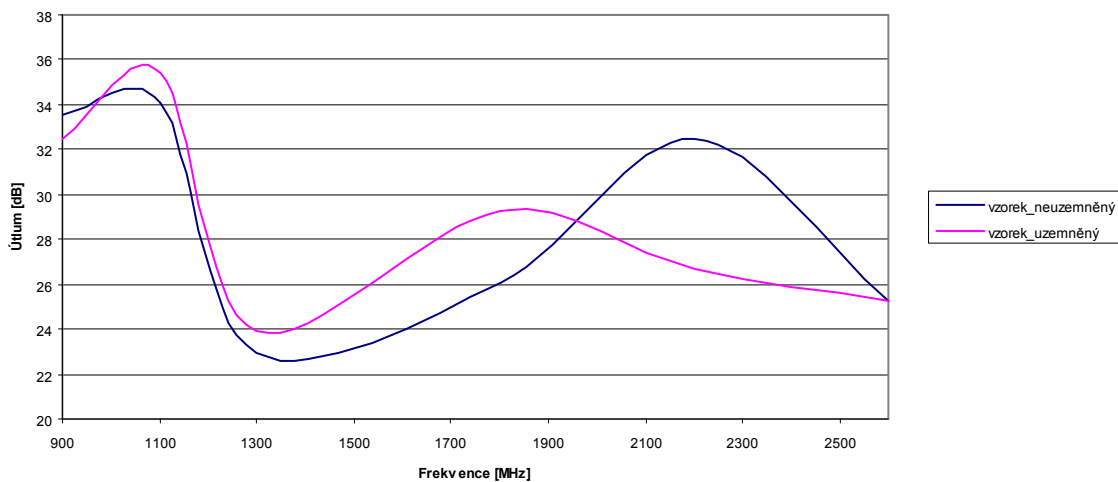
Obr. 103. Útlum magnetického pole u vzorku 1

Útlum magnetického pole u vzorku 2



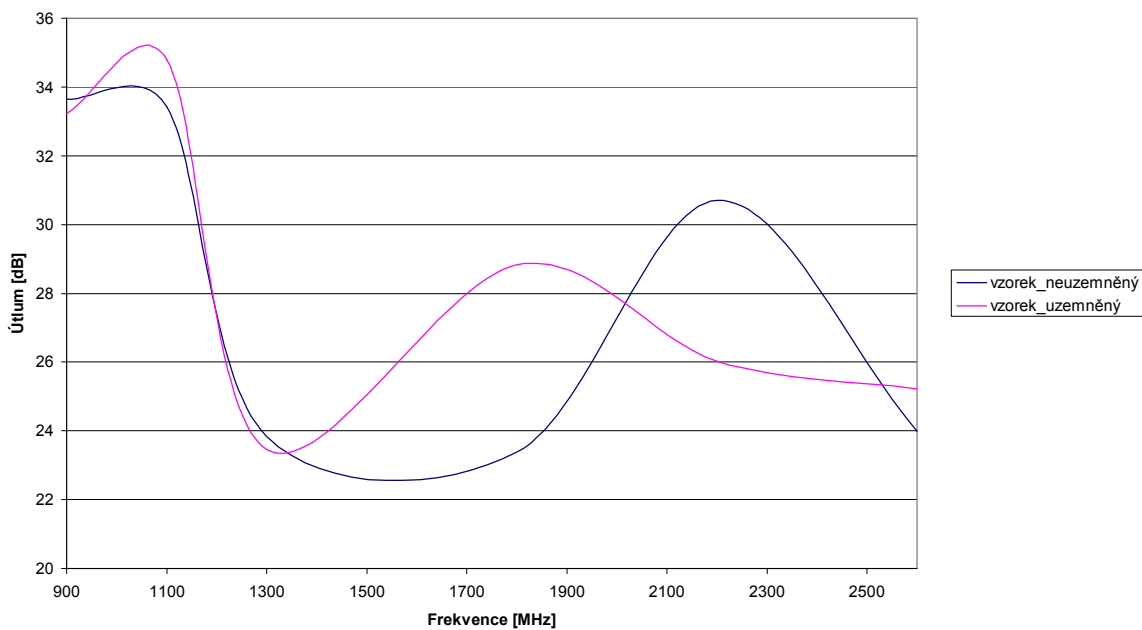
Obr. 104. Útlum magnetického pole u vzorku 2

