

Zobrazení elektromagnetických polí Pro účely EMC

Visualization of electromagnetic fields
For the EMC purposes

Bc. Košina Tomáš

Diplomová práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky
akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš KOŠINA**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Zobrazení elektromagnetických polí pro účely EMC**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s principem vzniku a šíření elektromagnetických polí
2. Seznamte se s technickou problematikou elektromagnetické kompatibility
3. Naučte se využívat softwarové prostředky pro sběr dat z měřících přístrojů
4. Provedte měření přenosové funkce skenovacího zařízení pro používané antény v různých frekvenčních oblastech
5. Vytvořte řídicí software a na základě výsledků měření přenosové funkce, navrhnete a provedte reálný experiment na radiopřijímači popřípadě mobilu či jiném zařízení.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Clayton R. Paul.: Introduction to Electromagnetic Kompatibility, John Wiley & Sons (January 01, 2006)
2. Dipak L. Sengupta, Valdis V. Liepa .: Applied Electromagnetics And Electromagnetic kompatibility, John Wiley & Sons Inc (October 28, 2005)
3. Jan, J.: Císlíková filtrace, analýza a restaurace signálu. Vutium Brno, 2002
4. Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fyzika - Elektřina a magnetismus. VUTIUM, Brno, PROMETHEUS, Praha 2000.
5. Svačina J., Elektrevue
6. Firemní literatura ROHDE & SCHWARZ

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.**

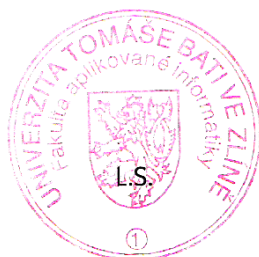
Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2007**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2007**

Ve Zlíně dne 13. února 2007

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Se vzrůstajícím technickým rozvojem dnešní civilizované společnosti se kolem nás vyskytuje stále více přístrojů, vyzařujících vlivem své činnosti elektromagnetické záření, které je nebezpečné jak pro ostatní přístroje, tak pro lidi v jejich blízkém okolí. Tyto přístroje podléhají technickým normám pro vyzařování elektromagnetického záření. Nově vyvinutá elektronická zařízení jsou změřena zkušebními ústavami na vyzařování elektromagnetických polí. Měření probíhá vždy ze vzdálenosti několika metrů a dotyčný zkušební ústav nedokáže v případě výskytu zvýšené intenzity elektromagnetického záření přesně lokalizovat zdroj tohoto záření. Tento zdroj je hledán pomocí složitých elektrických a matematických modelů. Cílem této práce bylo detailně zobrazit rozložení elektromagnetických polí v okolí elektronického zařízení. Díky tomuto zobrazení lze velice snadno a rychle nalézt místa s nejvyšší intenzitou elektromagnetického záření a napomoci tak k jeho eliminaci ve velmi krátké době.

Klíčová slova: vizualizace, skenování, elektromagnetických, EMC, vyzařování,

ABSTRACT

With the increasing technical development of the current civilized society, there are more and more electrical devices around us that radiate electromagnetic emission, which is dangerous for the surrounding devices as well as for the people in its vicinity. These devices are subject to technical standards for the electromagnetic emission. Electromagnetic emission of the newly developed electronic device is measured in the laboratory institutions. The measurement is carried out from the vicinity of several metres, so the laboratory institution cannot precisely determine the sources of electromagnetic emission, in the case of increased volume of surrounding electromagnetic activity. This source is searched with the help of complicated electronic and mathematical models. The purpose of this work is to visualize the distribution of electromagnetic field in vicinity of the electronic device in detail. Thanks to this visualization we can easily and quickly localize the places with highest volume of electromagnetic emission and help to eliminate it in the shortest possible term.

Keywords: visualization, scanning, electromagnetic, magnetic, EMC, radiation,

Poděkování panu doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc za výborné vedení nejen v rámci diplomové práce, ale i v rámci celkové vědecké činnosti a ochotě vysvětlit položené dotazy v rámci svých možností.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ A JEHO VLIVY	10
1.1 VLIV ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ NA ELEKTRONICKÉ PŘÍSTROJE	10
1.2 VLIV ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ NA LIDSKÉ ZDRAVÍ	13
1.2.1 Základní vlivy na lidský organismus	13
1.2.2 Zdravotní rizika	16
1.2.3 Vlivy mobilních technologií na lidské zdraví	18
1.3 VLIV ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ NA PŘÍRODU	20
2 ZÁKLADNÍ POJMY	22
2.1 ZÁKLADNÍ POJMY EMC	22
2.2 ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ SYSTÉMŮ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	26
2.3 FYZIKÁLNÍ VELIČINY EMP A JEJICH PŘEPOČTY	31
3 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ	34
4 STOJATÉ VLNĚNÍ NA VEDENÍ	49
II PRAKTICKÁ ČÁST	53
5 POPIS ZAŘÍZENÍ A APARATURY POTŘEBNÉ KE SKENOVÁNÍ	54
6 PROGRAMY PRO ŘÍZENÍ SKENOVÁNÍ	58
6.1 POPIS PROGRAMU PRO OVLÁDÁNÍ ANALOGOVÉHO XY ZAPISOVAČEM	60
6.2 POPIS PROGRAMU PRO KOMUNIKACI SE SPEKTRÁLNÍM ANALYZÁTOREM	67
6.3 POPIS PROGRAMU PRO KOMUNIKACI S PŘÍSTROJEM LAKE SHORE	70
7 STRUKTURA DATOVÝCH SOUBORŮ	71
8 VIZUALIZACE DAT	76
8.1 POPIS VIZUALIZAČNÍHO PROGRAMU	76
8.2 ZÁKLADNÍ POSTUP PŘI PRÁCI S VIZUALIZAČNÍM PROGRAMEM	95
9 MĚŘENÍ VÝVOJE MAGNETICKÉHO POLE	96
10 MĚŘENÍ EZS ÚSTŘEDNY PRO BEZPEČNOSTNÍ TECHNOLOGIE	99
10.1 MĚŘENÍ CENTRÁLY BENTEL OMNIA 4 CEN	99
10.2 MĚŘENÍ VYSÍLACÍ ČÁSTI RSN 451	101
10.3 MĚŘENÍ RETRANZAČNÍ ČÁSTI AMO 1600	104
10.4 ZÁVĚR MĚŘENÍ EZS ÚSTŘEDNY PRO BEZPEČNOSTNÍ TECHNOLOGIE	105
11 KALIBRACE SOND ROHDE&SCHWARTZ	106

11.1	ÚVOD	106
11.2	SONDA RS E 10	108
11.3	SONDA RS H 2,5-2	112
11.4	SONDA RS E 0,2	116
11.5	SONDA RS H 50-1	122
11.6	SONDA RS H 400-1	125
11.7	PŘECHODOVÉ CHARAKTERISTIKY SOND	130
11.8	CHYBY VZNIKLÉ PŘI MĚŘENÍ SONDAMI A ZÁVĚR JEJICH MĚŘENÍ:	133
12	STOJATÉ VLNĚNÍ	137
12.1	MĚŘENÍ STOJATÉHO VLNĚNÍ	137
12.2	VLIV STOJATÉHO VLNĚNÍ NA MĚŘENÍ	140
13	SKENOVÁNÍ MOBILNÍHO TELEFONU	141
13.1	ÚVOD	141
13.2	SKENOVÁNÍ V OKOLÍ FREKVENCE 1,8 GHz:	145
13.3	SKENOVÁNÍ V OKOLÍ FREKVENCE 900 MHz:	149
13.4	ZÁVĚR MĚŘENÍ MOBILNÍHO TELEFONU:	155
14	SKENOVÁNÍ RÁDIOVÉHO PŘIJÍMAČE	158
14.1	ÚVOD	158
14.2	SKENOVÁNÍ	159
14.3	ZÁVĚR MĚŘENÍ RÁDIOVÉHO PŘIJÍMAČE	163
	ZÁVĚR	164
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	166
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	168
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	170
	SEZNAM OBRÁZKŮ	171
	SEZNAM TABULEK	176
	SEZNAM GRAFŮ	177

ÚVOD

Se stoupajícím technickým rozvojem dnešní civilizované společnosti stále více přibývá kolem nás přístrojů, jež vlivem své činnosti vyzařují do svého okolí elektromagnetické záření. Toto záření je ve vyšších intenzitách dosti nebezpečné, jak pro ostatní přístroje, tak pro lidi v jejich okolí. Aby u elektronického zařízení nenastal případ, kdy by toto zařízení vyzařovalo nebezpečnou intenzitu elektromagnetického záření, podléhá toto zařízení normám pro vyzařování elektromagnetického záření. Jestliže nově vyvinuté elektronické zařízení splňuje požadavky dané normy zjišťují zkušební ústavy tak, že provedou měření elektronického zařízení ze vzdálenosti několika metrů. Problém pro firmu, vyvíjející zkoušené elektronické zařízení, nastává tehdy, jestliže je naměřena zkušebním ústavem vyšší intenzita elektromagnetického záření, než je stanovený limit. Zkušební ústav nedokáže detailně určit místo na elektronickém zařízení s nejvyšší intenzitou vyzařování elektromagnetického pole. Firma vyvíjející elektronické zařízení musí toto místo hledat pomocí elektrických a matematických modelů. Nalezení zdroje záření je tak dosti obtížné a časově zdlouhavé. Cílem této práce bylo detailně zobrazit rozložení elektromagnetického pole v okolí elektronického zařízení za účelem přesného určení místa s jeho nejvyšší intenzitou. Díky tomu, lze přesně nalézt místa s nejvyšší intenzitou elektromagnetického záření a tím napomoci k jeho eliminaci.

Teoretická část je více než na principy měření elektromagnetických polí zaměřena na nebezpečnost zvyšování intenzit vyzařování těchto polí. Jsou zde uvedeny limity vyzařování a vliv elektromagnetického záření na lidské zdraví a přírodu.

V praktické části jsou programy popisovány spíše z pohledu uživatele, než programátora, nýbrž popis programů z pohledu programátora by bylo dosti zdlouhavé a pro mnoho čtenářů velice nudné. Dále jsou v praktické části uvedeny výsledky měření elektromagnetických polí elektronických zařízení a příklady nalezení zdrojů záření pomocí vizualizačního programu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ A JEHO VLIVY

Díky dnešní přetechnizované společnosti je kolem nás stále více elektromagnetického záření, též nazývaného jako „Elektromagnetický smog“. Se stále se zvyšující intenzitou vysokofrekvenčního elektromagnetického záření je dosti důležité si uvědomovat dopad tohoto záření nejen na ostatní přístroje, ale také na přírodu a lidstvo samotné. Jedním z dalších mnoha důvodů, proč si uvědomovat nebezpečnost elektromagnetického pole, spočívá v sestavení vhodné laboratoře k měření těchto veličin a v zajištění bezpečnosti pracovníků provádějících toto měření.

1.1 Vliv elektromagnetického záření na elektronické přístroje

Příklady nedodržení EMC a jejich důsledky

- **Zničení stíhacího letounu Tornado v roce 1984.** Příčinou bylo rušení elektronického řídicího systému letadla elmag. vlněním. Letadlo letělo nad vysílačem velkého výkonu v Holkirchenu u Mnichova. V důsledku selhání automatického systému řízení se zřítilo. Hmotná škoda byla 100 miliónů marek. [1]
- **Potopení britského křižníku Sheffield v r. 1982 během falklandské války.** Příčinou bylo nedodržení EMC mezi komunikačním zařízením lodi a jejím rádiovým obranným protiletadlovým systémem pro rušení cílové navigace nepřátelských raket. Systém působil tak velké rušení rádiové komunikace, že musel být během rádiového spojení lodi s velitelstvím ve Velké Británii vypínán. A právě v takovém okamžiku odpálilo argentinské letadlo raketu Exocet, která křižník potopila. Dvacet lidí přišlo o život. [1]
- **Havárie rakety typu Pershing II v SRN v důsledku elektrostatického výboje.** Při převozu rakety byl její pohon neúmyslně od-pálen elektrostatickou elektřinou z okolní bouřky. [1]
- **Havárie v hutích v USA v roce 1983.** Příčinou havárie bylo rušení mikroprocesorového systému řízení jeřábu přenášejícího licí pánev s tekutou ocelí příruční vf. vysílačkou. Licí pánev se před-časně převrhla a rozžhavený kov zabil na místě jednoho dělníka a čtyři další vážně zranil. [1]

- **Havárie dálkového ovládní těžních mechanismů na Náchodsku** při připojení těžního stroje o výkonu 3,4 MW k rozvodné síti 35 kV. Těžní zařízení tvořil pohon s tyristorovou regulací, jehož měnič byl připojen k rozvodné síti přímo bez odpovídající filtrace. Rušivý vliv měniče způsobil zhroucení systému hromadného dálkového ovládní (a tím i sama sebe) prakticky v celé oblasti Náchodska. [1]
- **Havárie v cukrovaru Mělník po instalaci odstředivek s tyristorovými měniči** o výkonu 200 kW. Po jejich připojení k napájecí síti 22 kV vzniklo takové kolísání a deformace napájecího napětí, že nastal skupinový výpadek sítě aktivací napět'ových ochran. Přitom zhoršení kvality napájecí sítě vyvolaly samy měniče, které byly připojeny na síť přímo bez filtrace. Vznikla tak opět paradoxní situace, kdy se zdroj rušení stal svou vlastní obětí. [1]
- **Havárie ve zdravotnických zařízeních.** Diagnostická souprava na jednotce intenzivní péče nemocnice v Praze monitorovala dech, tep a teplotu připojených pacientů. Spínání okolních silových spotřebičů však vyvolávalo v kardiokopu přídavné pulsy, které byly vyhodnocovány 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 souprava vzhledem k její naprosté neodolnosti vůči rušení musela být vyměněna za jiný systém od jiného výrobce, splňující požadavky EMC. [1]
- 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. [2]
- 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. [2]
- V roce 1982 zahynulo 22 členů posádek celkem pěti (!) vrtulníků UH-60 Blackhawk při pádu strojů po selhání elektroniky v blízkosti vysílače místní radiostanice. [2]
- V roce 1985 na orbitální stanici Spacelab posádka při zapnutí vysavače způsobila napět'ový 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. [2]

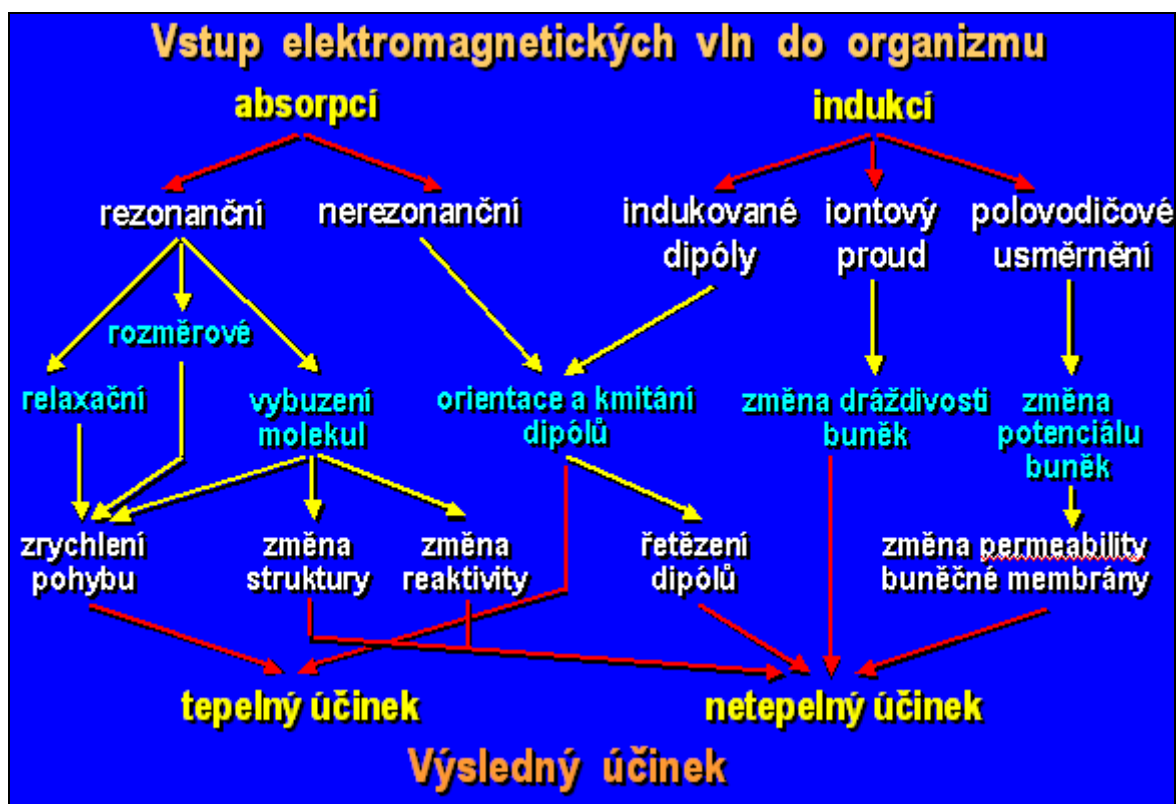
- Meteorologické satelity NOAA-11 a NOAA-12 v roce 1991 byly vlivem vysokofrekvenčního rušení napadeny a řízeny (phantom commands) falešnými příkazy, které vážně narušily jejich úkoly. Satelit NOAA-12 byl prakticky nefunkční při přeletu nad Evropou, která vyzařuje silné vysokofrekvenční pole. Naštěstí se řídicímu středisku podařilo falešné řídicí pokyny eliminovat. [2]
- 17. června 1996 se nedaleko pobřeží zřítil do oceánu Boeing 747-131, let č. 800, s 230 cestujícími na palubě. Jedna z hypotéz o příčině zřícení bylo použití rakety země-vzduch 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.[2]
- Rušení elektrokardiografu. V poliklinice ve středu Prahy ručička zapisovače EKG občas dostávala tak silné škubání, 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 vf rušení.[2]
- Intenzivní rušení zcela přerušilo rádiové spojení na lodích Labské plavby na kmitočtech $1 \div 2$ MHz a v dolech na Ostravsku, kde byla navíc narušena i funkce havarijního vypínání důlního kom-bajnu. Zdrojem rušení byl tyristorový měnič (část pohonu kombaj-nu), na lodích byl zdrojem rušení mikroprocesorový řídicí systém. [1]
- Při bouřkách jsou přepětím poškozovány telefonní ústředny, faxy, záznamníky a telefony. Důvodem je jejich nízká odolnost vůči přepětí a nevhodné či chybějící přepět'ové ochrany na vedení. [1]

Zdroj rušení	Obět' rušení			Celkem
	Navigace	Komunikace	Přístávací systém	
Mobilní telefon	4	1	3	8
Laptop	3	0	2	5
Rádio	3	1	0	4
Elektronické hry	1	0	2	3
CD přehrávač	0	1	1	2
Kazetový přehrávač	2	0	0	2
AM-FM walkman	0	0	2	2
Diktafon	0	0	1	1
Monitor srdeční činnosti	0	1	0	1
Televizor	1	0	0	1
Celkem	14	4	11	29

tabulka 1 Tabulka problémů palubních systémů letadel způsobených donesenými přístroji cestujícími [2]

1.2 Vliv elektromagnetického záření na lidské zdraví

1.2.1 Základní vlivy na lidský organismus



obr. 1 Vstup elektromagnetických vln do organismu [1]

Permeabilita těla je stejná jako vzduchu, magnetické indukční linie jím procházejí bez potíží. Tělo je tedy bezbranné vůči jejich průniku. Pomoci mohou jen speciální ochranné pomůcky, ty však současně omezí i příznivé působení magnetického pole Země. Vliv magnetických polí na organismus se projevuje uvnitř těla tzv. "indukovanou proudovou hustotou", udávanou v A/m² nebo v mA/cm². Posuzování vlivu různých polí navíc komplikuje tzv. "okenní faktor", kdy je člověk více vnímavější na pole slabší než na pole silnější [4].

Vliv nízkofrekvenčního magnetického pole země: U některých lidí se vnímání tohoto nízkofrekvenčního magnetického pole projevuje špatným spánkem při určité orientaci vůči magnetickému poli Země. V některých starých spisech se dočteme o správné orientaci těla pro dobrý spánek, avšak tyto názory se rozcházejí převážně na základě náboženského myšlení a na základě individuálního působení těchto nízkofrekvenčních magnetických polí na jednotlivé citlivé osoby. Tyto teorie jsou i přes svou nepřesnost dosti zajímavé, protože nám poskytují důkaz o tom, že již staré civilizace věděli o působení Země (jejího magnetického pole) na člověka. Novodobé poznatky v kosmickém výzkumu prokázali, že je-li člověk vystaven dlouhodobě mimo magnetické pole Země dochází u něj k dezorientaci a ke změnám psychiky. Dalo by se říct, že magnetické pole země působí na živé organismy jako „stimulátor“. [5]

Vlivy magnetického pole můžeme rozdělit na dva základní body:

- Vliv stacionárního magnetického pole
- Vliv kmitavého magnetické pole

Vliv stacionárního magnetického pole [6]

- Slabé stacionární magnetické pole nemá na živé organismy žádný vliv.
- Dlouhodobé působení pole nízké úrovně řádově 2 T se projevuje v odezvách centrálního nervového systému, kardiovaskulárního a endokrinního systému.
- U silných stacionárních polí se předpokládá, že krátkodobá expozice v poli nad 5 T může vyvolat výrazně škodlivé účinky, které se mohou projevit snížením rychlosti krevního toku v aortě a významným snížením pracovní schopnosti.

Vliv kmitavého magnetického pole [6]

- do úrovní indukované proudové hustoty 1 mA/cm², což je do indukce 100 mT na 3 Hz a 5 mT na 50 Hz nebyly dosud zaznamenány žádné biologické účinky
- V rozsahu 1-10 mA/cm², to je 100 – 1000 mT na 3 Hz nebo 5 – 50 mT na 50 Hz jsou již pozorovány ovlivnění nervového systému, vizuální funkce a stimulace růstu kostí.
- Nad 100 mA/cm², to je 10 T na 3 Hz nebo 500 mT na 50 Hz, již hrozí akutní poškození zdraví.

Vliv frekvence magnetického pole1. (0 ÷ 30 Hz) [7]

Subharmonické frekvence (vůči 1. harmonické síti) působí na několik oblastí vnímání člověka:

- bioproudy (EKG, EMG), při EEG definujeme různé specifické frekvence činnosti mozku, tedy delta (0,5 - 4 Hz), theta (4 - 8 Hz), alfa (8 - 13 Hz), sigma (12 - 14 Hz), beta (14 - 30 Hz);
- Schumannovy rezonance, tedy změny přirozeného magnetického a elektrického pole Země (8-27 Hz)
- seismické vlny (řádově jednotky nebo zlomky Hz)
- fyziologické vnímání kmitání světla, tzv. flicker - efekt s maximem negativního působení při 9,8 Hz
- mechanické vibrace (5 - 30 Hz)

2. (30 - 900 MHz) [7]

Lidské tělo nebo jeho orgány jsou souměřitelné s vlnovou délkou, takže může docházet k rezonanci v následujících pásmech:

- subrezonanční pásmo 30 MHz
- rezonanční pásmo těla od 70 MHz (muži) až po 170 MHz (malé děti) [3]
- nadrezonanční pásmo nad 300 MHz
- rezonanční pásmo hlavy 900 MHz (mobilní telefony GSM)

3. (10 kHz – 1 GHz) [7]

U vř elektromagnetických polí jsou zatím nejvíce objasněny tepelné účinky. To jsou takové, jejichž účinek se projeví jako výsledek ohřevu tkání vystavených vysokým úrovním polí. Dále mají vliv na centrální nervový systém, srdce, cévy, krvevorné a imunitní systémy, což se přisuzuje působením polí s nízkou úrovní. Genetické a karcinogenní účinky polí zatím nebyly jednoznačně prokázány.

Z výsledků prováděných prací vyplývá, že u elektrických složek pole do úrovně 10 kV/m nebyly potvrzené zdravotní vlivy. Nejde to však paušalizovat, protože existují jedinci, kteří vnímají pole již podstatně nižší úrovně, například již od úrovně 2 kV/m. Nebyl však zatím prokázán žádný patologický vliv.

1.2.2 Zdravotní rizika

[8]

- a) Všeobecný účinek na zdraví
- b) Účinek na průběh těhotenství a jeho výsledek
- c) Účinek na zrak a vznik šedého zákalu
- d) Zvýšení rizika vzniku rakoviny
- e) Ostatní biologické účinky

	Evropský kmitočet	průmyslový	Frekvence základnových stanic mobilních telefonů		Frekvence mikrovlnných trub
	50 Hz	50 Hz	900 MHz	1,8 GHz	2,45 GHz
	elektrické pole	magnetické pole	výkonová hustota		výkonová hustota
	kV/m	μT	W/m^2	W/m^2	W/m^2
Limit expozice obyvatelstva	5	100	4,5	9	10
Limit profesionální expozice	10	500	22,5	45	50

tabulka 2 Souhrn doporučených limitů ICNIRP* [8]

- Hodnoty uvedené v tabulce jsou expozice celého těla. Podmínky měření jsou uvedeny v doporučení.

Před přijetím vládního nařízení č. 480/2000 bylo MZČR některými odborníky upozorňováno na to, že přijetím tohoto nařízení se mohou v budoucnu objevit u části populace vážné zdravotní problémy, a to z těchto důvodů: [8]

- limity jsou nastaveny velmi vysoko (dnes již víme, že podle potřeb mobilních telefonů), a to na hodnotu 41 - 58 V/m, což je přepočtení výkonové hustoty 4,5 - 9 W/m², viz tab. 2 ICNIRP (Limit expozice pro obyvatelstvo);
- žádná odborná skupina, která se podílela na přípravě doporučení, se nezabývala ochranou proti dlouhodobému působení EMP z hlediska jeho zdravotních důsledků, např. leukemie u dětí;
- nebere se ohled na senzitivní jedince, kteří činí asi 3 % populace, dále děti, staré a nemocné lidi včetně občanů kontraindikovaných na EMP;
- dopady na ekologii.

Vývoj v této oblasti z pohledu zdravotnictví sleduji víc než deset let a musím konstatovat, že ti biologové a lékaři, kteří vycházejí většinou z vlastní experimentální či klinické zkušenosti (označil bych je za nezávislé na ekonomických zájmech), došli k závěru, že trvalá expozice všech vysílačů by mohla v budoucnu při dlouhodobém působení na organismus způsobovat zdravotní problémy a doporučují jako bezpečný limit intenzity VF elektromagnetického pole maximálně 6 V/m. [2]

Paradoxní je závěr, že před neionizujícím zářením nás preventivně chrání řada zákonů, vládních nařízení a technických norem, které to nedeklarují. (Jde o zákony týkající se EMC a telekomunikační zákon na ochranu radiového příjmu před rušením.) Naopak vládní nařízení č. 480/2000, které má v názvu ochranu zdraví, má nastaveny limity dle mého názoru podle potřeb mobilní komunikace. Jde o to, že např. mobilní telefon o výkonu 0,5 - 1 W vyvolá ve vzdálenosti 10 - 15 cm od přístroje intenzitu elektrického pole 30 - 60 V/m. Uvedený výkon potřebuje mobilní telefon k tomu, aby se zajistilo bezpečné spojení se základnovou stanicí GSM. Pokud by hygienici neschválili tyto technické parametry, museli by zakázat používání mobilních telefonů, což dnes již nepřipadá v úvahu. Nemám nic proti těmto limitům u mobilních telefonů, protože se jedná o krátkodobou expozici. (Nikdo

netelefonuje 24 hodin denně). Naopak za obrovskou chybu a nezodpovědnost vládního nařízení považují to, že tyto limity lze aplikovat i na makroprostředí základnových stanic GSM či VKV vysílačů, tj. i v husté zástavbě. [10]

Analogicky to znamená, že vypočteme-li podle těchto norem bezpečné vzdálenosti od antén vysílačů, pak od vysílače GSM s výkonem 10 W tato vzdálenost vychází 1,8 m (takže nám hygienickou stanicí bude povoleno instalovat si jej i do bytu), u vysílače 1000 W je tato vzdálenost 19,6 m. Nyní již víme, že mobilní telefon ke své funkci potřebuje výkon 0,5 - 1 W a ve vzdálenosti od přístroje 10 - 15 cm (je-li přístroj ve funkci) je hlava ozařována stejně, jako kdybychom byli 19,6 m od 1 kW vysílače, což by podle nové normy nemělo škodit zdraví. Podotýkám však, že podle vyhlášky MZČR č. 408/1990 byl tento limit 6 V/m, což odpovídá vzdálenosti 80 - 100 m od vysílače. (Značný skok, uvědomíme-li si, že na rozdíl od mobilního telefonu nás vysílač ozařuje 24 hodin denně). [10]

Prakticky tedy stejná intenzita, která vás ozařuje v průběhu telefonování mobilním telefonem, vás může trvale ozařovat 24 hodin denně. K získání konkrétní představy si můžete udělat tento experiment. Zapněte mobil na režim volání, přiložte ho k jakémukoliv rozhlasovému přijímači a uslyšíte výsledek (rušení). [10]

1.2.3 Vlivy mobilních technologií na lidské zdraví

Vliv elektromagnetických polí (EMP) mobilních telefonů na kardiostimulátory [9]

- Pacienti s kardiostimulátorem upozorňují na rizika interferencí v dopravních prostředcích, kde současně telefonuje několik osob. Vagón tramvaje nebo vlaku působí jako Faradayova klec a mobilní telefon automaticky přepíná na vyšší výkon 1-2W, aby bylo zajištěno spojení. Tyto poruchy se dají ověřit-zaznamenat Holterem EKG a vyhodnotit pro konkrétní situaci.

- Kardiostimulátor nemá schopnost uspokojivě pracovat v blízkém elektromagnetickém poli mobilního telefonu. Jeho odolnost je 10V/m a „za rušení“ mobilním telefonem, (dle nařízení vlády č. 480/2000 Sb.) je povoleno až na hodnoty 41-58 V/m.

- V souvislosti s bouřlivým rozvojem třetí generace bezdrátových informačních technologií (IT) nevyhovuje ani zkoušený kmitočtový rozsah kardiostimulátoru (80 MHz – 2,5 GHz), protože pacienti budou v terénu vystaveni elektromagnetickým polím až do 30 GHz.

Rovněž úroveň EMP na začátku 21.století narůstá nelineárně. (viz. www.tzb-info.cz Elektromagnetické pole a zdravotní rizika). Legislativně dnes nic nebrání tomu, aby odolnost 10V/m byla během několika let trvale překračována s možnými nepříznivými dopady pro pacienty s kardiostimulátory. Upozorňuji na tuto skutečnost na základě vlastních zkušeností z vývoje elektrostimulátorů a sledování úrovně elektromagnetického pozadí (elektrosmogu).

V této souvislosti cituji vizi dohledné budoucnosti informatiky pronesenou Billem Gatesem: „Informace budou ve vzduchu, bez drátu, široce dostupné. Nositelem informací bude všechno, co má elektromagnetické vlny....“ S možnými problémy s EMC, či se zvýšením zdravotních rizik si oficiální místa nedělají zatím starosti, protože limity se v legislativě pravděpodobně upravují podle potřeb mobilních operátorů, (viz literatura [č. 3]).

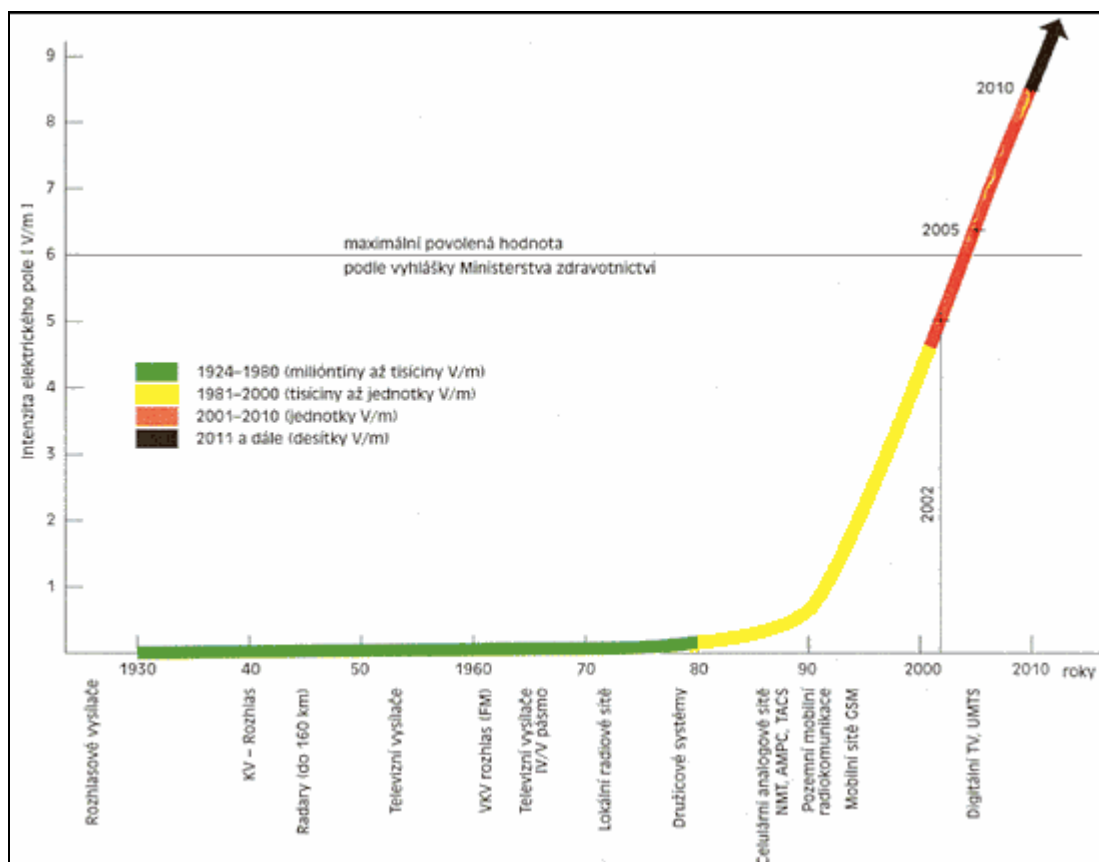
Koncepce stávajících kardiostimulátorů byla poprvé aplikována již před padesáti lety, (průběžně docházelo k modernizaci zásluhou rozvoje mikroelektroniky) ale na začátku 21. století již tato koncepce, vzhledem k současnému enormnímu nárůstu umělých zdrojů EMP, nemusí vyhovovat. Doufám, že výrobci a dodavatelé kardiostimulátorů tento fenomén včas zaregistrují a připraví zásadní inovaci přístrojů (na př. na bázi nanotechnologií).

Vzdálenost od antény mobilního telefonu	Výkon mobilního telefonu				
	0,25 W	0,5 W	1 W	2 W	
cm	níže uvedená intenzita je ve V/m				Zdravotní limity: - pro 900 MHz je výkonová hustota 4,5 W/m ² , což odpovídá 41 V/m - pro 1800 MHz je výkonová hustota 9 W/m ² , což odpovídá 58 V/m
100	2,7	3,8	5,4	7,7	
75	3,6	5,1	7,3	10,3	
50	5,5	7,6	10,8	15,5	
25	10,9	15,2	21,8	30,1	
10	27,4	38,0	54,7	77,5	
8	34,2	47,5	68,4	96,8	
5	54,7	76,0	109,0	155,0	

tabulka 3 Tabulka měření intenzity elektromagnetického záření mobilního telefonu

Poznámka k tabulce 3 : Z metodických důvodů je tabulka zpracována pro čtyři vyzařované výkony: 0,25 W, 0,5 W, 1 W a 2 W, a to z toho důvodu, že mobilní telefony nejsou nastaveny na konstantní výkon, ale jejich výkon se průběžně mění podle místa stanoviště, ze kterého uživatel volá. Jestliže se mobilní telefon nachází na volném prostranství, v místech, kde jeho ukazatel ukazuje plný signál, je jeho zesilovač nastaven na 0,25 W. Kdežto v dopravních prostředcích, které působí jako Faradayova klec je výkon jeho zesilovače až 2W. Pro uživatele mobilního telefonu to znamená to, že jestliže telefonuje ve volném prostranství, tak bezpečná vzdálenost jeho hlavy od mobilního telefonu je 8 cm, avšak jestliže telefonuje v dopravním prostředku nebo na místě s nízkou intenzitou signálu, tak bezpečná vzdálenost jeho hlavy od mobilního telefonu je 25 cm.

1.3 Vliv elektromagnetického záření na přírodu



graf č. 1 Graf rostoucí intenzity elektromagnetického záření v přírodě [8]

Zdroje „Elektromagnetického smogu“: [11]

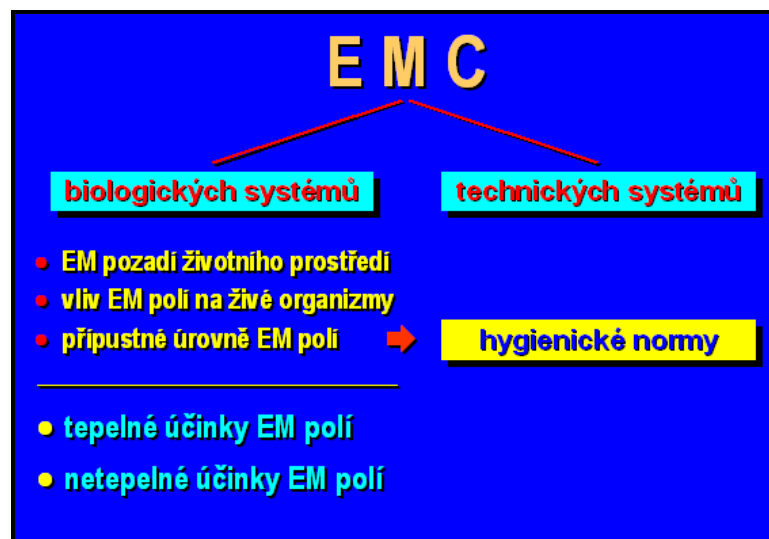
- mobilní sítě GSM, 3 operátoři - počet mobilních čísel v ČR asi 9,7 milionu;
- počet základnových stanic přibližně 10 tisíc v každém kraji;
- UMTS - síť třetí generace. S uvedením do provozu došlo ke skluzu, takže se zavedením se počítá až v roce 2006;
- Počet zákazníků nejpoužívanější mobilní technologie GSM dosáhl ve světě 1,3 miliardy uživatelů, v roce 2008 se počítá s tím, že mobil bude mít dvě miliardy lidí a v roce 2015 již to budou čtyři miliardy, což je polovina lidstva;
- VKV-FM vysílače v ČR se překotně budují. Jde zejména o privátní vysílače, kterých je v současné době v provozu asi 230 a ve schvalovacím řízení jsou další;
- veřejnoprávní rozhlasové vysílače - ČRo v současnosti využívá cca 120 vysílačů;
- televizní vysílače - celkový počet asi 1600.

2 ZÁKLADNÍ POJMY

2.1 Základní pojmy EMC

Na základě znalostí vlivů elektromagnetického záření vznikl pojem Elektromagnetická kompatibilita.

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) je schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), a současně svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. neprodukovat signály, jež by byly nepřipustně rušivé pro jiná zařízení. [1]



obr. 2 Rozdělení EMC [1]

EMC biologických systémů zkoumá elektromagnetické pozadí našeho životního prostředí a přípustné úrovně rušivých a užitečných elektromagnetických signálů (přírodních i umělých) spolu s jejich vlivy na živé organismy. Přestože jsou tyto vlivy pozorovány již delší dobu, výsledky dosavadních biologických a biofyzikálních výzkumů nejsou jednoznačné. Biologické účinky elektromagnetického pole závisí totiž na jeho charakteru, době působení i na vlastnostech organismu. Protože nejsou známy receptory pole (vstupy elektromagnetického pole do organismu), posuzují se tyto účinky jen podle nespecifických reakcí organismu. Každý člověk totiž reaguje na působení elektromagnetického pole jinak, jelikož jeho adaptační, kompenzační a regenerační možnosti a schopnosti jsou

individuální. A proto je velmi obtížné analyzovat změny v organismu a na základě statistických výsledků dojít k obecně platným závěrům. Všechny tyto skutečnosti v obtížnosti posuzování EMC biologických systémů jsou příčinou toho, že v příslušných hygienických normách ve světě existují až řádově velké rozdíly, např. v přípustných dávkách elektromagnetického záření.[1]

Problematikou EMC biologických systémů se zabývají některá výzkumná lékařská pracoviště které mají za úkol posoudit odolnost lidského organismu vůči elektromag. vlivům, mechanismy jejich působení apod. U vysokofrekvenčních polí (10 kHz až 1000 MHz) jsou relativně nejvíce objasněny tzv. tepelné účinky, tj. účinky, které se objeví jako výsledek ohřevu tkání vystavených vysokým úrovním polí. Příslušné hodnoty prahových výkonových hustot elektromagnetického pole na velmi vysokých kmitočtech, při jejichž překročení může nastat tepelné poškození organismu jsou uvedeny v tabulce 4:

Pásmo elektromagnet vln [GHz]	Prahová výkonová hustota [mW/cm]
0,3 - 3	40
3 - 30	10
30 - 300	70

tabulka 4 Prahové výkonové hustoty tepelných účinků
elektromagnetického pole [3]

Veličina	Pracovníci u zdrojů záření				Obyvatelstvo			
	Kmitočet [MHz]				Kmitočet [MHz]			
	0,06 - 3	3 - 30	30 - 300	> 300	0,06 - 3	3 - 30	30 - 300	> 300
E_{mez} [V/m]	500	300	100	-	180	80	30	-
H_{mez} [A/m]	50	-	-	-	15	-	-	-
P_{mez} [mW/cm]	-	-	-	2,65	-	-	-	0,25
W_E [(V/m).hod]	50 000	7000	800	-	5000	700	100	-
W_H [(A/m).hod]	200	-	-	-	20	-	-	-
W_P [(mW/cm).hod]	-	-	-	0,8K ₁	-	-	-	0,12K ₂

tabulka 5 Mezní úrovně elektromagnetického pole a největší přípustná ozáření
podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 408/1990 Sb. [3]

$$W_E = E^2 t, \quad W_H = H^2 t, \quad W_P = P^2 t;$$

Stacionární antény a zářiče

$$K_1 = 1$$

$$K_2 = 1$$

Mechanicky sektorující antény $K1 = 2,5$ $K2 = 5$

Otáčející se antény $K1 = 120$ $K2 = 360$

EMC technických systémů a zařízení, se zabývá vzájemným působením a koexistencí technických prostředků, zejména elektrotechnických a elektronických přístrojů, prostředků a zařízení. Elektromagnetická kompatibilita se tak z původní disciplíny, zabývající se pouze ochranou proti rušení rádiového příjmu, v současnosti rozvinula ve velmi široký obor, který se člení na několik dílčích podoborů a oblastí. [3]

Při zkoumání EMC daného zařízení či systému (a to jak technického, tak i biologického) se vychází vždy z tzv. **základního řetězce EMC**, naznačeného na obr. Tento řetězec zdůrazňuje již zmíněný systémový charakter problematiky EMC, kdy v obecném případě vždy vyšetřujeme všechny tři jeho složky. [3]



obr. 3 Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí [1]

- a) **Zdroje elektromagnetického rušení:** [3] Zahrnujeme zde zkoumání obecných otázek mechanismů vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity. Patří sem jednak tzv. přírodní (přirozené) zdroje rušivých signálů (Slunce, kosmos, elektrické procesy v atmosféře apod.), jednak tzv. umělé zdroje rušení, tj. zdroje vytvořené lidskou činností ("man made noise"), k nimž patří nejrůznější technická zařízení - zapalovací systémy, elektrické motory, výroba, přenos a distribuce elektrické energie, elektronická zařízení, elektronické sdělovací prostředky, tepelné a světelné spotřebiče apod.

- b) **Elektromagnetické přenosové prostředí a vazby:** [3] Zde zkoumáme způsoby cesty kterými se energie ze zdroje rušení dostává do rušených objektů - přijímačů rušení.
- c) **Rušené objekty a přenosové vazby:** [3] Zde se zabýváme klasifikací typů a podrobnou specifikací rušivých účinků na základě analýzy konstrukčních a technologických parametrů zařízení a z toho plynoucí jejich elektromagnetickou odolností

Ve skutečnosti jsou souvislosti jednotlivých tří oblastí základního řetězce EMC mnohem složitější, než je uvedeno na obr.3. Každý systém či zařízení, nebo jeho určitá část, může být současně jak vysílačem (zdrojem), tak i přijímačem elektromagnetického rušení. Přesto můžeme v technické praxi většinou označit element méně citlivý na rušení a generující větší úroveň rušení jako zdroj (vysílač) rušícího signálu a naopak, citlivější element s menší úrovní generovaného rušení za přijímač rušivých signálů. V obou směrech jsou přitom zdroj a přijímač vázány mezi sebou parazitní elektromagnetickou vazbou (.obr. 4).

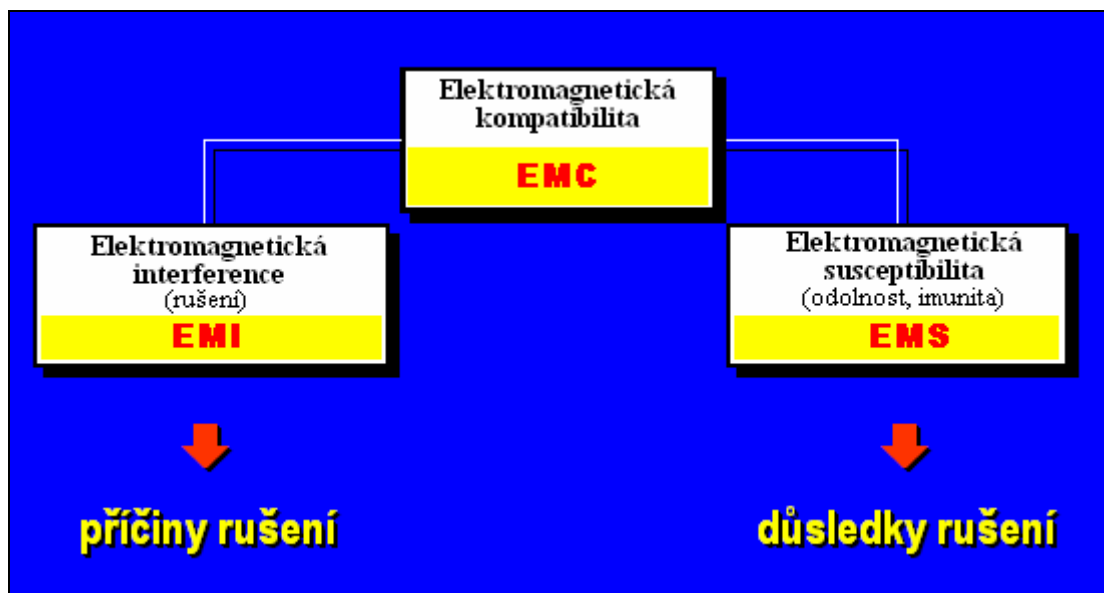


obr. 4 Vlivy působící na elektrické zařízení

Ve skutečném řetězci EMC se nikdy nejedná o působení jediného zdroje rušení a jediného přijímače, ale vždy se řeší vzájemné vztahy více systémů vzájemně se všestranně ovlivňujících. Přesto obvykle postupujeme tak, že jeden systém nejdříve 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. Vzájemné působení různých systémů je tedy velmi složité a v praxi se snažíme alespoň přiblížit stavu kdy daný systém nebo zařízení bude absolutně kompatibilní. Uvažujeme, 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. Svou pozornost tedy zaměříme na jednu ze tří oblastí řetězce EMC a výběr nejvhodnější z nich, jejíž úpravou pak dosáhneme nejvyššího efektu EMC. Přičemž vše samozřejmě závisí na konkrétním systému a okolnostech jeho činnosti. [3]

2.2 Základní členění systémů elektromagnetické kompatibility



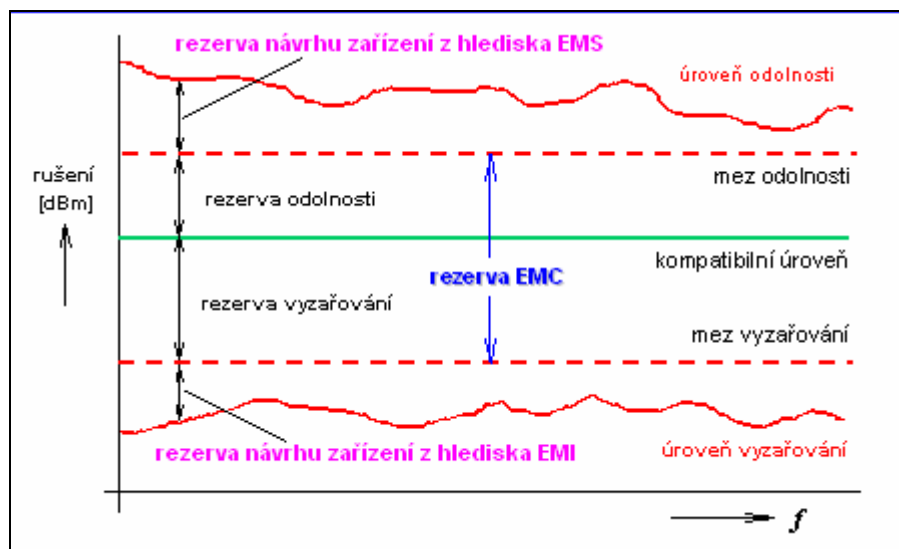
obr. 5 Základní členění problematiky EMC [1]

Elektromagnetická interference (EMI): 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. [1]

Elektromagnetická susceptibilita (EMS): neboli elektromagnetická odolnost je vlastnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS se tedy zabývá především technickými opatřeními, které zvyšují u objektu (příjímače rušení) jeho odolnost proti vlivu rušivých signálů. EMS se tak týká spíše odstraňování důsledků rušení, bez odstraňování jejich příčin. [1]

Jak EMI tak EMS v sobě zahrnuje celou řadu často společných - kroků a nezbytných postupů. Jednou z nejdůležitějších oblastí je měření elektromagnetické interference, především měření rušivých signálů a jejich identifikaci. Zahrnuje měřicí metody a postupy pro kvantitativní hodnocení vybraných parametrů hlavně na rozhraních zdrojů a přijímačů rušení. Problematika měření, která je pro závěrečné posouzení EMC daného zařízení vždy rozhodující, je navíc komplikovaná tím, že i samotné měřicí zařízení je (či může být) zdrojem a současně přijímačem rušivých signálů, což je nutno při měření respektovat (technicky, kalibračně, početně). Při návrhu a vývoji daného zařízení sehraává důležitou úlohu počítačové simulace a modelování EMS i EMI k čemuž se využívá rozsáhlých softwarových produktů různých firem. Tímto způsobem je možno realizovat optimální technický návrh zařízení z hlediska EMC.



obr. 6 Základní atributy elektromagnetického rušení [1]

Úroveň vyzařování je rušení generované samotným konkrétním spotřebičem či zařízením měřené předepsaným způsobem a vyjádřené např. v [dBm] v závislosti na kmitočtu dle obr.5 **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. [3]

Rozdíl meze (mezi) odolnosti a meze (mezi) vyzařování je nazýván **rezervou (rozpětím) EMC** daného zařízení. Výše uvedená norma zavádí rovněž pojem tzv. **kompatibilní úrovně**, jakožto úrovně rušení, při níž je dosaženo ještě "přijatelné vysoké" pravděpodobnosti EMC zařízení. Rozdíly mezi vyzařování a mezi odolnosti vůči této kompatibilní úrovni (v [dB]) jsou nazývány **rezerva (rozpětí) vyzařování** a **rezerva (rozpětí) odolnosti**. [3]

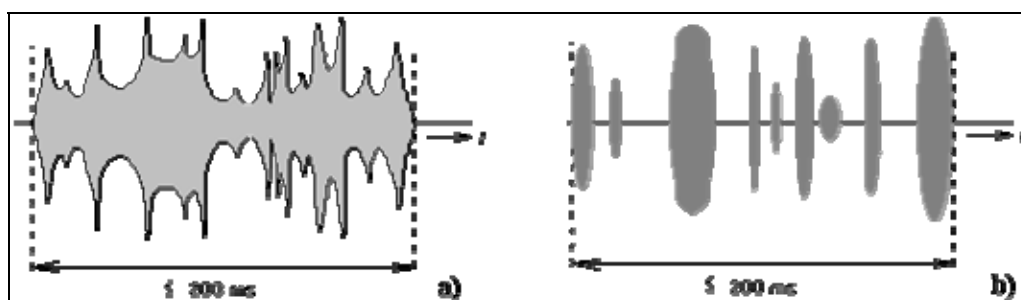
Každý elektrotechnický systém můžeme pokládat zároveň za zdroj i za přijímač elektromagnetického rušení. Skupina systémů u nichž vysoce převažuje proces generování rušivých signálů nad jejich nežádoucím příjmem se nazývá **interferenční zdroje** či **zdroje elektromagnetického rušení**. Z hlediska zamezení rušení jsou významné především **umělými interferenčními zdroji**, tj. zdroje vzniklé lidskou technickou činností. **Přírodním (přirozeným) zdrojům** rušivých signálů (jejich vzniku) většinou nemůžeme zabránit; můžeme tedy jen předcházet jejich následkům . [3]

Interferenční zdroje, které jsou základem funkce jednoho systému (např. sdělovací signály vysílačů) a přitom mohou ovlivnit základní funkce jiného systému a být tedy vůči němu rušivé, nazýváme **funkční**. Ostatní zdroje, které při svém provozu produkují parazitní (nežádoucí) rušivá napětí či pole, označujeme jako **parazitní** či **nefunkční**. [3]

Interferenční zdroje lze rovněž členit podle časového průběhu rušivého signálu. **Impulsní rušení** má charakter časové posloupnosti jednotlivých impulsů nebo přechodných jevů. Opakem je tzv. **spojité rušení**, které nemůže být považováno za posloupnost oddělených jevů a působí kontinuálně (nepřetržitě) na rušené zařízení. Kombinací spojitého a impulsního rušení je **kvazi-impulsní rušení**.