Útlum magnetického pole u vzorku 3

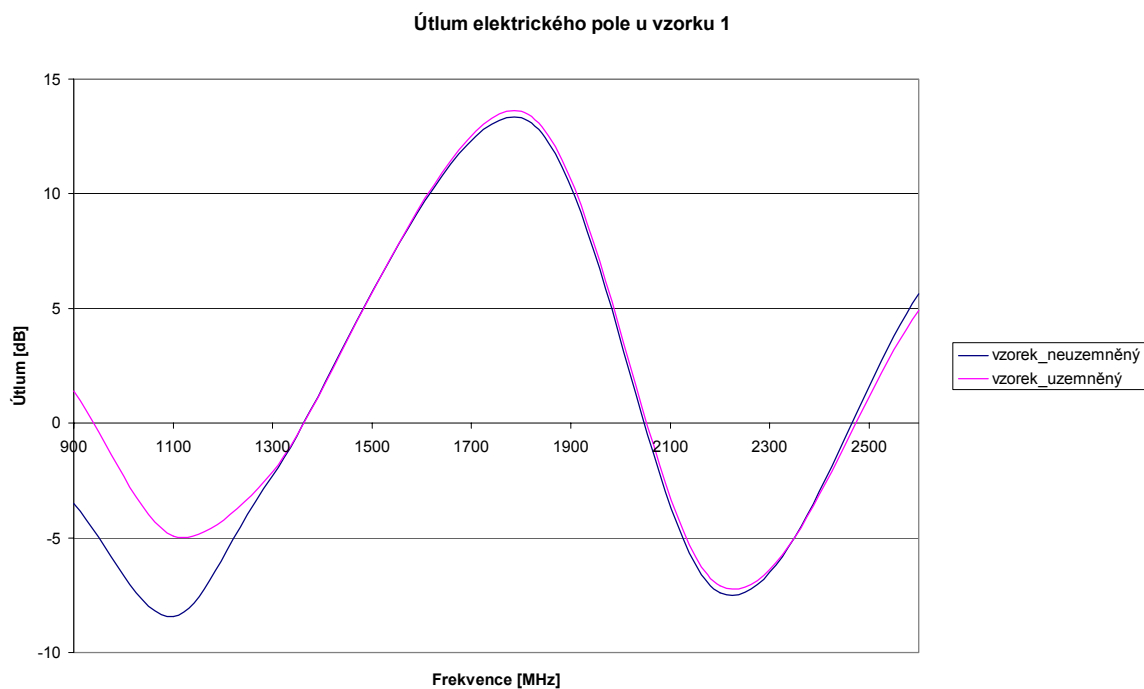


Obr. 105. Útlum magnetického pole u vzorku 3

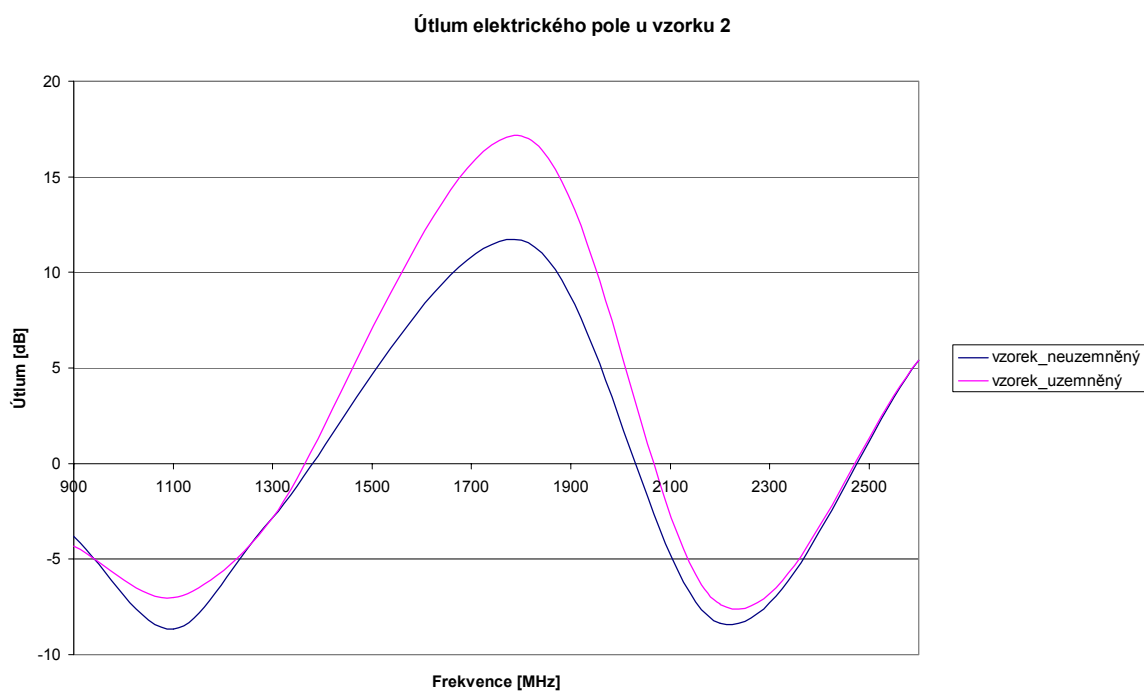
Útlum magnetického pole u vzorku 4



Obr. 106. Útlum magnetického pole u vzorku 4

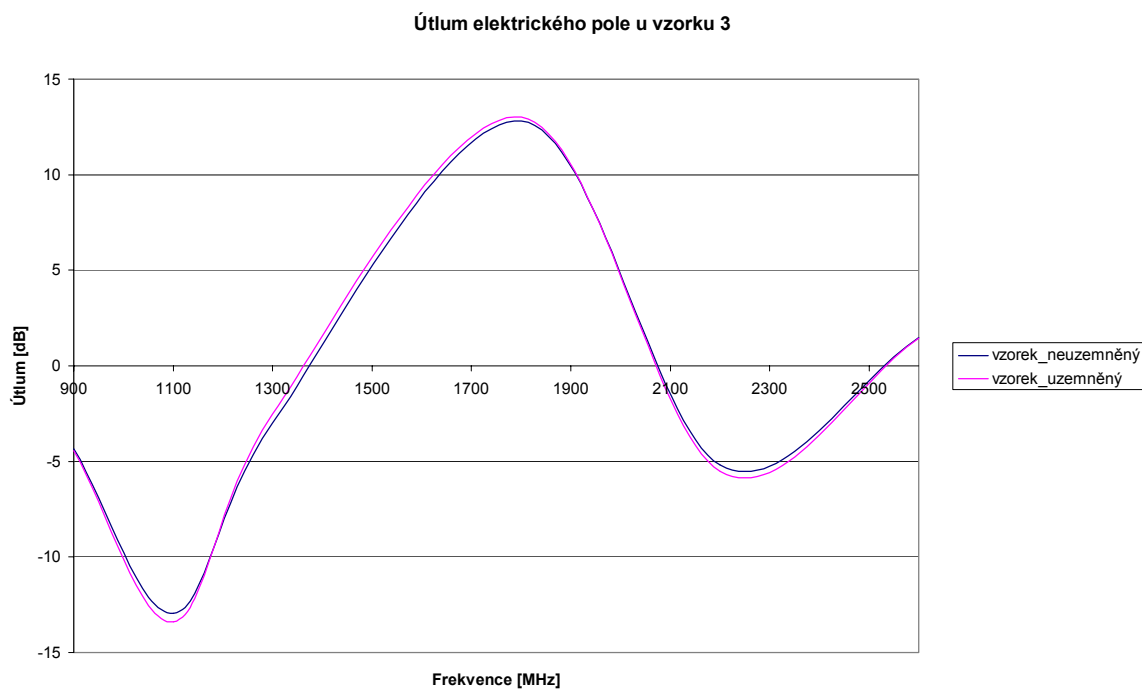