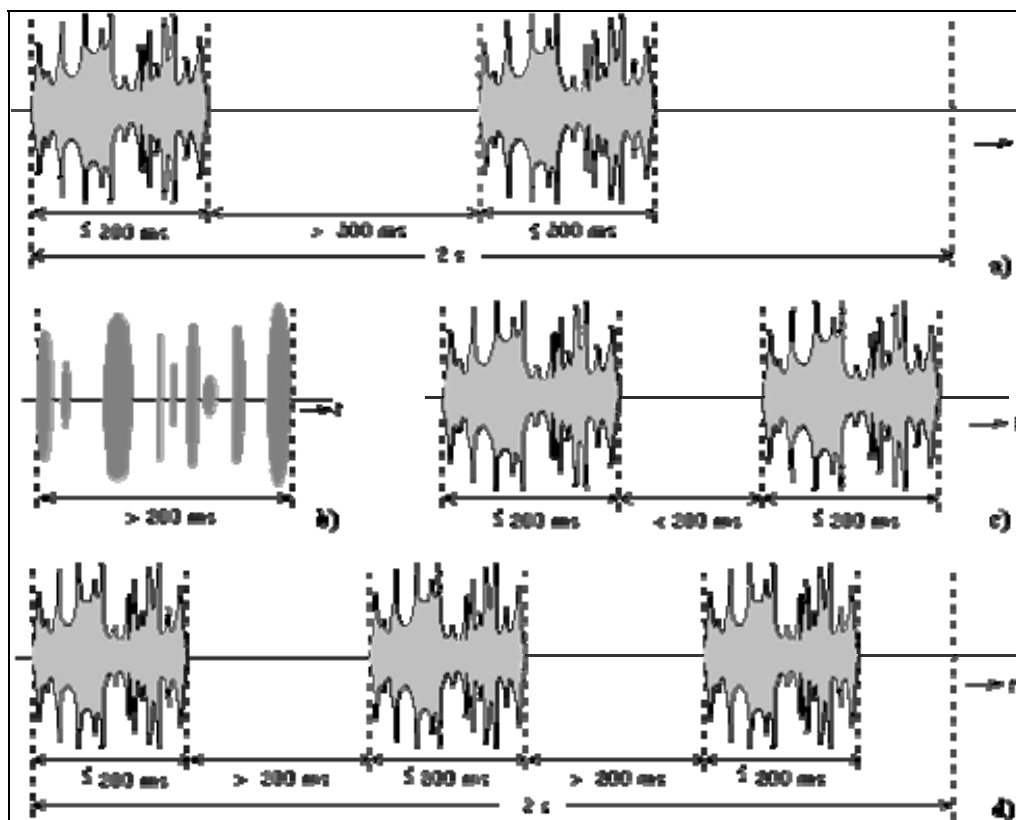
Časový průběh rušivých signálů může být natolik rozličný, že posouzení toho, zda jde o spojitý či nespojitý (impulsní) rušení nemusí být v běžné praxi zdaleka jednoduché. Charakteristiky spojitých a nespojitých rušivých signálů proto musí být stanoveny mezinárodními normami (u nás ČSN-EN 55014) tak, aby při jejich vyhodnocování a určování přípustných mezí bylo dosaženo jednotného a vzájemně porovnatelného postupu. [3]

Tato norma (ČSN-EN 55014) definuje tzv. **mžikovou (impulsní) poruchu** jako poruchu s dobou trvání ne delší než 200 ms, která je oddělena od následující mžikové poruchy nejméně o 200 ms. Oba tyto časové intervaly jsou vztaheny k úrovni mezí spojitého rušení. Mžiková porucha může skládat z nepřerušené řady impulsů (obr. 7a) nebo být tvořena seskupením jednotlivých impulsů kratších než 200 ms s celkovou dobou od počátku prvního do konce posledního impulsu kratší než 200 ms (obr. 7b).



obr. 7 Jednorázová mžiková porucha jako nepřerušená řada impulsů
a) a jako seskupení jednotlivých impulsů, b) netrvající déle než 200 ms

Při opakování poruch je důležitým parametrem tzv. **četnost mžikových poruch**. Některé typické případy pro vyhodnocení opakujících se mžikových poruch jako spojitého či nespojitého rušení jsou naznačeny na obr.7. Pro posouzení je důležitá nejen doba trvání jednotlivých mžikových poruch, ale i časový interval jejich opakování a počet poruch v normou stanoveném intervalu 2 s. [3]



obr. 8 Vyhodnocení mžikových poruch:nespojité rušení [3]

Popis k obr. 8:

- a) dvě mžikové poruchy v intervalu 2s vzdálené o více než 200 ms;spojité rušení
- b) jedna mžiková porucha delší než 200 ms
- c) dvě mžikové poruchy v odstupu menším než 200 ms, d) více než dvě poruchy v intervalu 2 s.

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. [3]

Z hlediska obsazení kmitočtového spektra a fyzikálního působení lze rušení dále členit na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. **Nízkofrekvenční rušení** se projevuje dvojím

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 a sdělovací systémy, osvětlení, stroje a přístroje a další. Zdrojem energetického rušení je obecně každá nelineární zátěž napájecí sítě způsobující deformaci odebíraného proudu. [3]

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. [3]

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.

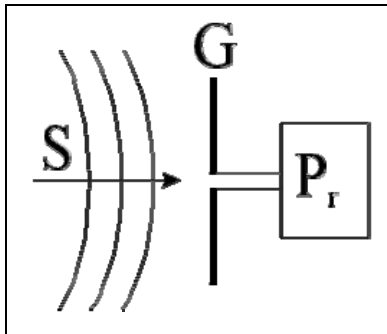
Z obecného hlediska se z každého interferenčního zdroje šíří rušivý signál jak vyzařováním (prostorem), tak i po napájecích či sdělovacích vedeních. U různých zdrojů rušení však obvykle jeden z těchto způsobů šíření převažuje, a proto se interferenční zdroje někdy rozdělují na **zdroje rušení šířených vedením** a na **zdroje rušení šířených vyzařováním (prostorem)**. [3]

2.3 Fyzikální veličiny EMP a jejich přepočty

Elektromagnetické pole (EMP) je přesně definováno fyzikálními veličinami: [8]

- intenzita elektrického pole E [V/m]
- intenzita elektrického pole E udávaná v [dB μ V/m] (např. v protokolech, které vystavuje ČTÚ),
- hustota zářivého toku S [W/m²] (např. v protokolech, které vystavuje hygiena)

- intenzita magnetického pole H [A/m]
- magnetická indukce B [T] nebo [μ T]
- vlnová délka λ [m] nebo kmitočet f [Hz]
- měrná absorbovaná energie SAR [W/kg] ve vztahu k mobilním telefonům.

Přepočební vztahy [13]

$$C_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad (1)$$

$$P_r = A_e S \quad (2)$$

$$E = Z_0 H \quad (3)$$

$$A_e = g \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (4)$$

$$S = \frac{E^2}{4\pi} = Z_0 H \quad (5)$$

$$f = \frac{c_0}{\lambda} \quad (6)$$

f frekvence [Hz]

Z_0 permeabilita prostředí [Ω]

C_0 rychlost světla

G Anténní faktor [dB]

P_r Naměřená výkon (intenzita) [dBm]

E Hodnota elektrického pole [V/m]

H..... Hodnota magnetického pole [A/m]

S..... Výkonná hustota [W/m²]

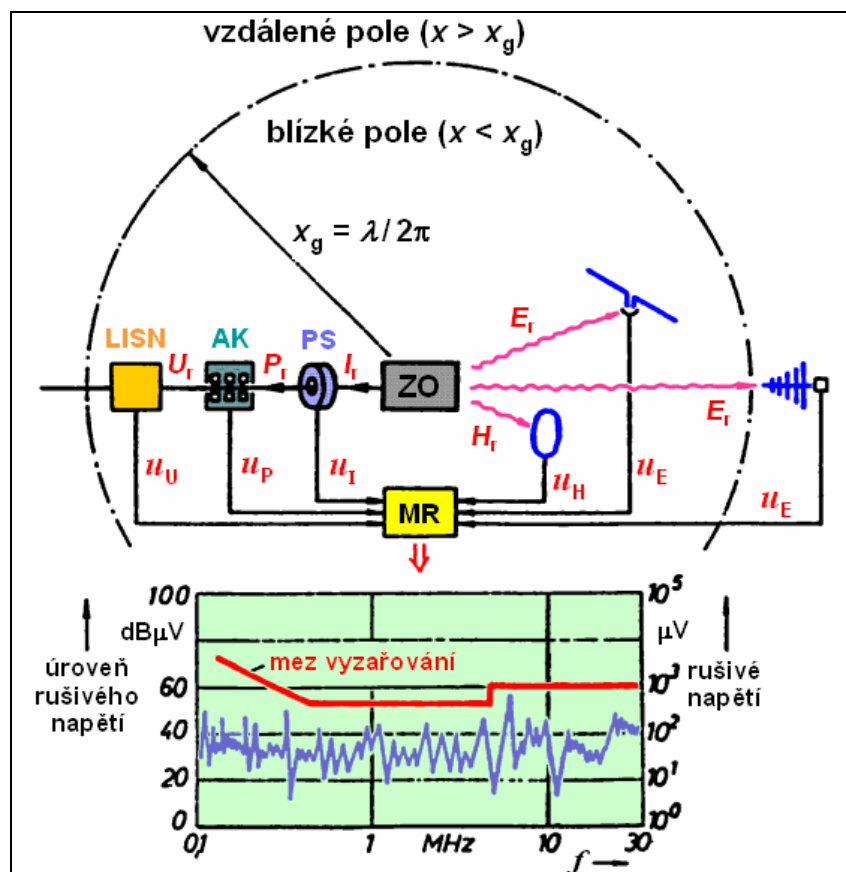
3 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Způsoby přenosu rušení: [1]

Přenos vedením (např. napájecím či datovým vedením daného zařízení). Měřenými veličinami jsou rušivé napětí U_r , rušivý proud I_r , příp. výkon P_r rušivého signálu.

Přenos elektrickou či magnetickou vazbou (blízkým elektrickým či magnetickým polem) mezi dvěma blízkými objekty. Parazitní vazbu charakterizujeme intenzitou rušivého elektrického pole E_r nebo intenzitou rušivého magnetického pole H_r .

Přenos vyzařováním elektromagnetických vln (vzdáleným polem) mezi vzdálenými objekty na vyšších kmitočtech. Měřenými veličinami jsou intenzity elektrického či magnetického pole E_r , H_r , příp. hustota vyzářeného výkonu P_r rušivého signálu (velikost Poyntingova vektoru rušivého elektromagnetického pole).



obr. 9 schéma pracoviště pro měření [1]

rušivých signálů

Měřič rušení (MR) [1]

měří a vyhodnocuje všechny druhy elektromagnetických rušivých signálů, které jsou snímány vhodným snímačem – senzorem. Jde o selektivní μV -metr, spektrální analyzátor či speciální měřicí přijímač pro požadovaný rozsah měřicích kmitočtů – obvykle od 9 kHz do 1 GHz.

Snímače rušivých signálů na vedení

LISN – umělá síť (umělá zátěž) vedení snímá rušivé napětí U_r

AK – absorpční kleště (absorpční odbočnice) snímá rušivý výkon P_r

PS – proudová sonda (proudové kleště) snímá rušivý proud I_r

– napěťová sonda snímá rušivé napětí

Snímače vyzařovaných rušivých signálů

měřicí anténa pro blízké elektrické pole E_r (prutová, dipólová)

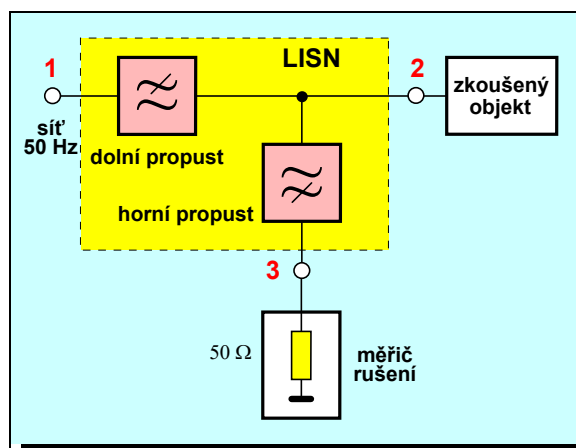
měřicí anténa pro blízké magnetické pole H_r (feritová, rámová)

měřicí anténa pro vzdálené elektromagnetické pole E_r (bikónická, logaritmicke-periodická, Bilog)

Měření s umělou sítí [1]

Umělá síť AMN (Artificial Mains Network)

Umělá zátěž vedení LISN (Line Impedance Stabilizing Network)

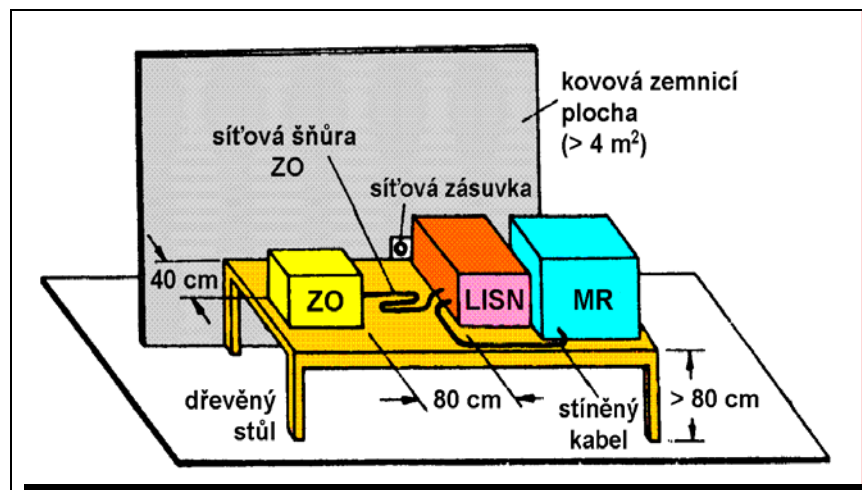


obr. 10 Blokové schéma umělé sítě LISN

funkce horní propusti: Zajišťuje připojení měřicího zařízení (měřiče rušení) k proměřovanému (zkoušenému) objektu pro celý rozsah měřených kmitočtů

funkce dolní propusti 50 Hz: Zajišťuje, že na vstup měřicího zařízení se dostanou jen měřené rušivé signály ze zkoušeného objektu, ale nikoli z vnější napájecí sítě (funkce dolní propusti 50 Hz). Tyto rušivé signály se tak nedostanou ani ke zkoumanému spotřebiči a neovlivňují tak výsledky měření.

Uspořádání pracoviště pro měření rušivého napětí na síťových svorkách zkoušeného objektu ZO [1]



obr. 11 Uspořádání pracoviště pro měření rušivého napětí na síťových svorkách zkoušeného objektu ZO

ZO..... zkoumaný objekt

LISN... umělá zátěž vedení

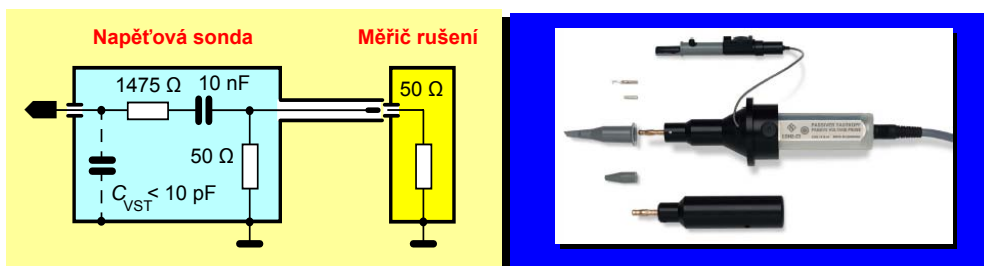
MR..... měřící zařízení

- Zkoušený objekt musí pracovat ve svém standardním režimu a v provozní sestavě uvedené jeho výrobcem v příslušném návodu k obsluze.

- Má-li být ZO při provozu uzemněn, musí být připojen k zemnímu bodu LISN. Nemusí-li být ZO uzemněn, musí být ve vzdálenosti 40 cm od umělé země tvořené svíslou kovovou deskou s minimálními rozměry 2 x 2 m.

Měření s napěťovou sondou [1]

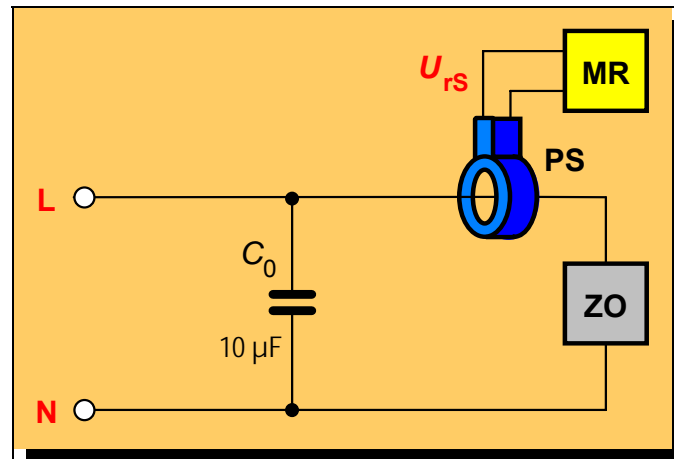
na jiných místech než na napájecích svorkách zkoušeného objektu, příp. tam, kde nelze k měření použít umělou síť LISN vhodné při zkouškách a diagnostických měřeních EMC při vývoji zařízení. Pro citlivá měření se obvykle používá aktivní napěťová sonda osazená na vstupu tranzistorem FET. Aktivní sondy vykazují napěťový zisk nebo jen malé napěťové zeslabení, velkou šířku kmitočtového pásma 300 MHz i více, vstupní kapacitu $3 \div 5$ pF a vysoký vstupní odpor řádu 10 M Ω .



obr. 12 Napěťová sonda

Měření s proudovou sondou [1]

Proudová sonda (proudový transformátor, proudové kleště) slouží k měření rušivého elektrického proudu protékajícího vodičem, a to bez jeho přerušení.



obr. 13 Měření rušivého proudu proudovou sondou

ZO – zkoušený objekt

MR – měřič rušení

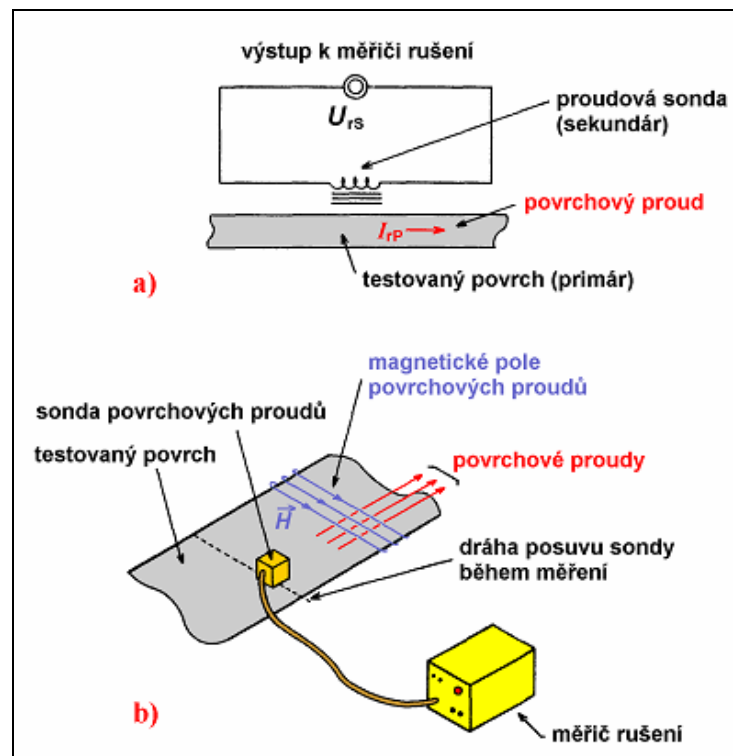
PS – proudová sonda



obr. 14 Konstrukce a vnější vzhled proudové sondy

Sonda povrchových proudů [1]

(Surface Current Probe) pro měření vysokofrekvenčních rušivých proudů protékajících po kovovém povrchu např. stínících krytů či karosérií.



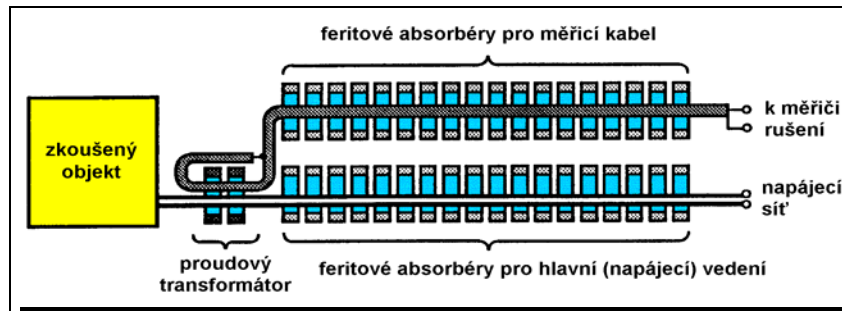
obr. 15 sonda povrchových proudů

a.) princip činnosti

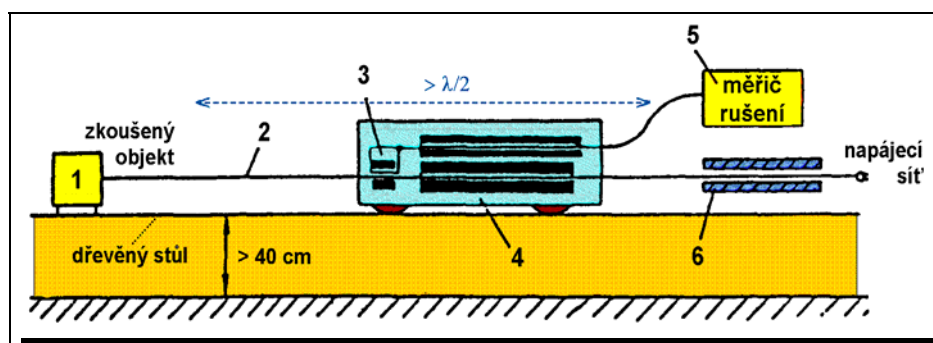
b.) Praktické použití sondy

Měření s absorpčními kleštěmi [1]

Absorpční kleště (absorpční transformátor, absorpční odbočnice) jsou kombinací širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy (proudového transformátoru) a feritového absorbéru. Pracují v kmitočtovém pásmu $30 \div 1000$ MHz a měří výkon rušivého signálu, který se šíří ze zkoušeného objektu připojenými kabely a vedením (např. napájecím).



obr. 16 Konstrukce absorpčních kleští

Uspořádání pracoviště pro měření s absorpčními kleštěmi [1]

obr. 17 Uspořádání pracoviště pro měření s absorpčními kleštěmi

Rušivý signál ze zkoušeného objektu v jeho napájecím vedení 2 indukuje v proudové smyčce 3 absorpčních kleští 4 napětí, které je úměrné v_f rušivému proudu ve vedení 2 a je měřeno měřičem rušení 5. Feritové kroužky přizpůsobují bezodrazově napájecí vedení pro rušivý signál a současně potlačují pronikání rušivých signálů z „vnějšku“ po napájecím vedení k proudové smyčce 3. Někdy je toto potlačení nutno zlepšit použitím další absorpční vložky 6 umístěné na vedení za absorpčními kleštěmi. Proudová smyčka 3 pak reaguje jen na rušivý signál postupující po vedení 2 směrem od zkoušeného objektu 1.

Měření pomocí antén [1]

Rámové (smyčkové) antény nebo feritové antény [1]

- pro měření magnetického rušivého pole
- nejnižší kmitočtové pásmo 9 až 150 kHz, příp. 150 kHz až 30 MHz.

Cívka antény o max. velikosti 60 x 60 cm je umístěna do kovového stínění pro vyloučení parazitního vlivu elektrické složky pole. Antény mohou být pasivní nebo aktivní, vybavené měřicími zesilovači pro dané pásmo kmitočtů.



obr. 18 rámová anténa

Nesymetrická vertikální prutová (tyčová) anténa (monopól) [1]

- doporučená celková délka 1 m
- pro měření rušivého elektrického pole E_r v pásmu 150 kHz až 30 MHz.

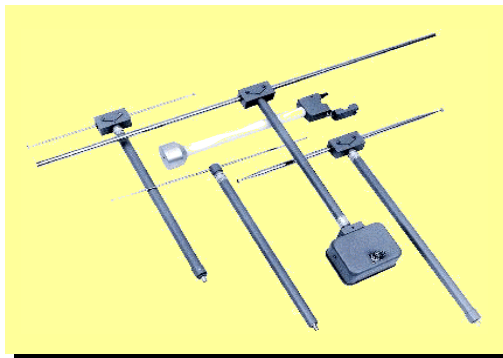
Při měření v tzv. blízkém poli rušivého zdroje je měření elektrické intenzity E_r pomocí této antény nepřesné, neboť kromě vazby vf. polem se zde uplatňuje i přímá kapacitní vazba mezi anténou a zdrojem rušení. Přesto se i zde měření pomocí prutových antén provádí, neboť při přesně stanovených podmínkách je spolehlivě reprodukovatelné.



obr. 19 prutová anténa

Laděný symetrický půlvlnný dipól [1]

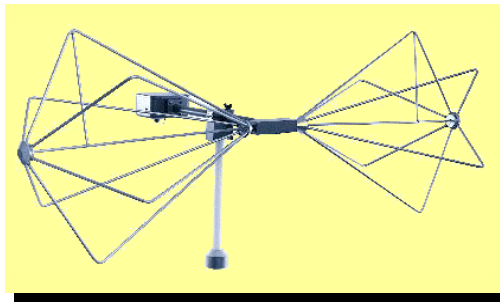
- měřicí anténa
- používá se v kmitočtovém pásmu 30 až 80 MHz.
- Dipól je vždy nastaven (naladěn) na rezonanční délku odpovídající kmitočtu 80 MHz.
- Ve vyšších pásmech až do 1000 MHz slouží rezonanční půlvlnné dipóly jako kalibrační antény, pro běžná provozní měření však nejsou příliš vhodné z důvodu jejich pracnějšího nastavení: délka ramen dipólu musí být nastavena (naladěna) vždy na příslušný měřicí kmitočet, dipól musí být připojen ke vstupu měřiče rušení prostřednictvím symetrizačního obvodu (balunu).



obr. 20 Laděný symetrický půlvlnný dipól

Bikónická anténa [1]

- je typickou měřicí anténou v pásmu $20 \div 300$ MHz.

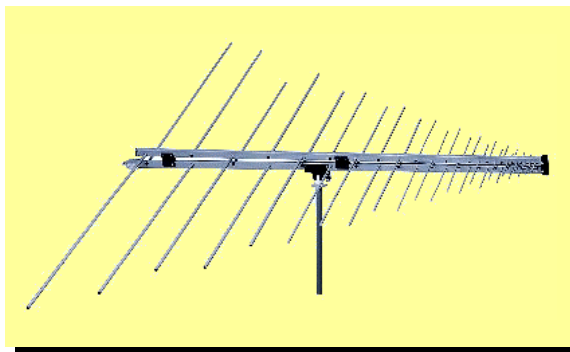


obr. 21 Bikónická anténa

Logaritmicko - periodická anténa [1]

- je nejrozšířenější měřicí anténou
- pásmo měření od 200 do cca 3000 MHz.

Tvoří ji unipóly, jejichž délky a vzájemné vzdálenosti jsou v poměru logaritmu jejich rezonančních kmitočtů tvar vyzařovacího diagramu a vstupní impedance antény jsou prakticky konstantní.



obr. 22 Logaritmicko - periodická anténa

Kónicko-logaritmická, příp. spirálová anténa [1]

- speciální typ širokopásmové antény
- až do oblasti GHz kmitočtů.

Na rozdíl od ostatních typů měřicích antén je určena pro příjem (či vysílání) kruhově polarizovaného elektromagnetického pole. Kónická anténa se proto nepoužívá pro testy EMC dle civilních norem, neboť všechny tyto normy předepisují testy s lineární polarizací vln. Řada testů ve vojenství (např. dle amerických vojenských norem MIL-TD)

je však založena na použití kruhově polarizovaných vln a pro jejich provedení jsou právě kónické antény typické.



obr. 23 Kónicko-logaritmická, příp. spirálová anténa

Pyramidální kovové vlnovody – tzv. trychtýřové antény [1]

- užití především v GHz kmitočtových pásmech.

Vlnodové trychtýřové antény jsou svou podstatou relativně úzkopásmové. K pokrytí kmitočtů od jednotek do několika desítek GHz je proto třeba sada několika (8 ÷ 10) těchto antén pro jednotlivé dílčí kmitočtové rozsahy.

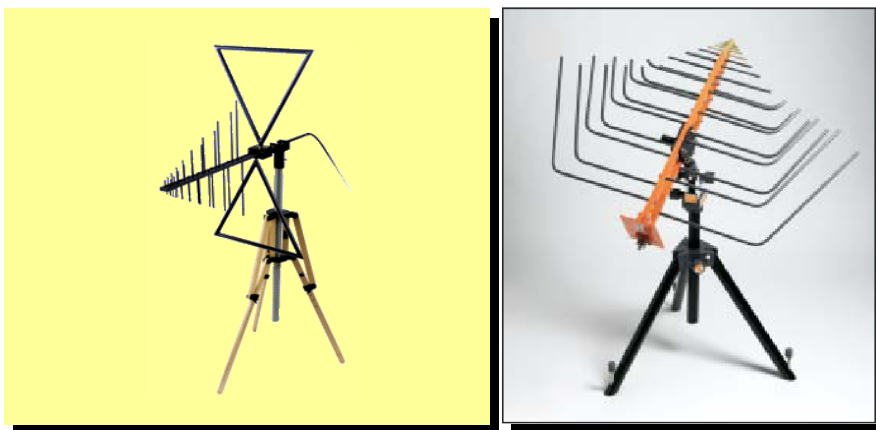


obr. 24 Pyramidální kovové vlnovody

Složené širokopásmové antény [1]

Jsou novým druhem měřicích antén, které sdružují vlastnosti bikónické antény (na nízkých kmitočtech) a logaritmicko-periodické antény (na vysokých kmitočtech) a pokrývají tak celé obvyklé měřicí pásmo vyzařovaného rušení od 30 MHz do 1000 až 2000 MHz .

Je vytvořena anglickou firmou CHASE v kooperaci s University of York



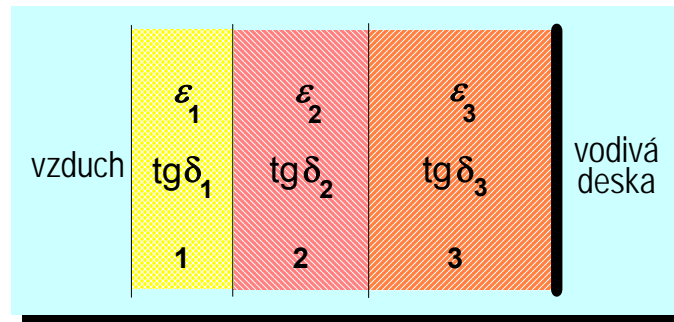
obr. 25 Složené širokopásmové antény

Bezodrazové (absorpční) stíněné prostory [1]

představují ideální prostorové řešení pro anténní měření EMC. Bezodrazový (absorpční) prostor je elektromagneticky stíněný prostor potřebných rozměrů (půdorysně je opět třeba zajistit eliptickou měřicí plochu pro měřicí vzdálenost $D = 3, 10$ nebo 30 m), jehož vnitřní stěny (včetně stropu a mnohdy i podlahy) jsou navíc obloženy elektromagneticky absorpčním (pohlcujícím) materiálem, který značně omezuje vnitřní odrazy v komoře v širokém pásmu kmitočtů. Komora tedy musí být

elektromagneticky stíněná pro účinné potlačení (zeslabení) vnějších rušivých signálů,

bezodrazová pro zajištění měřicích podmínek stejných jako v neomezeném prostoru, tedy pro zamezení vzniku vnitřních odrazů elektromagnetických vln a vlastní rezonanci stíněného prostoru.

Absorbér s plochou vrstevnatou strukturou [1]

obr. 26 Absorbér s plochou vrstevnatou strukturou

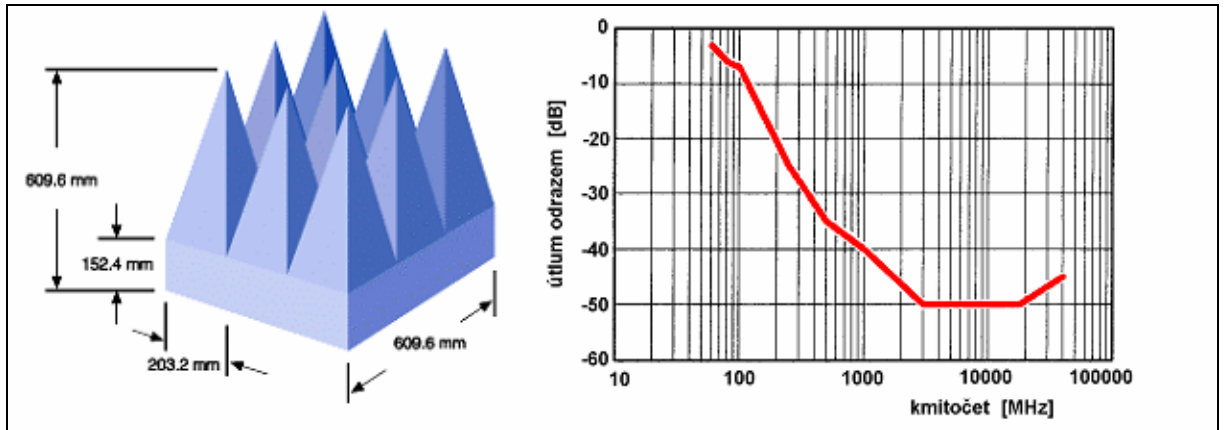
Vrstvy jsou zhotoveny z feritu, který představuje pro vř. elektromagnetické pole vysoce ztrátový materiál. Relativní permitivita feritu je poměrně vysoká ($10 \div 20$), díky vysoké permeabilitě může být charakteristická impedance feritového prostředí $Z_{0V} = (\mu/\epsilon)^{1/2}$ srovnatelná s impedancí volného prostoru $Z_{0V} = 377 \Omega$. Feritové absorpční vrstvy mohou proto mít podstatně menší tloušťku, než „klasické“ dielektrické absorbéry. Nevýhodami feritových absorpčních desek je vysoká hmotnost a velmi vysoká cena, která činí až 1200 dolarů za 1 m².

Pyramidální absorbéry: [1]

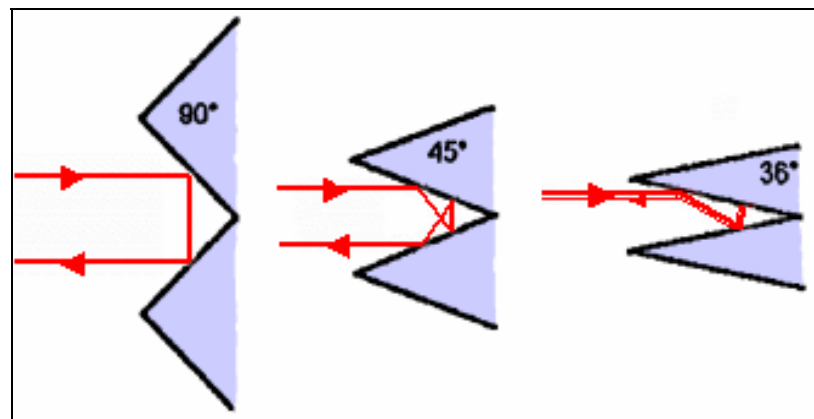
- Obkladové absorpční prvky mají tvar jehlanů či kuželů zhotovených z polystyrenu či polyuretanu s grafitovou impregnací. Dnes nepoužívanější.
- Rozšiřující se průřez jehlanů realizuje impedanční transformátor, který pře-vádí impedanci vzduchu na „špičkách“ jehlanů na nízkou impedanci prostoru zaplněného absorbérem v zadní části jehlanů. Rovněž se postupně zvyšují ztráty absorpčního obkladu, takže největší pohlcení energie dopadající vlny nastává až v zadní části absorbéru.
- Výška jehlanů má být minimálně 1/4 na nejnižším pracovním kmitočtu. Pro kmitočet 30 MHz tento požadavek znamená výšku 2,5 m, pro mini-mální kmitočet 100 MHz je potřebná výška jehlanů stále značná 75 cm.

Útlum odrazem RL [dB] (Return Loss) kvantitativně charakterizuje bezodrazovost absorberu (ať již plošného či pyramidálního). RL je někdy označován jako reflektivita.

$$RL = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{odražený}}}{P_{\text{dopadající}}} = 10 \cdot \log |\rho_{\text{vst}}|^2 = 20 \cdot \log |\rho_{\text{vst}}|$$

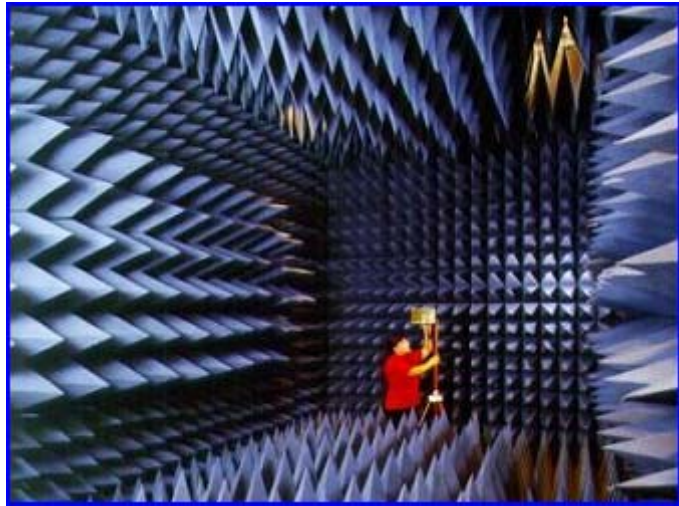


obr. 27 Konstrukce, rozměry a absorpční vlastnosti širokopásmového pyramidálního absorberu pro kmitočtové pásmo 80 MHz až 40 GHz



obr. 28 Princip činnosti absorberu

Vlna odražená od povrchu absorberů se vrací zpět do vnitřního prostoru komory až po několika dalších částečných odrazech. Protože při každém odrazu se část energie vlny absorbuje a jen část se odrazí, je celková energie odražené vlny po vícenásobném odrazu výrazně menší. Počet dílčích odrazů závisí na vrcholovém úhlu jehlanů, který se obvykle pohybuje kolem 25°. Tímto mechanismem se tak dále zlepšují bezodrazové vlastnosti celého absorberu.



obr. 29 Interiér plně bezodrazové komory

4 STOJATÉ VLNĚNÍ NA VEDENÍ

[12]

Je to přímá vlna která je součtem všech vln šířících se od zdroje k zátěži a zpětná vlna součtem všech vln šířících se opačným směrem. Jejich skládáním, interferencí, vzniká na vedení stojatá vlna. Výsledné napětí i výsledný proud, určené vztahy (.....) a (.....) , se mění podél vedení, nezávisí však na čase.

$$U(\xi) = \bar{U}(\xi) + \bar{U}(\xi) = \bar{U}_k \cdot e^{\gamma\xi} + \bar{U}_k \cdot e^{-\gamma\xi} \quad (7)$$

$$I(\xi) = \bar{I}(\xi) + \bar{I}(\xi) = \bar{I}_k \cdot e^{\gamma\xi} + \bar{I}_k \cdot e^{-\gamma\xi} \quad (8)$$

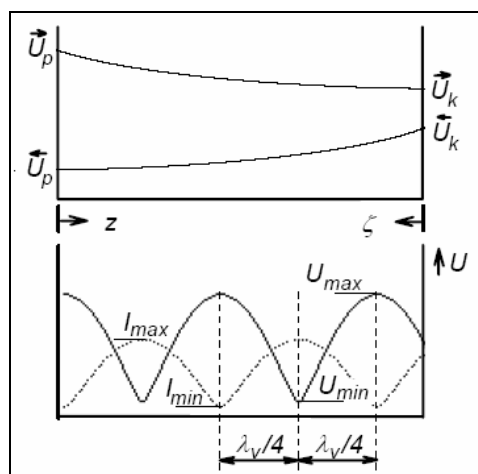
ζ vzdálenost od konce vedení

Napětí a proud se podél vedení harmonicky mění a jejich největší a nejmenší hodnoty jsou podél celého vedení stejné.

I v situacích, kdy vliv ztrát vedení nelze zanedbat, je poměr napětí a proudu ve vzdálenosti ζ od konce vedení roven impedanci $Z(\zeta)$

$$Z(\xi) = \frac{U(\xi)}{I(\xi)} \quad (9)$$

Impedance $Z(\zeta)$ je impedancí, na kterou se do místa ζ transformuje impedance zátěže Z_k .



obr. 30 Rozložení napětí a proudu
podél vedení

Napětí U přímé vlny exponenciálně klesá směrem k zátěži vlivem ztrát na vedení a na konci vedení má velikost U_r . Na zátěži Z_{rk} se část energie přímé vlny odráží a jako zpětná (odražená) vlna se šíří zpět ke zdroji. Velikost napětí zpětné vlny U_s

se vlivem ztrát vedení rovněž zmenšuje směrem ke zdroji a na jeho svorkách (na vstupu vedení) má velikost U_p . Poměr velikostí napětí přímé a zpětné vlny $|\rho|$ se směrem od konce vedení pak není podél vedení stálý a zmenšuje se směrem od zátěže ke zdroji. Podobný charakter mají i změny proudu přímé a zpětné vlny.

Vlivem sčítání (interference) přímé a zpětné vlny vznikají na vedení maxima a minima napětí i proudu. V maximu (v *kmitně*) je napětí U_{max} rovno součtu velikostí napětí přímé a zpětné vlny, v minimu (v *uzlu*) je napětí U_{min} rovno jejich rozdílu

$$U_{max} = |\vec{U}| + |\vec{U}| = |\vec{U}| \cdot (1 + \rho) \quad (10)$$

$$U_{min} = |\vec{U}| - |\vec{U}| = |\vec{U}| \cdot (1 - \rho) \quad (11)$$

V kmitně napětí je současně uzel proudu a naopak. Vzdálenost sousedních uzlů nebo kmiten jedné veličiny (napětí nebo proudu) je rovna $\lambda_v/2$, kde λ_v je délka vlny na vedení. Vzdálenost uzlu a kmitny stejné veličiny je poloviční, tedy $\lambda_v/4$.

Poměr napětí v kmitně U_{max} a v uzlu U_{min} určuje další veličinu, *poměr stojatých vln* σ

$$\sigma = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (12)$$

Ze známé hodnoty poměru stojatých vln σ můžeme určit jen modul činitele odrazu

$$|\rho| = \frac{\sigma - 1}{\sigma + 1} \quad (13)$$

Připomeňme, že činitel odrazu je (obecně) komplexní veličinou a jeho modul se mění v mezích $0 \leq |\rho| \leq 1$. Poměr stojatých vln σ je vždy reálnou veličinou a jeho velikost nabývá hodnot $1 \leq \sigma < \infty$.

V místě uzlu napětí se nachází i kmitna proudu a naopak, a velikosti napětí a proudu jsou ve všech kmitnách a uzlech podél vedení stejné.

- a) vedení nakrátko je zakončeno impedancí $Z_k = 0$. Pak i napětí na zátěži U_k je nulové a rozložení napětí a proudu je určeno rovnicemi

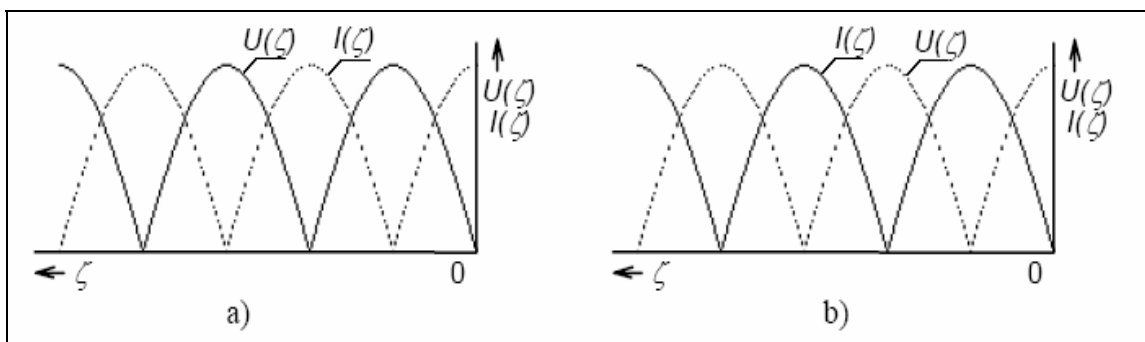
$$U(\xi) = j \cdot Z_{ov} \cdot I_k \cdot \sin(\alpha \xi), I(\xi) = I_k \cdot \cos(\alpha \xi) \quad (14)$$

Napětí i proud v uzlech jsou nulové a fáze proudu i napětí mezi sousedními uzly je opačná. Poměr napětí a proudu v kmitně je roven charakteristické impedanci vedení Z_{ov} a fázový posuv mezi nimi je roven $\pi/2$. Činitel odrazu na zátěži $\rho_k = -1$ a poměr stojatých vln $\sigma \rightarrow \infty$.

- b) vedení naprázdno je zakončeno impedancí $Z_k \rightarrow \infty$. Pak i proud do zátěže I_k je nulový a rozložení napětí a proudu je určeno rovnicemi

$$U(\xi) = U_k \cos(\alpha \xi), I(\xi) = j \frac{U_k}{Z_{ov}} \cdot \sin(\alpha \xi) \quad (15)$$

Napětí i proud v uzlech jsou opět nulové a fáze proudu i napětí mezi sousedními uzly je opačná. Činitel odrazu na zátěži $\rho_k = -1$ a poměr stojatých vln $\sigma \rightarrow \infty$.