Obr. 107. Útlum elektrického pole u vzorku 1

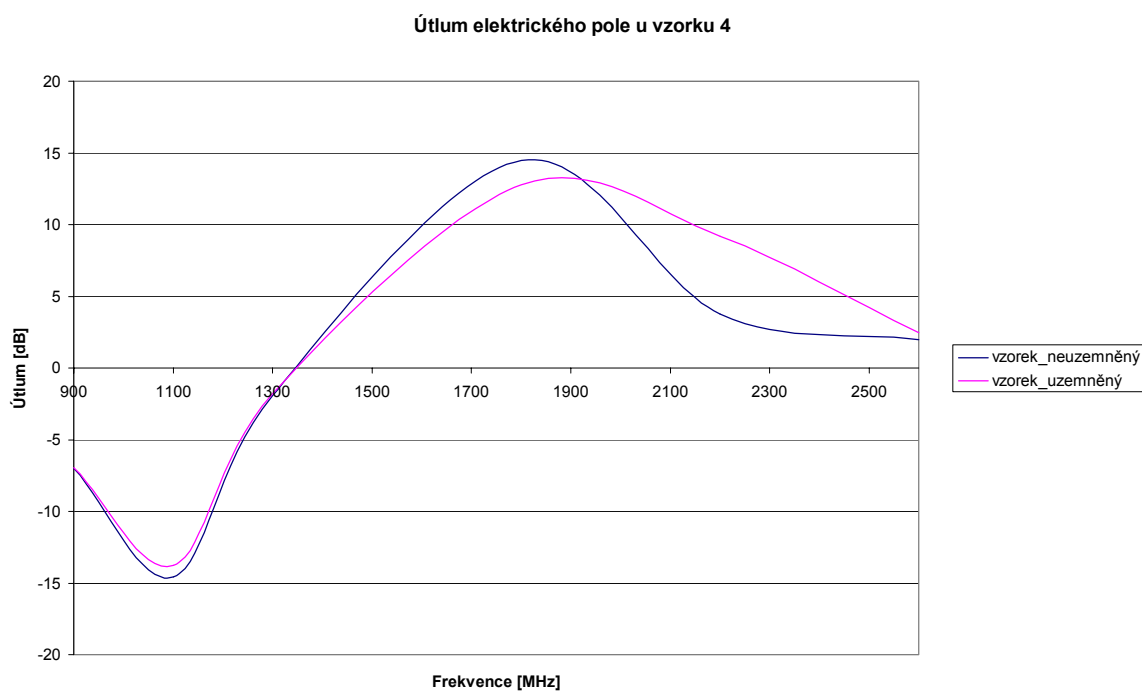


Obr. 108. Útlum elektrického pole u vzorku 2

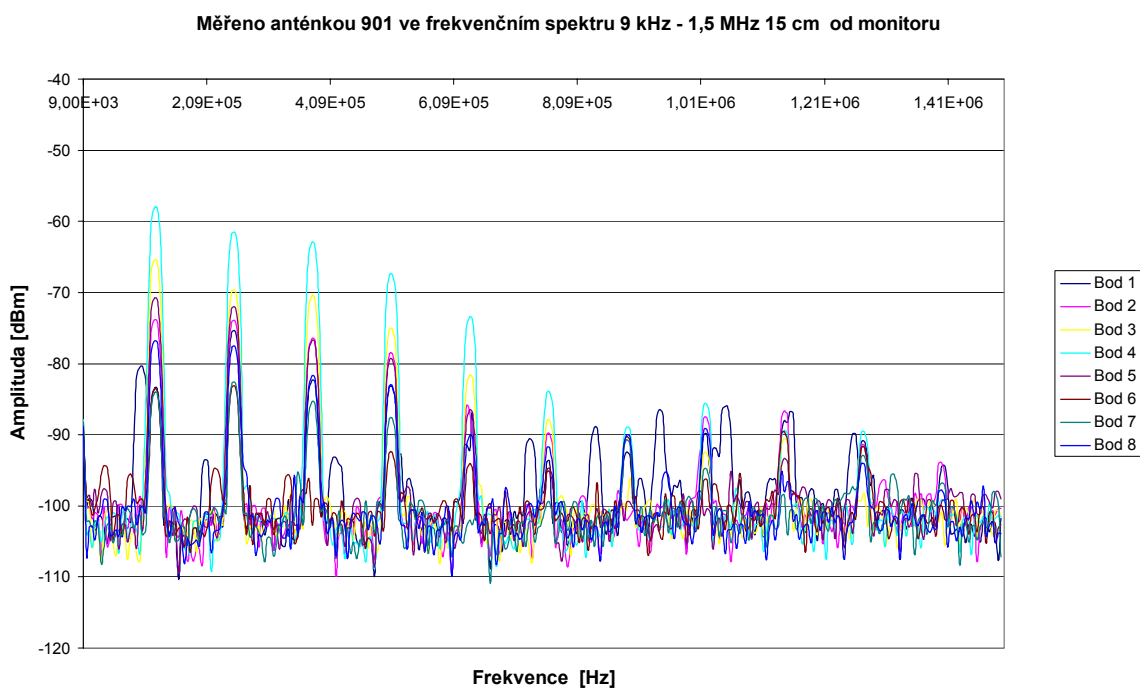




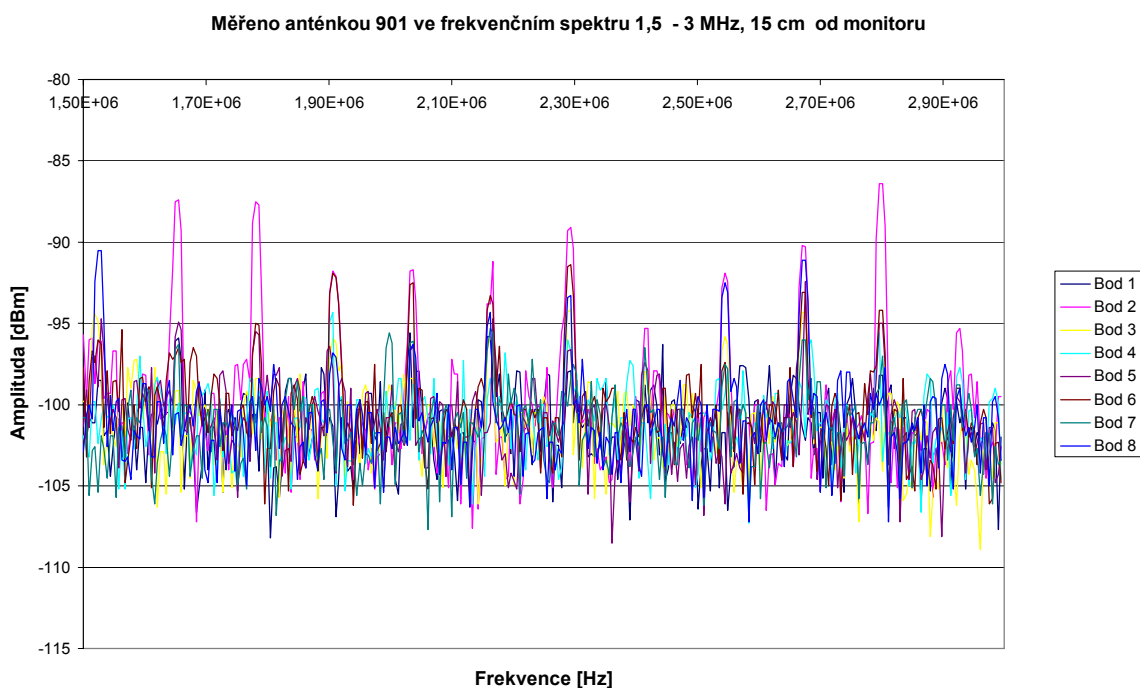
Obr. 109. Útlum elektrického pole u vzorku 3