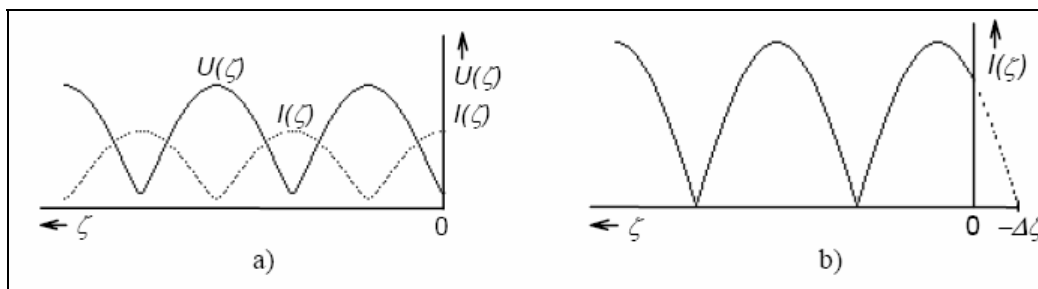
obr. 31 Rozložení napětí a proudu na bezztrátovém vedení

a) nakrátko $Z_k = 0$ b) naprázdno $Z_k \rightarrow \infty$

- c) vedení zakončené reálnou zátěží $Z_k = R_k$ má na konci vedení kmitnu proudu při $R_k < Z_{ov}$ nebo kmitnu napětí při $R_k > Z_{ov}$ a činitel odrazu ρ_k má reálnou hodnotu. Při zátěži $Z_k = Z_{ov}$ je vedení *přizpůsobeně zakončené* a na vedení je pouze přímá vlna. Amplituda napětí ani proudu se podél vedení nemění a jejich fáze se zpožďuje směrem ke konci vedení úměrně součinu $\alpha \xi$.

d) vedení zakončené reaktancí $Z_k = jX_k$ má v uzlech nulový proud i napětí, činitel odrazu má modul $|\rho| = 1$ a poměr stojatých vln $\sigma \rightarrow \infty$. Rozložení proudu je tedy podobné jako na vedení naprázdno, na konci však není proud nulový, ale je roven proudu tekoucímu do koncové reaktance $I_k = U_k / jX_k$. Vedení je tak zdánlivě prodlouženo (zkráceno) o úsek Δl . Zdánlivé prodloužení Δl je možno vypočítat pomocí vztahu

$$\Delta l = \arctan\left(-\frac{Z_{ov}}{X_k}\right) \quad (16)$$

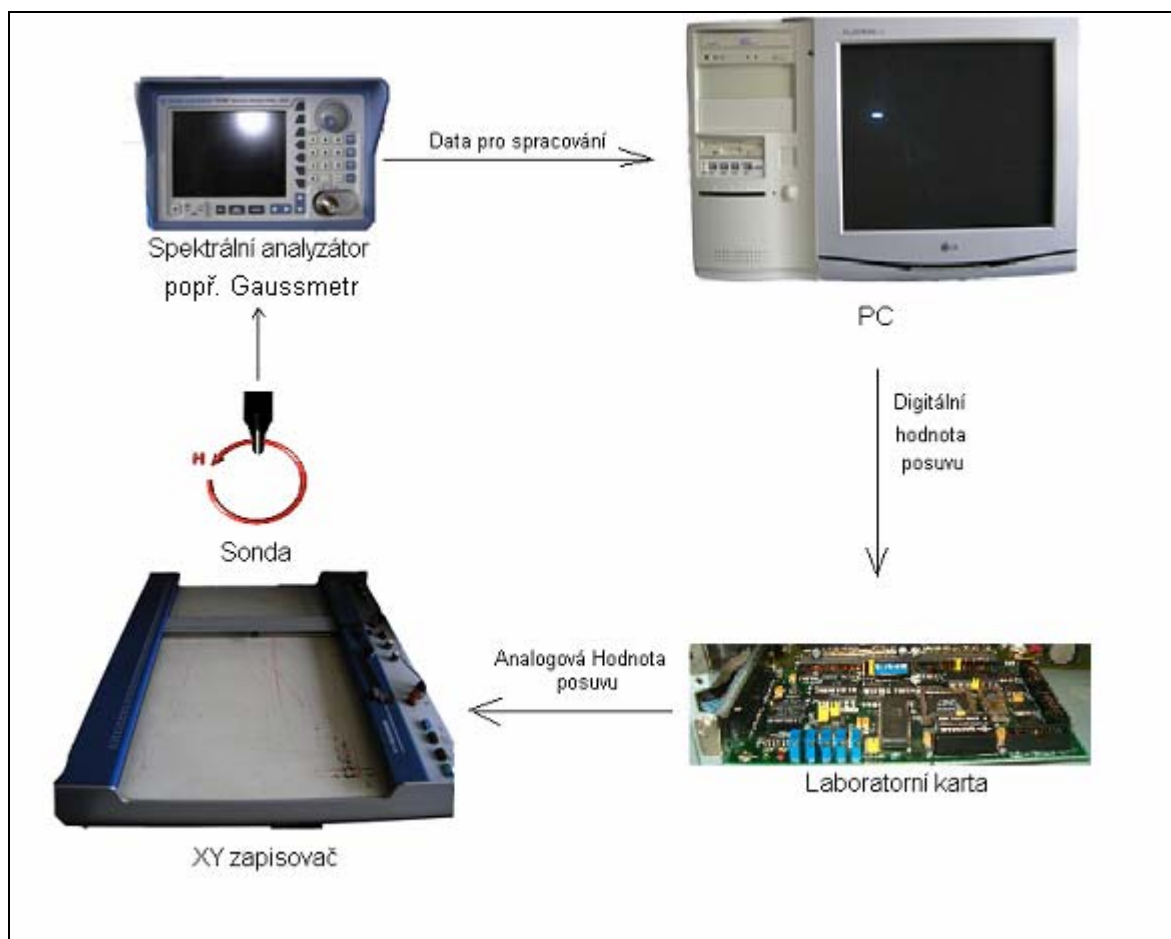


obr. 32 Rozložení napětí a proudu na vedení zakončeném

a) reálnou zátěží $Z_k = R_k$ b) reaktancí $Z_k = jX_k$

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POPIS ZAŘÍZENÍ A APARATURY POTŘEBNÉ KE SKENOVÁNÍ



obr. 33 Aparatura pro skenování

Za účelem skenování pro následnou vizualizaci elektromagnetického pole byla vytvořena aparatura viz obr. 33, která byla složena z pěti základních komponent:

PC:

Pro skenování byl použit standardní PC s procesorem 300 MHz. Za účelem skenování může být použit jakýkoliv jiný PC, na systém a výkon nejsou kladeny speciální požadavky. Program požaduje jen operační systém Windows a PC vybaven USB sběrnici.

Za účelem následné vizualizace doporučuji minimálně PC s procesorem 1 GHz nýbrž výsledek skenování se skládá z třírozměrných matic, jejíž výpočet pro zobrazení je dosti složitý. Při použití slabších PC sice dokážeme vizualizovat naměřená data, avšak vizualizace je dosti „sekaná“ a analýzy jsou dosti časově náročné. Vizualizační program dále potřebuje operační systém Windows (minimálně Windows 98).

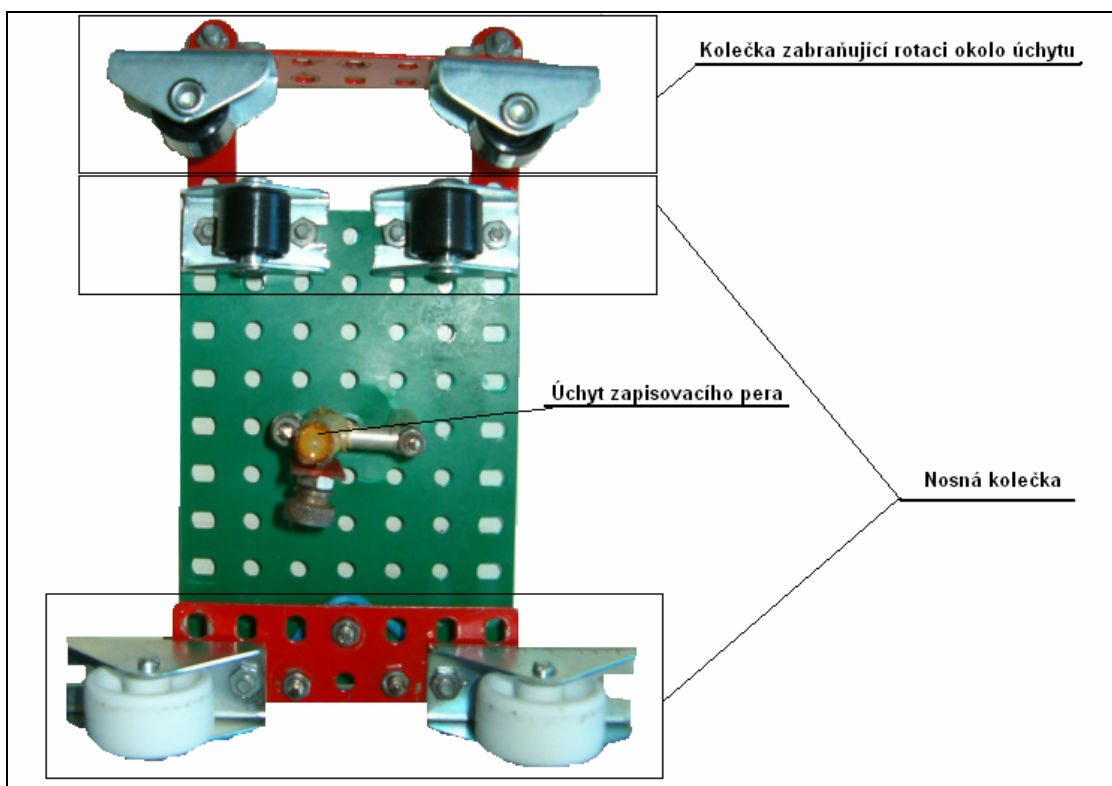
Laboratorní karta

K řízení XY zapisovače bylo zapotřebí analogového signálu. Za tímto účelem byla do PC přidána laboratorní karta od firmy Advantech PCL812PG. Tato karta má rozsáhlé nastavení. Pro naše účely bylo použito manuální nastavení D/A výstupu na 0-5V.

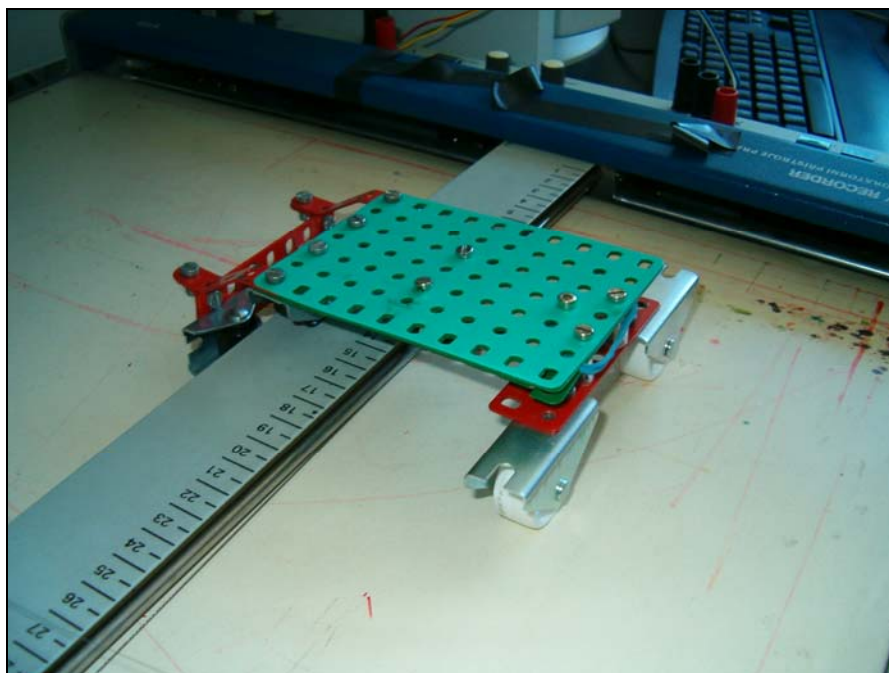
Tato karta používá 12 Bitový převodník, tudíž nejmenší jednotkou výstupu je 0,0012V. Následná velikost nejmenšího kroku posuvu je závislá na nastavení rozlišení XY zapisovače a na jeho citlivosti.

Analogový XY zapisovač

Za účelem posuvu v osách X a Y byl použit analogový XY zapisovač. Tento zapisovač převádí změny analogových hodnot vstupu na změny posunutí „zapisovacího pera“ v osách X a Y. Na místo zapisovacího pera bylo umístěno elektronické zařízení určené ke skenování. Nýbrž úchyt zapisovacího pera má velice malou nosnost, byl vyroben ze stavebnice „Merkur“ jednoduchý pomocný nosný podvozek (viz. obr. 34 a obr. 35).



obr. 34 Obrázek a popis pomocného nosného podvozku



obr. 35 obrázek aplikace pomocného nosného podvozku na XY zapisovač

Tento podvozek umožňoval pomocí koleček pohyb skenovaného zařízení v ose X a Y a svou konstrukcí výrazně zvýšil nosnost aparatury (z max. 20g na cca 1 kg).

Sondy:

Za účelem měření kmitavé magnetické a elektrické složky elektromagnetického pole pomocí spektrálního analyzátoru byla použita sada pěti sond od firmy ROHDE&SCHWARZ. Tyto sondy mají velice malé rozlišení. Díky tomu jsou velice vhodné k detailnímu měření elektromagnetického pole. (další informace o sondách viz. Kalibrace sond).

Za účelem měření stacionárního magnetického pole pomocí Gaussmetru byly použity 2 originální sondy k danému přístroji.

Spektrální analyzátor

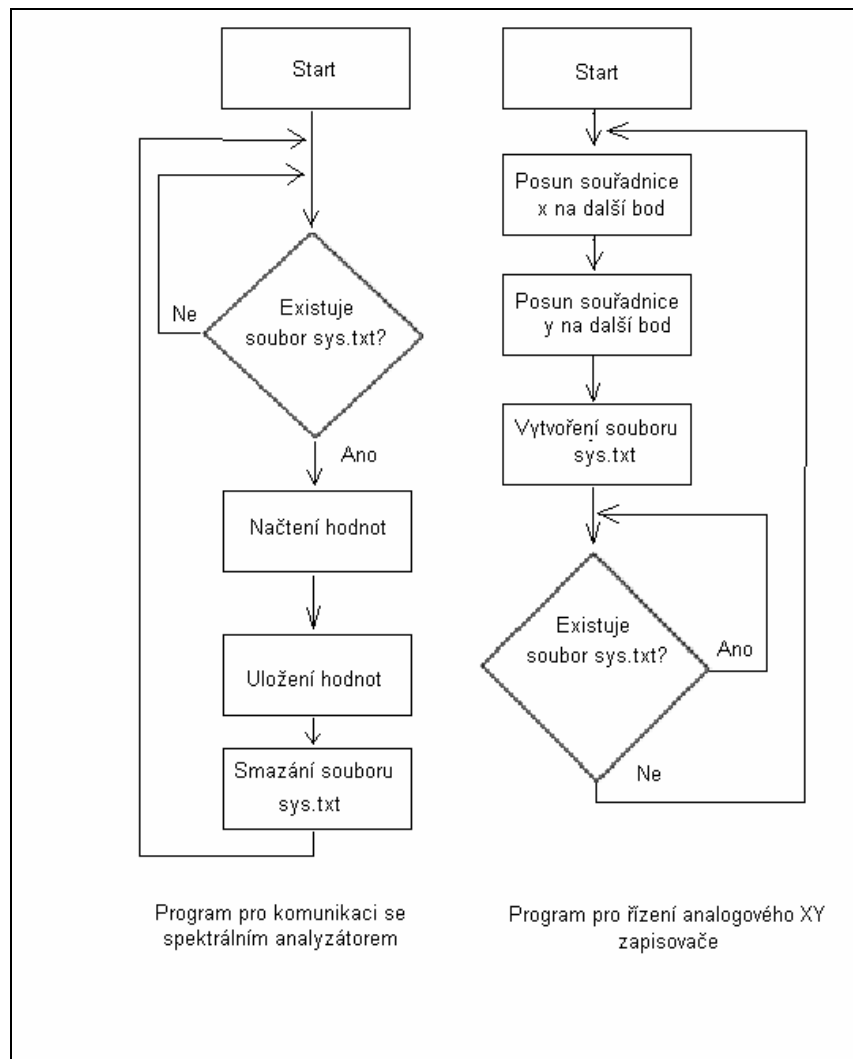
Za účelem měření magnetické a elektrické složky elektromagnetického pole byl dále použit spektrální analyzátor SF300 s měřicím rozsahem 9 kHz – 3 GHz. Ten byl připojen k počítači přes sběrnici USB a data z něj byla načítána pomocí upraveného programu z diplomové práce V. Zobaníka „Zobrazování elektromagnetických polí pro účely EMC“ .

Gaussmetr

Pro měření intenzity stacionárního magnetického pole byl použit gaussmetr LakeShore 421.

6 PROGRAMY PRO ŘÍZENÍ SKENOVÁNÍ

Za účelem skenování byly vytvořeny dva programy. **První program** slouží pro komunikaci s analogovým XY zapisovačem prostřednictvím laboratorní karty PCL 812 PG a je vytvořen v programovacím prostředí Borland Delphi. **Druhý program** [15] slouží pro načítání a ukládání dat ze spektrálního analyzátoru. Tento program je kvůli komunikaci se spektrálním analyzátozem vytvořen v programovacím prostředí Borland C++. Tyto programy jsou při skenování spuštěny a komunikují navzájem pomocí prázdného souboru. Když skenovací program provede změnu souřadnic XY zapisovačem na potřebné souřadnice, vytvoří komunikační soubor sys.txt v adresáři c:\data a spustí smyčku, která pozastaví běh programu do té doby, dokud není soubor smazán. V programu komunikujícím se spektrálním analyzátozem prozatím cykluje smyčka, detekující přítomnost komunikačního souboru. Když zjistí, že je soubor přítomen, je to pro program znamením, že je XY zapisovač na potřebných souřadnicích, a že má zahájit měření. Změří zadané frekvence, uloží je a smaže komunikační soubor sys.txt. V programu ovládající XY zapisovač tuto změnu detekuje smyčka. Smazání souboru je pro program znamením, že frekvence v daném bodě jsou změřeny, program provede změnu souřadnic XY zapisovače na další bod určený k měření a cyklus se opakuje až do konce skenování. Princip komunikace programů můžeme znázornit ve vývojových diagramech obr.



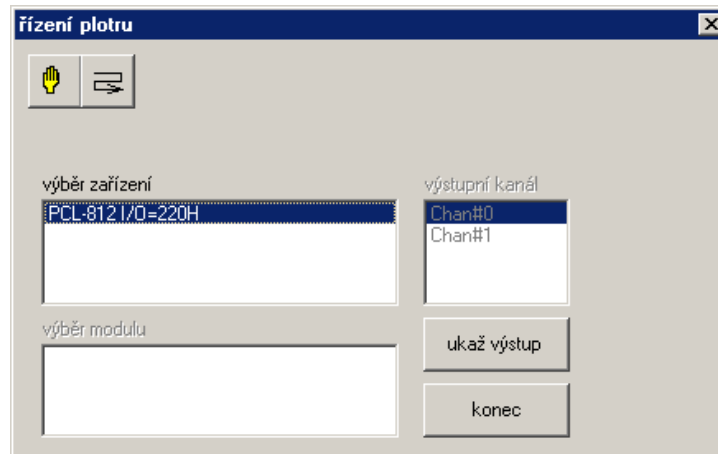
obr. 36 Vývojové diagramy programů pro řízení skenování

Před zahájením skenování musí být spuštěné programy:

- program pro řízení XY zapisovače
- program pro komunikaci se spektrálním analyzátořem

6.1 Popis programu pro ovládání analogového XY zapisovačem

Po spuštění programu pro ovládání analogového XY zapisovače se uživateli spustí hlavní okno viz. obr. 37.



obr. 37 Hlavní formulář programu pro řízení XY zapisovače

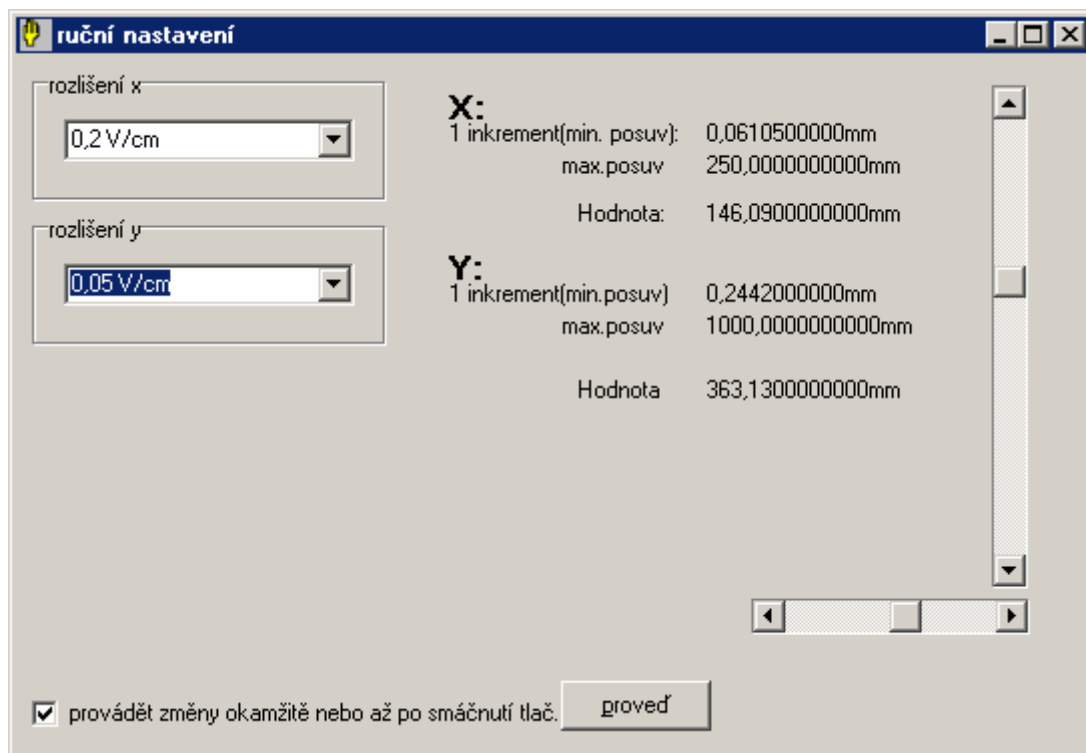
Tlačítko s ikonou ruky slouží pro spuštění formuláře k ručnímu ovládání analogového XY zapisovače (viz obr. 38).

Tlačítko „ukaž výstup“ spustí formulář, na kterém je zobrazena analogová hodnota výstupních kanálů (viz obr. 39.)

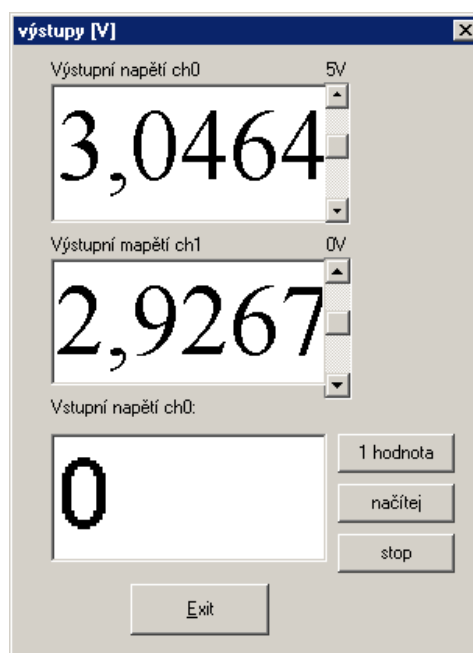
Tlačítko „konec“ provede odhlášení karty a ukončí program.

Okénko „výběr zařízení“ slouží pro výběr laboratorní karty v případě, jestliže používáme více laboratorních karet na jednom PC.

Tlačítko skenování uživateli spustí sérii průvodních formulářů potřebných ke skenování (viz dále).



obr. 38 Ručního ovládání analogového XY zapisovače

obr. 39 Formulář s analogovými
hodnotami výstupních kanálů karty

Formuláře skenování

Na **první formulář skenování** zapisuje uživatel základní informace o skenované ploše a nastavení analogového XY zapisovače.

Skenování 1/3

- Zadej rozměry zkoumané plochy

x: 50 mm
y: 50 mm


Zadej nastavené rozlišení

x: 0,5 V/cm
y: 0,5 V/cm

1Inkremet v X je [mm]: 0,0244200000
1Inkremet v Y je [mm]: 0,0244200000

Rozlišení x je: zvoleno dobře
Rozlišení y je: zvoleno dobře
rozměr je v pořádku
rozměr je v pořádku

Ujistěte se že plotr má dostatek místa k pohybu a zmáčkněte tlač. nuluj

 nuluj

Po dojetí plotru najedzte RUČNÍM POSUVEM NA PLOTRU na střed sledované plochy

- Jestliže jsou zadané všechny parametry klikněte na OK pro pokračování

OK

obr. 40 formulář skenování 1/3

Po zadání velikosti skenované plochy a rozlišení analogového XY zapisovače (nastavuje se ručně na XY zapisovači), program vyhodnotí, jestli bude skenování možné.

Výsledky vyhodnocení jsou zapsány v barevných textových polích. Jestliže mají textová pole zelenou barvu, je vše v pořádku. Jestliže má některé barvu červenou, musí se změnit nastavení systému. Může nastat několik situací:

<p>-Zadej nastavené rozlišení</p> <p>x: 0,5 V/cm</p> <p>y: 0,5 V/cm</p> <p>Rozlišení x je: zvoleno dobře Rozlišení y je: zvoleno dobře rozměr je vpořádku rozměr je vpořádku</p>	<p>-Zadej nastavené rozlišení</p> <p>x: 1 V/cm</p> <p>y: 0,5 V/cm</p> <p>Rozlišení x je: zvoleno dobře Rozlišení y je: zvoleno dobře rozměr je příliš velký rozměr je vpořádku</p>		
A	B		
<table border="1" style="width: 100%;"> <tbody> <tr> <td data-bbox="437 629 842 936"> <p>-Zadej nastavené rozlišení</p> <p>x: 1 mV/cm</p> <p>y: 0,5 V/cm</p> <p>Rozlišení x je: zvolené rozlišení je nevyhovující, změňte velikost nebo rozlišení Rozlišení y je: zvoleno dobře rozměr je vpořádku rozměr je vpořádku</p> </td> <td data-bbox="858 629 1299 936"> <p>1Inkremet v X je [mm]: 12,2100000000</p> <p>1Inkrement v Y je [mm]: 0,0244200000</p> </td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">C</p>		<p>-Zadej nastavené rozlišení</p> <p>x: 1 mV/cm</p> <p>y: 0,5 V/cm</p> <p>Rozlišení x je: zvolené rozlišení je nevyhovující, změňte velikost nebo rozlišení Rozlišení y je: zvoleno dobře rozměr je vpořádku rozměr je vpořádku</p>	<p>1Inkremet v X je [mm]: 12,2100000000</p> <p>1Inkrement v Y je [mm]: 0,0244200000</p>
<p>-Zadej nastavené rozlišení</p> <p>x: 1 mV/cm</p> <p>y: 0,5 V/cm</p> <p>Rozlišení x je: zvolené rozlišení je nevyhovující, změňte velikost nebo rozlišení Rozlišení y je: zvoleno dobře rozměr je vpořádku rozměr je vpořádku</p>	<p>1Inkremet v X je [mm]: 12,2100000000</p> <p>1Inkrement v Y je [mm]: 0,0244200000</p>		

obr. 41 Výsledky vyhodnocení nastavení skenování

V případě A je nastavení rozměrů a rozlišení analogového XY zapisovače v pořádku a můžeme pokračovat ve skenování.

V případě B je rozměr v ose X příliš velký. Uživatel musí změnit buď rozměr skenované plochy nebo nastavení rozlišení XY zapisovače.

V případě C je rozlišení analogového XY zapisovače příliš velké. Znamená to, že i nejmenší krok skenování je větší než samotná velikost skenované plochy. Uživatel musí změnit buď rozměr skenované plochy nebo nastavení rozlišení XY zapisovače.

Jestliže uživatel zapíše a nastaví potřebné hodnoty a ty jsou vyhodnoceny jako v pořádku, musí dle programu vynulovat analogový XY zapisovač. Analogový XY zapisovač pozvolna najede na střed svého souřadnicového systému [2,5V;2,5V]. Program vše řídí od tohoto středu. Důvodem je Minimalizovat poruchové veličiny vzniklé při malém napětí ve vedení. Pro lepší pochopení uvedeme jednoduchý příklad:

Nastavení výstup laboratorní karty kanálu 1 pro řízení zapisovače v ose x je 0-5V.

Skenovaná oblast v ose x byla vyhodnocena o velikosti 1V.

Skenáž by mohla být provedena od 0V DO 1V, avšak první bod by byl 0,0012V, druhý bod by byl 0,0024V atd. Při tak malém napětí dochází ke značným ztrátám ve vedení. Proto program nastaví nejprve střed na 2,5V a od něj odečte velikost plochy. Tudiž skenování bude probíhat od 2V do 3V. První bod bude 2,0012V, druhý bod bude 2,0024V atd. Tím budou vymezeny chyby vzniklé přechodovými odpory, citlivostí XY zapisovače apod.

Druhý formulář skenování

Skenování 2/3

Rozměry obrábku:
 X[mm]: 50
 Y[mm]: 50

Rastr(1 inkrement pohybu):
 X[mm]: 0,0610500000
 Y[mm]: 0,0610500000

Krok X: 9 inkrement(y) => 1 krok v X[mm]=0,54945
 Krok Y: 9 inkrement(y) => 1 krok v Y[mm]=0,54945

Rychlost posuvu (posuv o 1 krok za):
 100 /1000 sek
 !! rychlost skenování je ovlivněna rychlostí přenosu skenované hodnoty

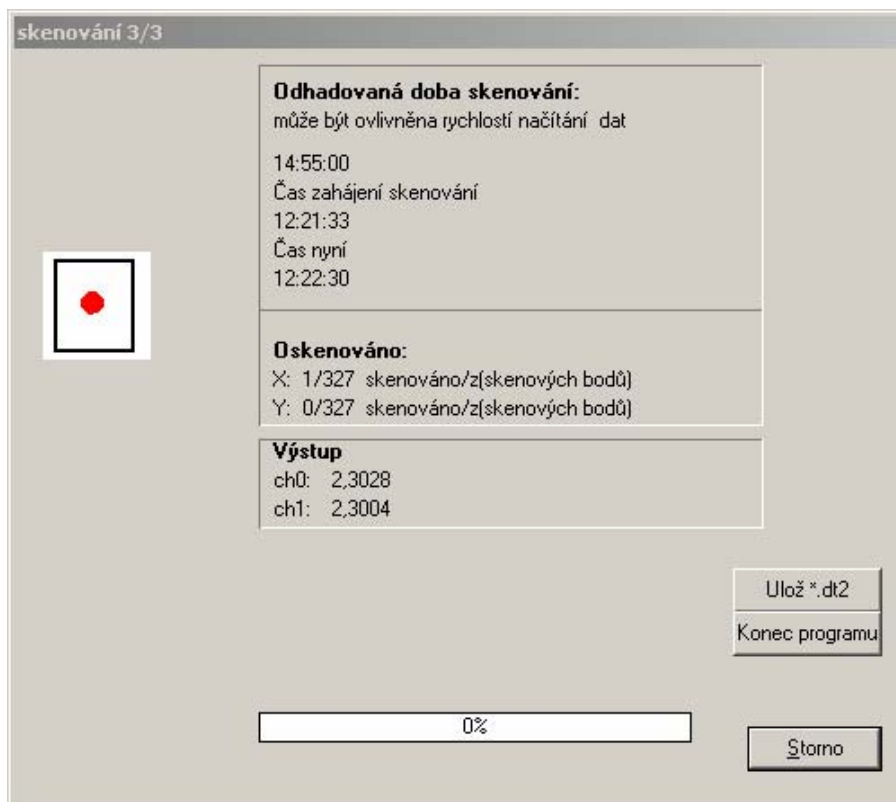
Odhadovaný čas skenování:
 1:23:00

Zadej jednotky měřícího přístroje:
 dBm

Zpět Najed' na počtek skenování Vše nastaveno, skenuj

obr. 42 formulář skenování 2/3

Druhý formulář skenování slouží pro upřesnění informací o skenování. Nýbrž Laboratorní karta může dosáhnout velice jemného posuvu analogového XY zapisovače, řádově tisícinny mm, avšak konstrukce XY zapisovače nedokáže tak jemný posuv vytvořit a skenování po



skenování 3/3

Odhadovaná doba skenování:
může být ovlivněna rychlostí načítání dat
14:55:00
Čas zahájení skenování
12:21:33
Čas nyní
12:22:30

Oskenováno:
X: 1/327 skenováno/z(skenových bodů)
Y: 0/327 skenováno/z(skenových bodů)

Výstup
ch0: 2,3028
ch1: 2,3004

Ulož *.dt2
Konec programu

0%

Storno

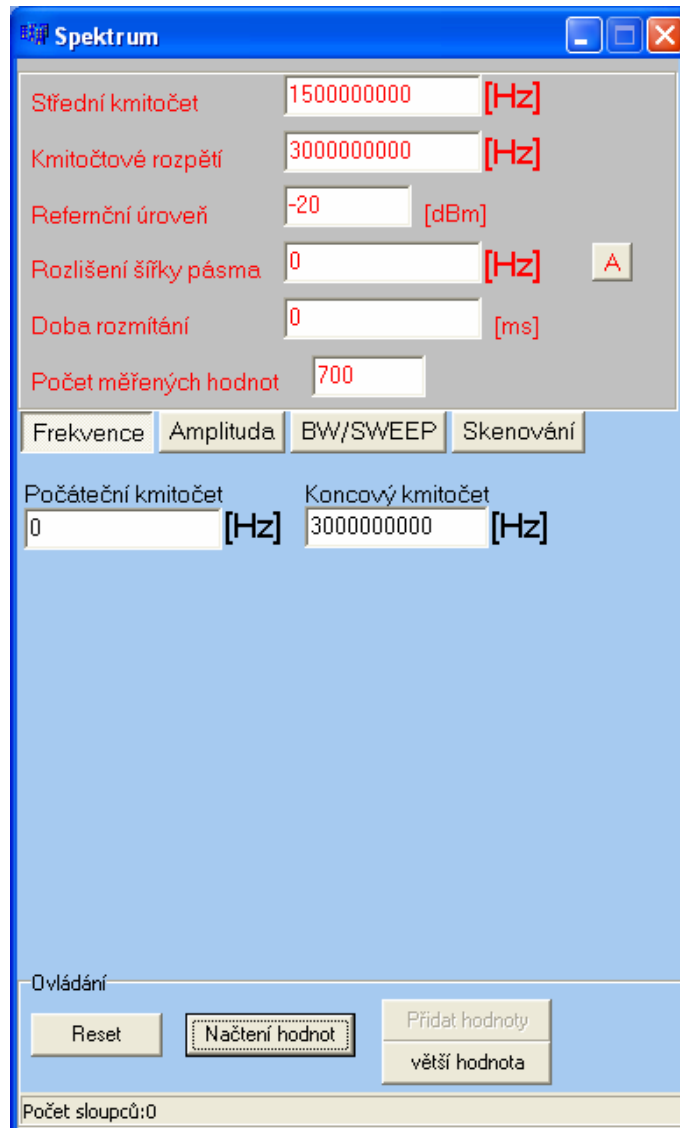
obr. 44 Formulář skenování 3/3

V průběhu skenování se uživateli na třetím formuláři skenování zobrazují základní údaje o průběhu skenování:

- Odhadovaný čas potřebný pro skenování.
- Počet naskenovaných / počet skenovaných bodů v jednotlivých osách.
- Hodnoty analogových výstupů karty.
- Bargraf procentuálně a graficky vyjadřující celkový stav skenáže.

Po ukončení skenáže je zapotřebí uložit soubor *.dt2, který obsahuje potřebné údaje pro další vyhodnocení měření.

6.2 Popis programu pro komunikaci se spektrálním analyzátořem



obr. 45 program pro komunikaci se spektrálním analyzátořem

V programu pro komunikaci se spektrálním analyzátořem je zapotřebí nastavit počáteční, konečnou hodnotu frekvence a počet hodnot, které se na daném bodě mají naskenovat. Každý údaj je zapotřebí potvrdit tlačítkem „enter“, aby došlo k nastavení spektrálního analyzátořem.

Příklad programového výpočtu naskenovaných bodů:

$P_f = 100000$ (počáteční frekvence)

$K_f = 1000000$ (konečná frekvence)

$P_{mh} = 1000$ (počet měřených hodnot)

$$H(k) = (((k_f - p_f) / p_{mh}) * k) + p_f \quad (17)$$

$$H(1) = (((1000000 - 100000) / 1000) * 1) + 100000 = 100900 \text{ Hz}$$

$$H(2) = \dots = 101800 \text{ Hz}$$

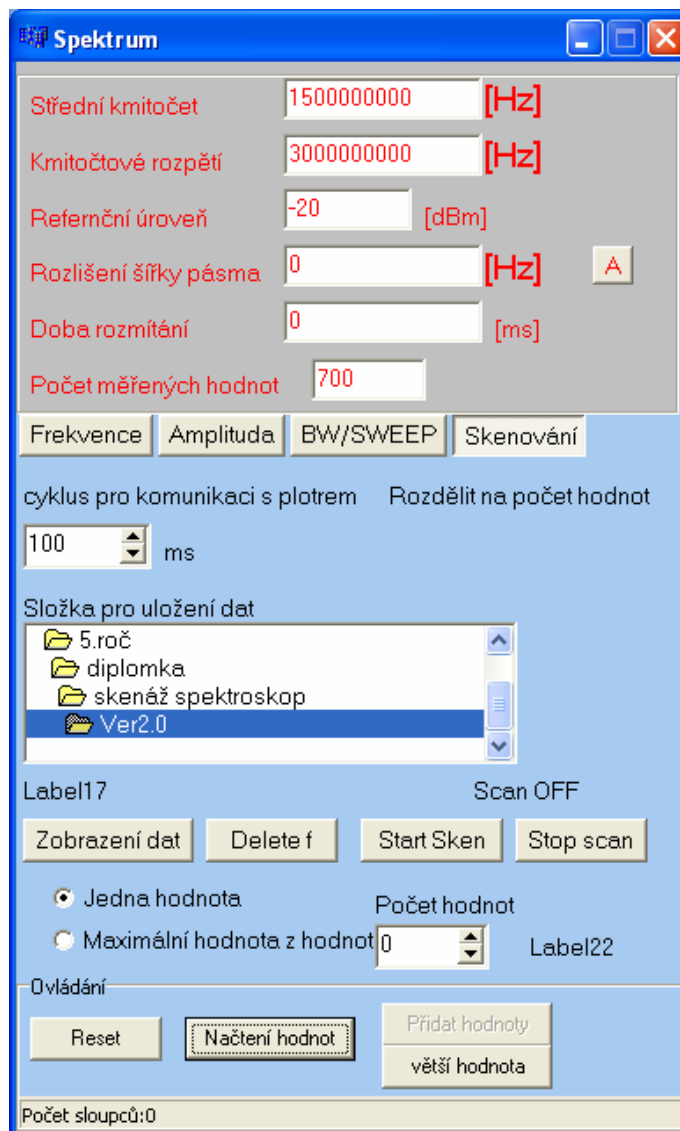
.....

$$H(1000) = \dots = 1000000 \text{ Hz}$$

Při tomto nastavení načte program ze spektrálního analyzátoru velikost elektromagnetického pole na frekvenci 100900 Hz, 101800 Hz, 1000000 Hz.

Jestliže požadujeme, aby skenáž obsahovala jednu konkrétní frekvenci, musíme najít takový rozsah nebo takový počet měřených hodnot, aby tato frekvence byla v měření obsažena. Jestliže přístroj bude vyzařovat ve velice úzkém spektru, může se stát, že tato hodnota nebude naměřena, nýbrž nebude mezi hodnotami měření.

Počet měřených hodnot nám velice ovlivňuje rychlost načtení hodnot a tudíž rychlost (čas) skenování.



obr. 46 nastavení skenování v programu

pro komunikaci se spektrálním analyzátořem

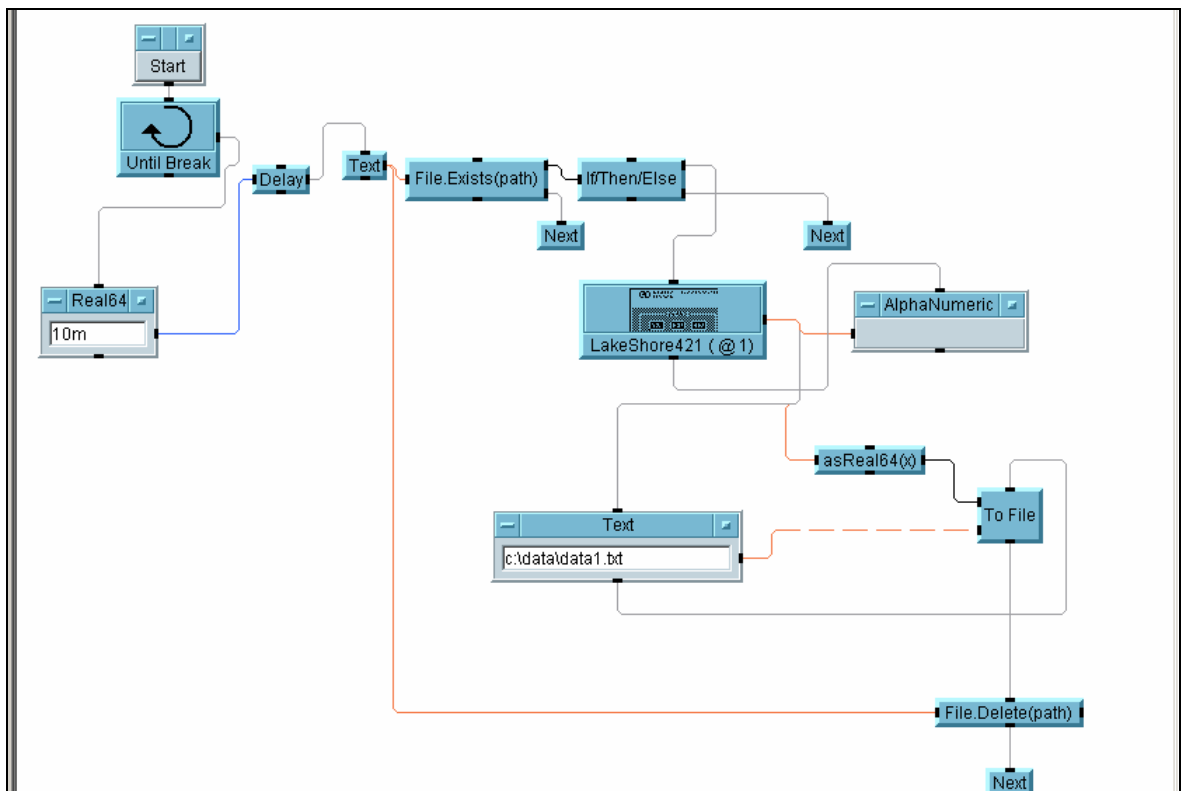
Program pro komunikaci se spektrálním analyzátořem obsahuje záložku skenování. Ta obsahuje políčko s nastavením času smyčky pro komunikaci s programem pro řízení XY zapisovače. Dále obsahuje okénko, ve kterém uživatel zadá adresář, kam se budou ukládat naměřená data. Jestliže je z výběru zatrhnuto políčko „**Jedna hodnota**“ program na každém bodě načte jen jednu sérii dat. Jestliže je z výběru zatrhnuto políčko „**Maximální hodnota z hodnot**“ program na každém bodě načte zadaný počet sérií dat a následně uloží z každé frekvence maximální hodnotu elektromagnetického pole. Tlačítko „start sken“ spustí skenovací smyčku a tlačítko „Stop scan“ tuto smyčku vypne.

6.3 Popis programu pro komunikaci s přístrojem LakeShore

[16]

Nýbrž přístroj LakeShore komunikuje po lince RS 232, byl pro tuto komunikaci vytvořen program v programovém prostředí Agilent VEE pro verze 7.0.

Tento program komunikuje stejným způsobem smyček jako program pro komunikaci se spektrálním analyzátozem. Rozdíl mezi nimi je ten, že při skenování, program spuštěný ve vývojovém prostředí Agilent načítá data do svého souboru, po dokončení skenování je zapotřebí cyklus v Agilentu vypnout, provést v daném souboru znaménkovou konvenci a v programu určeném pro řízení analogového zapisovače spustit položku „Vyhodnot“. Program nám ze souboru již vytvoří soubory s příponou dt1 a dt2.



obr. 47 komunikační program po RS 232 vytvořený ve vývojovém prostředí Agilent VEE

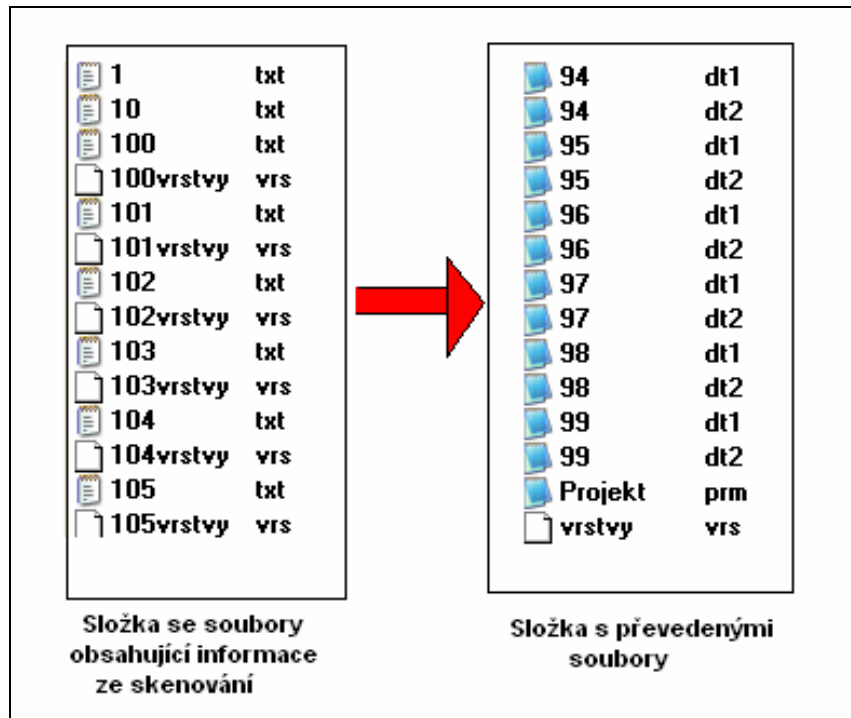
[16]

7 STRUKTURA DATOVÝCH SOUBORŮ

Programy pro skenování a vizualizaci používají několik datových souborů.

Program pro komunikaci se spektrálním analyzátozem používá ukládání dat do souborů typu *.vrs a *.txt a program pro vizualizaci používá datových souborů typu *.dt1, *.dt2 a *.prm. Pro vizualizaci naměřených dat bylo zapotřebí nejprve data převést na potřebný datový typ. Data po skenování jsou zapsána ve velkém množství souborů a každý soubor má informace o intenzitě elektromagnetického pole na všech frekvencích v jednom bodě plochy. Tyto data je potřebné převést do formátů, kdy každý soubor má informace o intenzitě elektromagnetického pole na jedné frekvenci ve všech bodech. Jestliže budeme mít skenovanou plochu o velikosti 1000x1000 bodů, ve složce pro ukládání dat budeme mít 2x1000000 souborů. Soubory jsou sice velmi malé textové soubory, avšak vzhledem k jejich množství zabírají spousty místa. Například na disku s formátem zápisu NTFS měla složka po skenování velikost 30 Mb, kdežto na disku s formátem zápisu FAT32 měla složka po skenování velikost 900 Mb. Dále pak počet souborů ovlivňuje rychlost načítání do vizualizačního programu mnohem větší měrou, než jejich velikost. Pro příklad, načítání oskenované plochy o velikosti 200x200 bodů v původním skenovaném formátu (.vrs a .txt) do vizualizačního programu trvalo 30 minut, kdežto načítání této plochy v převedeném datovém formátu (.dt1 a *.dt2) trvalo 30 sekund. I velikost uložených dat je menší (například skenování sondy z 300Kb na 5 Kb). Z těchto důvodů se po skenování data převádí na jiný datový typ.

Pozn.: Převod mezi datovými typy souborů lze provést ve vizualizačním programu v záložce „načtení“ tlačítko „transf. Spektr. ->prm“.



obr. 48 převod naskenovaných dat na data určená pro vizualizaci

Struktura souboru *.vrs

Soubory s příponou vrs jsou soubory, obsahující frekvence měření. Mají tudíž stejný počet řádků, jako počet měřených bodů nastavených při skenování.

```

28000000 — První měřená frekvence
28040000 — Druhá měřená frekvence
28080000
28120000
28160000
...
...
...
31880000
31920000
31960000 — Ntá měřená frekvence

```

obr. 49 Struktura souboru s příponou vrs

Struktura souboru *.txt

Soubory s příponou txt jsou soubory, obsahující intenzitu elektromagnetického pole na daných frekvencích. Mají tudíž stejný počet řádků, jako počet měřených bodů nastavených při skenování a stejný počet řádků jako soubory s příponou vrs.

```
-51,9 --Hodnota el.mag pole na první frekvenci
-55,9 --Hodnota el.mag pole na druhé frekvenci
-52,4
-56,2
-51,7
-54,7
...
...
...
-53,3
-52,4
-51,4
-55,9
-55,2
-54,1
-55,6 --Hodnota el.mag pole na n-té frekvenci
```

obr. 50 Struktura souboru s příponou txt

Počet souborů .vrs a .txt v adresáři, určeném k ukládání dat, musí být stejný, jako počet bodů měření na skenované ploše.

Struktura souborů *.prm

Soubor s příponou prm obsahuje celkový souhrn informací o projektu (skenované ploše).

řádek	informace	příklad
0	jméno souborů	
1	číslo prvního souboru	1
2	číslo posledního souboru	10000
3	minimum ze všech ploch	-50
4	maximum ze všech ploch	-30
5	jednotky měření	dBm
6	jednotky "vrstev"	Hz
7	jméno souboru s vrstvami	vrstvy
8	pocet bodu v ose x	100
9	pocet bodu v ose y	100

tabulka 6 tabulka struktury souboru s příponou prm

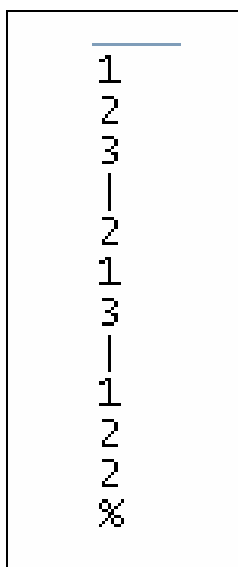
Struktura souborů *.dt1

Soubory s příponou dt1 obsahují hodnoty intenzity elektromagnetického pole v jednotlivých frekvencích. Jedná se o dvourozměrnou matici zapsanou ve sloupci.

Představme si, že máme intenzity elektromagnetického pole ve skenovaných bodech na ploše zapsanou maticí:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 3 \\ 1 & 2 & 2 \end{pmatrix}$$

Následný zápis pro v souboru *.dt1 bude:



obr. 51 Struktura souboru
s příponou dt1

Struktura souborů *.dt2

Soubory s příponou dt1 obsahují doplňující informace ke stejnojmennému souboru s příponou dt1.

řádek	informace	příklad
0	krok v ose x [mm]	0,1221
1	krok v ose y [mm]	0,2442
2	rozměry v ose x [mm]	100
3	rozměry v ose y [mm]	80
4	max hodnota	-20
5	min hodnota	-60
6	typ skenování	1
7	jednotky	dBm
8	frekvence (plochy)	300000

tabulka 7 struktura souboru s příponou dt2

8 VIZUALIZACE DAT

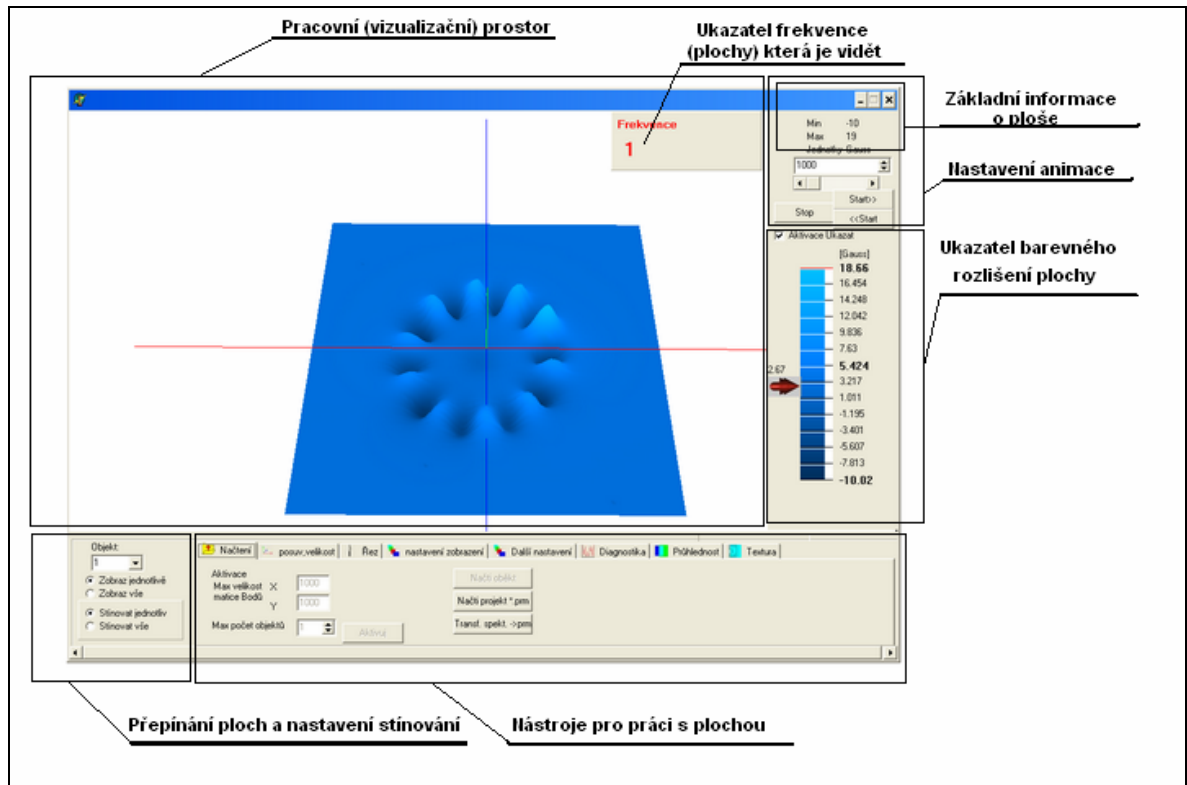
Data, naměřená v rovině X a Y, byly vizualizovány pomocí plochy, kdy hodnota intenzity elektromagnetického pole byla graficky znázorněna jako výška bodu v ose Z. Pro vizualizaci, kdy se na 1 bodě nachází více hodnot (hodnoty na různých frekvencích) byl zvolen způsob, kdy počítač měl načtenou třírozměrnou matici čísel a uživateli vizualizuje pouze plochu z hodnot na jedné (uživatel vybrané) frekvenci.

K vytvoření vizualizačního programu bylo použito programovacího jazyku Borland Delphi. Pro vizualizaci byla použita 3D podpora OpenGL, která je součástí operačních systémů Windows a slouží převážně pro 3D zábavné aplikace (3D hry). Knihovna OpenGL slouží k přepočtu trojrozměrného prostoru na dvojrozměrný (PC obrazovka) tak, aby jej uživatel vnímal trojrozměrně. Těto vlastnosti bylo využito pro vizualizaci elektromagnetického pole.

8.1 Popis vizualizačního programu

Tato část bude věnována podrobnějšímu popisu jednotlivých funkcí vizualizačního programu z pohledu uživatele. Program nabízí při najetí na jednotlivá tlačítka nebo panely tzv. bublinkovou nápovědu s informacemi o dotyčné funkci.

Na obrázku vidíme základní popis vizualizačního programu.

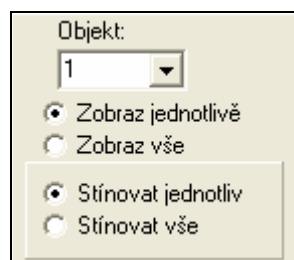


obr. 52 Základní informace o vizualizačním programu

Pracovní (vizualizační) prostor:

Na pracovní ploše umožňuje kurzor myši otáčet s objektem okolo jeho os pomocí levého tlačítka myši. Pomocí pravého tlačítka myši spojeného s pohybem myši, objekt uživatel oddaluje nebo přibližuje.

Přepínání ploch a nastavení stínování:



obr. 53 panel přepínání a stínování ploch

Panel pro přepínání a stínování ploch (viz obr. 53) obsahuje výběrové pole, ve kterém uživatel zvolí číslo plochy, která se má zobrazit. Po zobrazení plochy se uživateli v pravém horním rohu programu zobrazí základní informace o ploše a o její frekvenci. Panel obsahuje výběrové pole s možnostmi:

- Zobraz jednotlivě
- Zobraz vše

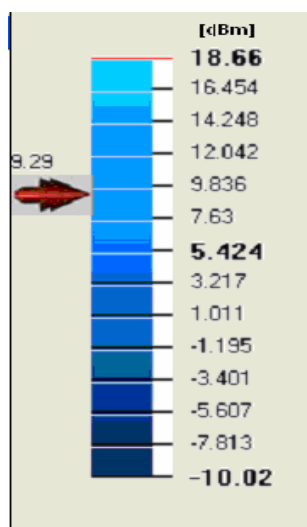
Jestliže vybereme ve výběrovém poli kolonku „Zobraz vše“ na pracovní ploše se nám zobrazí všechny plochy (frekvence).

Dále panel obsahuje výběrové pole stínování:

- Stínovat vše
- Stínovat jednotlivě

Výběrové pole „Stínovat vše a Stínovat jednotlivě“ slouží pro globální nastavení vystínování všech ploch. Jestliže zvolíme „Stínovat jednotlivě“, bude program stínovat každou plochu zvlášť a to tak, že u každé plochy zvolí maximum a minimum a vystínuje maximální plochu nejsvětleji a minimální plochu nejtmavěji. Jestliže zvolíme „Stínovat vše“ program najde největší maximum a nejmenší minimum všech ploch a dle těchto informací všechny plochy vystínuje.

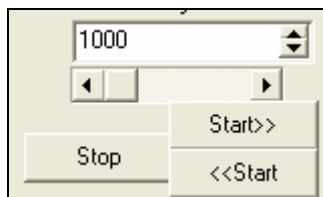
Ukazatel barevného rozlišení



obr. 54 ukazatel barevného
rozlišení

Ukazatel barevného rozlišení nám ukazuje, jaké hodnotě byla přiřazena jaká barva. Jestliže se pohybujeme ukazatelem myši po pracovní ploše a nacházíme se nad plochou objektu, šipkový ukazatel nám ukazuje na hodnotu elektromagnetického pole, na jaké se ukazatel myši vyskytuje. Jestliže chceme přesně znát hodnotu intenzity elektromagnetického pole na přesném místě, použijeme nástroj diagnostiky (viz dále).

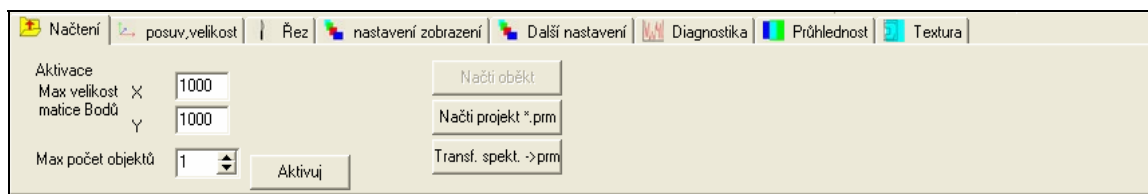
Nastavení animace



obr. 55 panel animace

Jestliže máme na panelu „přepínání a stínování ploch“ vybráno políčko „Zobraz jednotlivě“, může uživatel zvolit animaci. Po startu animace počítač po zadaném časovém intervalu v ms zobrazuje jednotlivé plochy buď vzestupným nebo sestupným pořadí. Vznikne tím animace, na které je vidět rozvoj intenzity elektromagnetického pole v závislosti na frekvenci. Tato funkce byla také využita při vědecké činnosti pro zobrazení vývoje magnetismu v závislosti na vzdálenosti od magnetu.

Panel načtení projektu



obr. 56 panel načtení projektu

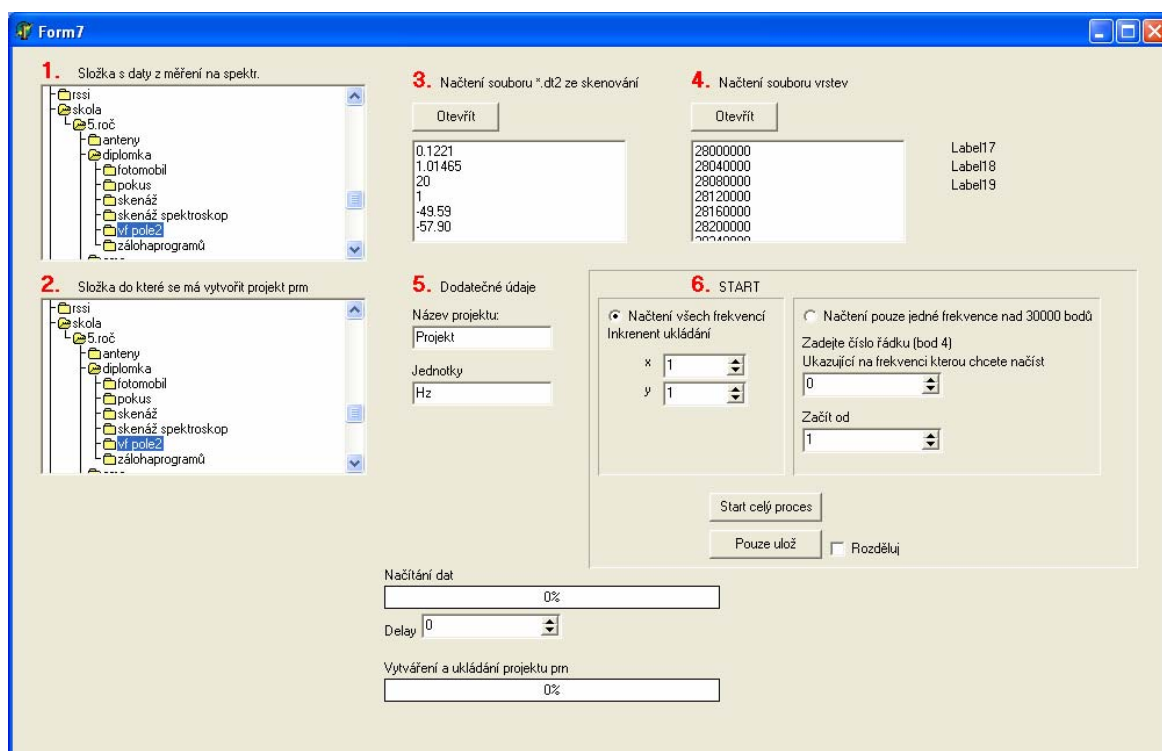
V levé části panelu „načtení“ se nachází pole pro aktivaci vizualizační matice. Jestliže chceme načíst jen jednu či několik výběrových ploch z projektu, musíme nejprve vytvořit matici, do níž následně budou nakopírovány data. Tato operace vyžaduje od uživatele tři základní parametry. Velikost bodů v ose x, velikost bodů v ose y a počet ploch, které budeme nahrávat. Tyto informace jsou jen orientační pro vymezení operační paměti v PC. Uživatel vždy musí nastavit velikost větší nebo rovnu největší nahrávané ploše. Různá bodová velikost ploch nijak neovlivní vizualizaci dalších ploch, nýbrž prázdná data v matici nejsou zobrazována. Můžeme nahrát jako první plochu, plochu o velikost 10x10

bodů a jako druhou plochu o velikosti 1000x100..... Plochy budou zobrazeny a výsledek nebude zkrácený.

Po nastavení matice je aktivováno tlačítko „Načti objekt“. Po jeho zmáčknutí se uživateli otevře standardní otevírací dialog používaný ve Windows a uživatel vybere potřebné soubory s příponou dt1 a dt2. Po načtení uživatelem zadaného počtu ploch se tlačítko „načti objekt“ deaktivuje.

Pro načtení celého projektu (všech ploch ve všech frekvencích) se používá tlačítko „načti projekt *.prm“. Pro načtení projektu není potřeba nastavovat vizualizační matici. Jestliže uživatel před načtením projektu přesto vizualizační matici nastavil, matice je obnovena a nastavena dle potřeb projektu a data z ní jsou smazány a nahrazeny daty projektu.

Pro transformaci dat naměřených spektrálním analyzátozem na potřebná data pro vizualizaci slouží tlačítko „Transf. Stektr ->prm“. Po jeho zmáčknutí se zobrazí dialogové okno transformace viz. obr. 57.



obr. 57 Dialog pro převod dat ze spektrálního analyzátozem na vizualizační data

Pro zahájení převodu musí uživatel zadat:

1. Umístění složky se soubory uložené programem pro komunikaci se spektrálním analyzátořem
2. Umístění složky, kam se budou ukládat vyhodnocená data
3. Načíst uložený soubor s příponou dt2 (uložený programem pro řízení analogového XY zapisovače)
4. Načíst soubor s příponou vrs s informacemi o skenovaných frekvencích
5. Vyplnit údaje o budoucím projektu
6. Zvolit variantu načítání

Varianty načítání jsou :

- Načtení všech frekvencí
- Načtení pouze jedné frekvence

Varianta načtení všech frekvencí spustí operaci, při které se vytvoří celý projekt a budou vyhodnocena všechna data.

Variantu načtení pouze jedné frekvence volí uživatel tehdy, když chce vyhodnotit pouze intenzitu elektromagnetického pole jen na jedné frekvenci a intenzity elektromagnetického pole na ostatních frekvencích jsou pro něj bezvýznamné.

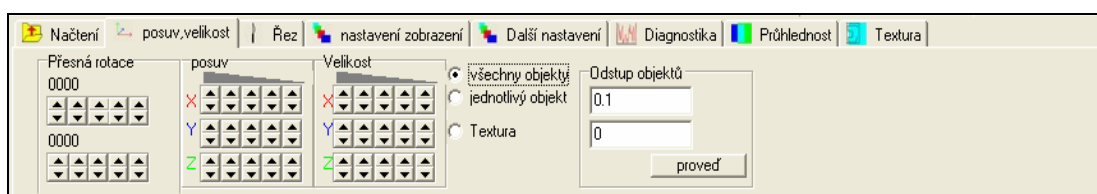
Dále program umožňuje uživateli zvolit inkrement ukládání. Jestliže je inkrement ukládání v osách zvolen 1, budou se vyhodnocovat všechny body měření. Jestliže je inkrement zvolen 2, bude se vyhodnocovat každý druhý bod měření atd. Tato možnost je využita tehdy, jestliže skenování bylo provedeno s velmi malými kroky skenování a pro uživatele je takové rozlišení nepotřebné, nebo jestliže se jedná o zpracování dat pro jiný, méně výkonný počítač.

Posledním políčkem pro vyhodnocení uživatelem je políčko „Delay“. Pomocí tohoto políčka může uživatel zadat časový interval v ms o který je program při načítání dat zpožděn v každém cyklu. Toto políčko je určeno převážně pro starší PC, kdy Bez časové prodlevy došlo k problémům při načítání dat a došlo k zastavení běhu programu.

Po vyplnění potřebných informací uživatel spustí program tlačítkem „Start“. Počítač nejprve z informací ze souborů s příponou dt2 vyhodnotí velikost matice a ze souboru s příponou vrs vyhodnotí její hloubku (počet ploch). Následně matici aktivuje a začne do ní načítat data. Průběh načítání dat se zobrazuje na prvním bargrafu. Po načtení dat program provede uložení dat ve formátu s příponami dt1a dt2 a provede vyhodnocení souboru projektu s příponou prm. Průběh vytváření a ukládání projektu je zobrazen na druhém bargrafu.

Po ukončení převodů je vhodné program zavřít a otevřít znovu pro vyčištění paměti. Po této operaci lze již projekt bez problémů vizualizovat.

Panel posun, velikost



obr. 58 Panelu posun, velikost

Panel „posun, velikost“ nám umožňuje manipulovat s objektem. Základem jsou tři výběrové body (uprostřed panelu) které nastavují následující předvolby:

- Všechny objekty
- Jednotlivý objekt
- Textura

Při zatržení kolonky „Všechny objekty“ bude následující operace posunutí nebo zvětšení aplikována na všech objektech.

Při zatržení kolonky „Jednotlivý objekt“ bude následující operace posunutí nebo zvětšení aplikována na objekt vybraný ve výběrovém poli ploch.

Při zatržení kolonky „Textura“ bude následující operace posunutí nebo zvětšení aplikována na plochu s vloženou texturou (fotografií skenované plochy).

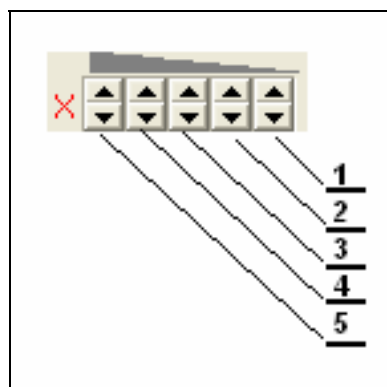
Nabídka posunu se používá tehdy, když je nutné objekt posunout například na střed rotace, nebo když je zapotřebí vystředit plochy (objekty) nebo plochu a texturu vůči sobě.

Nabídka velikosti se používá tehdy, když je zapotřebí opticky zvětšit plochu v osách X a Y nebo graficky zvětšit rozdíly mezi minimem a maximem (velikost v ose Z). Operace velikosti jsou pouze grafické a žádným způsobem neovlivňují naměřené hodnoty.

Kolona „odstup objektů“ se používá tehdy, když je zapotřebí, aby plochy nebyly v jedné rovině, ale byly od sebe vzdálené o určitý inkrement v ose Z.

Popis multifunkčního tlačítka

V programu Vizualizace je na spoustě míst použito multifunkční tlačítko (obr. 59), jehož funkce je uvedena v tabulce:

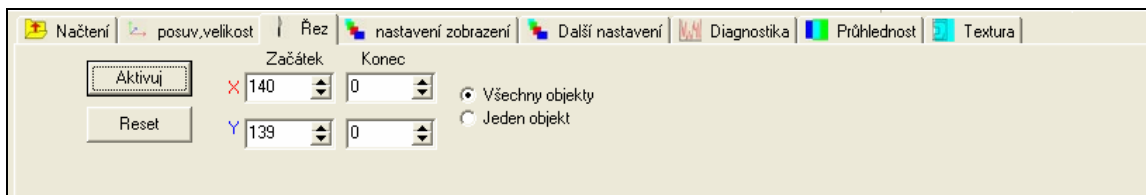


obr. 59 multifunkční tlačítko

Dvojtlačítko	změna (posunutí, zvětšení.....)
1	0,01 x
2	0,1 x
3	1 x
4	10 x
5	100 x

tabulka 8 tabulka Funkce multifunkčního tlačítka

Panel řezu objektu

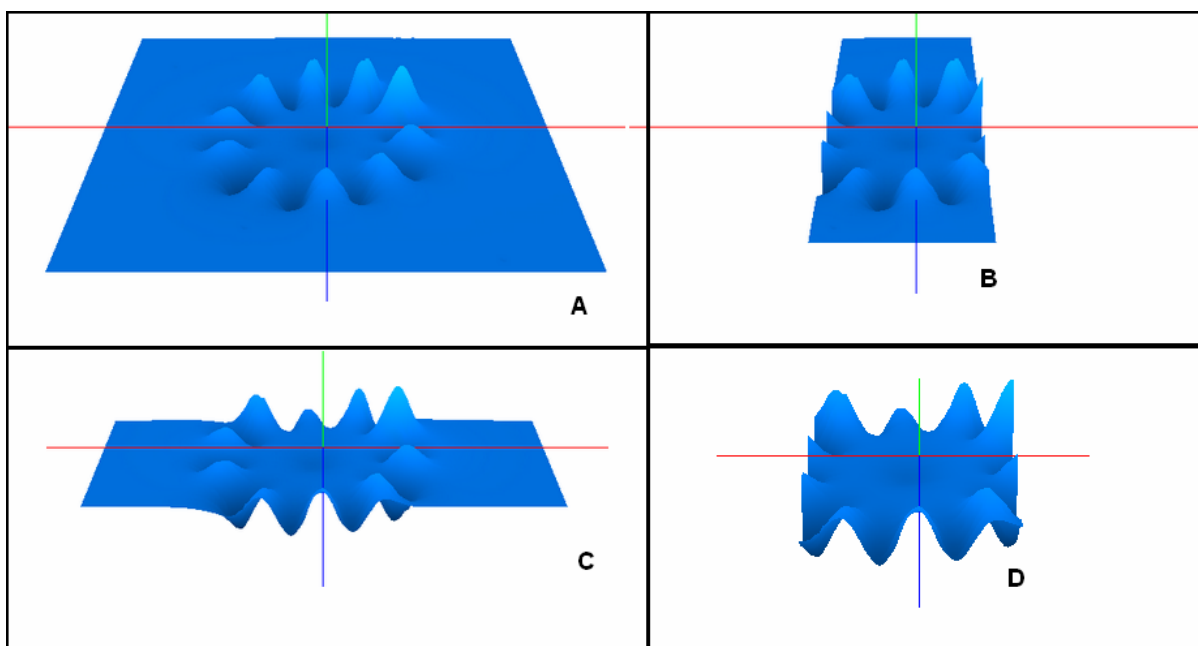


obr. 60 Panel řezu

Nástroj „Řez objektu“ pracuje na principu zadávání hranic počátečního a koncového bodu vizualizace. Při řezu objektu se matice naměřených bodů nemění, pouze se mění hranice vizualizace objektu. Před prací s řezem musí uživatel zmáčknout tlačítko „Aktivuj“. To načte dosavadní maximální a minimální hranice vizualizace. Změnou některé hranice dojde k optickému řezu objektu.

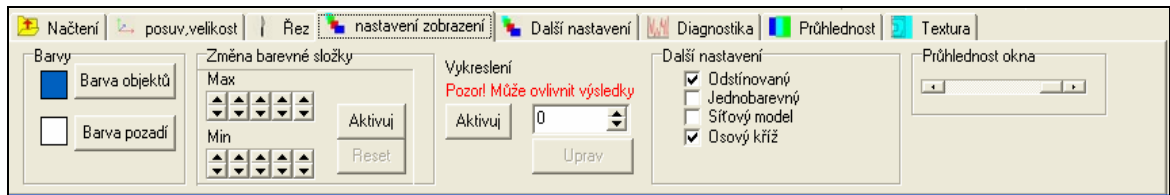
Tato funkce dále obsahuje standardní nabídku, jestli se má pracovat jen s vybraným objektem, nebo se všemi objekty.

Tlačítko „Reset“ načte zpět koncové hranice objektu a tím vrátí objekt bez řezu.



obr. 61 možnosti řezu objektu: A.) celý objekt bez řezu, B.) Oboustranný řez v ose X, C.) Oboustranný řez v ose Y, D.) Kombinace řezů

Panel nastavení zobrazení

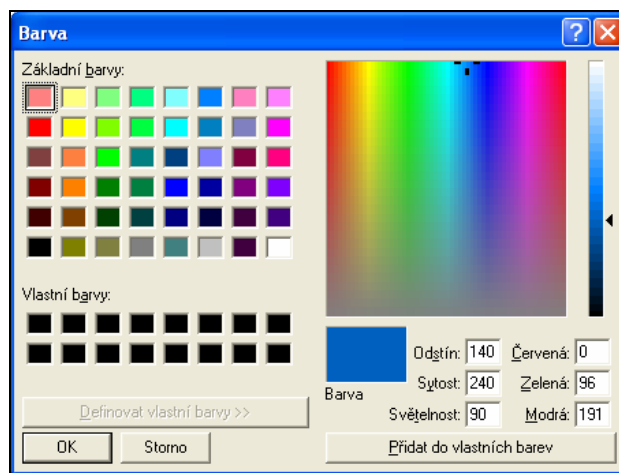


obr. 62 Panel nastavení zobrazení

Panel nastavení zobrazení obsahuje následující funkce:

- Změna barvy
- Změna barevné složky
- Vykreslení
- Další nastavení
- Průhlednost okna

Funkce změna barvy nám umožňuje měnit barvu pozadí a objektu. Po kliknutí na tlačítko „Barva objektu“ nebo „Barva pozadí“ se nám zobrazí standardní dialogové okno výběru barvy (viz obr. 63).



obr. 63 Dialog výběru barvy

V případě výběru barvy pozadí počítač změni barvu pozadí.

V případě výběru barvy objektu počítač vyhodnotí vybraný odstín, vypočítá maximální a minimální světlost vybrané barvy a na základě znalostí maximální a minimální hodnoty objektu vystínuje objekt vybranou barvou.

Funkce Změna barevné složky se používá tehdy, když je barevné odstínování objektu počítačem nedostačující. Tlačítko „aktivuj“ nám umožní pozměňovat barevné odstínování objektu a dále nám umožní po zmáčknutí tlačítka „Reset“ vrátit změny provedené uživatelem.

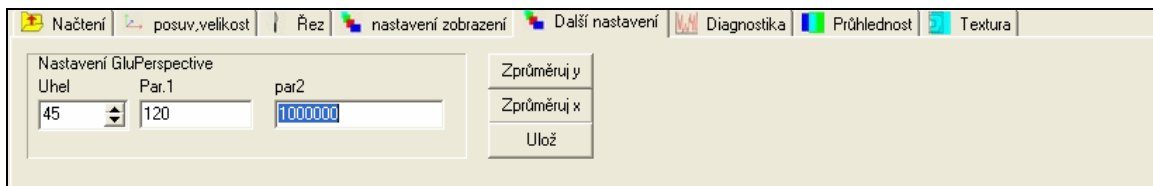
Funkce Vykreslení nám přepočítá matici pro lepší zobrazení. Může ovlivnit další vyhodnocení!! Proto je vhodné tuto funkci použít až jako poslední operaci po všech potřebných analýzách, pro lepší vizualizaci.

Funkce Další nastavení obsahuje položky:

- Odstínovaný – objekt bude odstínovaný
- Jednobarevný- deaktivuje stínování objektu, objekt bude jednobarevný (nepřehledný)
- Síťový model- Propojení naměřených dat pouze mřížkou nikoliv plochou
- Osový kříž- vypne/zapne osový kříž

Funkcí Průhlednost okna můžeme nastavit průhlednost programu. Tato funkce se například používá pro grafický překryv naměřené plochy a fotografie otevřené v jiném programu.

Panel Další nastavení



obr. 64 panel Další nastavení

Panel dalšího nastavení obsahuje funkci nastavení GluPerspective. GluPerspective je funkce v OpenGL, která by se dala nazvat jako funkce „Zobrazení hloubky obrazu“. Tato funkce vypočítává perspektivu, jako například sbíhavost dvou rovnoběžek v závislosti na vzdálenosti od pozorovatele apod. Nýbrž tento program byl navrhován jako program pro vizualizaci různě velkých matic čísel, je někdy potřebné zasahovat do této funkce. Například při vizualizaci velkých matic nad 1000 x 1000 bodů je dosti vhodné změnit Uhel nastavení GluPerspective, jinak je sbíhavost stran plochy tak velká, že plocha se jeví jako trojúhelníková. Konstanta Par.1 udává, v jaké vzdálenosti od uživatele se má plocha zobrazovat. Hodnoty blíže se již nezobrazují. Hodnota Par2 udává, kolik bodů „dohloubky“ se má plocha zobrazovat.

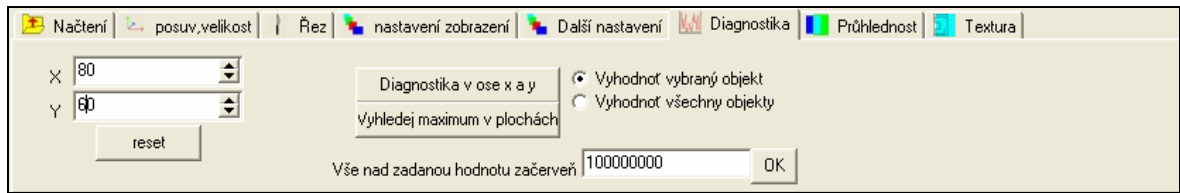
Tlačítka Zprůměruj x a Zprůměruj y Přepočítají matici dat podle vzorců:

$$x(i)=(x(i)+x(i+1))/2 \quad (18)$$

$$y(i)=(y(i)+y(i+1))/2 \quad (19)$$

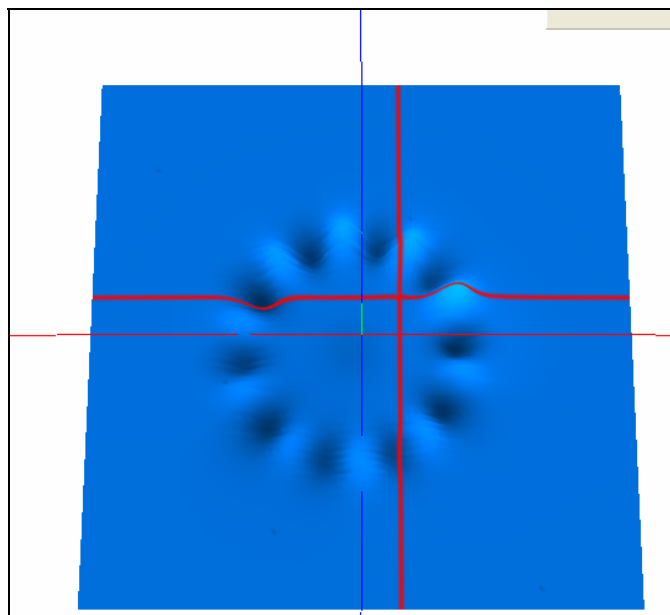
Tuto funkci je vhodné použít až jako poslední operaci po všech potřebných analýzách pro lepší vizualizaci, nýbrž přepočítává hlavní matici a mění naměřené hodnoty. Tato funkce je vhodná pro „uhlazení“ vizualizace plochy a pro odstranění piků (chyb měření).

Panel diagnostika



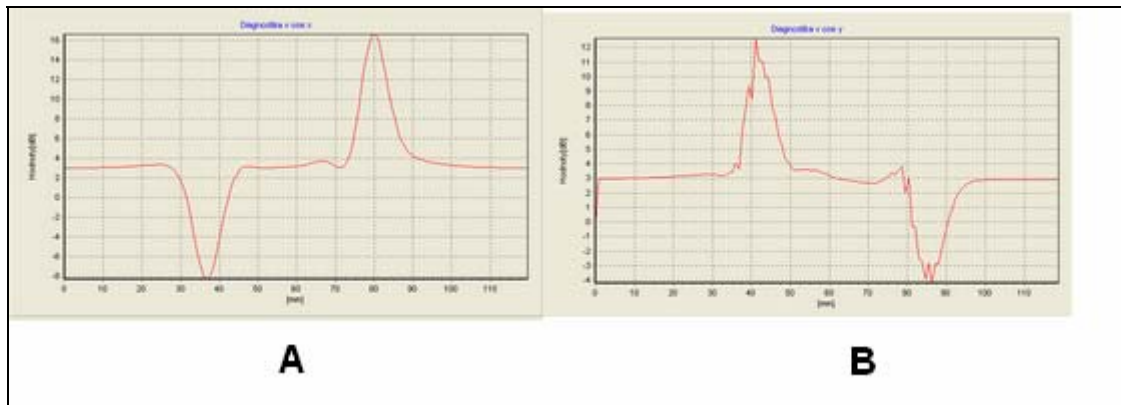
obr. 65 panel diagnostika

Panel diagnostika slouží k přesnému určení hodnot. Jestliže uživatel mění souřadnice v polích X a Y v levé části panelu diagnostika, po ploše se pohybuje červený kříž (viz .obr. 66).



obr. 66 Diagnostický kříž na ploše

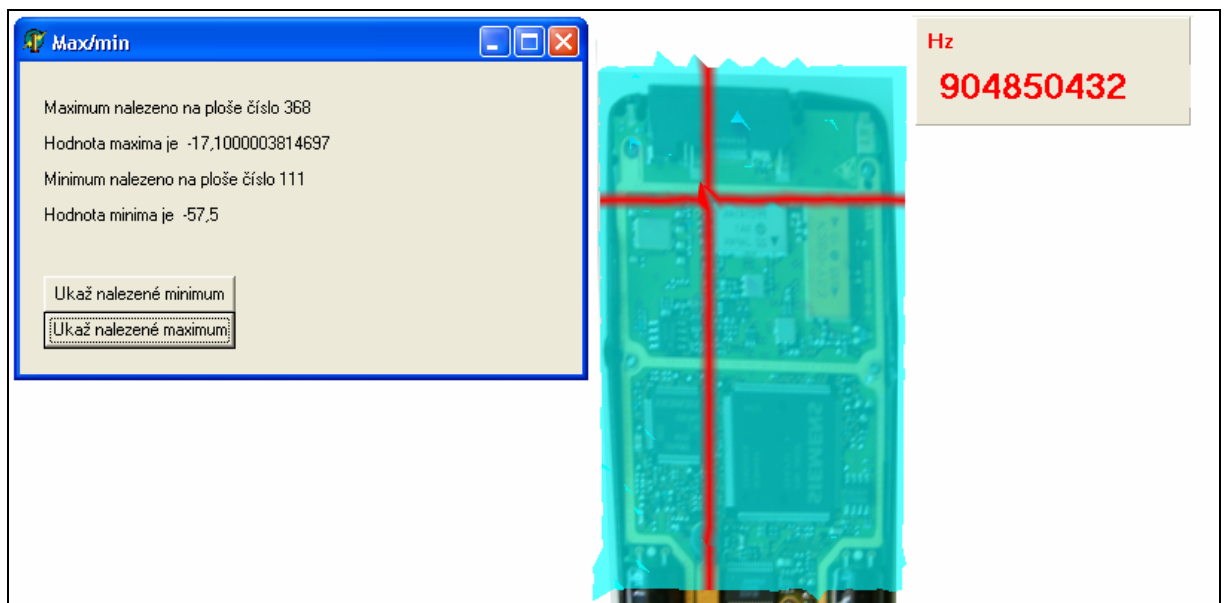
Po zmáčknutí tlačítka „Diagnostika v ose x a y“ se zobrazí dialog s grafy, které znázorní řez podél vyznačených červených čar. Z těchto grafů můžeme přesně vyčíst hodnoty intenzity elektromagnetického pole v daných bodech (viz .obr. 67).



obr. 67 řez podél diagnostických čar: A.)řez podél čáry v ose X;

B.)řez podél čáry v ose Y.

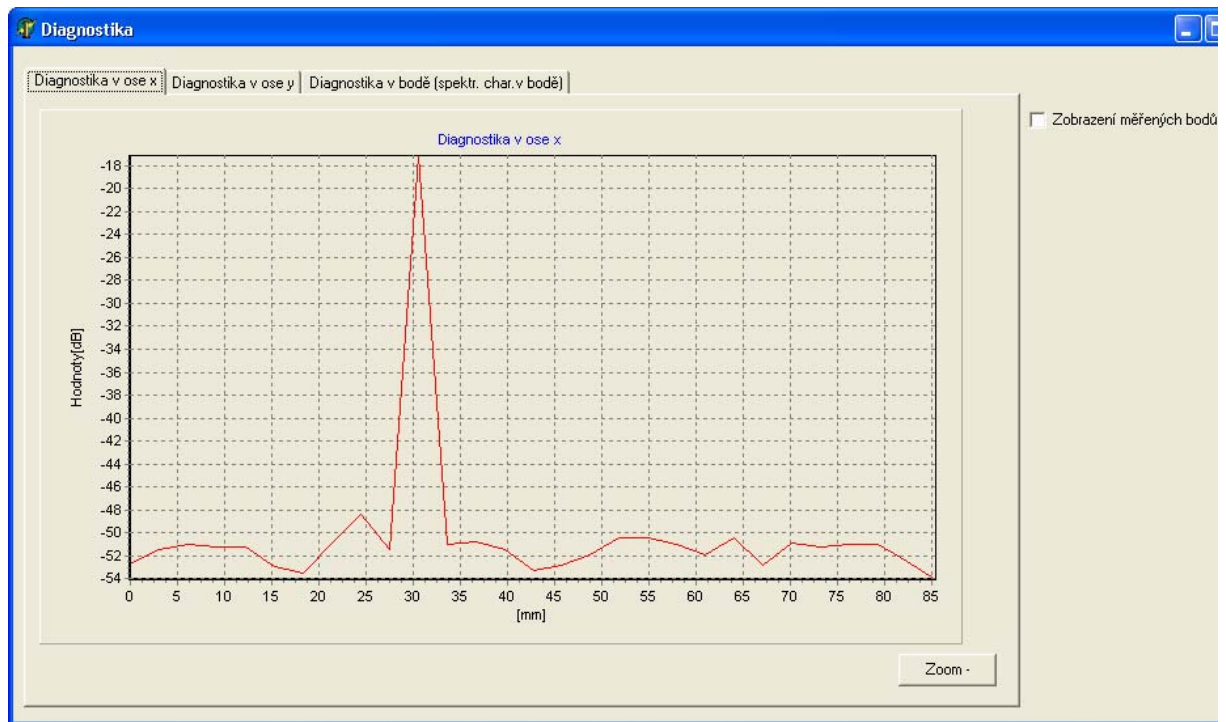
Další funkcí diagnostiky je funkce vyhledání maxima ve všech plochách. Po zmáčknutí tlačítka „Vyhledej maximum ve všech plochách“ proběhne cyklus, kdy počítač „proskenuje“ celou matici a vyhledá plochu a největším hodnotou. Následně tuto plochu zobrazí a diagnostickým křížem najede na místo maxima (viz obr. 68).



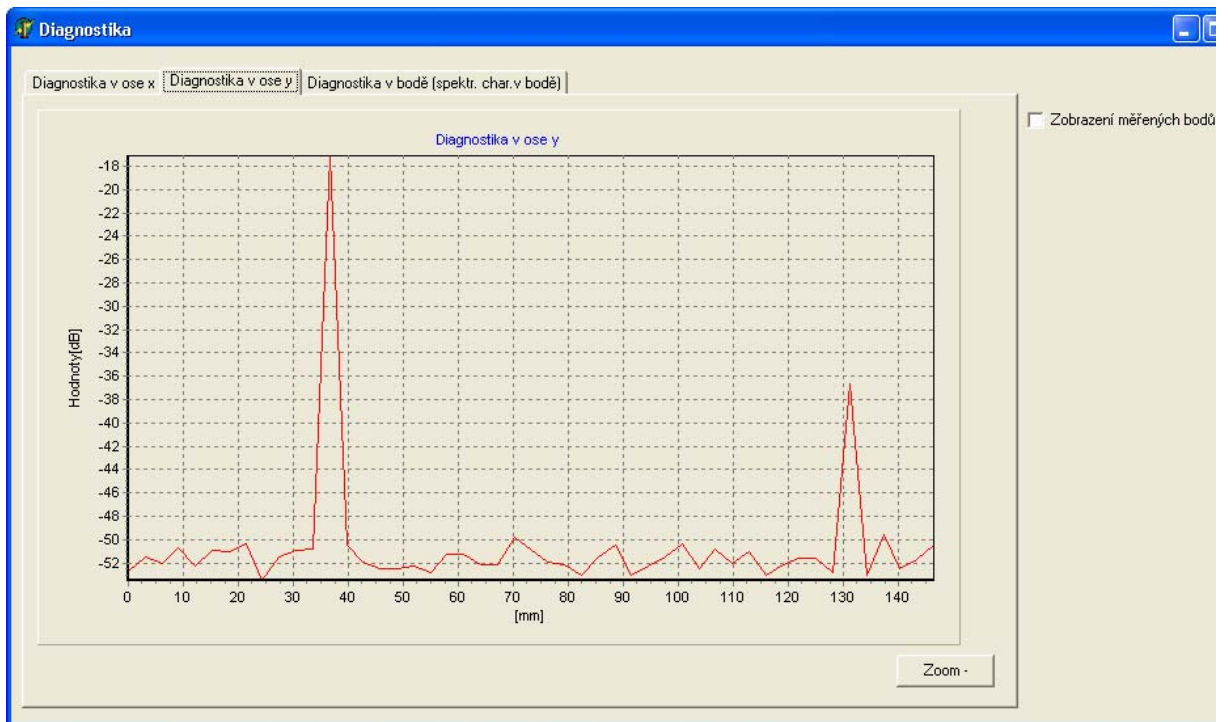
obr. 68 Nalezení maxima v plochách

Na obr. 68 vidíme výsledek hledání, kdy program našel maximum na ploše číslo 368 což je na 904850432 Hz a hodnota intenzity elektrické složky elektromagnetického pole je

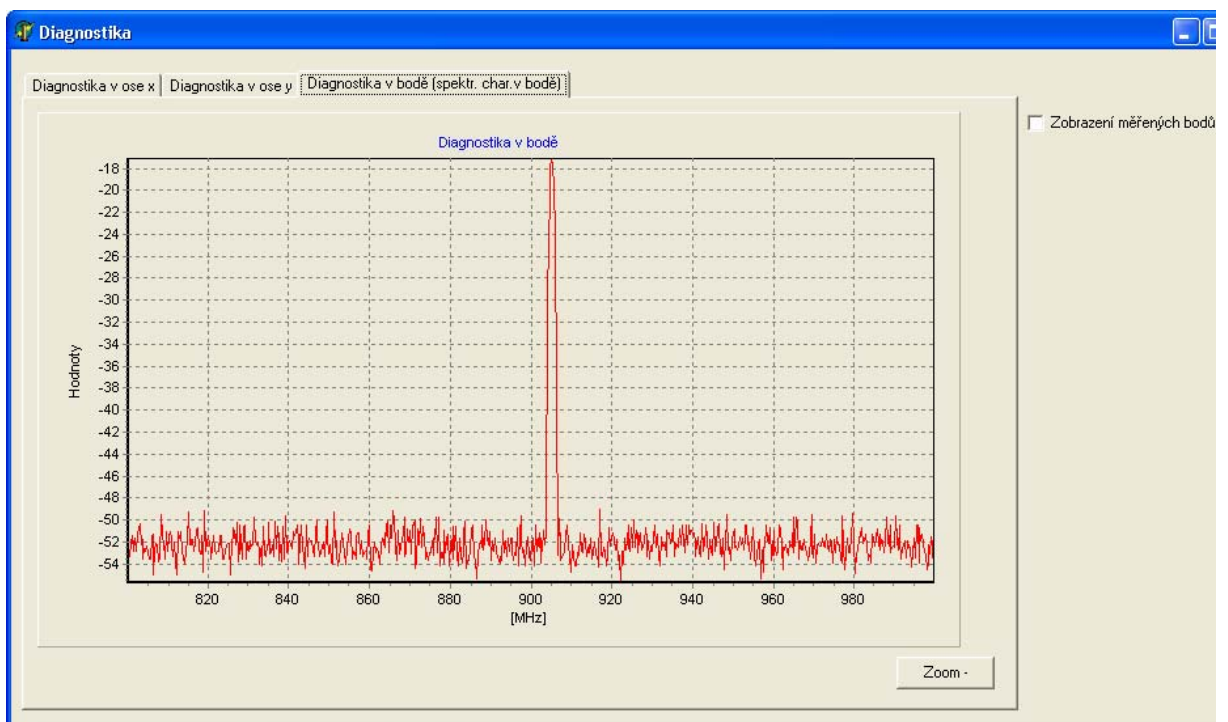
v tomto místě $-17,1$ dBm. Po zmáčknutí tlačítka „ukaz nalezené maximum“ najede diagnostickým křížem na místo s nejvyšší intenzitou. Následně můžeme použít funkce „diagnostika v ose x a y“. Spustí se nám formulář s grafy, kdy graf č. 1 je řez podél osy X (obr. 69), graf číslo 2 je řez podél osy Y (obr. 70) a graf č. 3 je spektrální charakteristika v bodě daném průsečíkem diagnostického kříže (obr. 71).



obr. 69 Řez po ose x diagnostického kříže

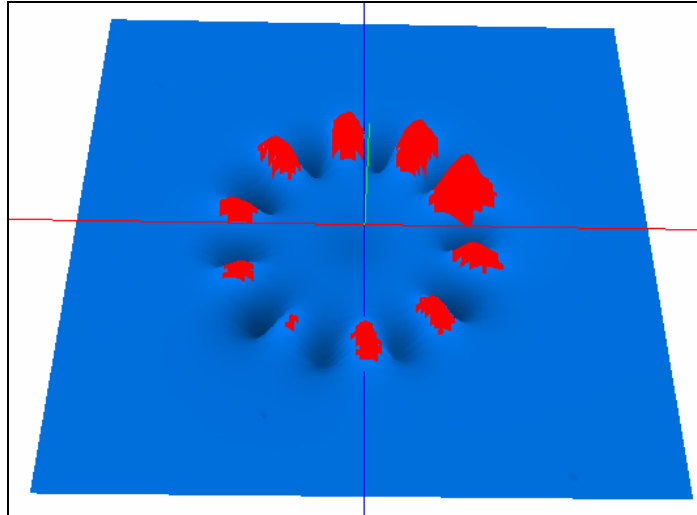


obr. 70 Řez po ose y diagnostického kříže



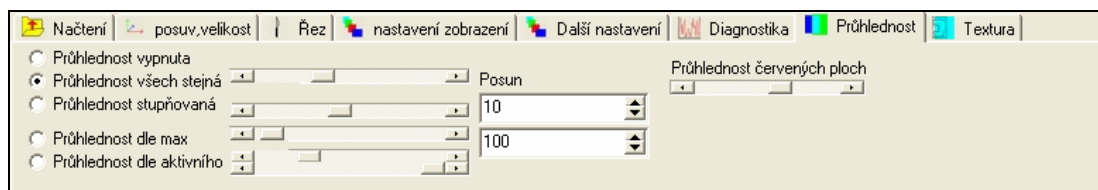
obr. 71 spektrální charakteristika v bodě daném průsečíkem diagnostického kříže

Další funkcí diagnostiky je funkce, kdy „vše nad zadanou hodnotu“ vybarví červenou barvou. Tato funkce se dá použít pro zobrazení oblastí s kritickou intenzitou elektromagnetického pole nebo ke zobrazení zdroje záření (viz obr. 72).



obr. 72 vybarvení kritických hodnot

Panel průhlednost



obr. 73 Panel průhlednost

Panel „průhlednost“ obsahuje funkce:

- Průhlednost vypnuta
- Průhlednost všech stejná
- Průhlednost stupňovaná
- Průhlednost dle maxima
- Průhlednost dle aktivního
- Průhlednost červených ploch

Funkce „průhlednost vypnuta“: funkce, která je nastavena po zapnutí programu. Při této funkci jsou všechny plochy vybarveny sytou barvou bez průhlednosti.

Funkce „průhlednost všech stejná“: funkce, která má za následek změnu průhlednosti všech ploch v závislosti na posuvném ukazateli. Průhlednost se nevztahuje na texturu. Pomocí této funkce lze vytvořit obrázek překryvu naměřené plochy a textury (fotky měřeného zařízení).

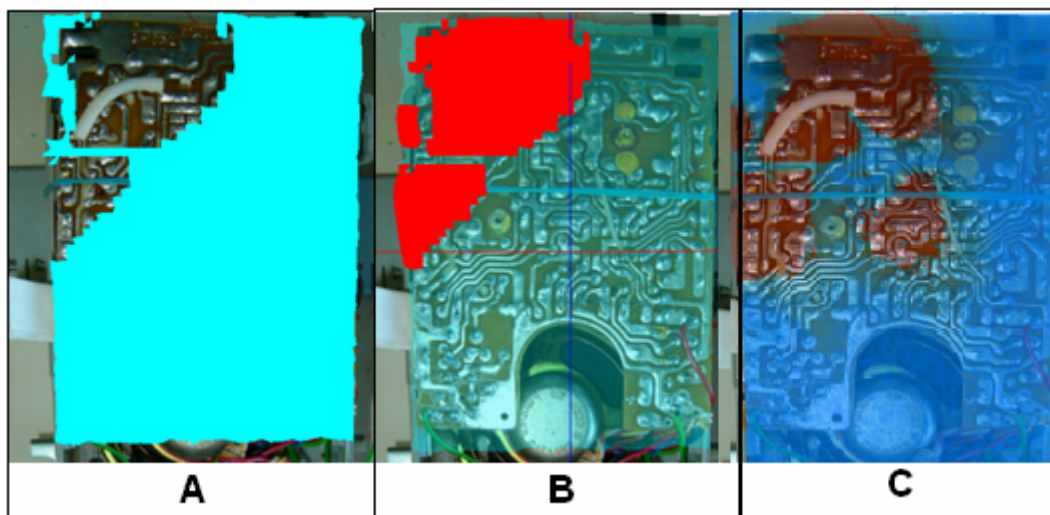
Funkce „Průhlednost stupňovaná“: při zvolení této funkce počítač zprůhlední plochy tak, že plocha číslo 1 nepůjde téměř vůbec vidět a plocha s nejvyšším číslem bude neprůhledná. Do odstínování můžeme zasahovat pomocí posuvného ukazatele.

Funkce „Průhlednost dle maxima“: Funkce, při níž je plocha zprůhledněna tak, že nejmenší hodnoty plochy jsou téměř neviditelné, avšak nejvyšší jsou téměř neprůhledné. Tato funkce je vhodná pro zviditelnění kritických hodnot. Do odstínování můžeme zasahovat pomocí posuvného ukazatele.

Funkce „Průhlednost dle aktivního“: je funkce, která všechny plochy zprůhlední dle nastavené hodnoty na posuvném ukazateli a plochu, která je aktivní (vybraná), vytvoří neprůhlednou. Vznikne tím Průhledný 3D prostor dat, kde aktivní jsou více a neaktivní jsou méně viditelná.