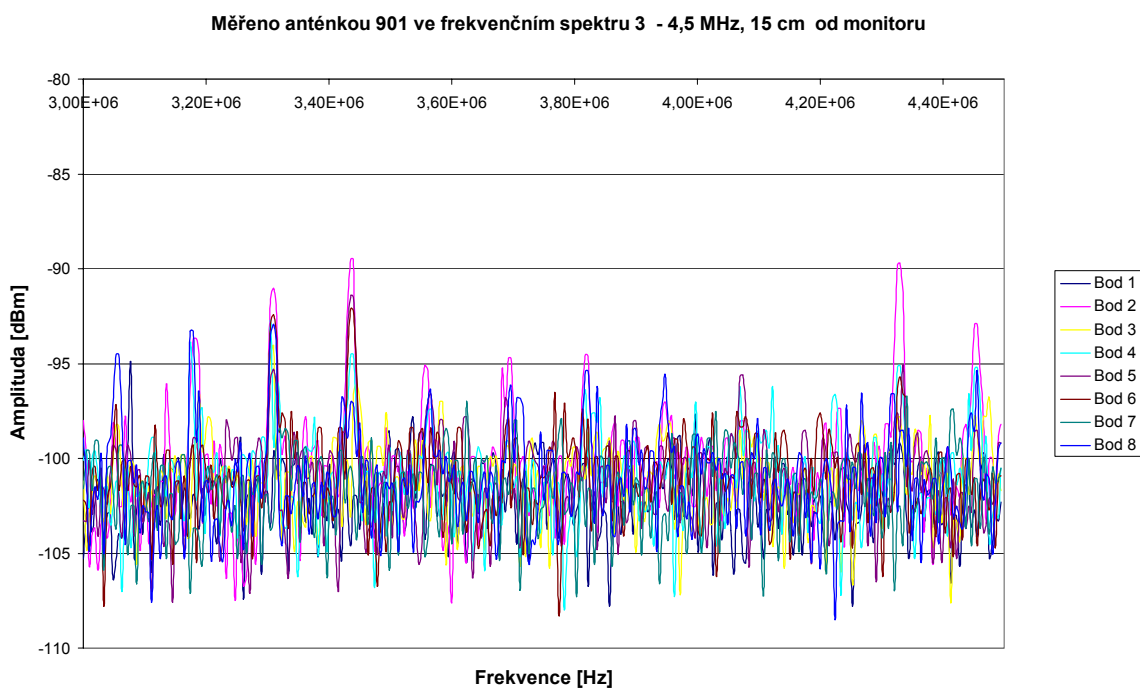
Obr. 110. Útlum elektrického pole u vzorku 4



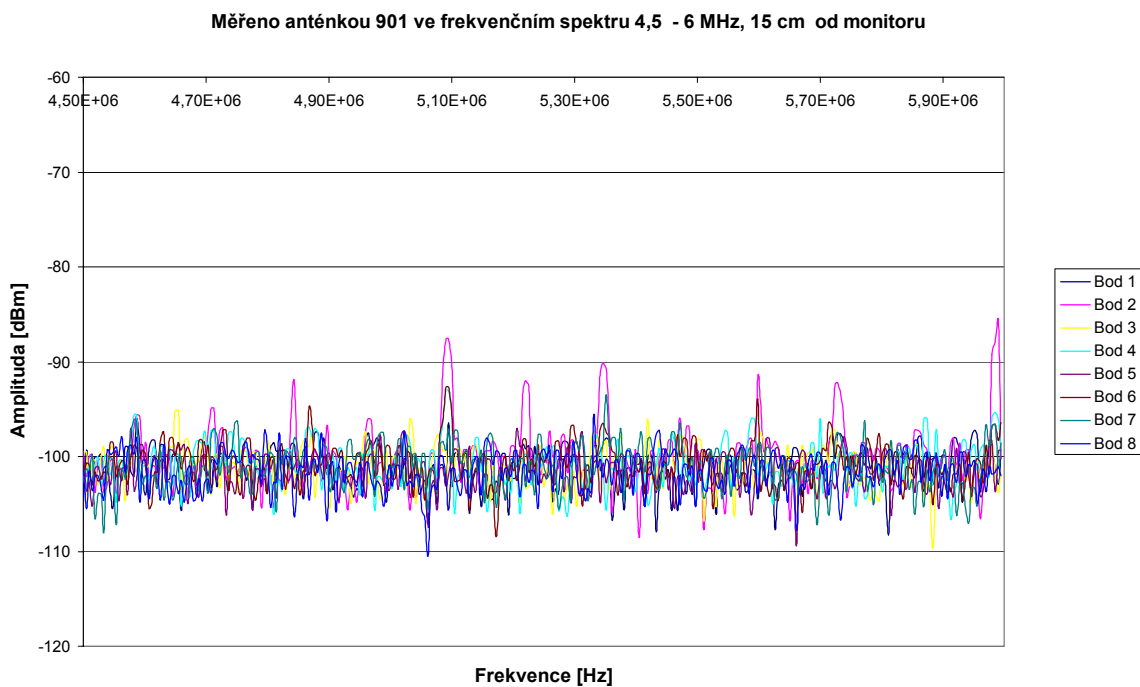
Obr. 111. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 9 kHz – 1,5 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole (15 cm)



Obr. 112. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 1,5 – 3 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole (15 cm)



Obr. 113. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 3 – 4,5 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole (15 cm)



Obr. 114. Průběh amplitud signálů ve frekvenčním spektru 4,5 – 6 MHz v měřených místech při měření magnetické složky elektromagnetického pole (15 cm)