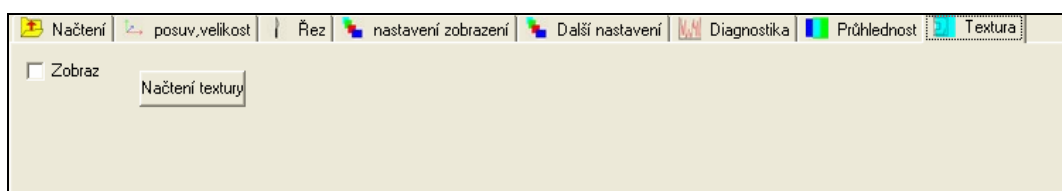
Pomocí posuvného ukazatele s názvem „Průhlednost červených ploch“ můžeme nastavit hodnotu průhlednosti ploch, které jsou vybarveny červenou barvou pomocí jakýchkoliv funkcí. Tato funkce je dosti vhodná při překryvu naměřené plochy a textury (fotografie měřeného zařízení), kdy průhlednost plochy uživatel nastaví na 0 % a průhlednost červených ploch na 50 – 100 % . Tím získá obraz, na kterém jsou viditelné místa s kritickou intenzitou elektromagnetického pole. Na obrázku (obr. 74) je znázorněn příklad využití viditelnosti červené barvy při skenování magnetické složky elektromagnetického záření rádiového přijímače. Pro názornou vizualizaci byl použit překryv fotografie skenovaného zařízení a plochy s maximální intenzitou magnetické složky elektromagnetického záření. Následně byly vybarveny maxima červenou barvou (panel diagnostika) a nastavena průhlednost. V případě A byla průhlednost plochy nastavena na 0 % na průhlednost červené složky na 100 % . Pomocí tohoto nastavení byly zviditelněny oblasti s maximální intenzitou magnetické složky elektromagnetického

záření. V případě B byla průhlednost plochy nastavena na 50 % a průhlednost červené složky na 0 %. Pomocí tohoto nastavení byly zviditelněny oblasti, které mají menší intenzitu magnetické složky elektromagnetického záření než je kritická intenzita. V případě C bylo použito nastavení, kdy průhlednost červené barvy a plochy byla stejná. Tímto nastavením byl dosažen přehledný obrázek o rozložení kritických hodnot vůči nekritickým hodnotám intenzity magnetické složky elektromagnetického záření.



obr. 74 Použití průhlednosti červené barvy

Panel Textura



obr. 75 Panel textura

Panel textura nám umožňuje do projektu načíst virtuální plochu, na kterou se vykreslí fotografie skenované plochy. Pomocí této funkce můžeme absolutně přesně a přehledně vizualizovat rozložení intenzity elektromagnetického pole nad skenovanou oblastí a tím nalézt pouhým optickým srovnáním kritická místa s nejvyšší intenzitou elektromagnetického pole.

Zaškrtnutím políčka „zobraz“ můžeme zapínat (vypínat) zobrazení textury.

Tlačítkem „Načtení textury“ se textura vyhodnotí a načte do paměti.

Pro vytvoření textury z fotografie musí být splněny tyto podmínky:

- 1.) Fotografie pro texturu musí mít formát *.bmp
- 2.) Fotografie musí mít hloubku barevného rozlišení maximálně 256 barev
- 3.) Fotografie musí mít velikost:

256 x 256

512 x 512

1024 x 1024

Jestliže nahrávaná fotografie nebude mít zadaný rozměr, nebude nakopírována do textury! Textura je plastická, tudíž při změně velikosti plochy s texturou se mění i proporce obrázku. (Obrázek se roztahuje, zvětšuje....)

Textura nemá vliv na diagnostiku a vyhodnocení měření. Má pouze grafický charakter.

8.2 Základní postup při práci s vizualizačním programem

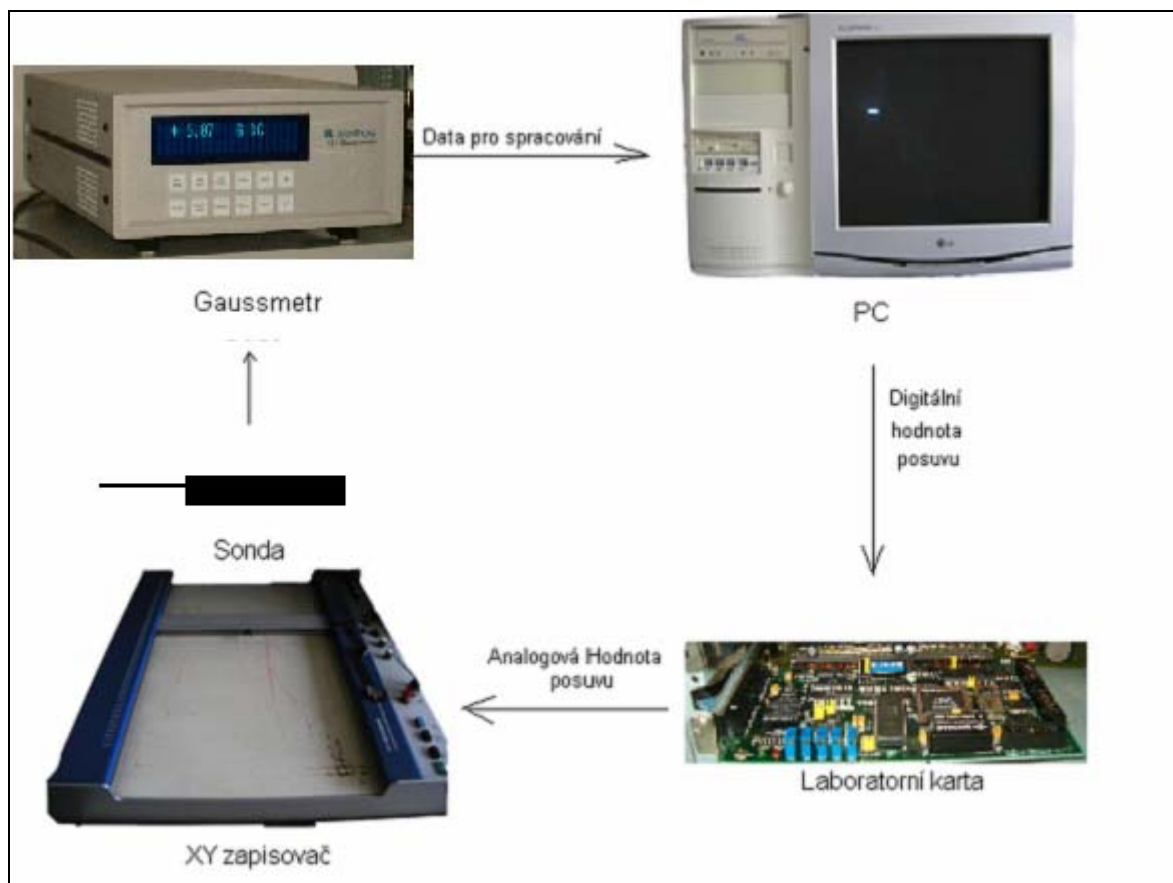
- 1.) Po oskenování plochy je zapotřebí zapnout vizualizační program a na panelu „načti“ spustit transformaci a tím převést data z dat ze spektrálního analyzátoru na data pro vizualizaci.
- 2.) Po převodu dat uživatel restartuje aplikaci a otevře vytvořený projekt pro vizualizaci s příponou *.prm
- 3.) Jako třetí bod je vhodné načíst texturu (upravenou fotografii)
- 4.) Pomocí panelu „posuv, velikost“ se musí upravit posunutí textury tak, aby se nacházela pod oskenovanou plochou.
- 5.) Pomocí panelu „posuv, velikost“ se musí upravit velikost textury, aby měla stejný rozměr jako oskenovaná plocha.
- 6.) Nyní lze provádět další diagnostiku. Výsledné obrázky lze získat ofocením plochy (tlačítko „print screen“ na klávesnici PC a následně v jakémkoliv grafickém programu položka „vložit“ a „soubor“-„uložit“).

9 MĚŘENÍ VÝVOJE MAGNETICKÉHO POLE

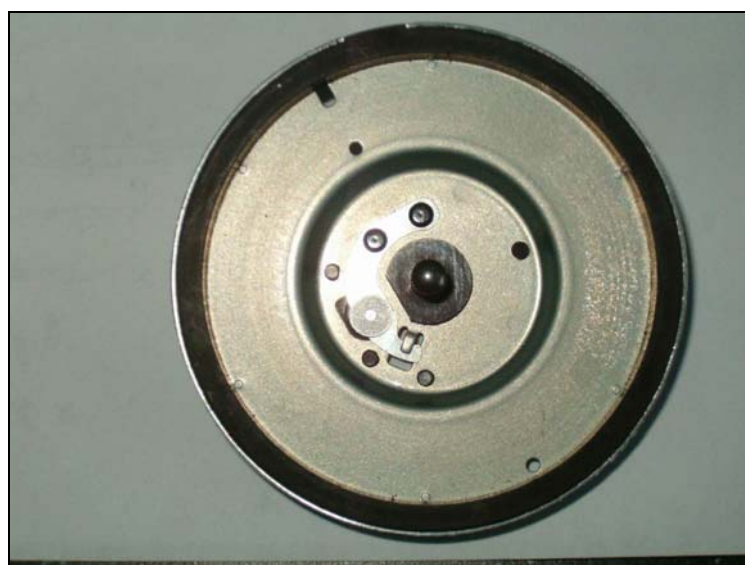
Abychom odzkoušely vývojový software pro prostorovou vizualizaci a navázaly na bakalářskou práci (Košina Tomáš: Řízení mikroposuvu v rovině, bakalářská práce UTB Zlín, 2005) zaměřenou na podobnou tematiku byl změřen vývoj magnetického pole v závislosti od zdroje.

Pro přiblížení dané práce: v bakalářské práci bylo změřeno stacionární magnetické pole nad magnetem z rotoru disketové mechaniky v určité vzdálenosti od tohoto magnetu. Software vyvinutý pro bakalářskou práci dokázal zobrazit pouze jednu plochu. Další vývoj software již z důvodů složitějšího načítání a složitější práce s maticí nebyl možný. Proto byl pro diplomovou práci a vědeckou činnost vyvinut nový software, ve kterém byly tyto chyby opraveny a tudíž umožňuje složitější vizualizace. Jak již bylo uvedeno, nový vyvinutý software dokázal vizualizovat více ploch a zobrazit je v animaci. Proto byl magnet oskenován v určitých vzdálenostech, ručně vytvořen projektový formulář *.prm a *.vrs (str. 71) a následná animace ukázala rozvoj magnetického pole v závislosti vzdálenosti od zdroje magnetického záření.

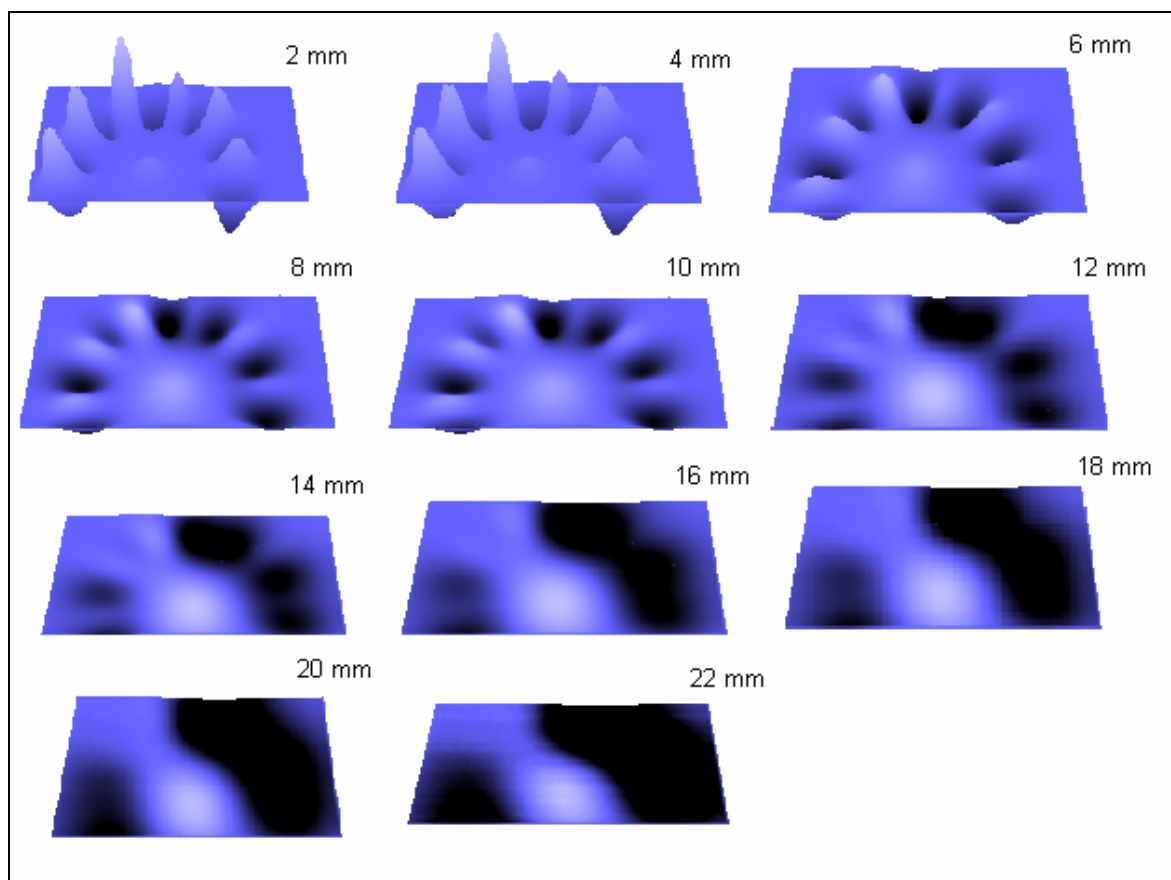
Pozn.: Tato práce byla publikována a prezentována na XI ročníku mezinárodní soutěže pro studenty vysokých škol na VŠB – Technické univerzitě v Ostravě kde získala 1. místo v sekci S4- Aplikace měřících a diagnostických systémů.



obr. 76 Aparatura pro měření stacionárního magnetického pole



obr. 77 měřený magnet



obr. 78 výsledné oskenované plochy po 2 mm
ze kterých vznikla animace

10 MĚŘENÍ EZS ÚSTŘEDNY PRO BEZPEČNOSTNÍ TECHNOLOGIE

Jako další objekt pro měření vyzařování stacionárního magnetického pole byla vybrána ústředna pro zabezpečení objektu. Toto měření NEBYLO prováděno za účelem zjištění zda zařízení vyhovuje normám. Ústředna byla vybrána pouze pro aplikaci programů na reálné zařízení. Z tohoto důvodu bylo zařízení zbaveno ochranných plechových krytů.

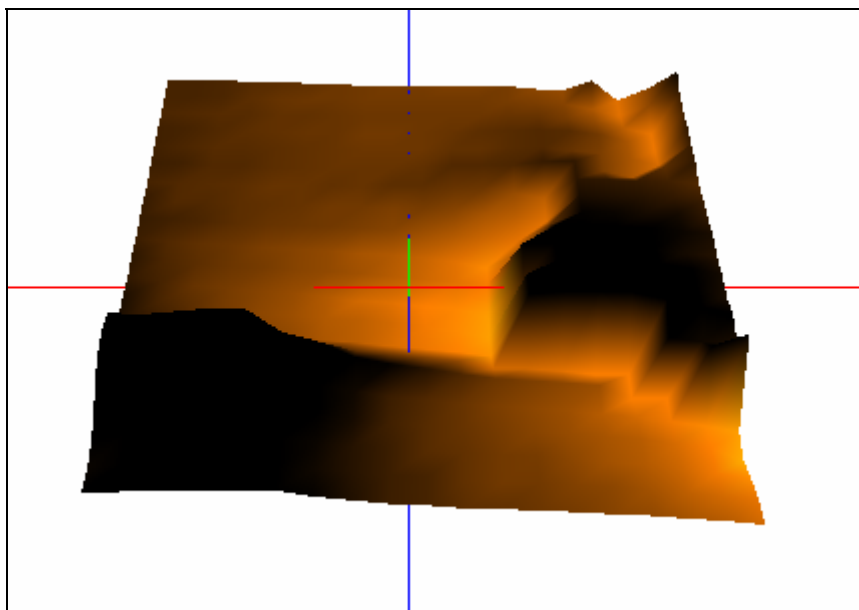
Pozn.: Tato práce byla publikována v časopisu Security:

Ivanka, J., Košina, T.: Měření magnetických polí elektrických systémů v průmyslu komerční bezpečnosti III.: In.: Security magazín

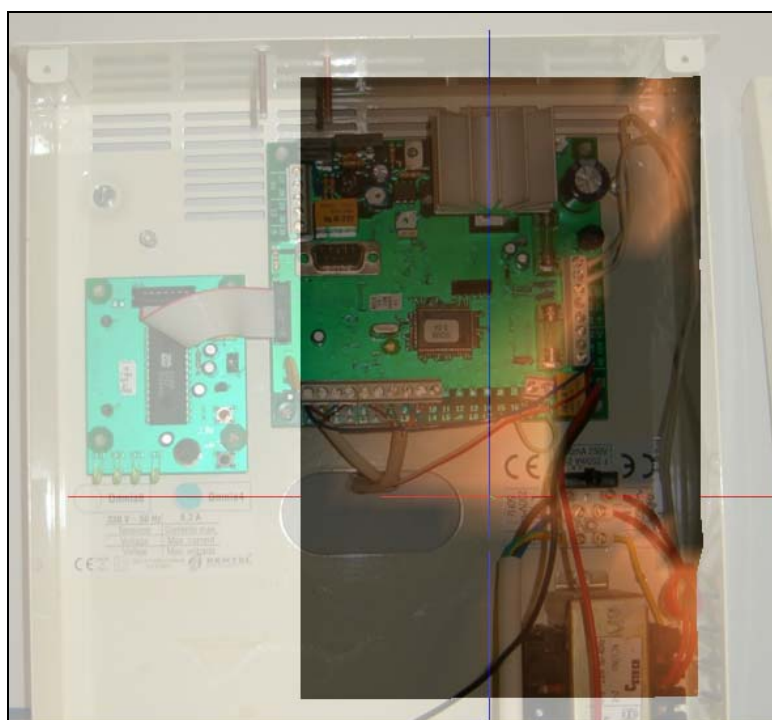
10.1 Měření centrály Bentel Omnia 4 CEN



obr. 79Centrála Bentel Omnia 4 CEN



obr. 80 Magnetické pole nad Centrálou Bentel Omnia 4 CEN



obr. 81 1. Překryv magnetického pole a skenované oblasti

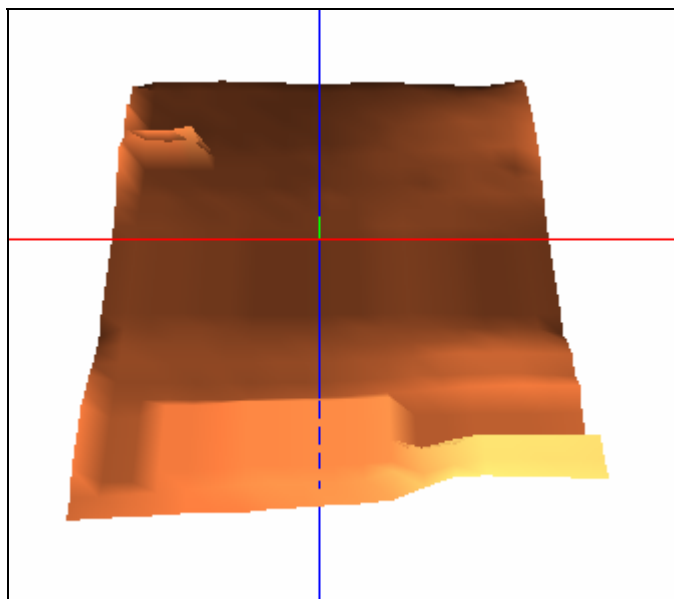


obr. 82 2. Překryv magnetického pole a skenované oblasti

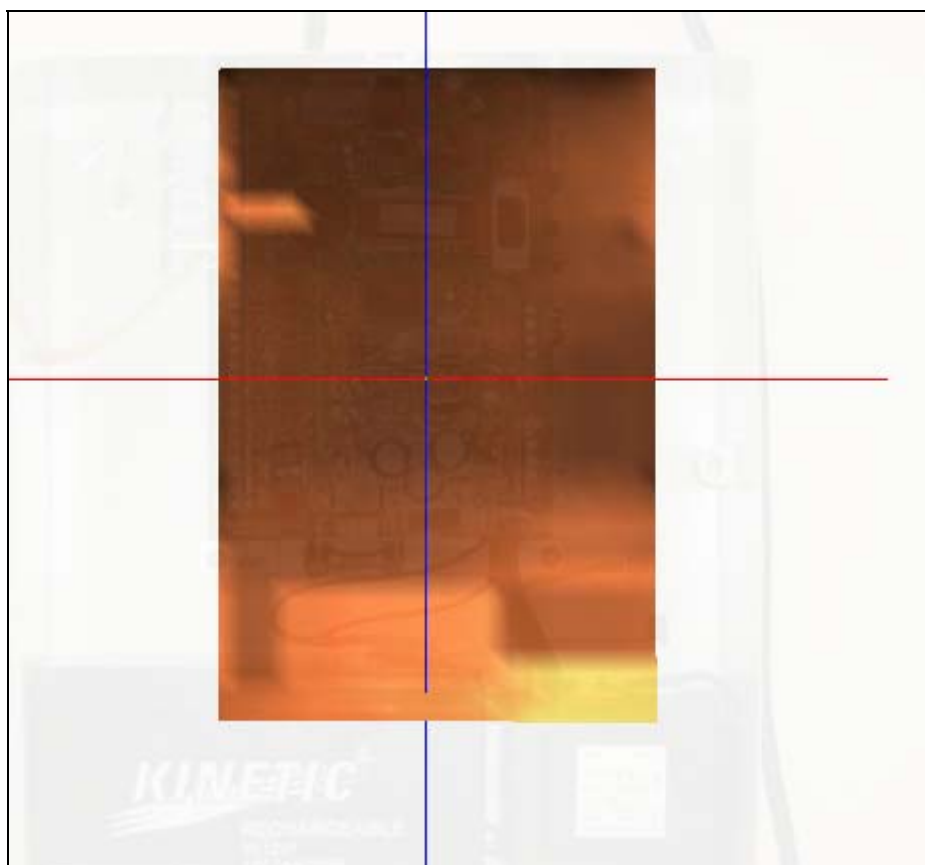
10.2 Měření vysílací části RSN 451



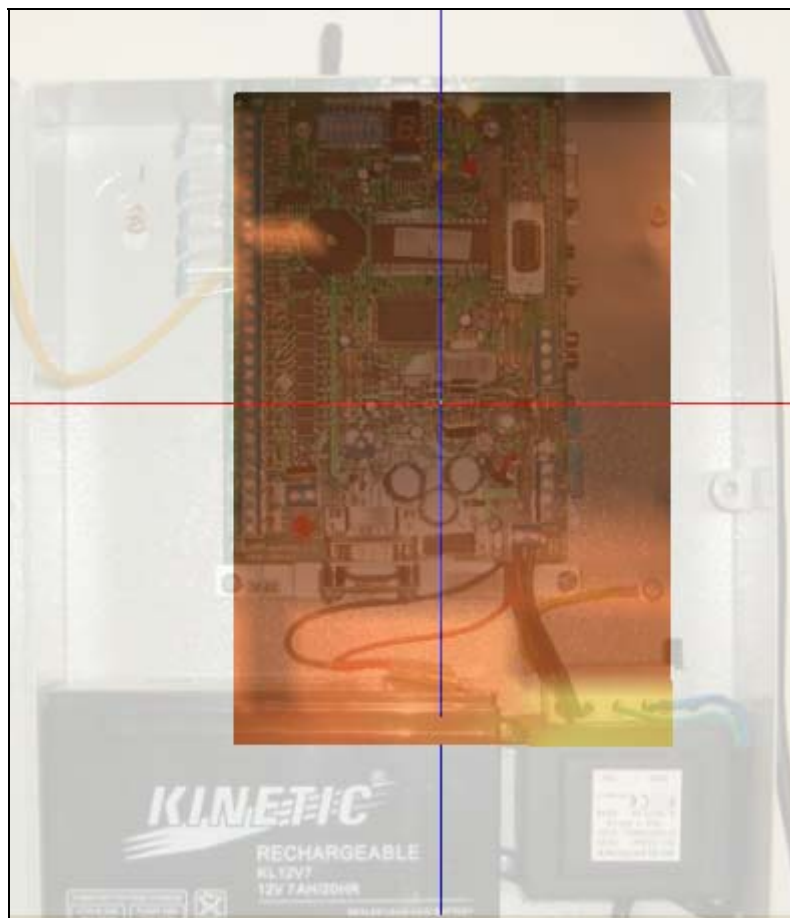
obr. 83 Vysílací část RSN 451



obr. 84 Magnetické pole vysílací části RSN 451



obr. 85 1. Překryv magnetického pole a skenované oblasti

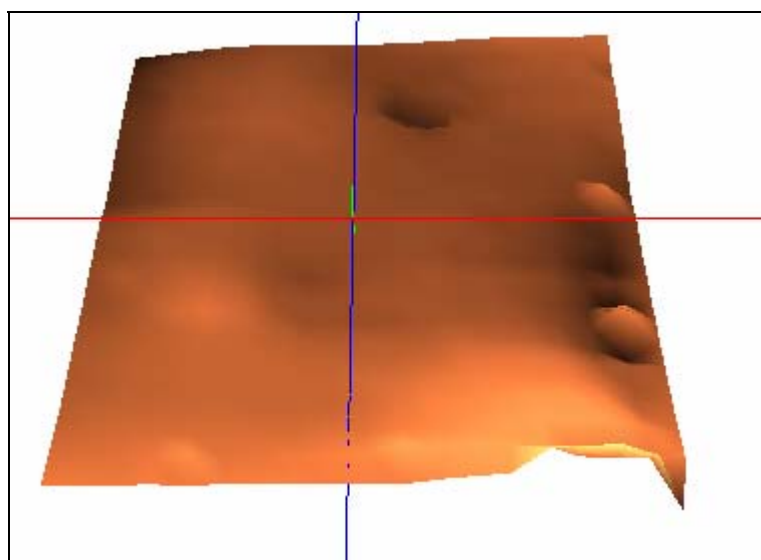


obr. 86 2. Překryv magnetického pole a skenované oblasti

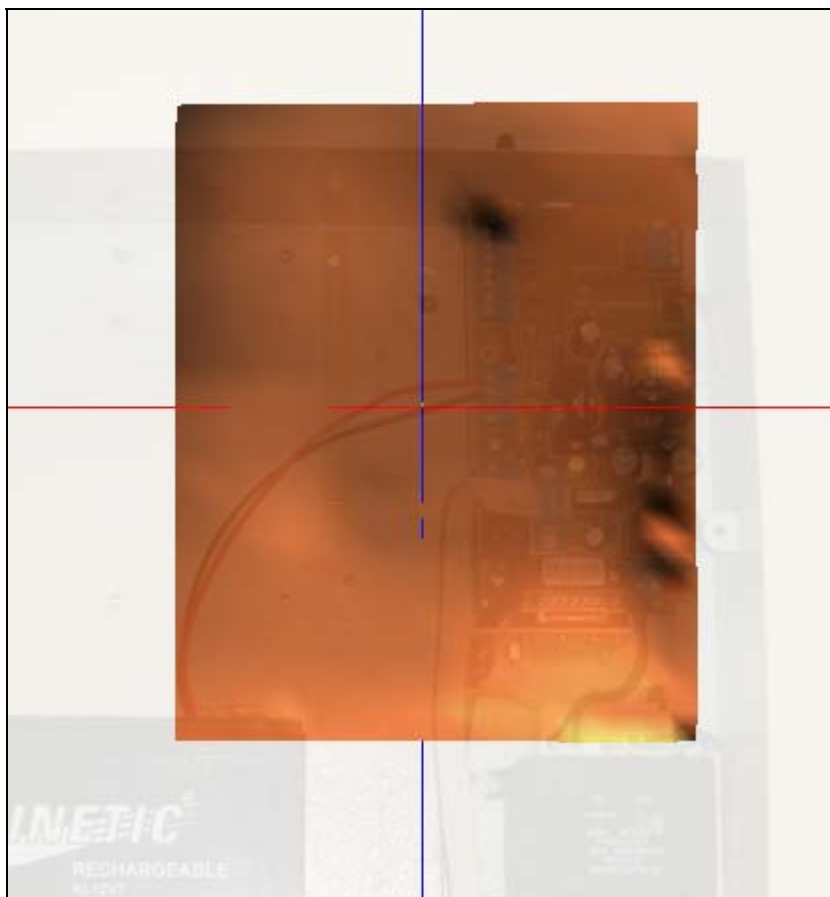
10.3 Měření retransační části AMO 1600



obr. 87 Retranzační část AMO 1600



obr. 88 Magnetické pole retransační části AMO 1600



obr. 89 Překryv magnetického pole a skenované oblasti

10.4 Závěr měření EZS ústředny pro bezpečnostní technologie

Na překryvech měřených oblastí a magnetického pole bylo vidět místa s nejvyšší intenzitou magnetického pole. Největší intenzitu vykazují (dle očekávání) trafo stanice a napájení baterie. Dále byly vidět více zatížená místa (elektrické součástky, cesty...) vykazující vyšší intenzity magnetického pole.

Jestliže by zařízení překračovalo vyšší intenzity magnetického pole než je od něj očekáváno, pomocí těchto překryvů by se snadno podnikly kroky k jeho eliminaci.

11 KALIBRACE SOND ROHDE&SCHWARTZ

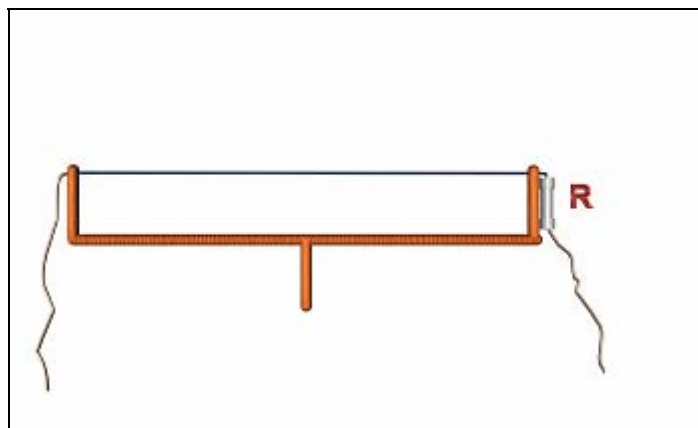
11.1 Úvod

Pro měření elektromagnetického vysokofrekvenčního pole za účelem jeho vizualizace bylo použito pěti sond značky ROHDE & SCHWARZ. U těchto sond nebyly uvedeny pro nás potřebné údaje a to převážně minimální rozlišení sondy. K tomu bylo potřebné vytvořit a oskenovat jednotkový (Diracův) impuls s různými vzdálenostmi od zdroje a při různých frekvencích. Z naměřeného Diracova impulsu bylo zapotřebí vyhodnotit převážně minimální rozlišení sondy. Znalost rozlišení sondy při skenování je velice důležitá pro nastavení minimálního posuvu sondy, což vede ke zkrácení doby skenování. Dále pak nám minimální rozlišení sondy naznačuje minimální vzdálenost dvou zdrojů signálu, které ještě lze z výsledků skenování rozeznat a identifikovat jako dva nezávislé zdroje. V okamžiku, kdy je vzdálenost těchto dvou zdrojů menší než rozlišení sondy, nelze již tyto dva zdroje signálu z výsledků skenování identifikovat. Tyto dva zdroje se po identifikaci jeví jako jeden zdroj signálu. Zesílení jednotlivých sond při různých frekvencích nalezneme na spodní straně horního víčka krabice se sondami.

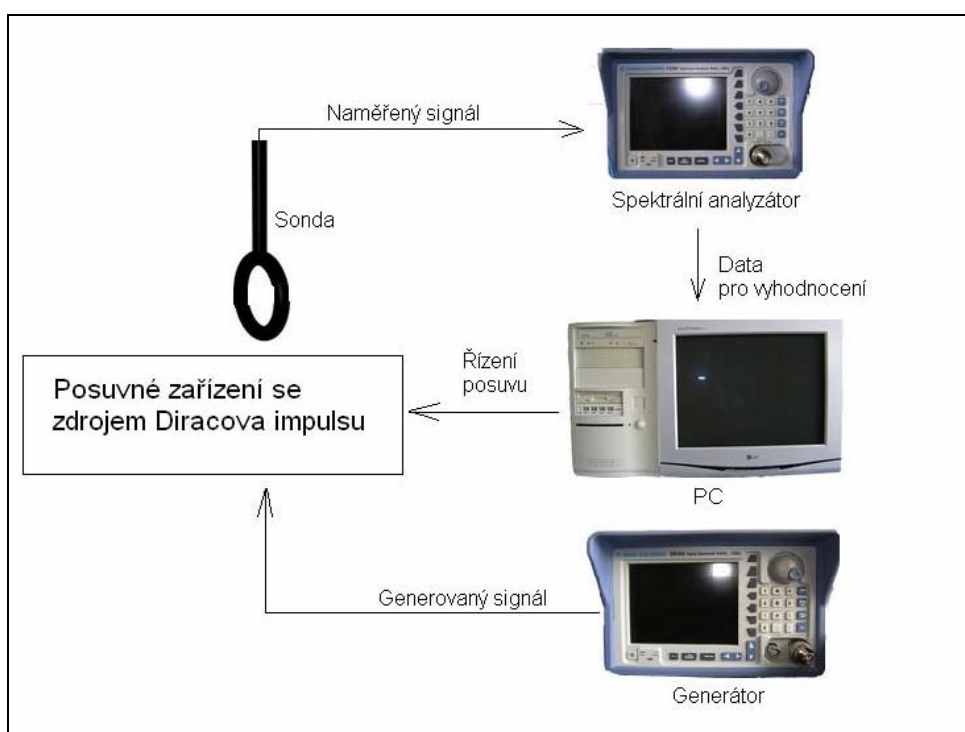
Jako zdroj jednotkového impulsu byl použit tenký drát (o průměru 0,635 mm), který byl napnut na konstrukci ve tvaru Y. konstrukce byla vyrobena ze dřeva, aby neovlivnila měření. (viz obr. 90)

Při skenování elektrické složky signálu (E) byl signál z generátoru přiveden na jeden konec drátu a druhý konec byl ponechán volně. Při skenování magnetické složky signálu byl na jeden konec drátu přiveden signál a druhý konec byl uzemněný přes odpor R 100 Ohm.

Celá aparatura (viz obr. 91) byla složena z generátoru, který generoval potřebný signál, z analogového XY zapisovače (posuvové zařízení), ze spektrálního analyzátoru a z počítače načítajícího data a ovládajícího posuv.



obr. 90 Schéma zdroje Diracova impulsu

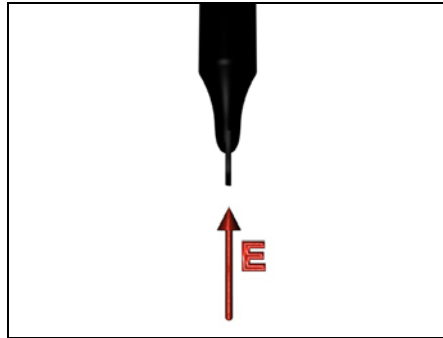


obr. 91 schéma zapojení aparatury pro skenování
jednotkového impulsu

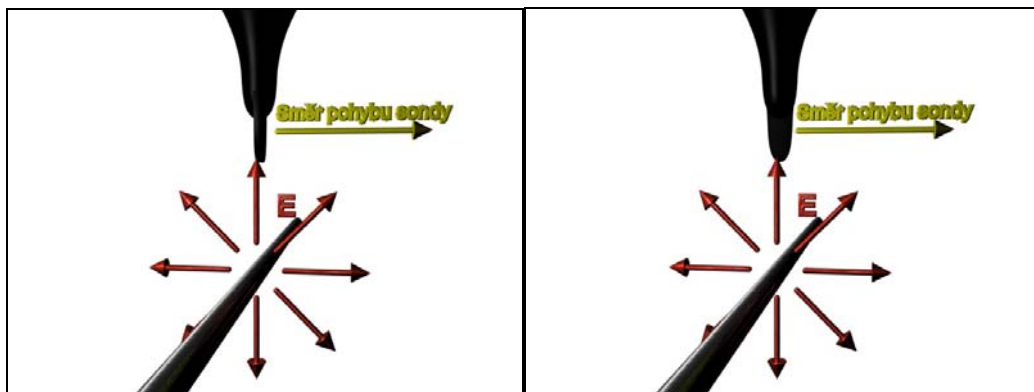
11.2 Sonda RS E 10

Tato sonda je určena k měření intenzity elektrické složky elektromagnetického pole.

Skenování bylo prováděno na čtyřech frekvencích: 30 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz a ve čtyřech vzdálenostech: 0,1 mm, 0,8 mm, 2 mm, 6 mm.

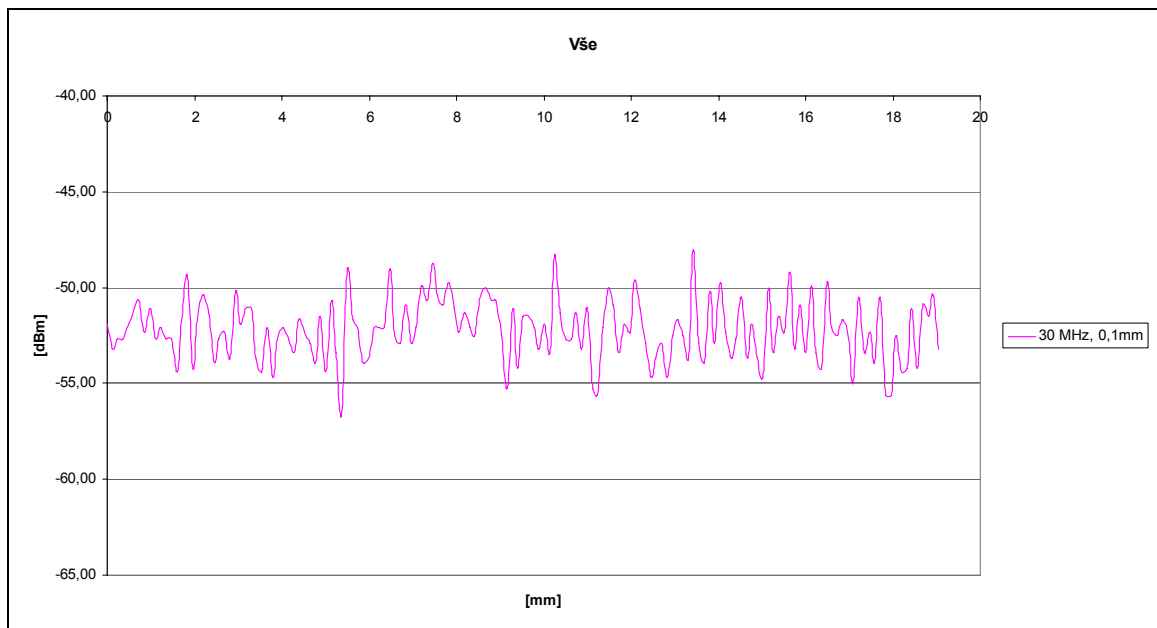


obr. 92 sonda RS E 10

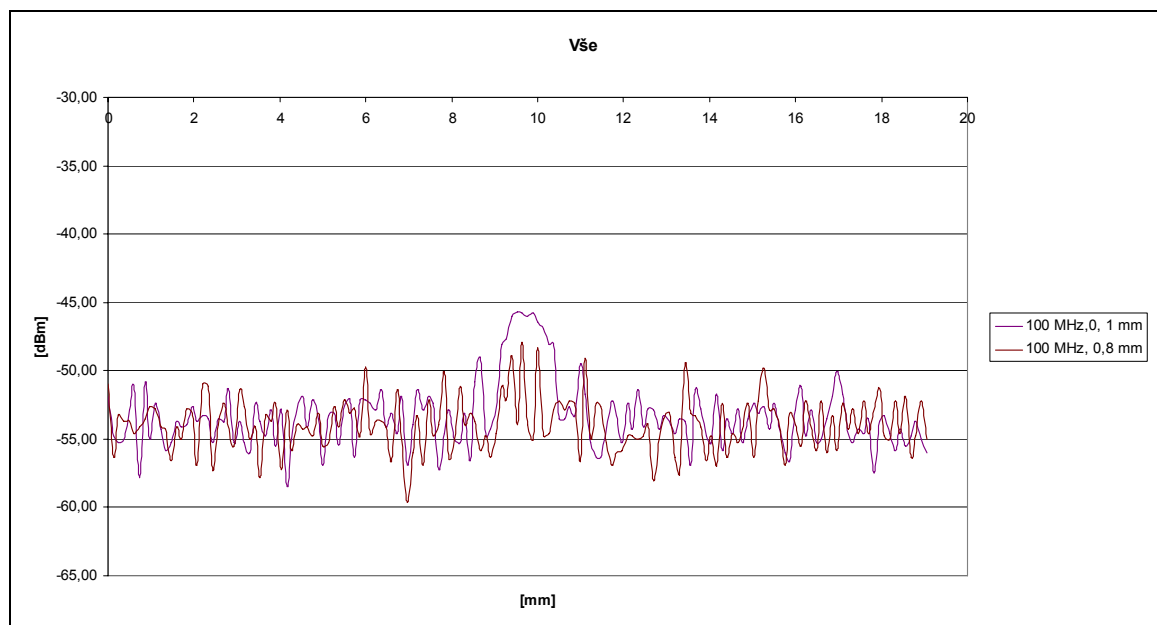


obr. 93 skenování 1 a skenování 2 sondou RS E 10

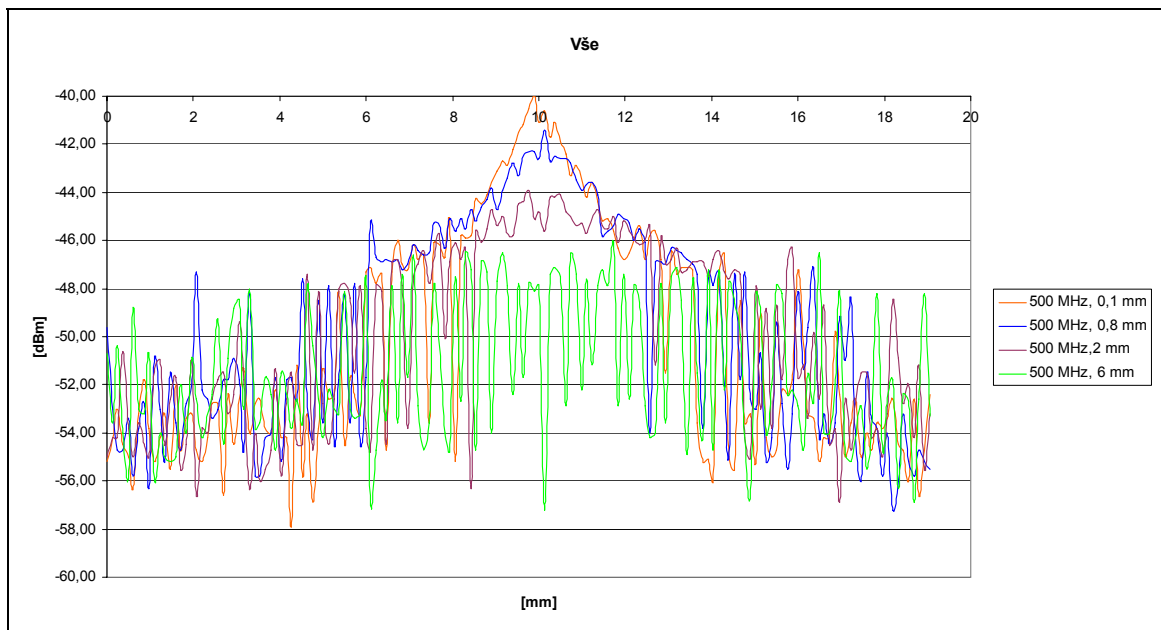
Sonda byla měřena ve dvou polohách a to tak, že při skenování 1 byla ploška sondy rovnoběžná s drátem a ve skenování 2 byla kolmá na drát.



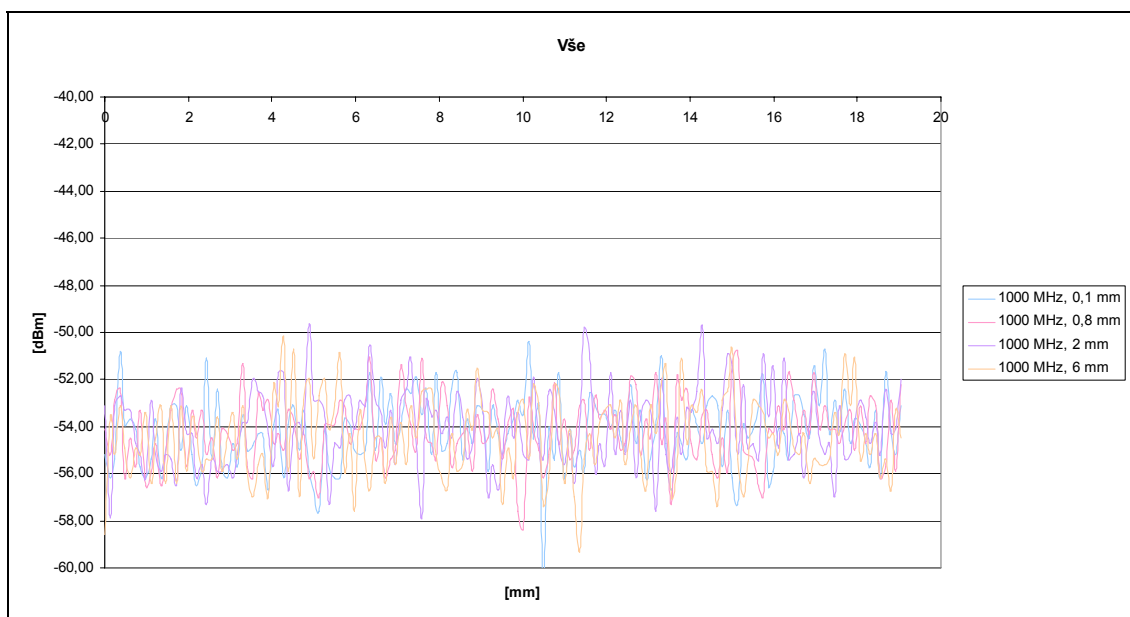
graf č. 2 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 10 na 30 MHz



graf č. 3 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 10 na 100 MHz



graf č. 4 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 10 na 500 MHz



graf č. 5 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 10 na 1000 MHz


Závěr měření sondy RS E 10:

Při skenování 1 (viz obr. 93 vlevo) byly naměřeny grafy graf č. 2 - graf č. 5

Při skenování 2 (viz obr. 93 vpravo) byl naměřen pouze šum. Bylo to způsobeno tím, že při skenování 1 měla sonda rovnoběžnou plochu se zdrojem signálu a tudíž je plocha mezi zdrojem signálu a sondou větší, kdežto při skenování 2 byla plocha sondy kolmá na zdroj signálu a plocha mezi sondou a zdrojem signálu je již tak malá, že intenzita elektrického pole dopadající na tuto plochu je menší nebo se rovná šumu okolí.

Na grafu 1 můžeme vidět, že intenzita elektrického pole na 30 MHz je menší nebo rovna intenzitě okolí. Tudíž z grafu nelze vyčíst rozlišení sondy. Z grafů 2-4 již rozlišení sondy je čitelné. Tato sonda je díky svým velmi malým rozměrům velice málo citlivá.

Výsledky jsou uvedeny v tabulce (viz tabulka 9).

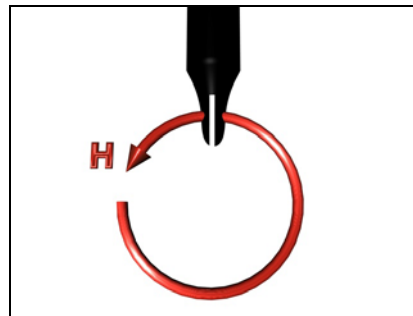
		Frekvence				průměr
		30 [MHz]	100 [MHz]	500 [MHz]	1000 [MHz]	
Vzdálenost od zdroje	0,1 [mm]	-	0,48	0,2	-	0,34
	0,8 [mm]	-	-	0,2	-	0,2
	2 [mm]	-	-	1	-	1
	6 [mm]	-	-	-	-	-

tabulka 9 Tabulka minimálního rozlišení sondy RS E 10 v mm

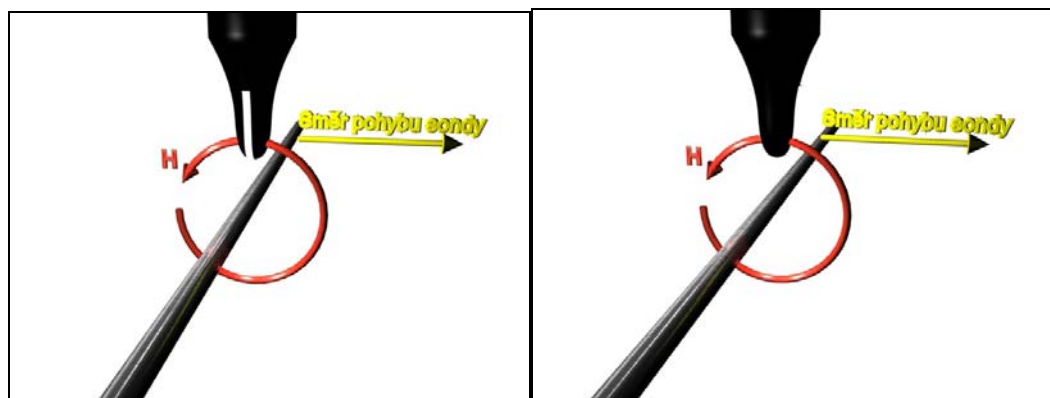
11.3 Sonda RS H 2,5-2

Tato sonda je určena k měření intenzity magnetické složky elektromagnetického pole.

Skenování bylo prováděno na čtyřech frekvencích: 30 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz a ve čtyřech vzdálenostech: 0,1 mm, 0,8 mm, 2 mm, 6 mm.

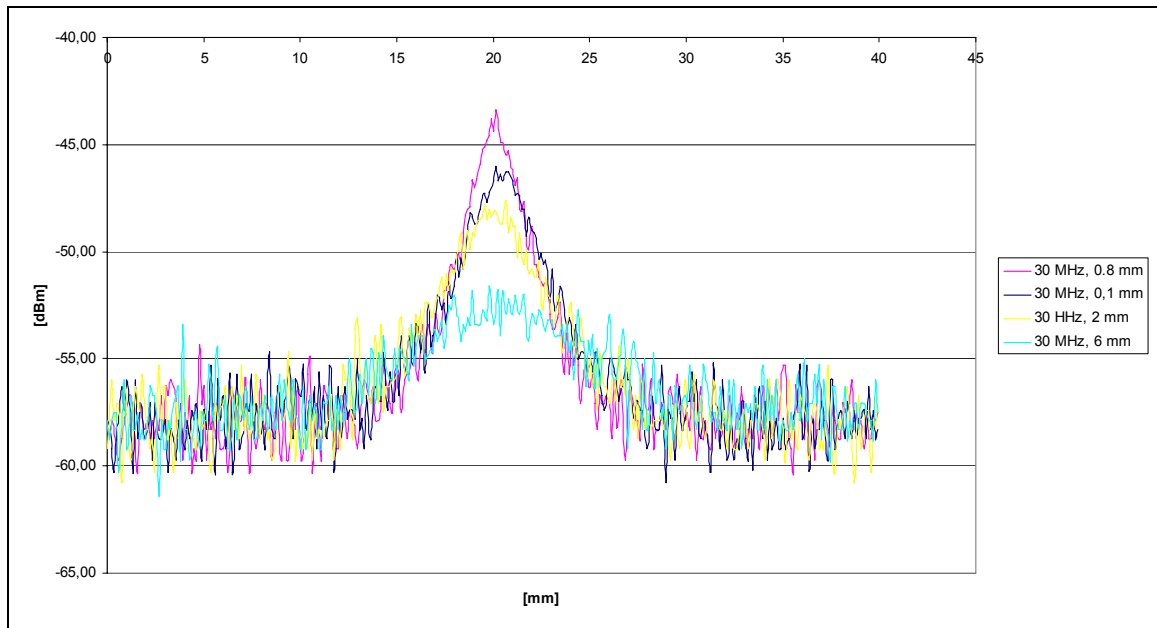


obr. 94 sonda RS H 2,5-2

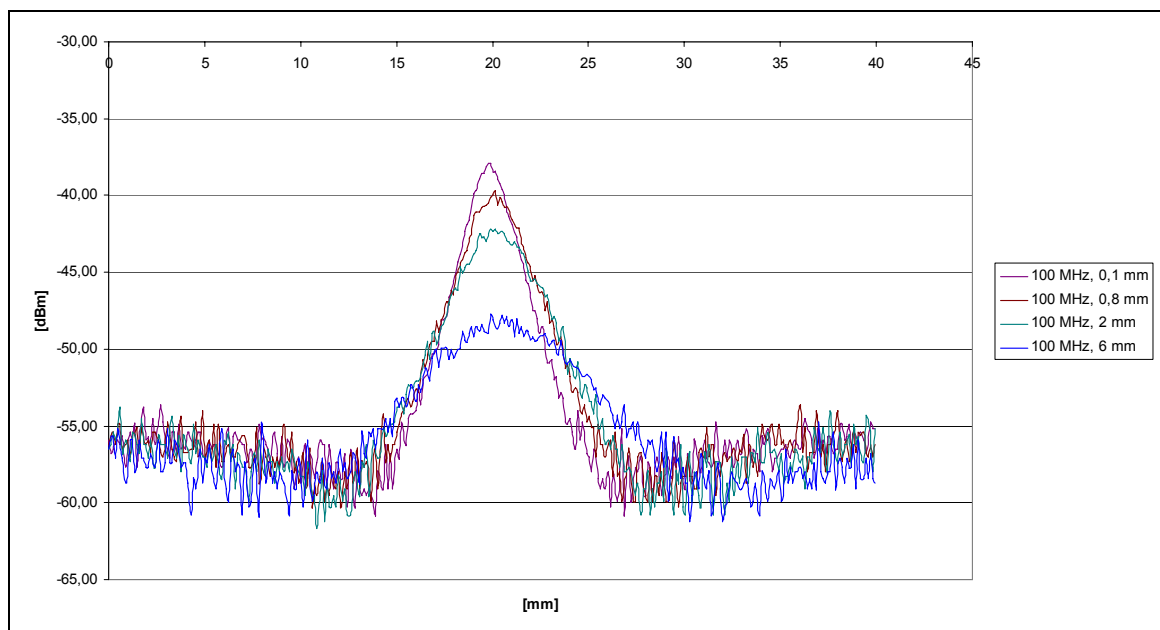


obr. 95 skenování 1 a skenování 2 sondou RS H 2,5-2

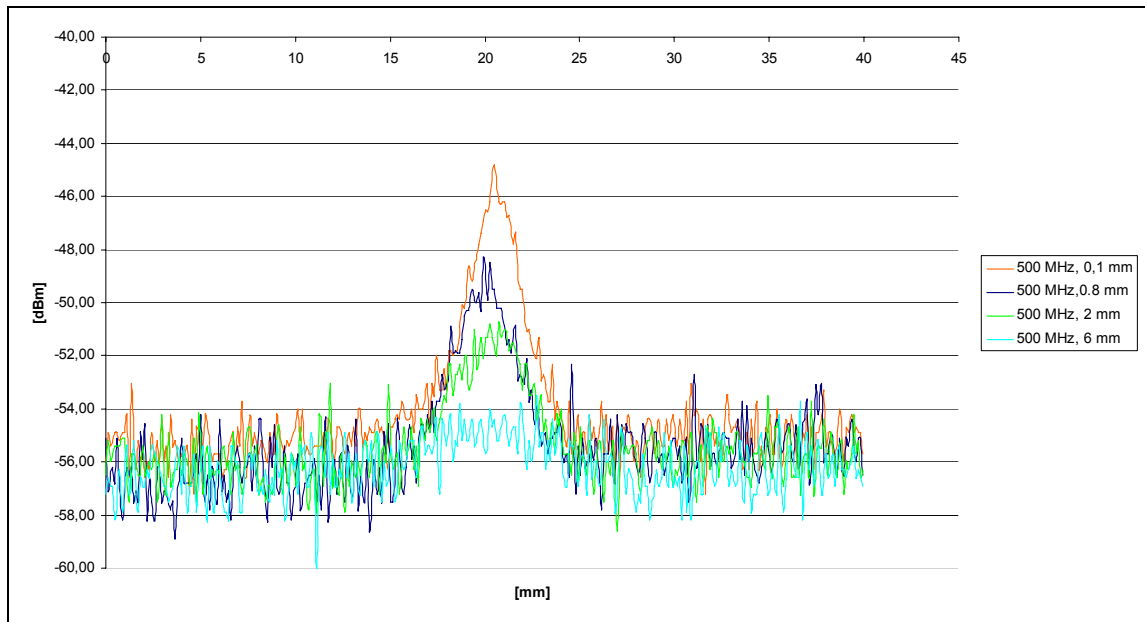
Sonda byla měřena ve dvou polohách a to tak, že při skenování 1 byla ryska sondy rovnoběžná se zdrojem signálu a ve skenování 2 byla kolmá na tento zdroj.



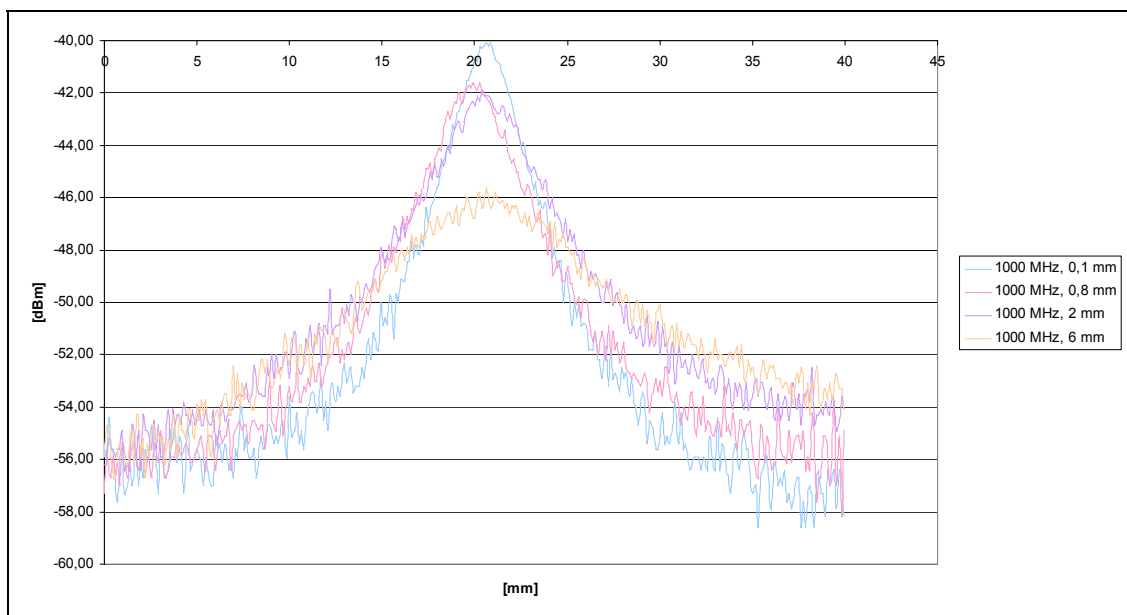
graf č. 6 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS H 2,5-2 na 30 MHz



graf č. 7 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS H 2,5-2 na 100 MHz



graf č. 8 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS H 2,5-2 na 500 MHz

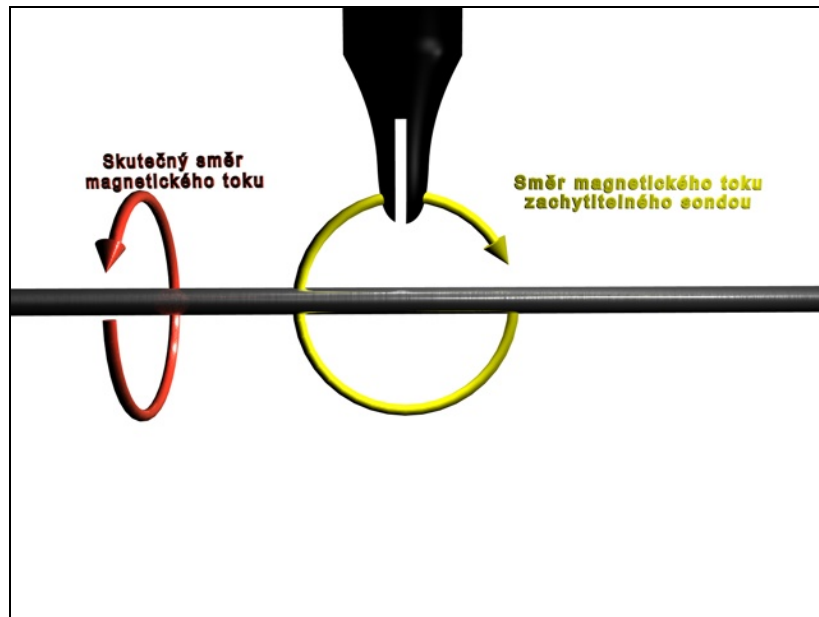


graf č. 9 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS H 2,5-2 na 1000 MHz

Závěr měření sondy RS H 2,5-2:


Při skenování 1 (viz obr. 95 vlevo.) byly naměřeny grafy graf č. 6 - graf č. 9

Při skenování 2 (viz obr. 95 vpravo) byl naměřen pouze šum. Bylo to způsobeno tím, že magnetické pole v okolí vodiče jímž prochází proud má směr kolmý ke směru magnetického pole zachytitelného sondou. (viz obr. 96)



obr. 96 směr magnetického toku

Výsledky minimálního rozlišení jsou uvedeny v tabulce (viz tabulka 10).

		Frekvence				průměr
		30 [MHz]	100 [MHz]	500 [MHz]	1000 [MHz]	
Vzdálenost od zdroje	0,1 [mm]	0,36	0,48	0,48	0,48	0,45
	0,8 [mm]	0,36	0,48	0,48	0,85	0,54
	2 [mm]	1,2	1,22	1,7	1,46	1,40
	6 [mm]	4	2,3	5,6	2	3,48

tabulka 10 Tabulka minimální rozlišení sondy RS H 2,5-2 v mm

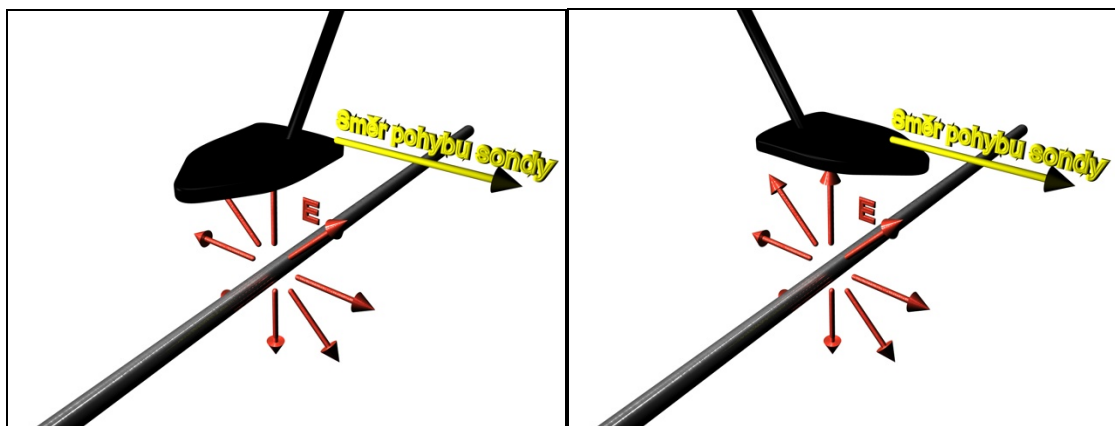
11.4 Sonda RS E 0,2

Tato sonda je určena k měření intenzity elektrické složky elektromagnetického pole.

Skenování bylo prováděno na čtyřech frekvencích: 30 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz a ve čtyřech vzdálenostech: 1 mm, 6 mm, 9 mm, 17 mm.

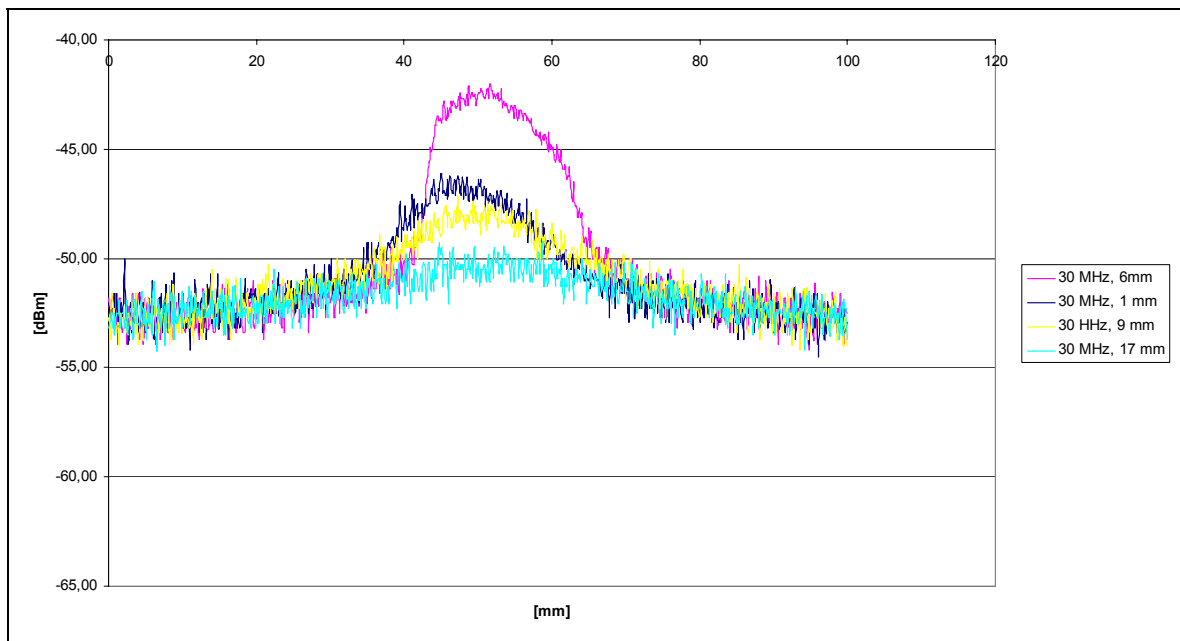


obr. 97 sonda RS E 0,2

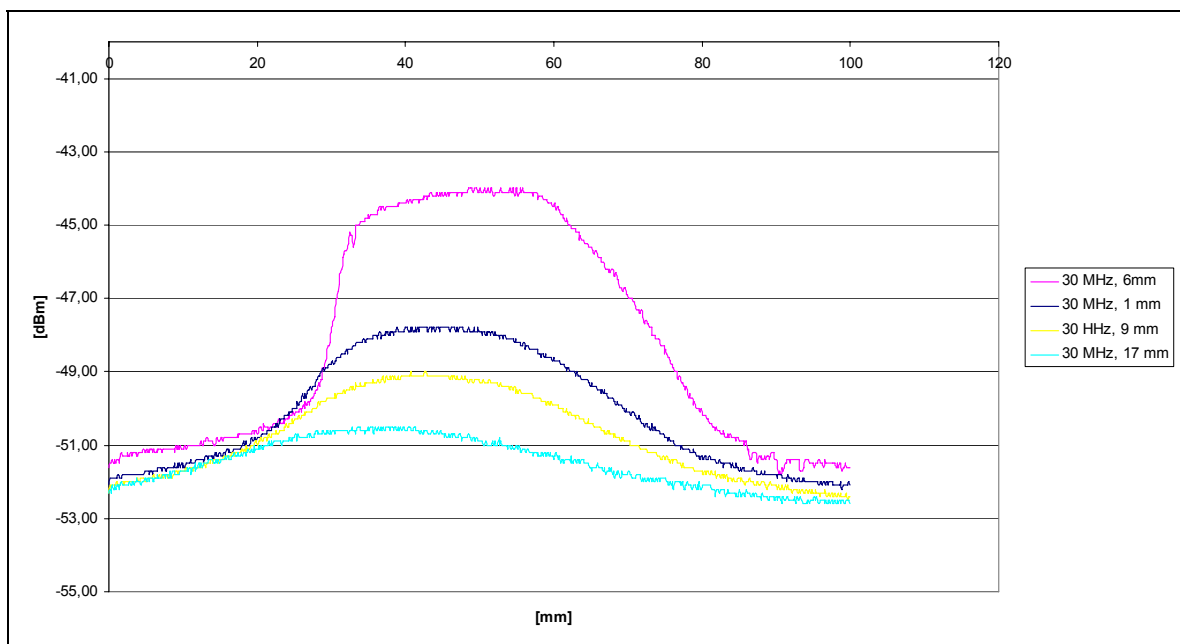


obr. 98 skenování 1 a skenování 2 sondou RS E 0,2

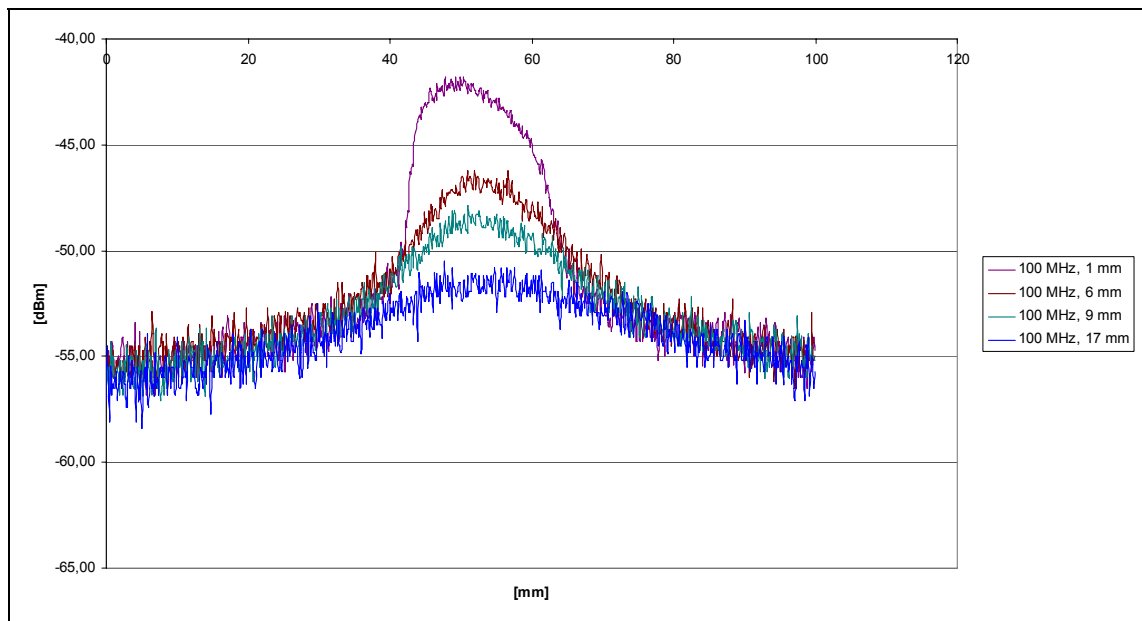
Sonda byla měřena ve dvou polohách a to tak, že při skenování 1 byla sonda rovnoběžná s drátem a ve skenování 2 byla kolmá na drát.



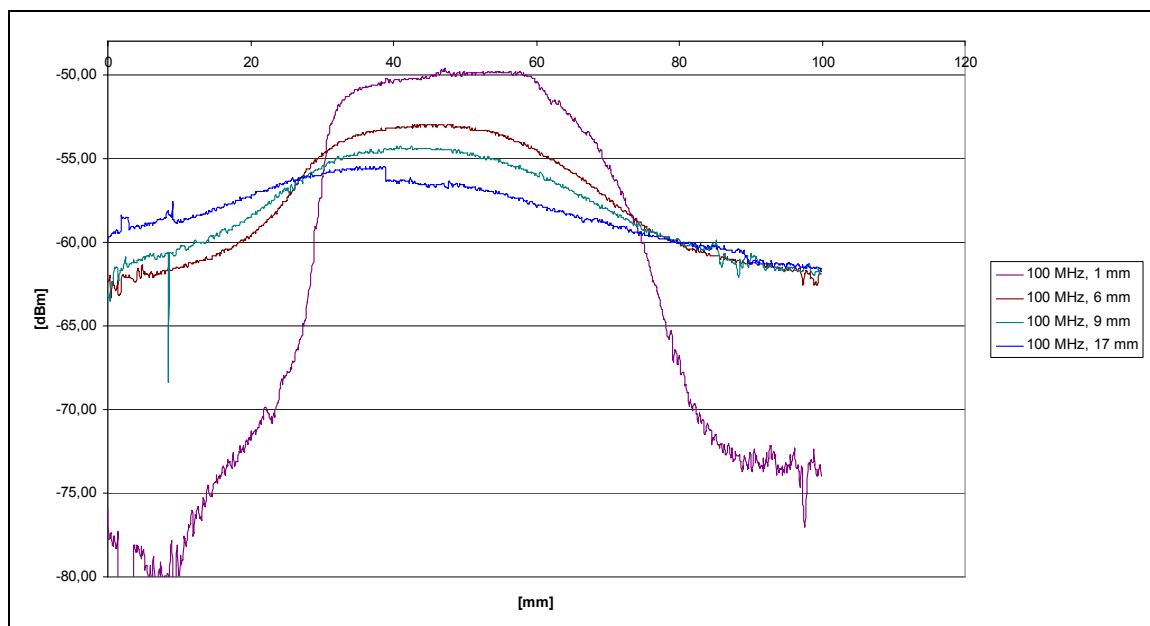
graf č. 10 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 30 MHz



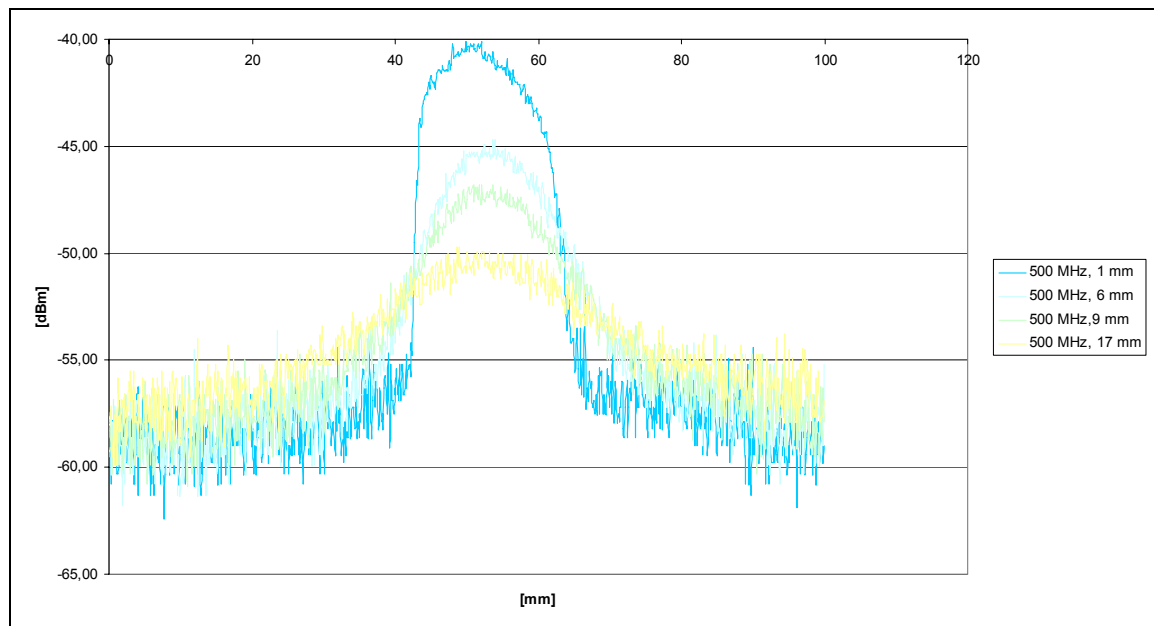
graf č. 11 výsledek skenování 2 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 30 MHz



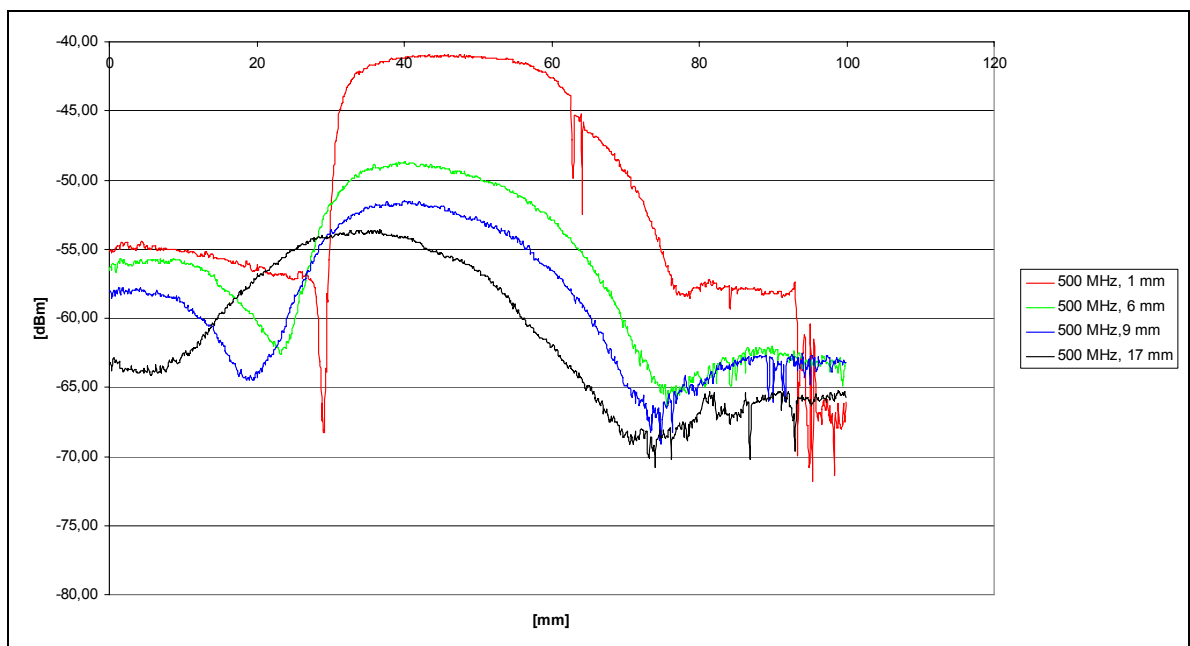
graf č. 12 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 100 MHz



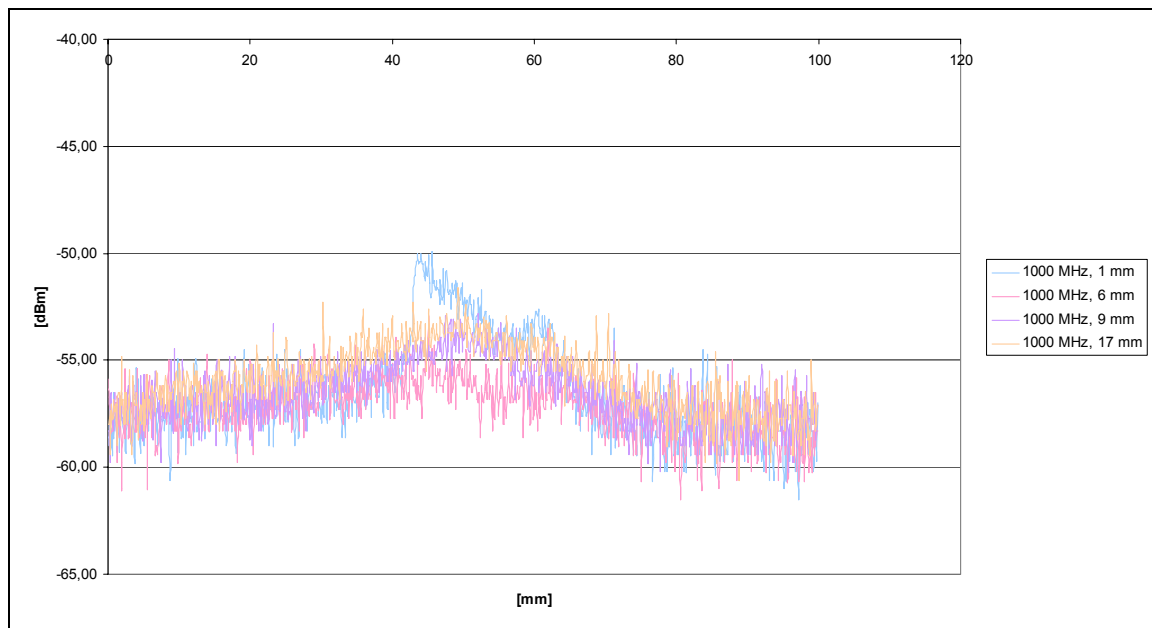
graf č. 13 výsledek skenování 2 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 100 MHz



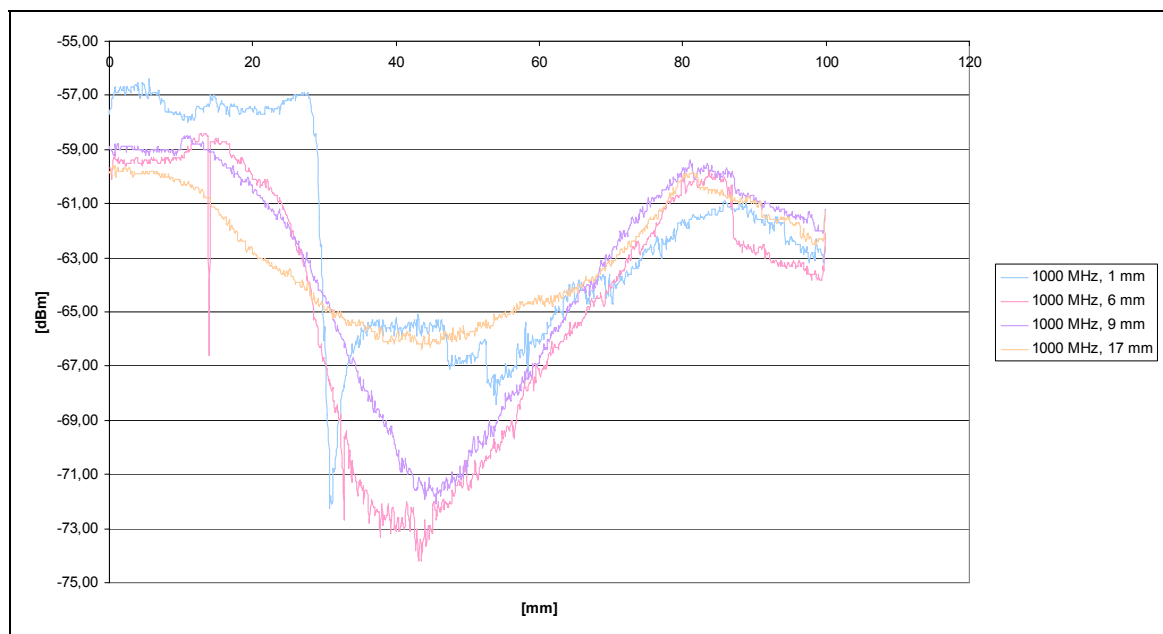
graf č. 14 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 500 MHz



graf č. 15 výsledek skenování 2 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 500 MHz



graf č. 16 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 1000 MHz



graf č. 17 výsledek skenování 2 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 1000 MHz

Závěr měření sondy RS E 0,2:

Při skenování 1 (viz obr. 98 vlevo) byly naměřeny grafy: graf č. 10, graf č. 12, graf č. 14 a graf č. 16,

Při skenování 2 (viz obr. 98 vpravo) byly naměřeny grafy: graf č. 11, graf č. 13, graf č. 15 a graf č. 17

Při měření 1000 MHz viz graf došlo ke zkreslení, který způsobily pravděpodobně kapacitní jevy. Sonda a drát vytvořili mezi sebou kapacitní napětí, čímž došlo ke skreslení výsledků.

Výsledky minimálního rozlišení jsou uvedeny v tabulkách (viz tabulka 11 a tabulka 12):

		Frekvence				průměr
		30 [MHz]	100 [MHz]	500 [MHz]	1000 [MHz]	
Vzdálenost od zdroje	1 [mm]	3,4	3,4	3,5	-	3,43
	6 [mm]	5,7	7,12	5,7	-	6,17
	9 [mm]	8,4	8,7	8,6	-	8,57
	17 [mm]	18,2	22	12,9	-	17,70

tabulka 11 Tabulka minimální rozlišení sondy RS E 0,2 v mm při skenování 1

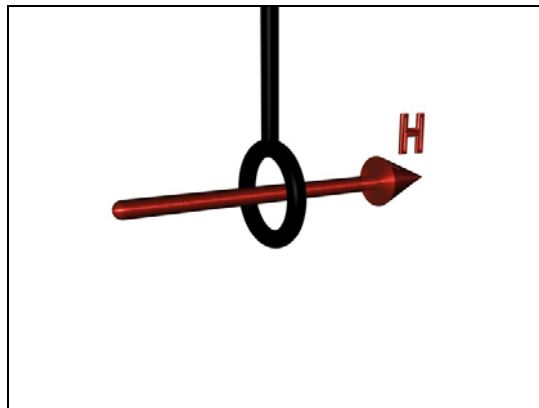
		Frekvence				průměr
		30 [MHz]	100 [MHz]	500 [MHz]	1000 [MHz]	
Vzdálenost od zdroje	1 [mm]	12,7	12,9	13,7	-	13,10
	6 [mm]	14,7	13,59	12,21	-	13,50
	9 [mm]	15,2	16,4	13,2	-	14,93
	17 [mm]	19,3	22,7	15,2	-	19,07

tabulka 12 Tabulka minimální rozlišení sondy RS E 0,2 v mm při skenování 2

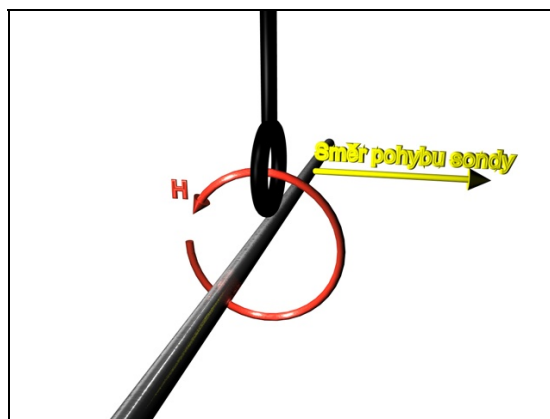
11.5 Sonda RS H 50-1

Tato sonda je určena k měření intenzity magnetické složky elektromagnetického pole.

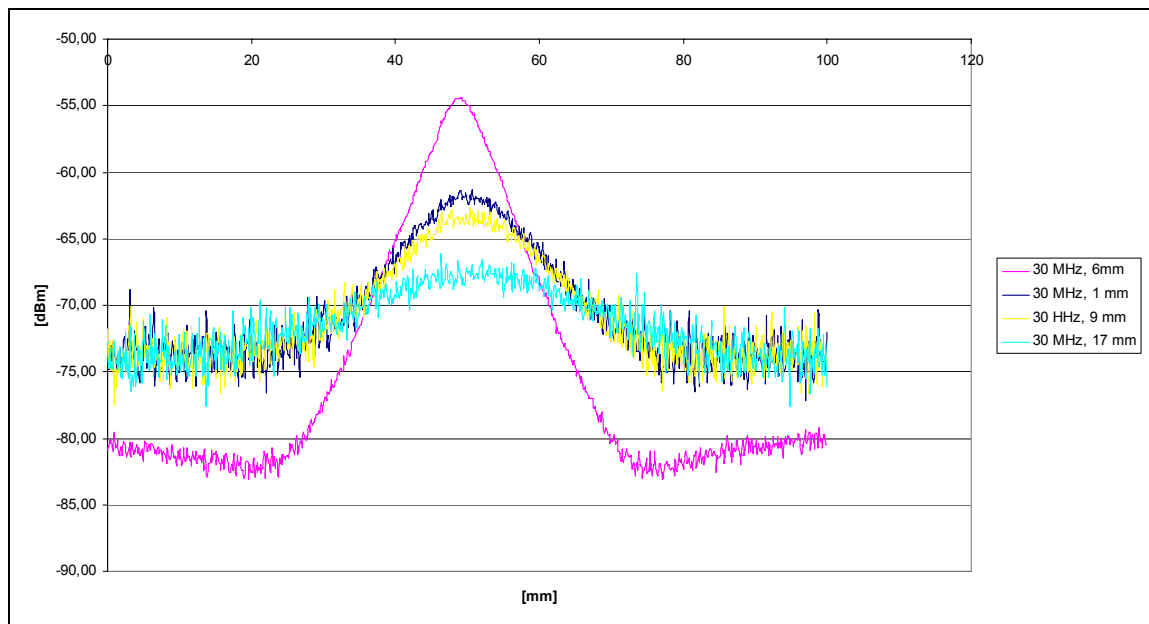
Skenování bylo prováděno na čtyřech frekvencích: 30 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz a ve čtyřech vzdálenostech: 1 mm, 6 mm, 9 mm, 17 mm.



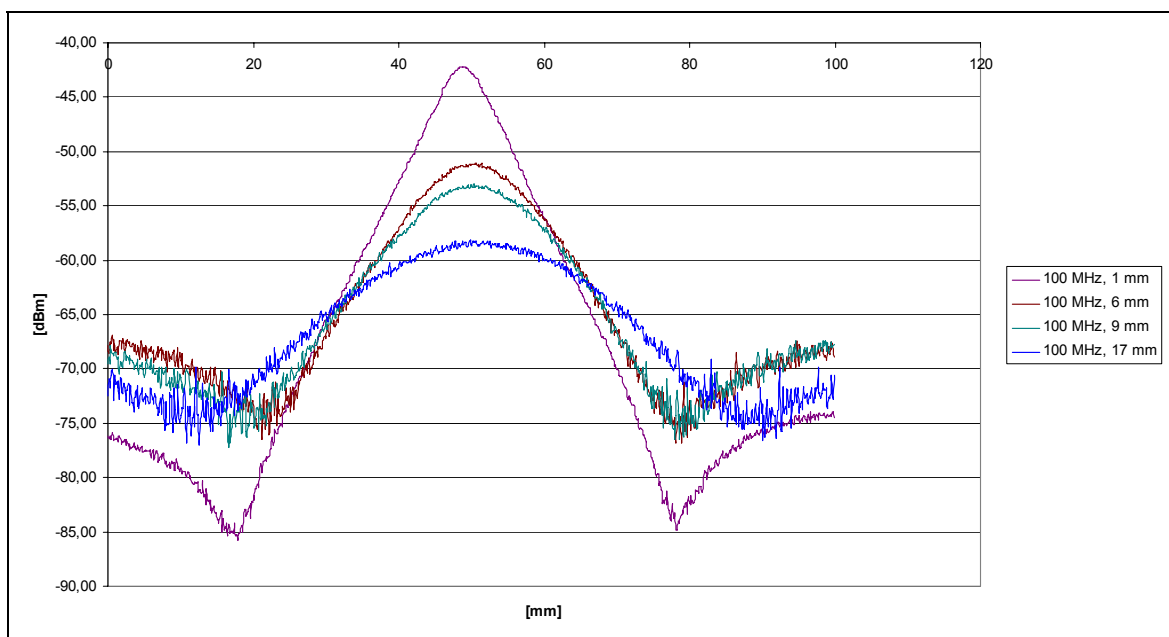
obr. 99 sonda RS H50-1



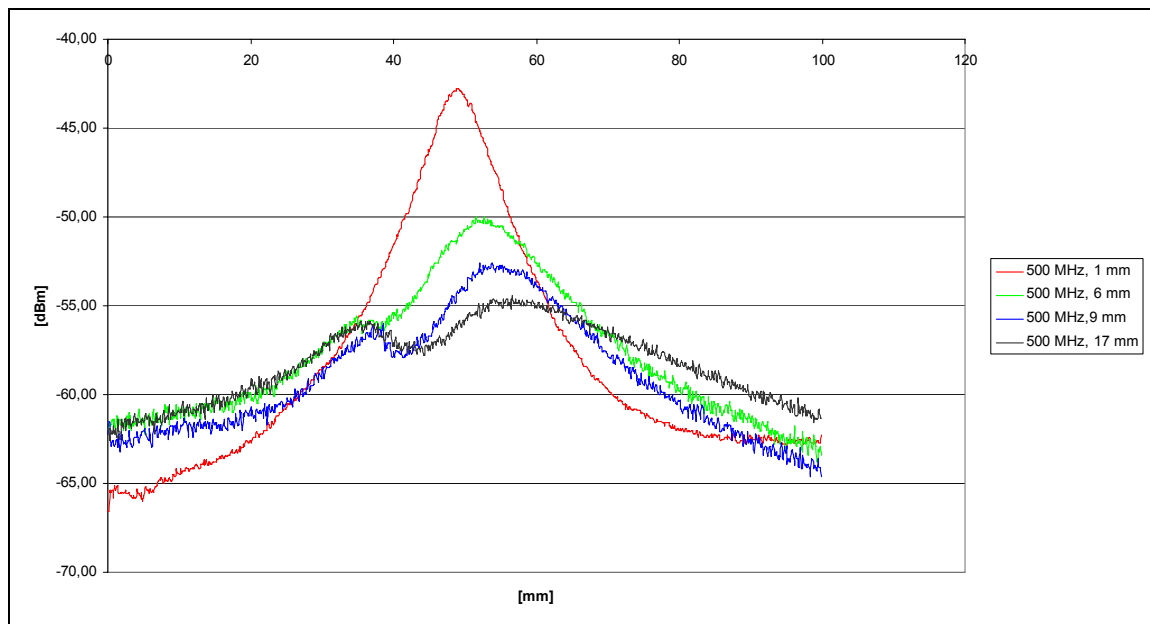
obr. 100 skenování 1 sondou RS H 50-1



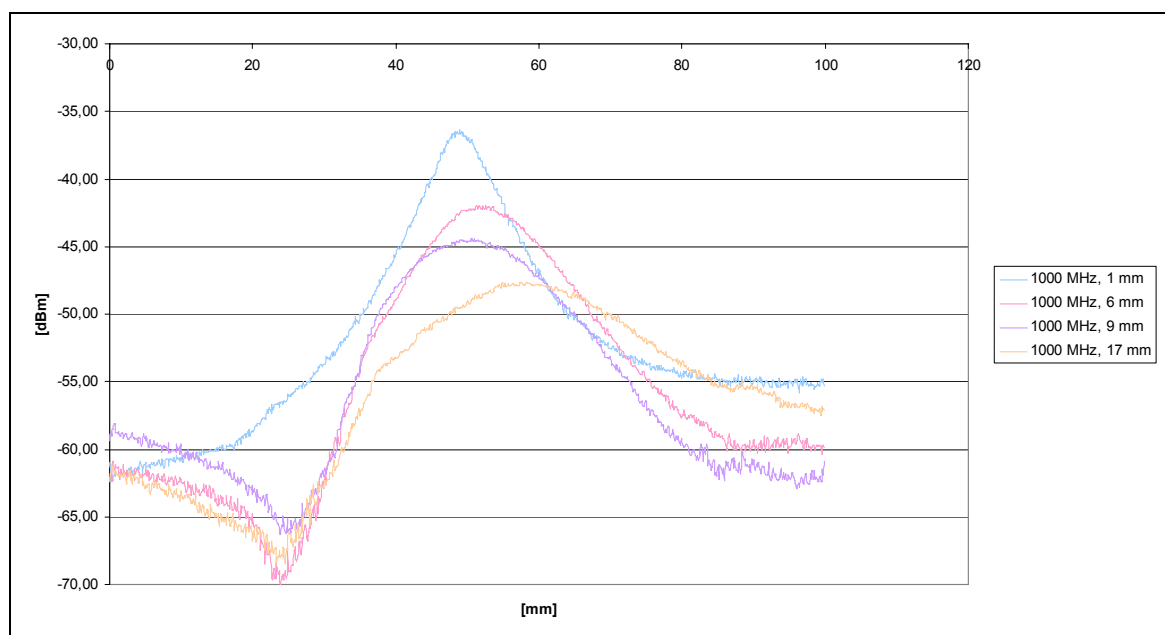
graf č. 18 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 50-1 na 30 MHz



graf č. 19 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 50-1 na 100 MHz



graf č. 20 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 50-1 na 500 MHz




graf č. 21 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 50-1 na 1000 MHz

Závěr měření sondy RS H 50-1:

Při skenování 1 (viz obr. 100) byly naměřeny grafy

Výsledky minimálního rozlišení jsou uvedeny v tabulce (viz tabulka 13):

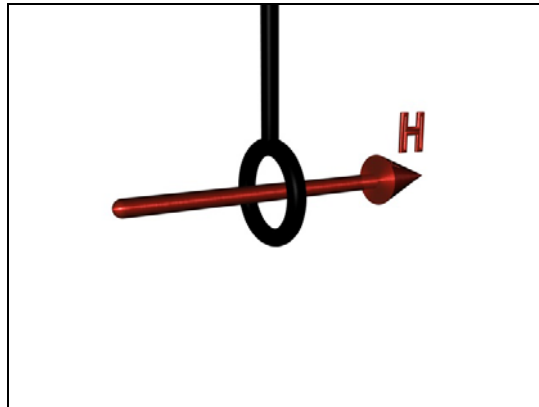
		Frekvence				průměr
		30 [MHz]	100 [MHz]	500 [MHz]	1000 [MHz]	
Vzdálenost od zdroje	1 [mm]	0,7	1	0,24	1,2	0,785
	6 [mm]	3,1	4,4	2,8	4,6	3,725
	9 [mm]	5,6	5,29	5,9	6,2	5,7475
	17 [mm]	12,9	10,7	9,9	9,6	10,775

tabulka 13 Minimální rozlišení sondy RS H 50-1 v mm

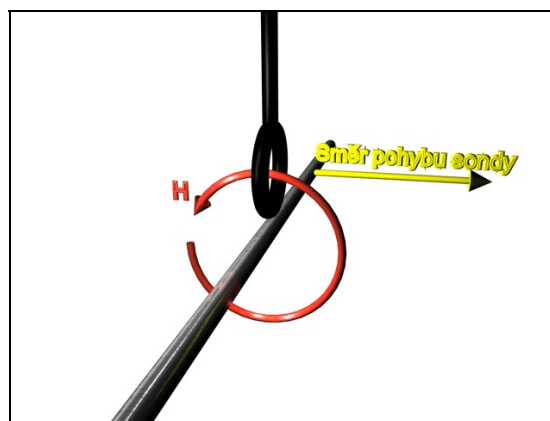
11.6 Sonda RS H 400-1

Tato sonda je určena k měření intenzity magnetické složky elektromagnetického pole.

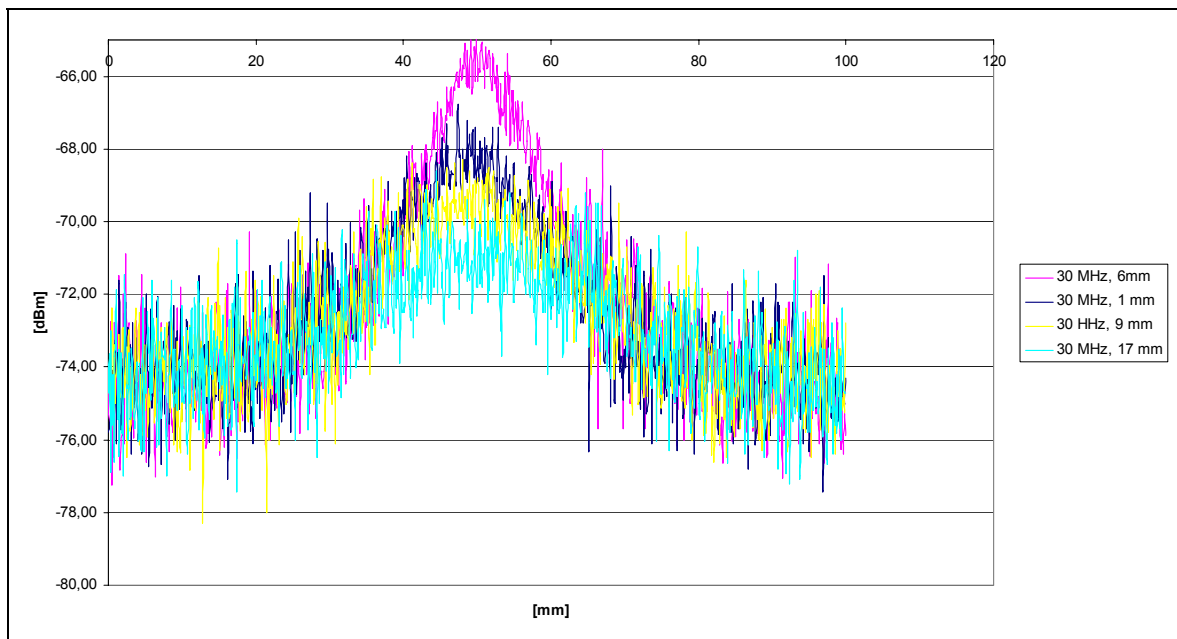
Skenování bylo prováděno na čtyřech frekvencích: 30 MHz, 100 MHz, 500 MHz, 1 GHz a ve čtyřech vzdálenostech: 1 mm, 6 mm, 9 mm, 17 mm.



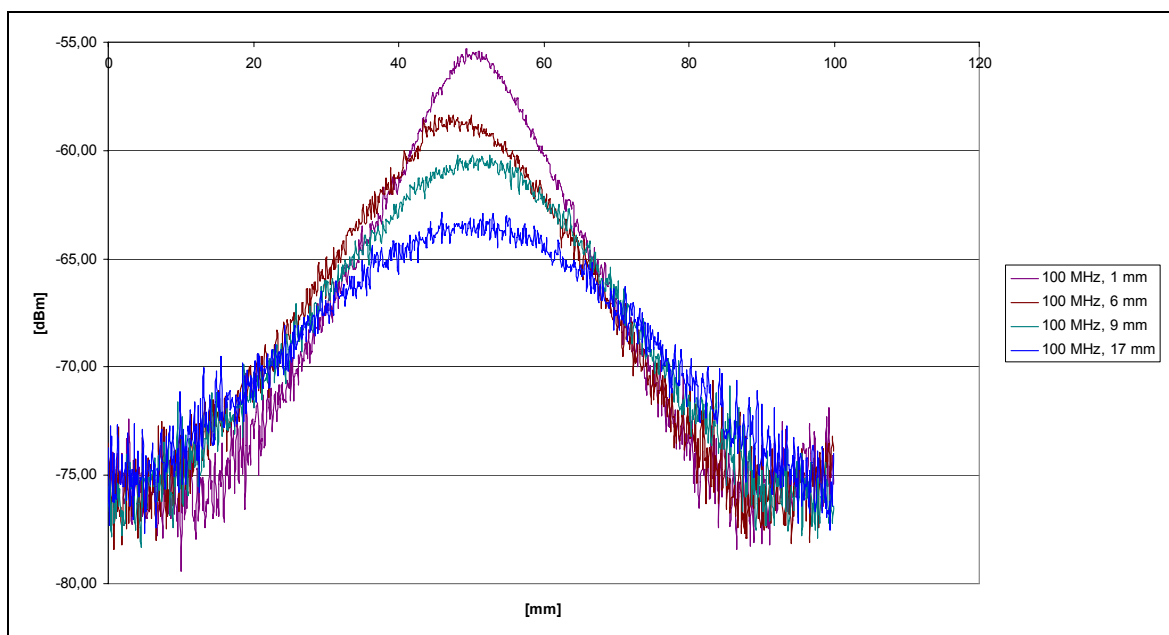
obr. 101 sonda RS H400-1



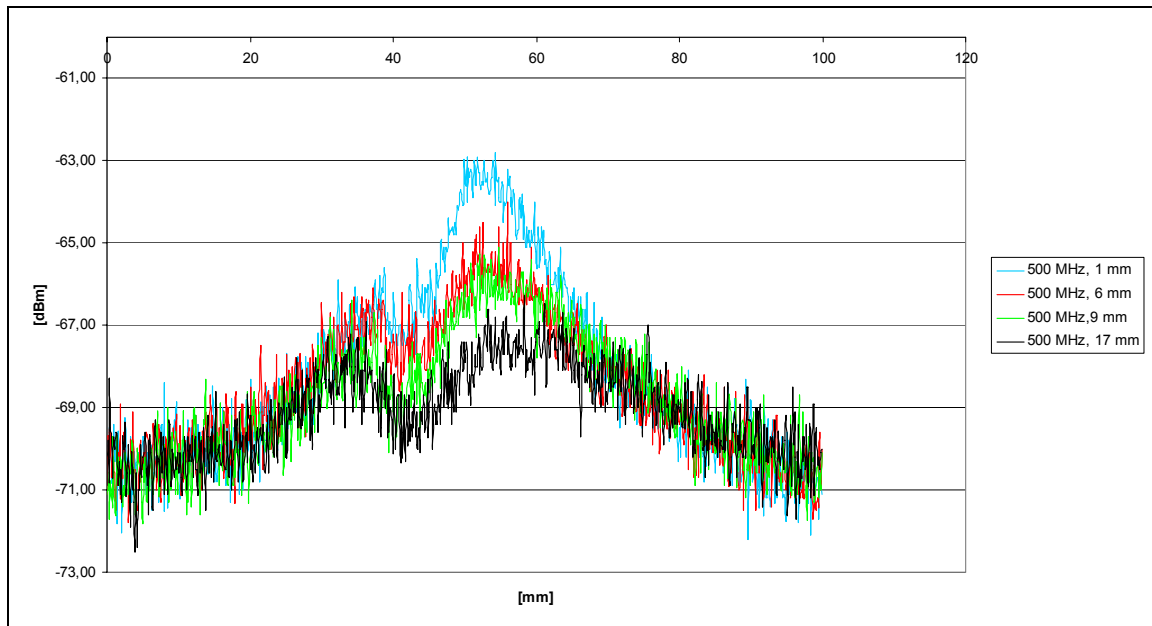
obr. 102 skenování 1 sondou RS H 400-1



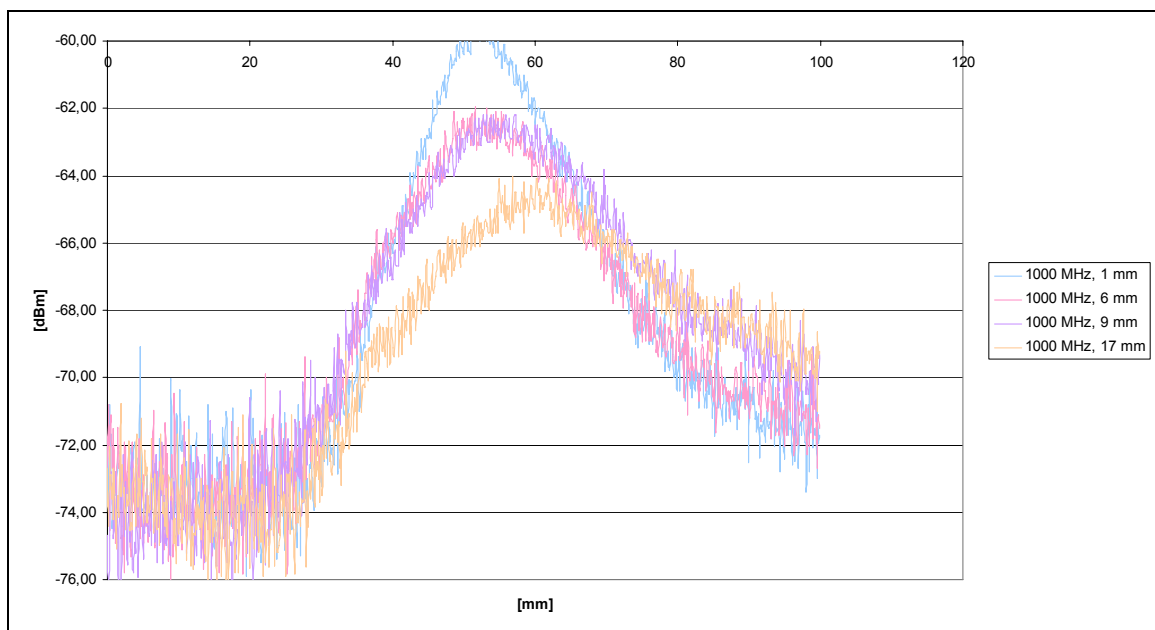
graf č. 22 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 400-1 na 30 MHz



graf č. 23 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 400-1 na 100 MHz



graf č. 24 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 400-1 na 500 MHz




graf č. 25 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 400-1 na 1000 MHz

Závěr měření sondy RS H 400-1:

Při skenování 1 (viz obr. 102) byly naměřeny grafy graf č. 22 - graf č. 25

Výsledky minimálního rozlišení jsou uvedeny v tabulce (viz tabulka 14):

		Frekvence				průměr
		30 [MHz]	100 [MHz]	500 [MHz]	1000 [MHz]	
Vzdálenost od zdroje	1 [mm]	4,2	3,35	4,6	3,5	3,9125
	6 [mm]	6,29	6,73	5,53	5,3	5,9625
	9 [mm]	8,8	8,63	8,31	7,4	8,285
	17 [mm]	22,8	11,6	13,3	11	14,675

tabulka 14 minimální rozlišení sondy RS H 400-1 v mm

11.7 Přejchodové charakteristiky sond

Jako příklad vytvoření přechodové charakteristiky sond byla použita impulsová charakteristika ze sondy RS E 02 ze skenáže č.1.

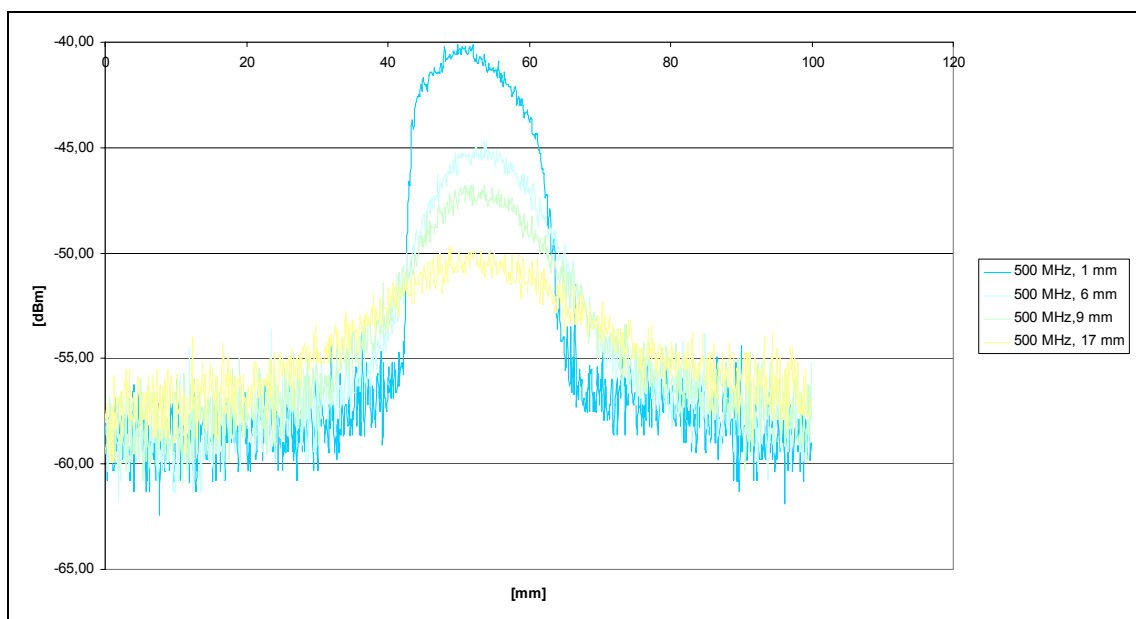
Jestliže známe průběh impulsové charakteristiky, můžeme numericky odvodit přechodovou charakteristiku dle vzorce:

$$y(t) = \sum_{i=1}^t g(i) \quad (20)$$

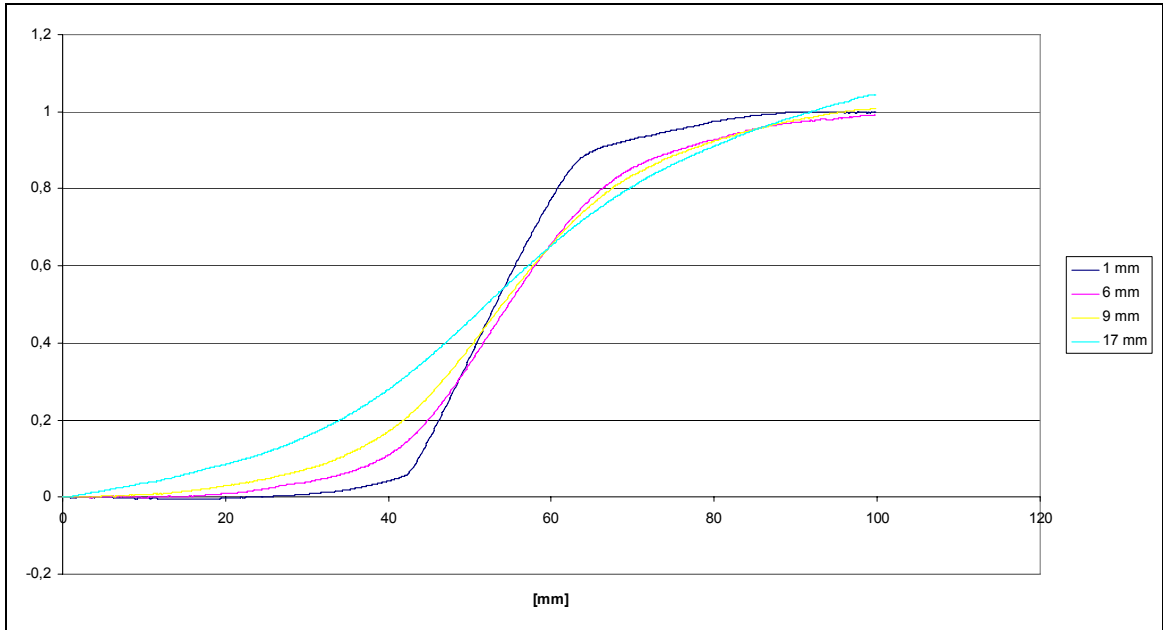
kde

t..... je unistnění bodu v mm

g(i).. Hodnota bodu v místě i

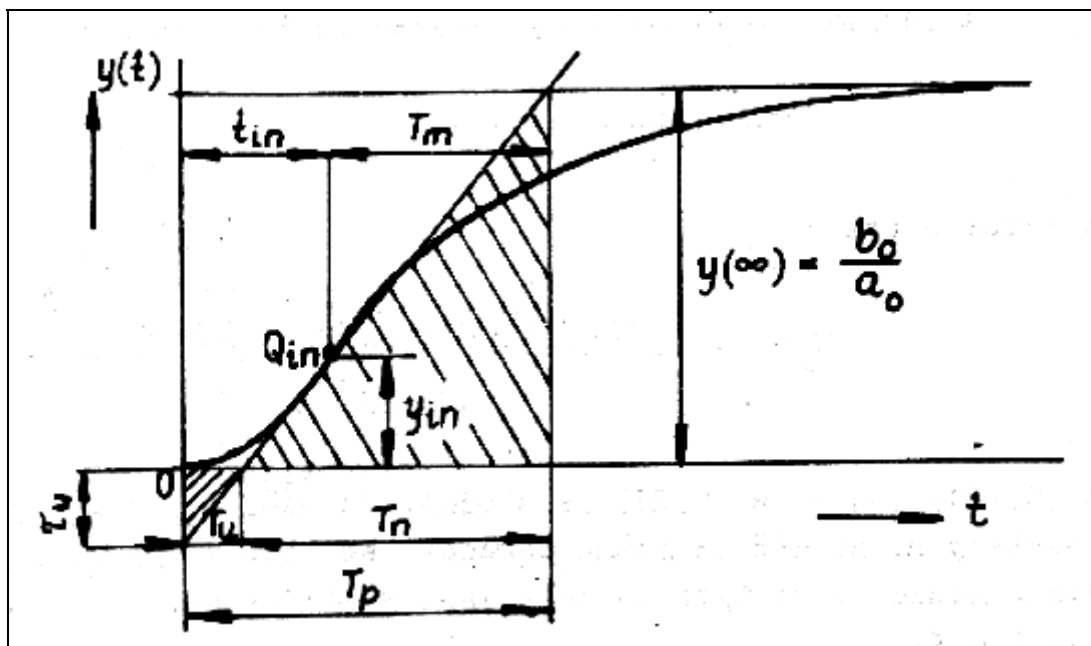


graf č. 26 impulsové charakteristiky sondy RS E 02 při 500 MHz



graf č. 27 Přejchodové charakteristiky sondy RS E 02 při 500 MHz

Příklad výpočtu přechodové funkce:



obr. 103 Přejchodová charakteristika statické soustavy vyšších řádů [14]

n	$\frac{T_u}{T_n}$	$\frac{y_{1n}}{y_{\infty}}$	$\frac{T_M}{T_n}$	$\frac{T_n}{T}$	$\frac{T_n}{T}$	$\frac{t_{1n}}{T}$	$\frac{T_n}{T}$
1	0	0	1	1	0	0	1
2	0,104	0,264	0,736	2,718	0,282	1	2,000
3	0,218	0,323	0,677	3,695	0,805	2	2,500
4	0,319	0,353	0,647	4,463	1,425	3	2,888
5	0,410	0,371	0,629	5,119	2,100	4	3,219
6	0,493	0,384	0,616	5,699	2,811	5	3,510
7	0,570	0,394	0,606	6,226	3,549	6	3,775
8	0,642	0,401	0,599	6,711	4,307	7	4,018
9	0,709	0,407	0,593	7,164	5,081	8	4,245
10	0,773	0,413	0,587	7,590	5,869	9	4,458

tabulka 15 tabulka pro vyhodnocování statických soustav n-tého řádu [14]

se stejnými časovými konstantami

Pro experimentální výpočet přechodové funkce byla použita přechodová charakteristika sondy RS E 02 při 500 MHz ve vzdálenosti 17 mm.

$$T_u = 23[\text{mm}]$$

$$T_n = 58[\text{mm}]$$

$$\frac{T_u}{T_n} = 0,396 \Rightarrow 5.\text{řád}$$

Z tabulky:

$$\frac{T_n}{T} = 5,12$$

$$\frac{T_u}{T} = 2,0$$

$$T = 11,5$$

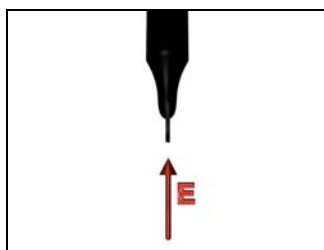
$$G(s) = \frac{K}{(11,5s + 1)^5} \quad (21)$$

Tímto způsobem lze identifikovat všechny přenosové funkce.

11.8 Chyby vzniklé při měření sondami a závěr jejich měření:

Z měření sond vyplívá, že jestliže potřebujeme přesně změřit intenzitu elektromagnetického pole nějakého zařízení, potřebujeme znát minimálně jeho přibližnou orientaci.

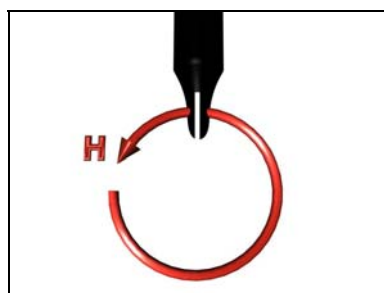
Sonda RS E 10



obr. 104 sonda RS E 10

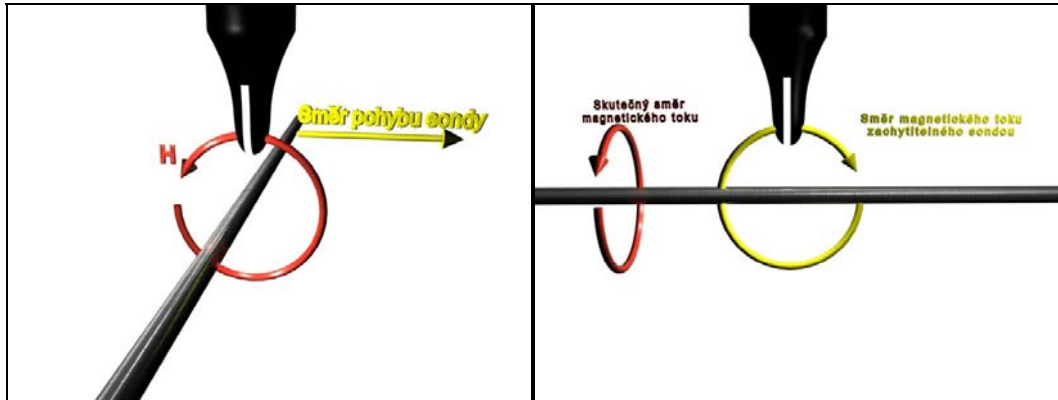
- Je velice málo citlivá.
- Slouží pouze pro měření vysokých intenzit elektrické složky elektromagnetického pole.
- Vykazuje velké rozdíly při změně velikosti společné plochy sondy a měřeného objektu.

Sonda RS H 2,5-2



obr. 105 sonda RS H 2,5-2

Je dostatečně citlivá, avšak potřebujeme znát orientaci magnetické složky elektromagnetického pole.



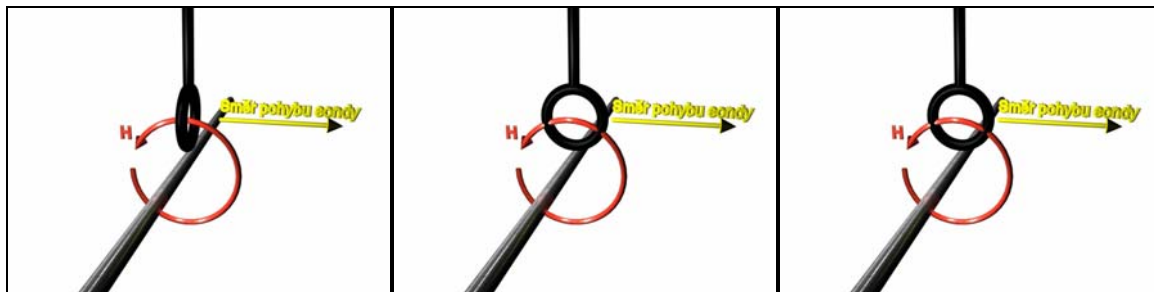
obr. 106 orientace sondy

Na obr. 106 vlevo lze vidět, že orientace skutečného magnetického pole je stejná jako orientace magnetického pole zachytitelného sondou. V tomto případě naměříme skutečnou hodnotu intenzity magnetického pole. Avšak v případě na obrázku vpravo vidíme, že orientace skutečného magnetického pole je kolmá na orientaci magnetického pole zachytitelného sondou. Naměříme tudíž nulovou intenzitu magnetického pole, i když může být tato intenzita dosti vysoká.

Z měření vyplývá, že jestliže bychom chtěli měřit například vyzařování magnetické složky elektromagnetického pole nad elektronickým zařízením, museli bychom při skenování orientovat sondu kolmo ke skenované cestě. To znamená, že při skenování desky s plošným spojem a součástkami by jsme museli v každém bodě měření změnit orientaci sondy. Softwarově by to bylo značně složité a ručně dosti zdlouhavé. Jestliže provádíme toto měření bez uvedené „přeorientace“ v každém bodě, může být toto měření značně nepřesné, nebo se může stát, že některé kritické hodnoty intenzity nejsou zaznamenány.

Sondy RS H 50-1 a RS H 400-1

Jsou dosti citlivé a mají optimální velikost minimálního rozlišení. Avšak vykazují podobné chyby jako sonda RS H 2,5-2.



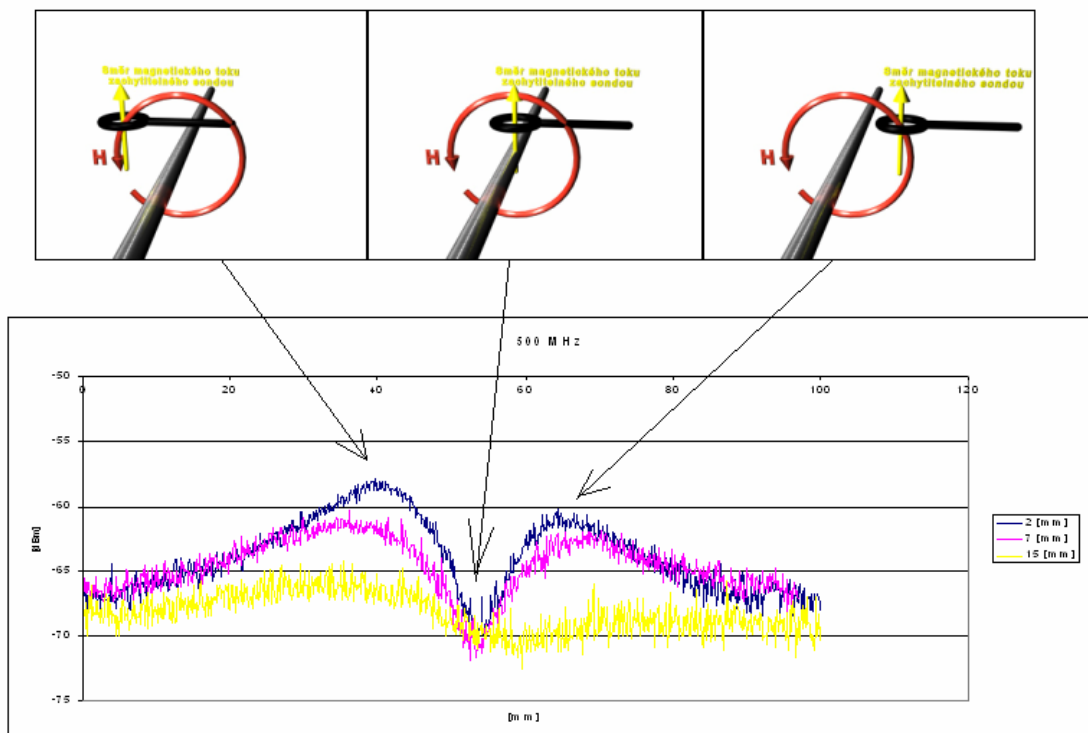
obr. 107 orientace sond RS H 50-1 a RS H 400-1

Na obrázku (obr. 107) lze vidět jednotlivé orientace sondy vůči toku magnetického pole.

V prvním případě (obrázek vlevo) je orientace toku magnetického pole stejná jako orientace měřitelného magnetického toku. V tomto případě naměříme přesnou intenzitu magnetického pole.

Ve druhém případě (obrázek uprostřed) je orientace toku magnetického pole kolmá na orientaci měřitelného magnetického toku. V tomto případě naměříme nulovou intenzitu magnetického pole i v případě, že vodič vykazuje vysokou intenzitu magnetického pole.

Ve třetím případě (obrázek vpravo) při skenování se směr intenzity magnetického pole mění. Na obrázku vidíme, že směr intenzity přechází z orientace rovnoběžné na orientaci kolmou a zpět na rovnoběžnou. Z grafu na obr. 108 je jasně vidět, že následná identifikace je značně skreslená, dokonce se jeví jako dva zdroje signálu vedle sebe místo jednoho.



obr. 108 změna směru magnetického toku vůči sondě při skenování

Sonda RS E 02



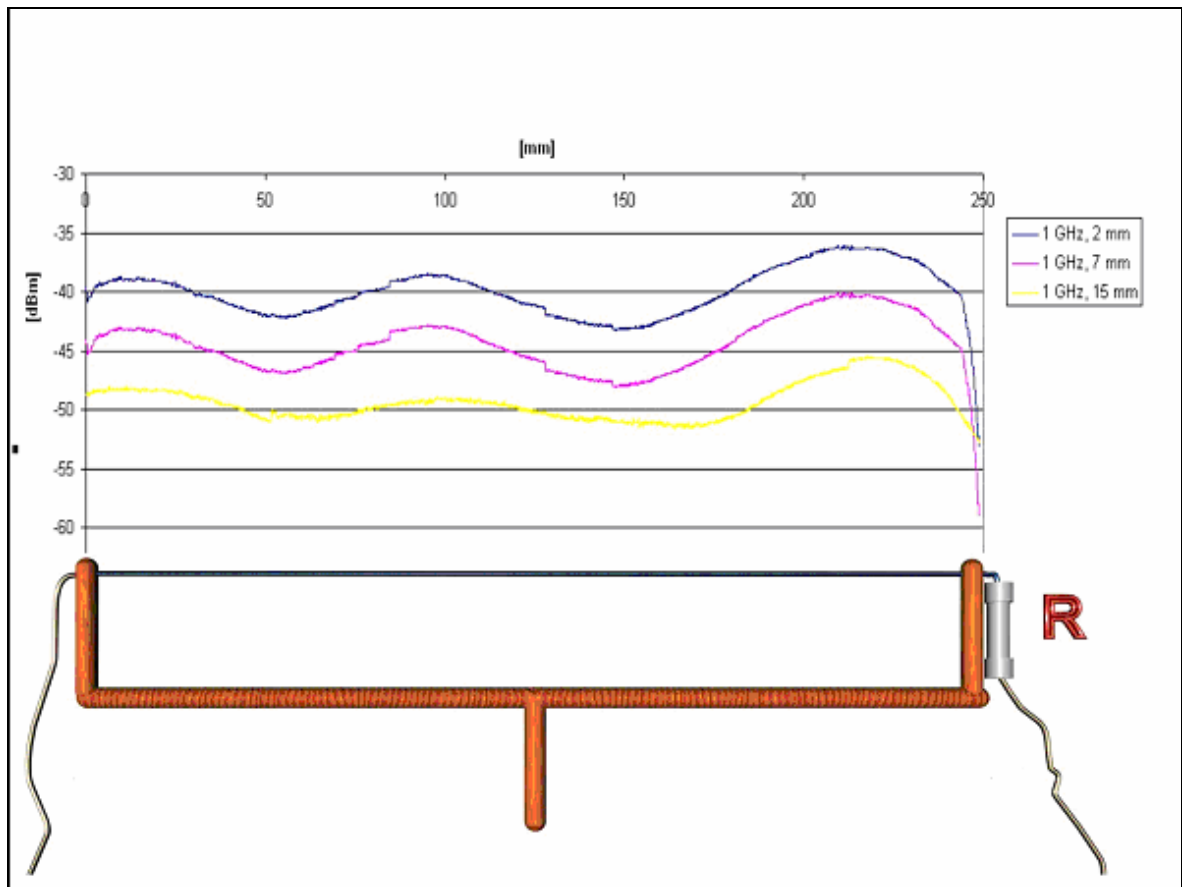
obr. 109 Sonda RS E 02

Tato sonda je dostatečně citlivá avšak naměřená intenzita závisí na velikosti plochy, na kterou dopadá záření.

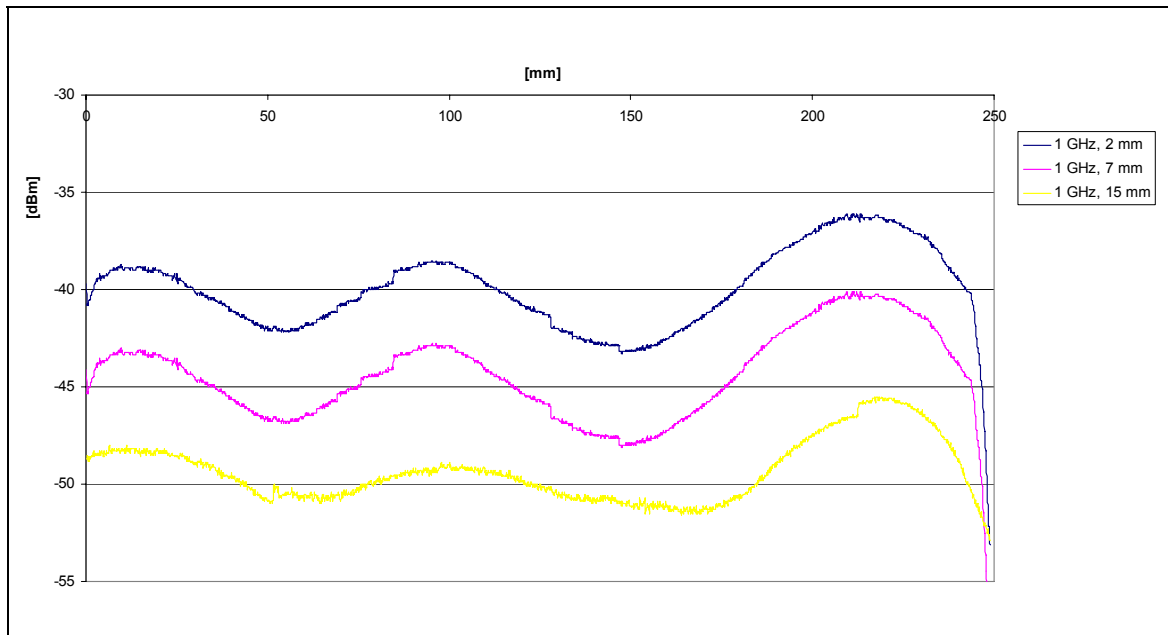
12 STOJATÉ VLNĚNÍ

12.1 Měření stojatého vlnění

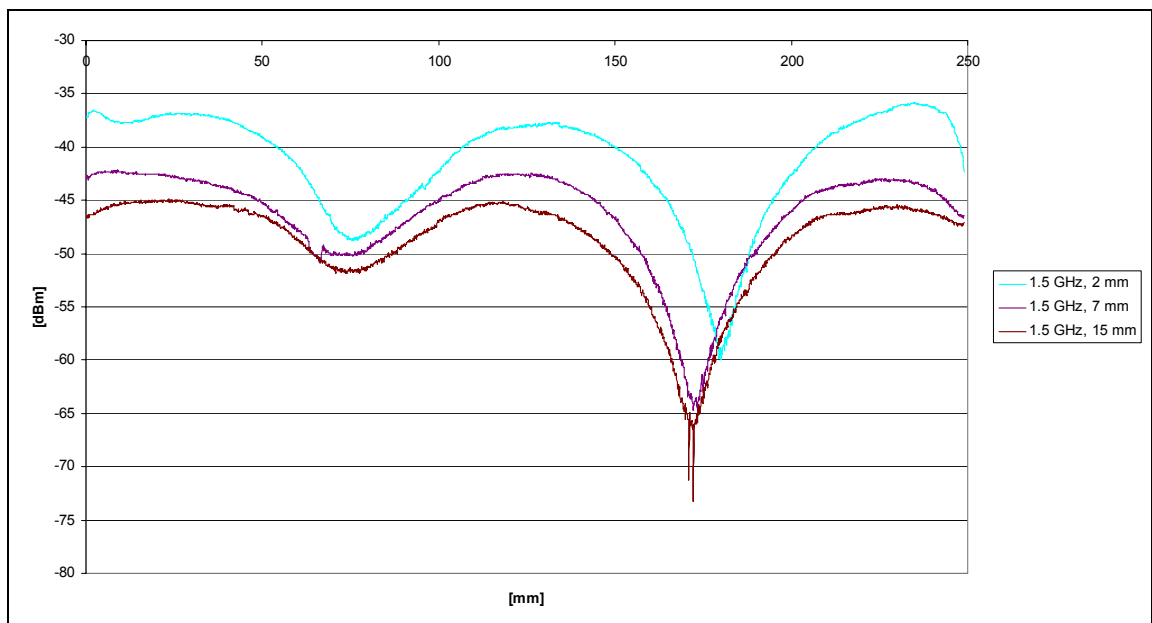
Teorie stojatého vlnění viz. Stojaté vlnění str. 49



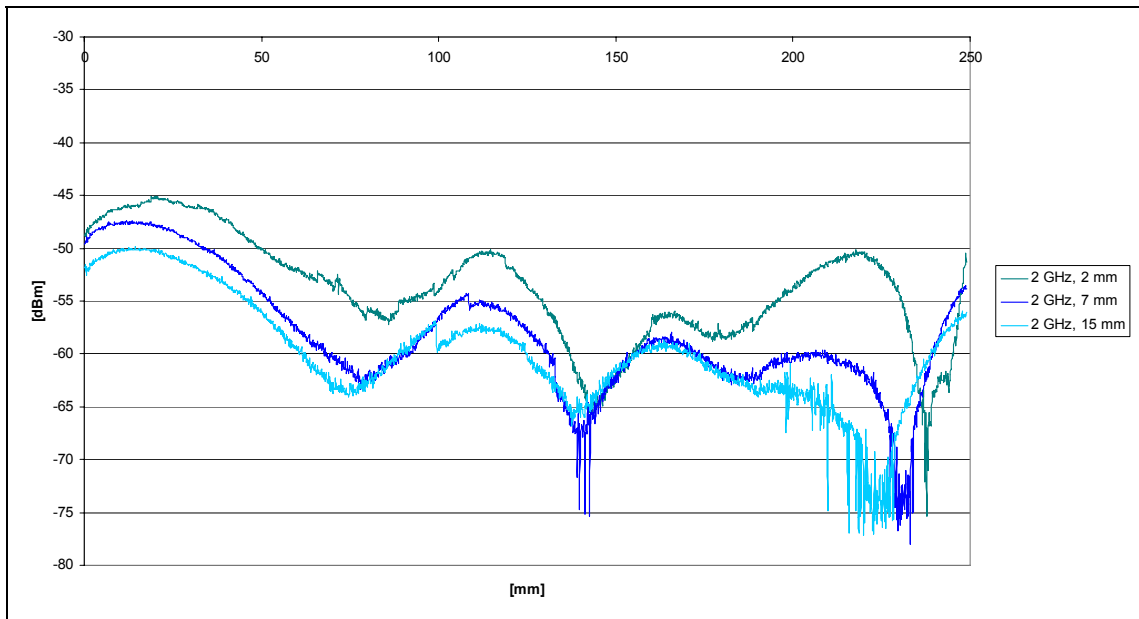
obr. 110 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 1 GHz



graf č. 28 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 1 GHz

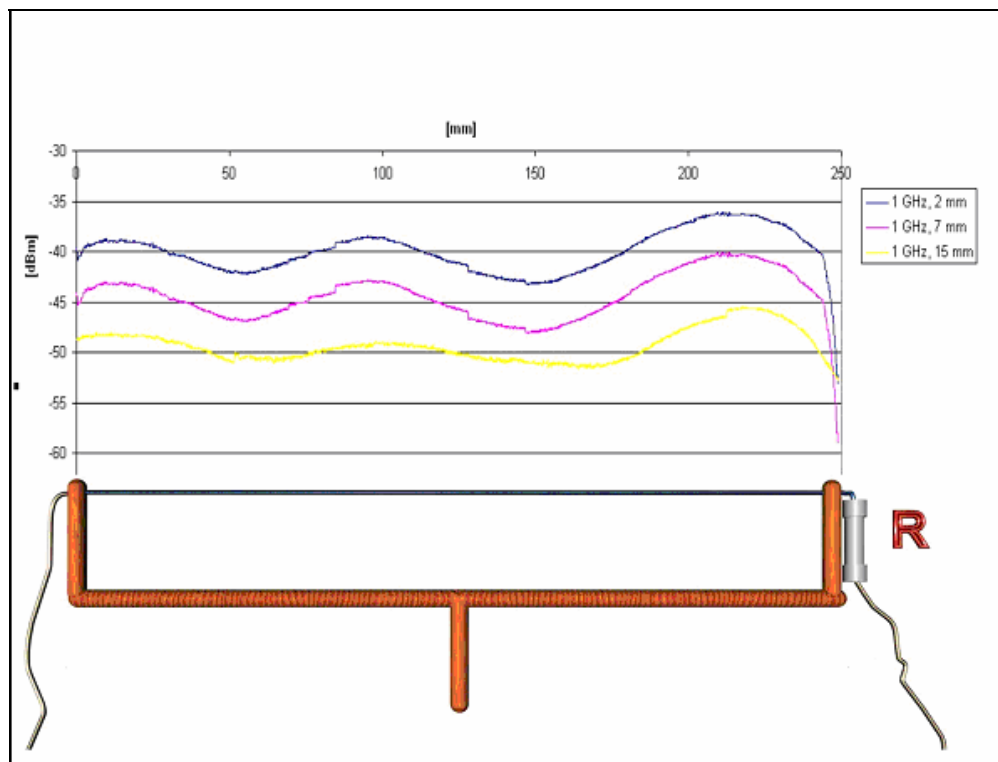


graf č. 29 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 1.5 GHz



graf č. 30 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 2 GHz

12.2 Vliv stojatého vlnění na měření



obr. 111 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 1 GHz

Na obrázku (.obr. 111) lze vidět rozložení stojatého vlnění nad zdrojem. Jestliže máme dostatečně dlouhý vodič nebo měříme dosti vysoké frekvence, stojaté vlnění nám může způsobit to, že na některých místech vodiče naměříme vysoké hodnoty intenzity elektromagnetického záření a na jiných malé nebo nulové.

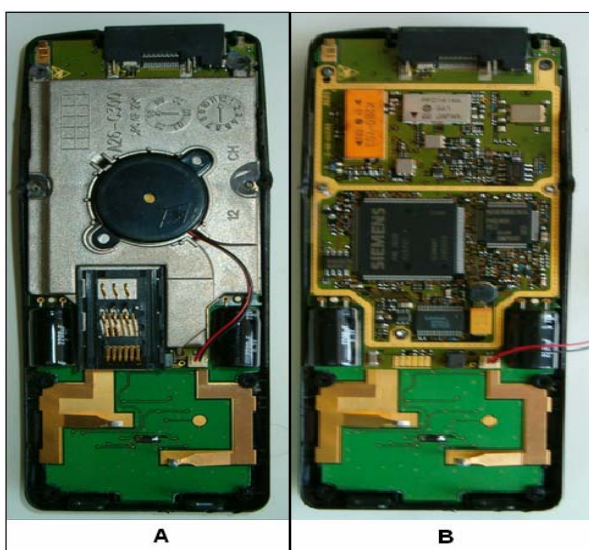
13 SKENOVÁNÍ MOBILNÍHO TELEFONU

13.1 Úvod

Pro aplikaci skenovací aparatury na reálné zařízení byl vybrán mobilní telefon z důvodů značné intenzity vyzařovaného elektromagnetického záření. Vybraný mobilní telefon byl starší telefon značky SIEMENS C10. Nýbrž cílem této práce nebylo skenování mobilního přístroje za účelem kritiky dodržování zdravotních limitů o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, ale nalezení míst s jeho nejvyšší intenzitou, byl mobilní telefon záměrně poškozen odebráním stínícího krytu z vysokofrekvenčního modulu.



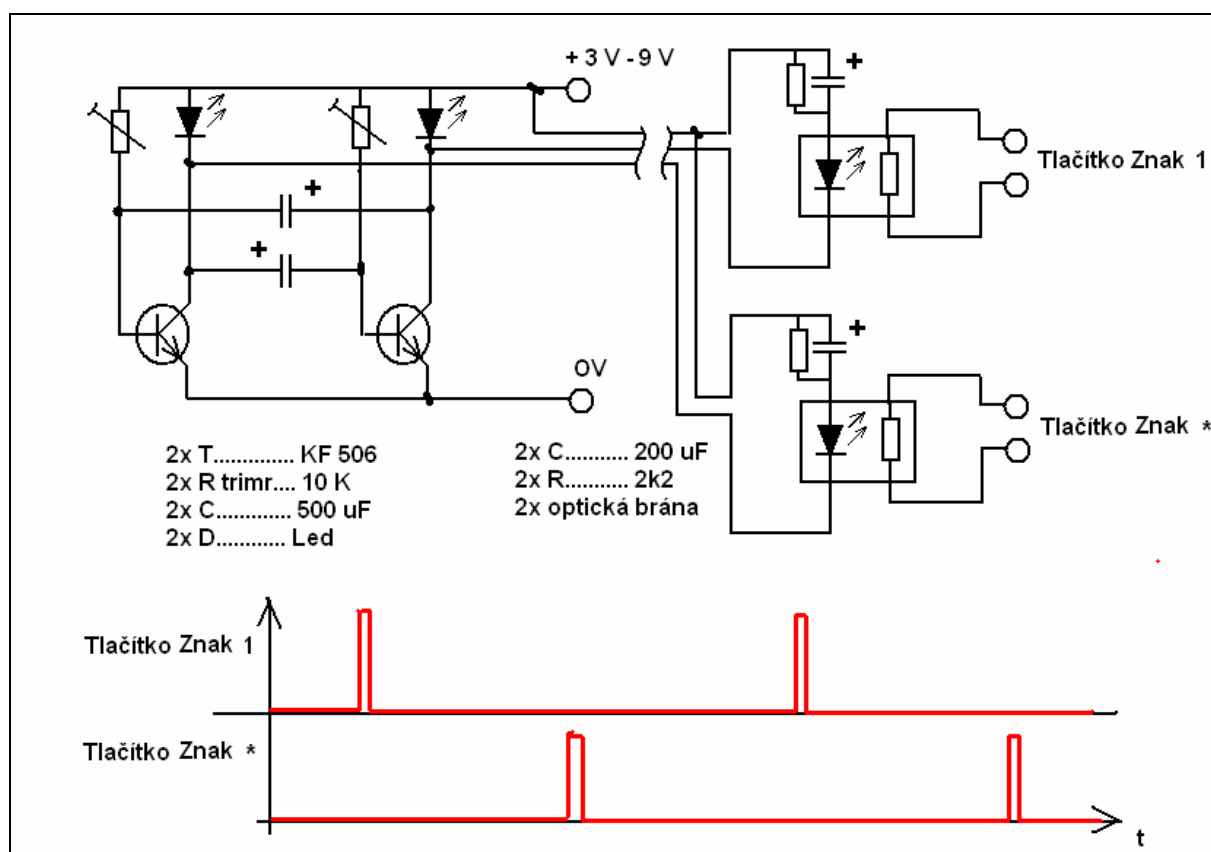
obr. 112 mobilní telefon SIEMENS C10



obr. 113 A.) Elektronika mobilního telefonu,
B.) Elektronika mobilního telefonu s odkrytým

Vysokofrekvenčním modulem

Dále bylo pro měření zapotřebí, aby byl mobilní telefon ve spojení se sítí. Nýbrž skenování zařízení je dosti zdlouhavá, byla z finančních důvodů navržena varianta, kdy mobilní telefon byl ve spojení s Infolinkou (T-Mobile tel: 4603). Komunikace s Infolinkou byla sice zadarmo, avšak po 5 minutách bez reakce automat Infolinky ukončil spojení. Bylo proto zapotřebí vytvořit elektronický obvod (viz obr. 114) simulující aktivní komunikaci uživatele s Infolinkou.

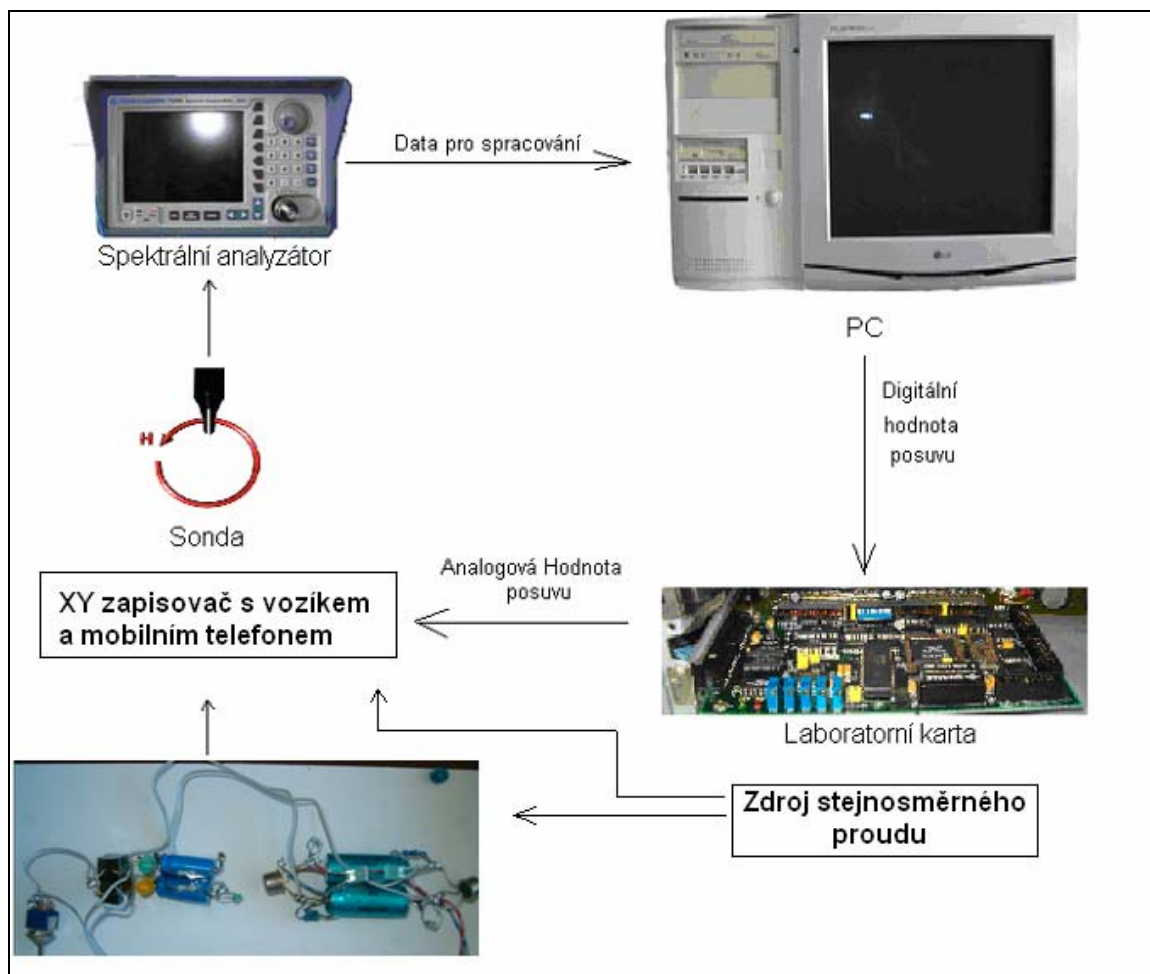


obr. 114 Schéma elektronického obvodu nahrazujícího uživatele komunikujícího s Infolinkou

Princip činnosti elektronického obvodu nahrazujícího uživatele komunikujícího s Infolinkou s mobilním telefonem byl následující.

Po zapnutí mobilního telefonu byla vytočena Infolinka. Poté byl zapnut elektronický obvod. Elektronický obvod po 30 s simuloval krátký stisk tlačítka se znakem 1, což na

Infolince spustilo nabídku aktualit. Po 30 s obvod simuloval krátký stisk tlačítka se znakem *, což na Infolince znamenalo návrat do hlavního menu a proces se opakoval. Toto zapojení umožnilo stálou komunikaci mobilního telefonu a Infolinky po dobu 1 hodiny a 10 minut. Po tomto časovém intervalu Infolinka přerušila spojení z důvodů uvolnění linky. Telefon byl napájen pomocí zdroje stejnosměrného proudu z kapacitních důvodů baterie. Celkové schéma řídicí aparatury je na obrázku (obr. 115).



obr. 115 celkové schéma aparatury pro skenáž mobilního telefonu

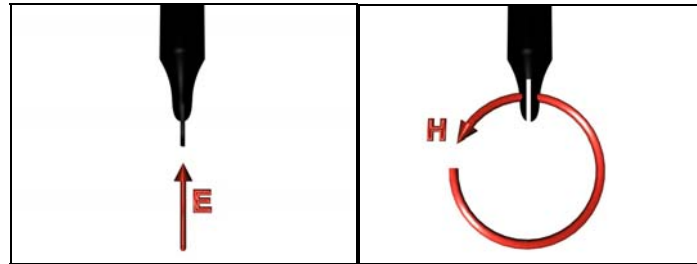
Nýbrž mobilní telefony využívají pro komunikaci dvou frekvencí 900 MHz a 1,8 GHz, bylo provedeno skenování mobilního telefonu v okolí těchto dvou frekvencí.

Mobilní telefon vykazoval dostatečnou (měřitelnou) intenzitu záření a pro vizualizaci bylo zapotřebí dostatečně malé rozlišení sond. Dle těchto kritérií byly vybrány dvě sondy a to:

Pro skenování intenzity elektrické složky elektromagnetického pole: sonda RS E 10

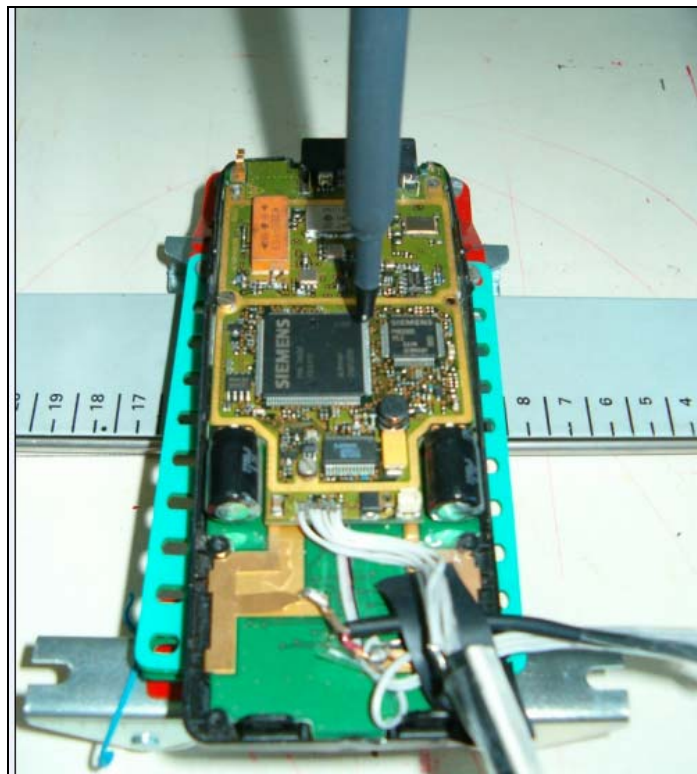
Pro skenování intenzity magnetické složky elektromagnetického pole: sonda RS H 2,5-2.

Inkrement skenování byl zvolen 0,5 mm v obou osách.



obr. 116 Sondy určené ke skenování mobilního telefonu

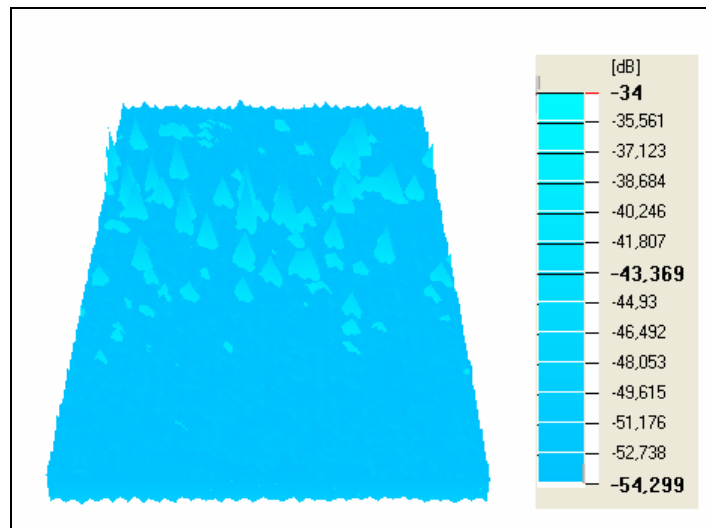
sonda RS E 10 a sonda RS H 2,5-2



obr. 117 Skenování mobilního telefonu sondou RS H 2,5-2

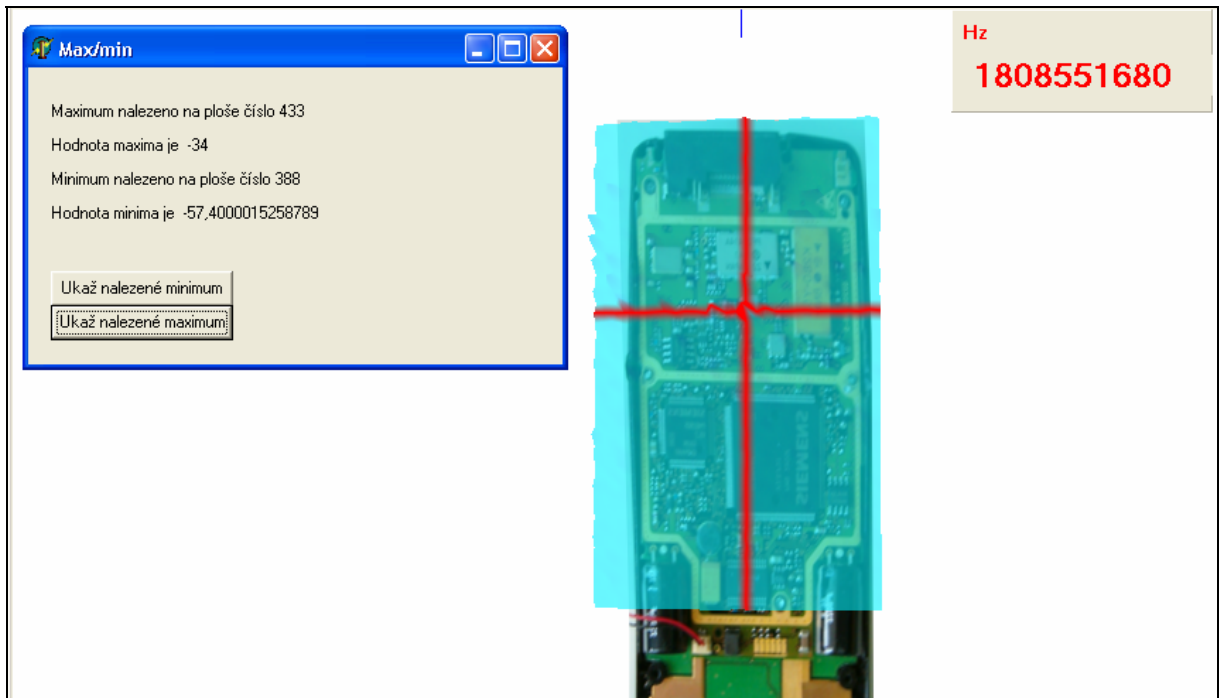
13.2 Skenování v okolí frekvence 1,8 GHz:

Výsledky skenování jsou na obrázcích .obr. 118 až .obr. 122:



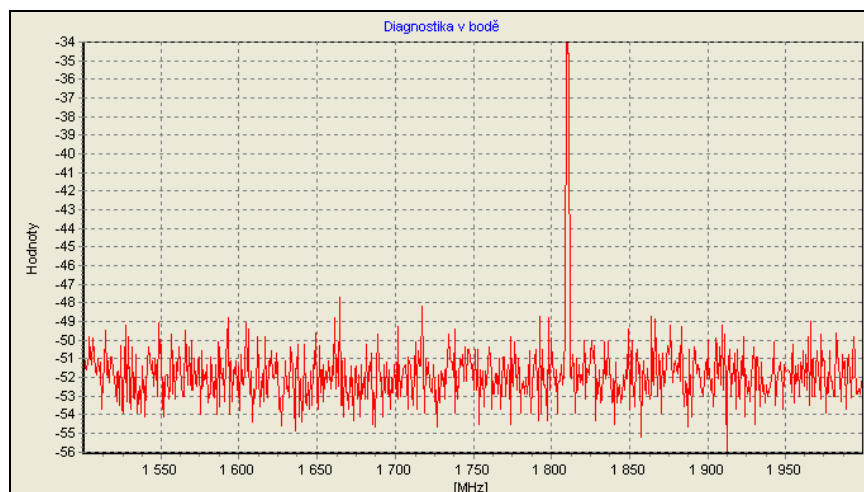
obr. 118 Celková intenzita Elektrické složky
elektromagnetického pole

.obr. 118: Na tomto obrázku jsou viditelné všechny plochy (frekvence) skenování v okolí frekvence 1,8 GHz. Toto zobrazení jasně ukazuje, že existují frekvence a místa na skenovaných frekvencích s vyšší intenzitou, než intenzita šumu okolí.



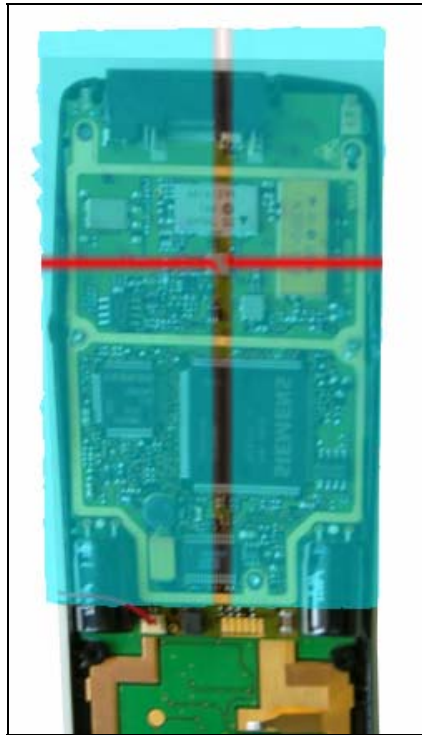
obr. 119 nalezení maximální intenzity elektrické složky elektromagnetického pole

obr. 119: Pomocí funkce „Diagnostika“ tlačítko „Vyhledej maxima“ program našel maximum na frekvenci 1808551680 Hz jehož hodnota byla -34 dBm a následně pozici maxima zobrazil.



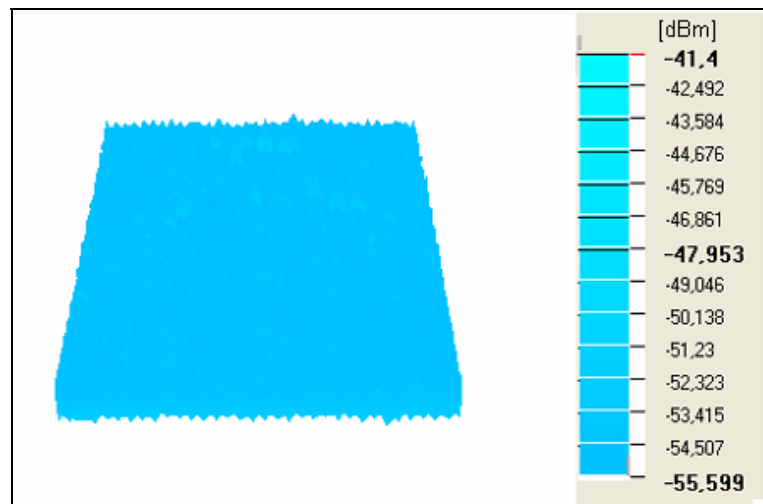
obr. 120 Spektrální charakteristika v místě nalezení maximální intenzity elektrické složky elektromagnetického pole

obr. 120: Po zobrazení místa s maximální intenzitou elektrické složky elektromagnetického pole byla zobrazena spektrální charakteristika v tomto místě.



obr. 121 Grafické určení místa
s maximální intenzitou

obr. 121: Na obrázku je pomocí nastavení průhlednosti jednotlivých barev (viz kapitola Vizualizace dat) zobrazen obvod, vykazující nejvyšší intenzitu elektrické složky elektromagnetického pole.

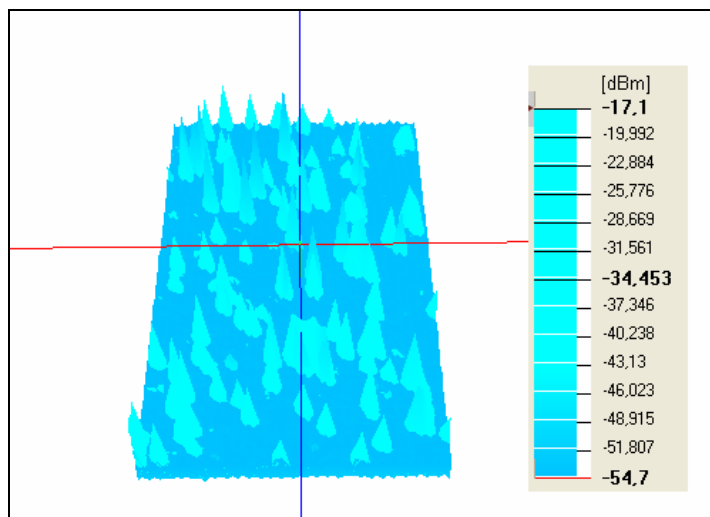


obr. 122 Celková intenzita magnetické složky
elektromagnetického pole

obr. 122: Na tomto obrázku jsou viditelné všechny plochy (frekvence) skenování v okolí frekvence 1,8 GHz. Toto zobrazení jasně ukazuje, že neexistují frekvence a místa na skenovaných frekvencích s vyšší intenzitou, než intenzita šumu okolí. Z obrázku je patrné, že intenzita magnetické složky elektromagnetického záření mobilního telefonu na frekvenci 1,8 GHz nebyla vyšší, než intenzita šumu okolí.

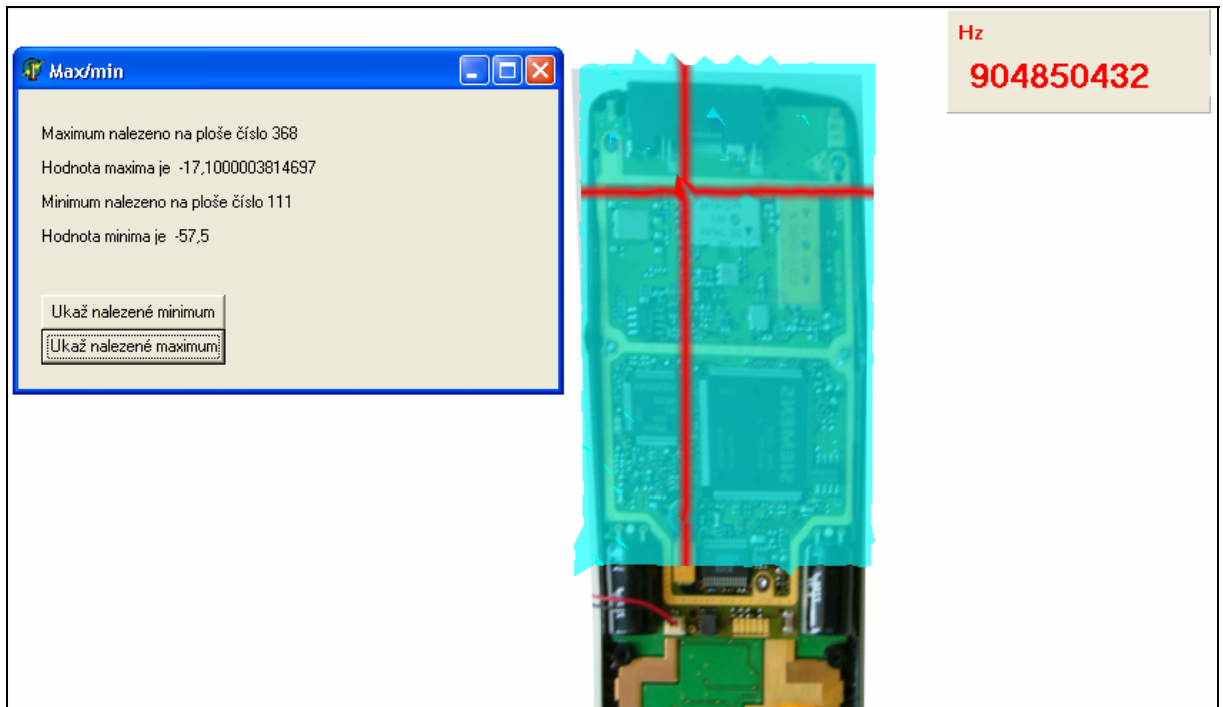
13.3 Skenování v okolí frekvence 900 MHz:

Výsledky skenování jsou na obrázcích .obr. 123 až .obr. 130:



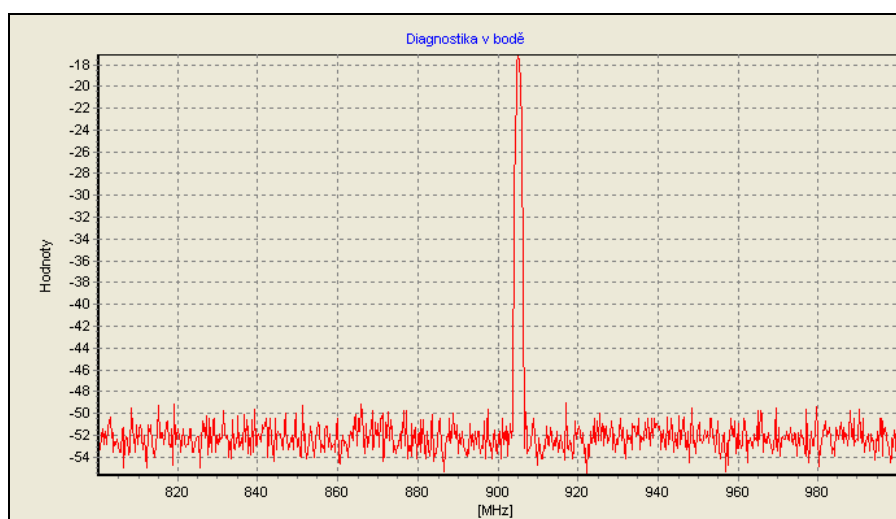
obr. 123 Celková intenzita elektrické složky
elektromagnetického pole

.obr. 123: Na tomto obrázku jsou viditelné všechny plochy (frekvence) skenování v okolí frekvence 900 MHz. Toto zobrazení jasně ukazuje, že existují frekvence a místa na skenovaných frekvencích s vyšší intenzitou elektrické složky elektromagnetického záření, než intenzita šumu okolí.



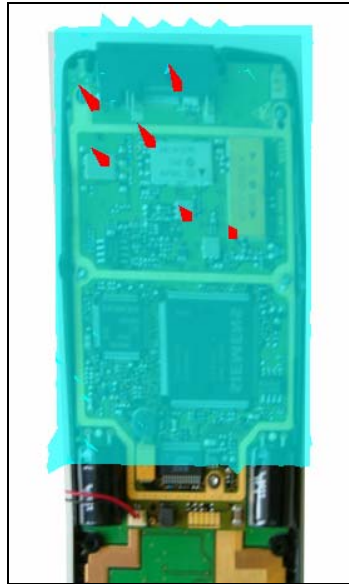
obr. 124 nalezení maximální intenzity elektrické složky elektromagnetického pole

obr. 124: Pomocí funkce „Diagnostika“ tlačítko „Vyhledej maxima“ program našel maximum na frekvenci 904850432 Hz jehož hodnota byla $-17,1$ dBm a následně pozici maxima zobrazil.



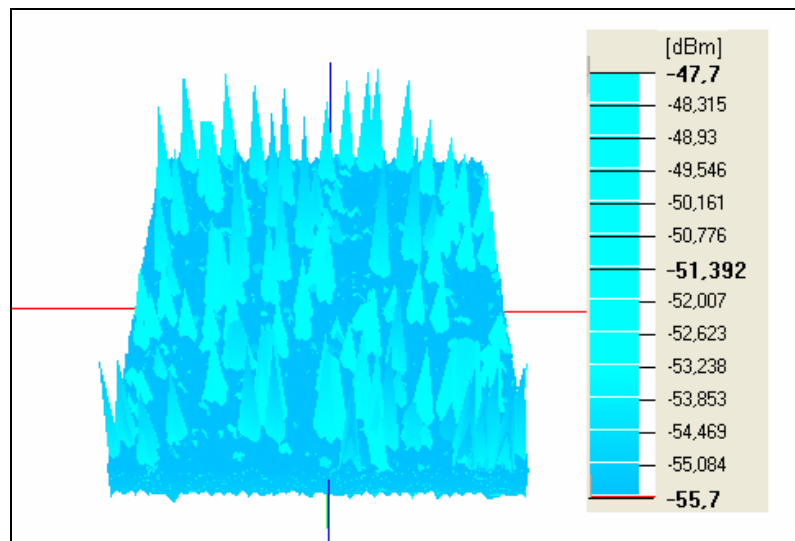
obr. 125 Spektrální charakteristika v místě nalezení maximální intenzity elektrické složky elektromagnetického pole

obr. 125: Po zobrazení místa s maximální intenzitou elektrické složky elektromagnetického pole byla zobrazena spektrální charakteristika v tomto místě.



obr. 126 Maximálních hodnot

obr. 126: Na obrázku je vidět použití vybarvení maximálních hodnot nad určitou intenzitu. Pro příklad byla vybrána hodnota -26 dBm. Na překryvu ploch jsou vidět obvody vyzařující vyšší intenzitu elektrické složky elektromagnetického pole než -26 dBm.



obr. 127 Celková intenzita magnetické složky

elektromagnetického pole v okolí frekvence 900 MHz

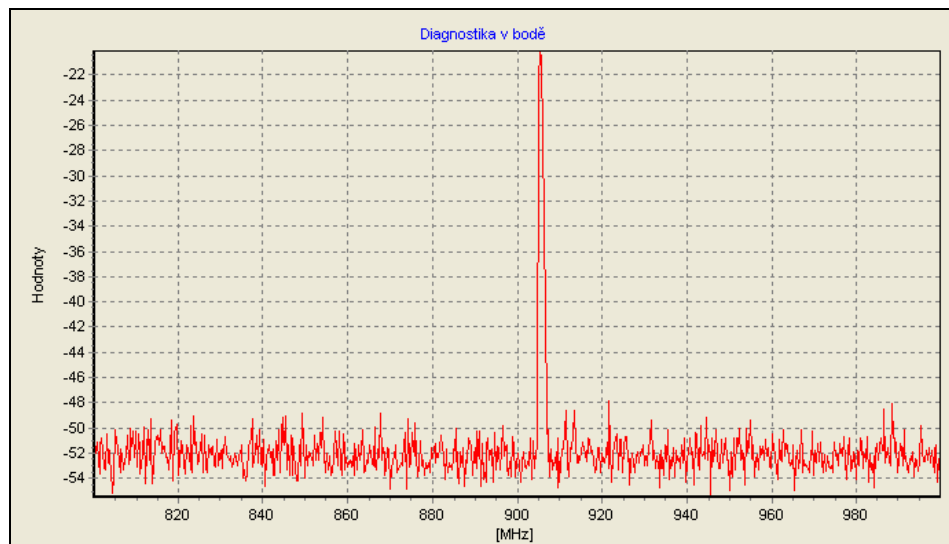
obr. 127: Na tomto obrázku jsou viditelné všechny plochy (frekvence) skenování v okolí frekvence 900 MHz. Toto zobrazení jasně ukazuje, že existují frekvence a místa na skenovaných frekvencích s vyšší intenzitou magnetické složky elektromagnetického záření, než intenzita šumu okolí.



obr. 128 nalezení maximální intenzity magnetické složky

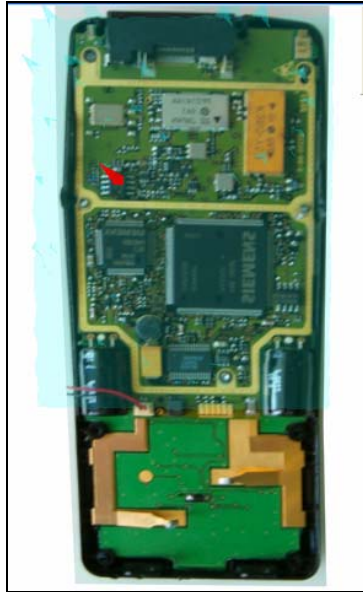
elektromagnetického pole

obr. 128: Pomocí funkce „Diagnostika“ tlačítko „Vyhledej maxima“ program našel maximum na frekvenci 905136128 Hz jehož hodnota byla $-20,1$ dBm a následně pozici maxima zobrazil.



obr. 129 Spektrální charakteristika v místě nalezení maximální intenzity magnetické složky elektromagnetického pole

obr. 129: Po zobrazení místa s maximální intenzitou magnetické složky elektromagnetického pole byla zobrazena spektrální charakteristika v tomto místě.

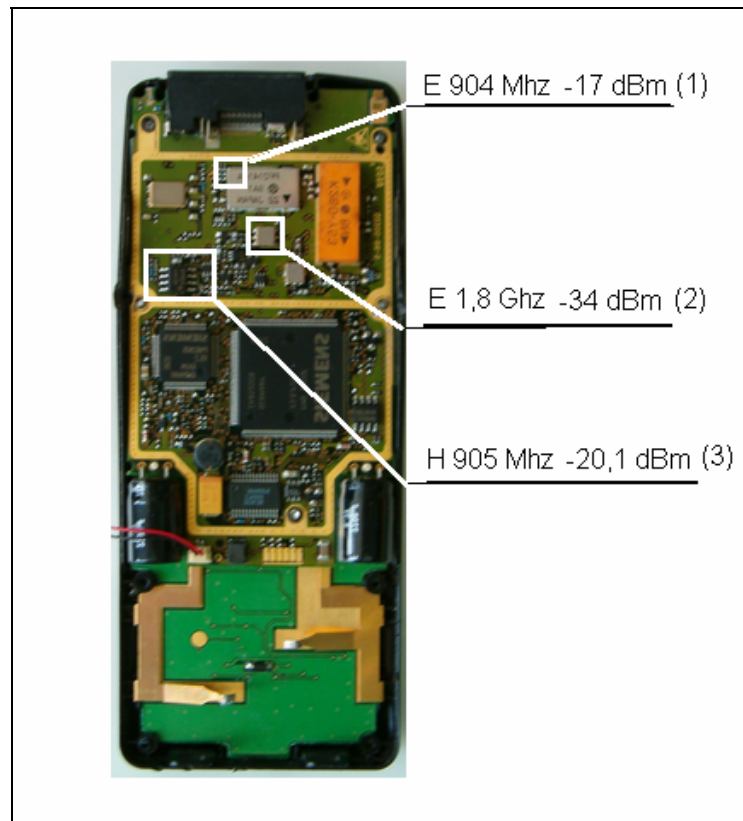


obr. 130 Maximálních hodnot

obr. 130: Na obrázku je vidět použití vybarvení maximálních hodnot nad určitou intenzitu. Pro příklad byla vybrána hodnota -21 dBm. Na překryvu ploch jsou vidět obvody vyzařující vyšší intenzitu elektrické složky elektromagnetického pole než -21 dBm.

13.4 Závěr měření mobilního telefonu:

Pomocí skenování mobilního telefonu se nám podařilo zobrazit místa (elektrické obvody) s nejvyšší intenzitou elektromagnetického záření. Firma, vyrábějící toto zařízení, může toto záření eliminovat buď náhradou lokalizovaných obvodů nebo jejich zastíněním.



obr. 131 Nalezené obvody s maximální intenzitou

Na obrázku (.obr. 131) vidíme výsledný souhrn měření. Přepočtené hodnoty jsou v tabulce:

	bod č.		
	1	2	3
F [MHz]	904	1800	900
G [dBi]	-40	-40	-32
Pr [dBm]	-17	-34	-20,1
E [V/m]	92,6	26,05	
H [A/m]			0,0068
S [W/m ²]	22,76	1,8	1,7

tabulka 16 Tabulka výsledky měření

F..... Frekvence s vysokou intenzitou elektromagnetického pole

G..... Zesílení sondy (manuál k sondám)

Pr..... Naměřená hodnota

E, H, S.... Vypočtená intenzita Elektrického poel, magnetického pole a Výkonná hustota

Zdravotní limity dle nařízení vlády č. 480/2000 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením :

- pro 900 MHz je výkonová hustota 4,5 W/m², což odpovídá 41 V/m

- pro 1800 MHz je výkonová hustota 9 W/m², což odpovídá 58 V/m

V bodě č.1 byl zdravotní limit **překročen 2x**. **V bodě č. 2a 3** nebyly zdravotní limity překročeny.

Z měření a z výsledků měření je patrné to, že nebylo zapotřebí umístit kovový kryt pro odstínění elektromagnetického záření nad celý VF modul, ale pouze nad jeho horní polovinu nebo přímo nad jednotlivé elektronické obvody. Dle zdravotních limitů by stačilo pouze zastínit jediný obvod (obr. 131. bod č.1). Tato eliminace přebytečného stínění by vedla ke značnému snížení hmotnosti přístroje, což je dnes převážně v leteckém a kosmickém vývoji dosti důležitým aspektem.

14 SKENOVÁNÍ RÁDIOVÉHO PŘIJÍMAČE

14.1 Úvod

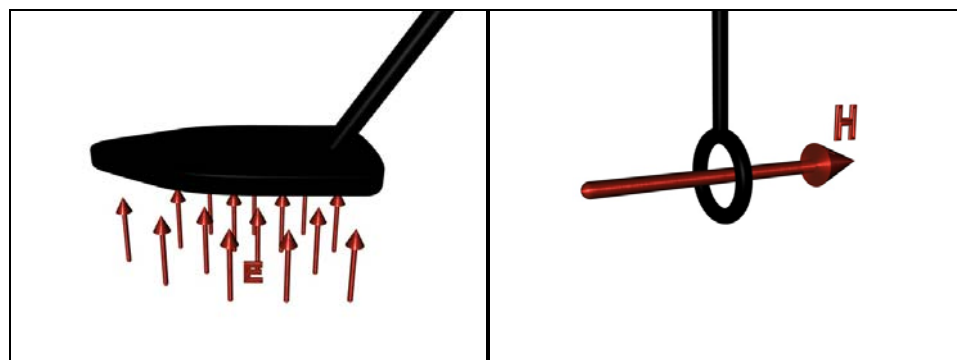
Jako druhé elektronické zařízení vhodné ke skenování byl vybrán rádiový přijímač.



obr. 132 Vlevo: Skenovaný radiopřijímač;

Vpravo: elektronika skenovaného radiopřijímače

Elektrická složka elektromagnetického záření rádiového přijímače byla skenována sondou RSE02 a magnetická složka elektromagnetického záření sondou RS H 50-1.



obr. 133 sonda RS E02 a sonda RS H 50-1

Pro skenování rádiového přijímače bylo vybráno skenování ve frekvenční oblasti od 90 MHz do 130 MHz. Na radiopřijímači byla pro skenování naladěna frekvence přibližně 115 MHz.

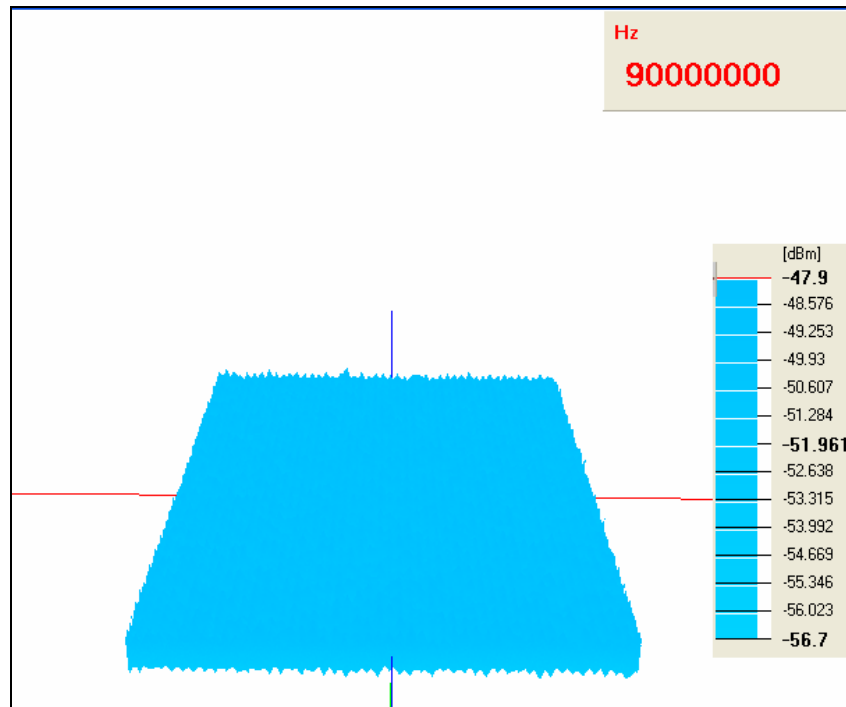
Z důvodů velikosti součástek byla elektronika rádiového přijímače skenována ze strany tištěného spoje.

14.2 Skenování

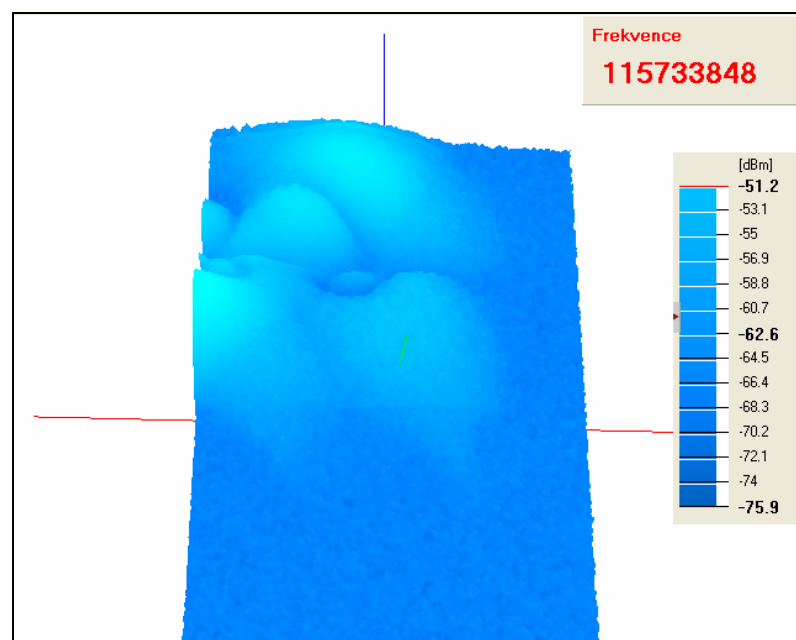


obr. 134 skenáž radiopřijímače sondou

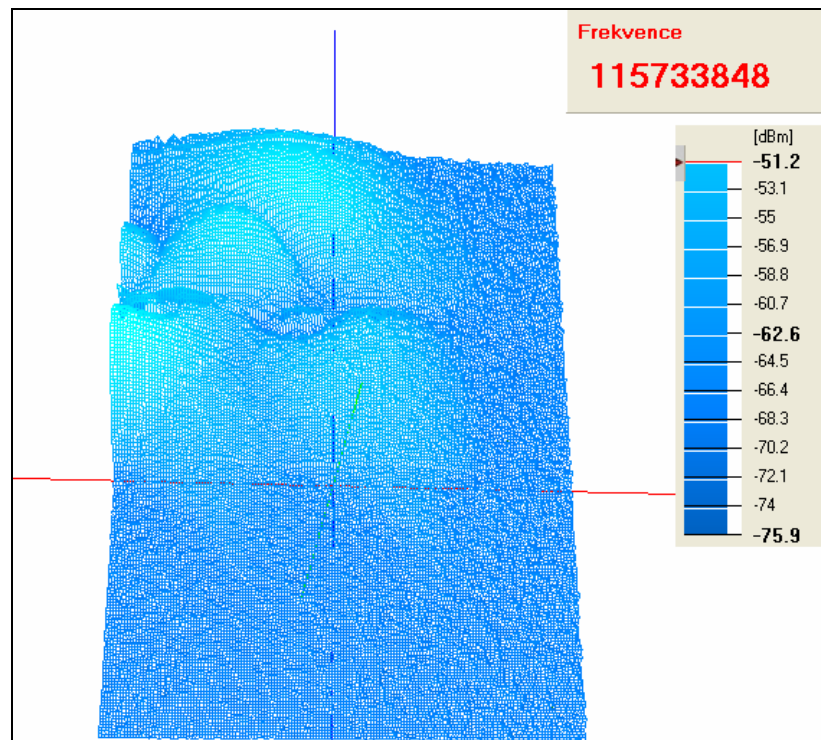
RS H 50-1



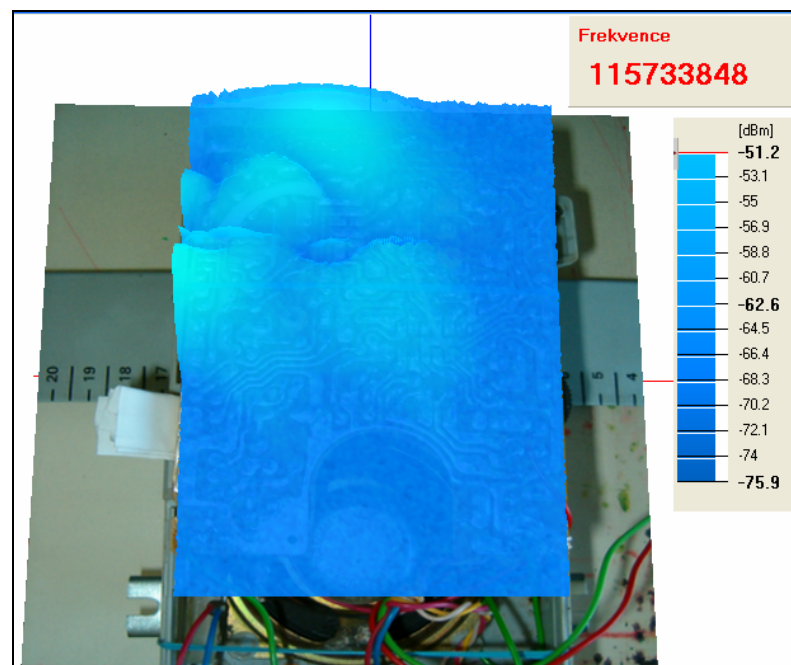
obr. 135 Celková intenzita elektrické složky
elektromagnetického pole



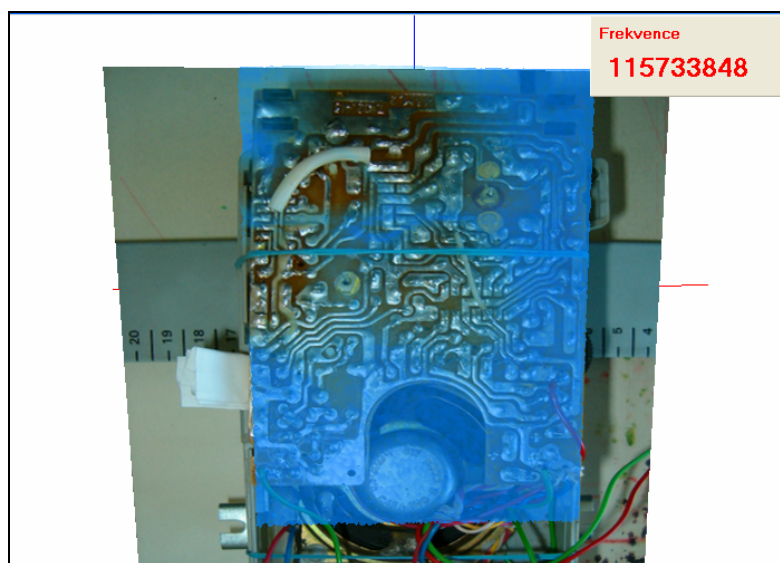
obr. 136 Zobrazení magnetické složky elektromagnetického
pole na výsledné frekvenci 115 MHz



obr. 137 Zobrazení magnetické složky elektromagnetického pole na výsledné frekvenci 115 MHz- síťový model



obr. 138 Výsledný překryv zobrazení magnetické složky elektromagnetického pole a textury skenovaného radiopřijímače



obr. 139 Zobrazení míst se zvýšenou intenzitou magnetické složky
elektromagnetického pole na 115 MHz



obr. 140 varianty zobrazení míst se zvýšenou intenzitou magnetické složky
elektromagnetického pole na 115 MHz

14.3 Závěr měření rádiového přijímače

Výsledky měření radiopřijímače jsou na obr. 135 až obr. 140. Na obrázku je patrné, že i když bylo prováděno měření elektrické složky elektromagnetického pole dosti citlivou sondou, nepodařilo se žádné elektrické pole zaznamenat. Příčinou může být buď velice malý vyzařovací výkon radiopřijímače nebo velice dobrá izolace tištěného spoje.

Tak, jak jsme předpokládaly, přístroj vykazoval zvýšenou intenzitu elektromagnetického pole na frekvenci, na kterou byl naladěný. Na ostatních frekvencích byl zaznamenán pouze šum. Jestliže by se jednalo o výkonnější zařízení, díky této analýze by se snadno zjistily místa se zvýšenou intenzitou záření a podnikly by se patřičné kroky k jeho eliminaci. Měřením bylo zjištěno, že skenované zařízení (radiopřijímač) vykazuje tak nízké intenzity elektromagnetického záření, že svou činností neovlivňuje žádné elektronické přístroje ani lidské zdraví lidí v jeho okolí.

ZÁVĚR

Podářilo se nám vytvořit programy a aparaturu určené pro skenování elektromagnetických polí. Pomocí těchto programů jsme řídili sestavenou aparaturu a následně vizualizovali rozložení elektromagnetického pole v okolí elektronického zařízení.

V první fázi jsme skenovali stacionární magnetické pole. Hodnoty magnetického pole byly měřeny gaussmetrem LakeShore 421. Pro komunikaci s tímto přístrojem byl použit program vytvořený v programovém prostředí Agilent VEE. Pro řízení skenování byl použit program vytvořený ve vývojovém prostředí Borland Delphi. Aparatura byla aplikována na vícevrstvé skenování rotoru disketové mechaniky za účelem zobrazení animace, na které bylo názorně vidět změny magnetického pole v závislosti na vzdálenosti od zdroje tohoto pole. Následně jsme oskenovali a zobrazili rozložení stacionárního magnetického pole ústředny pro bezpečnostní technologie.

V druhé fázi jsme skenovali vysokofrekvenční elektromagnetické pole. Intenzity vysokofrekvenčního elektromagnetického pole byly měřeny spektrálním analyzátozem FS 300. Pro komunikaci s tímto přístrojem byl použit program vytvořený v programovém prostředí Borland C++. Bylo provedeno měření přechodových charakteristik skenovacích sond. Jako zdroj jednotkového impulsu byl použit napnutý tenký drát na dřevěné konstrukci. Pro generování měřeného signálu byl použit signálový generátor SM 300. Na základě těchto charakteristik bylo určeno minimální rozlišení soustavy s použitím daných sond pro měření. Měření bylo aplikováno na starší mobilní telefon značky Siemens. Pro zajištění stálé komunikace mobilního telefonu s ústřednou byl vytvořen elektronický obvod simulující činnost uživatele. Po oskenování bylo detailně zobrazeno rozložení elektromagnetických polí v okolí tohoto mobilního telefonu a nalezeny místa a zdroje nejvyšší intenzity elektromagnetického záření. Jako další měřený objekt byl vybrán rádiový přijímač. Byla provedena skenáž rádiového přijímače a zobrazeno rozložení elektromagnetického pole v okolí tohoto přijímače.

Všechny vizualizace byly prováděny v programu vytvořeném ve vývojovém prostředí Borland delphi. Pro 3D zobrazení byla použita knihovna OpenGL, která je součástí operačních systémů Windows a slouží převážně pro hraní 3D her.

Pomocí této aparatury určené ke skenování a vyvinutého software můžeme zobrazit rozložení elektromagnetického pole v okolí elektronického zařízení, nalézt a zobrazit místa s jeho nejvyšší intenzitou a napomoci tak k jeho eliminaci.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

We succeed in creating the programs and apparatus designated for scanning of the electromagnetic field. With the help of this programmes we controled the constructed apparatus and sequentially visualised the layout of electromagnetics field in vicinity of the electronic device.

In the first phase we scanned the stacional magnetic field. The values of this electromagnetic field were measured by the gaussmeter LakeShore 421. For comunication with this measuring device we used programmes that were made in programing integrated development environment Agilent WEE. For the scanning kontrol the program made in programing enviroment Borland Delphi was used.

The apparatus was applied on multi-layer scanning of the rotor diskette mechanic for the purpose of animation visualisation. In this animation the changes magnetic field in dependence on distance from source this field could be seen.

Next we were scanning and visualisating layout of the stationary magnetic field around the switchboard for safety technology.

In the second phase we scanned high frequency electromagnetic field.

The intenzity of the high frekvency electromagnetic field was measured by spectral analyzator FS 300. For comunication with this measuring device the program made in programing enviroment Borland C++ was used. We were scanning transition characterization scanning probe. As the source unit impulse tight slim wire on woody construction was used. For generating the measure signal the signal generator SM 300 was used. Based on this characterization minimal resolution systém with used this probe for measure was identified.

The measure was applicated on old mobil phone made in Siemens.

For securing of the uninterrupted comunication mobil phone with switchboard was made electronic circuit simulate work user. After the end of scanning this phone, the layout of the electromagnetical field in the vicinity of the mobile phone was visualized, as well as the places with the higes volume of the electromagnetical emission.

The next measured device was the radio receiver. We was scanned radio receiver and visualisated layout electromagnetic field in vicinity this receiver.

The all visualisation was too in program which was made in development enviroment Borland Delphi.

For 3D visualization was used library OpenGL, which is part operating system Windows, this library is usually used for 3D games.

With the help of this apparatuses designed for scanning and with the help of the developed software we can visualize the layout of the electromagnetical field in the vicinity of the electromagnetical device, find and visualize the places with the highest volume and thus help to elimite it.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Svačina, J.: Elektromagnetická kompatibilita: základní principy a metody, Ústav radioelektroniky FEI VUT v Brně 1995
- [2] Vaculík, P.: Elektromagnetická kompatibilita pro každého, EMC - mýtus nebo skutečná hrozba?, Elektroinstalatér 1/2006
- [3] 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
- [4] Martonová, M.: Elektrotechnika a problémy životného prostredia
Skripta katedry elektroenergetiky FEI/TU Košice, Academic press Košice 1998
- [5] Ivanka, J., Košina, T.: Měření magnetických polí elektrických systémů v průmyslu komerční bezpečnosti I.: In.: Security magazín, Roč. XIII, vyd. 63, 3/2006, vyd. Familymedia, Praha 2006, str. 48 – 49 ISSN 1210 – 8723
- [6] J. Krupica.: Vyšetřování elektromagnetické kompatibility drážních zařízení v oblasti vysokofrekvenčních rušení, Mezinárodní odborné semináře Czech Raildays 2003, www.railvolution.net/czechraildays/craildays3/seminare/zi_10.pdf
- [7] Kučera, I.: Mohou elektrická zařízení ovlivňovat člověka?, EE, odborný časopis pro elektrotechniku a energetiku (Bratislava) č. 5/1996, str. 42-46, Elektrotechnika v praxi (Ostrava), č. 1 - 2/1997, str. 17-21
- [8] J, Novák.: Elektromagnetické pole a zdravotní rizika (I), Elektroinstalatér 5/2003
- [9] J, Novák: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) mobilního telefonu s kardiostimulátorem, Brno, Březen 2005.
- [10] J, Novák.: Elektromagnetické pole a zdravotní rizika (II), Elektroinstalatér 6/2003
- [11] J, Novák. :Elektromagnetické pole a zdravotní rizika (III), Elektroinstalatér 1/2005
- [12] Z, Nováček.: Elektromagnetické vlny, antény a vedení, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií vysoké učení technické v Brně
- [13] Clayton R. Paul.: Introduction to Electromagnetic Kompatibility, John Wiley & Sons (January 01, 2006)

[14] Bobál, V.: Identifikace systémů. Skripta, VUT Brno, 1990

[15] Zabaník, V.: Zobrazování elektromagnetických polí pro účely EMC, diplomová práce
UTB Zlín, 2006

[16] Košina, T.: Řízení mikroposuvu v rovině, bakalářská práce UTB Zlín, 2005

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PC	Standardní počítač
f	Frekvence [Hz]
S	Hustota y85iv0ho toku [W/m^2]
H	Hodnota magnetického pole [A/m]
E	Hodnota elektrického pole [V/m]
Pr	Naměřená výkon (intenzita) [dBm]
G	Anténní faktor [dB]
C_0	Rychlost světla
Z_0	Perneabilita prostředí [Ω]
EMP	Elektromagnetické pole

SEZNAM OBRÁZKŮ

.obr. 1 Vstup elektromagnetických vln do organismu [1]	13
.obr. 2 Rozdělení EMC [1]	22
.obr. 3 Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí [1].....	24
.obr. 4 Vlivy působící na elektrické zařízení.....	25
.obr. 5 Základní členění problematiky EMC [1].....	26
.obr. 6 Základní atributy elektromagnetického rušení [1].....	27
.obr. 7 Jednorázová mžiková porucha jako nepřerušená řada impulsů.....	29
.obr. 8 Vyhodnocení mžikových poruch:nespojité rušení [3].....	30
.obr. 9 schéma pracoviště pro měření [1].....	34
.obr. 10 Blokové schéma umělé sítě LISN.....	35
.obr. 11 Uspořádání pracoviště pro měření rušivého napětí na síťových.....	36
.obr. 12 Napěťová sonda	37
.obr. 13 Měření rušivého proudu proudovou sondou	38
.obr. 14 Konstrukce a vnější vzhled proudové sondy	38
.obr. 15 sonda povrchových proudů.....	39
.obr. 16 Konstrukce absorpčních kleští	40
.obr. 17 Uspořádání pracoviště pro měření s absorpčními kleštěmi	40
.obr. 18 rámová anténa	41
.obr. 19 prutová anténa.....	42
.obr. 20 Laděný symetrický půlvlnný dipól	42
.obr. 21 Bikónická anténa.....	43
.obr. 22 Logaritmicko - periodická anténa	43
.obr. 23 Kónicko-logaritmická, příp. spirálová anténa.....	44
.obr. 24 Pyramidální kovové vlnovody	44
.obr. 25 Složené širokopásmové antény.....	45
.obr. 26 Absorbér s plochou vrstevnatou strukturou.....	46
.obr. 27 Konstrukce, rozměry a absorpční vlastnosti širokopásmového.....	47
.obr. 28 Princip činnosti absorbéru	47
.obr. 29 Interiér plně bezodrazové komory	48
.obr. 30 Rozložení napětí a proudu	49
.obr. 31 Rozložení napětí a proudu na bezeztrátovém vedení.....	51

.obr. 32 Rozložení napětí a proudu na vedení zakončeném	52
.obr. 33 Aparatura pro skenování	54
.obr. 34 Obrázek a popis pomocného nosného podvozku.....	55
.obr. 35 obrázek aplikace pomocného nosného podvozku na XY zapisovač	56
.obr. 36 Vývojové diagramy programů pro řízení skenování	59
.obr. 37 Hlavní formulář programu pro řízení XY zapisovače	60
.obr. 38 Ručního ovládání analogového XY zapisovače	61
.obr. 39 Formulář s analogovými	61
.obr. 40 formulář skenování 1/3	62
.obr. 41 Výsledky vyhodnocení nastavení skenování	63
.obr. 42 formulář skenování 2/3	64
.obr. 43 Dráha.....	65
.obr. 44 Formulář skenování 3/3	66
.obr. 45 program pro komunikaci se spektrálním	67
.obr. 46 nastavení skenování v programu	69
.obr. 47 komunikační program po RS 232 vytvořený ve vývojovém prostředí Agilent VEE [16].....	70
.obr. 48 převod naskenovaných dat na data určená pro vizualizaci.....	72
.obr. 49 Struktura souboru s příponou vrs.....	72
.obr. 50 Struktura souboru s příponou txt	73
.obr. 51 Struktura souboru	75
.obr. 52 Základní informace o vizualizačním programu.....	77
.obr. 53 panel přepínání	77
.obr. 54 ukazatel barevného	78
.obr. 55 panel animace	79
.obr. 56 panel načtení projektu.....	79
.obr. 57 Dialog pro převod dat ze spektrálního analyzátoru na vizualizační data	80
.obr. 58 Panelu posun, velikost	82
.obr. 59 multifunkční tlačítko.....	83
.obr. 60 Panel řezu.....	84
.obr. 61 možnosti řezu objektu: A.) celý objekt bez řezu, B.) Oboustranný řez v ose X,	84
.obr. 62 Panel nastavení zobrazení.....	85

.obr. 63 Dialog výběru barvy	85
.obr. 64 panel Další nastavení	87
.obr. 65 panel diagnostika	88
.obr. 66 Diagnostický kříž na ploše	88
.obr. 67 řez podél diagnostických čar: A.)řez podél čáry v ose X;.....	89
.obr. 68 Nalezení maxima v plochách.....	89
.obr. 69 Řez po ose x diagnostického kříže	90
.obr. 70 Řez po ose y diagnostického kříže	91
.obr. 71 spektrální charakteristika v bodě daném průsečíkem diagnostického kříže.....	91
.obr. 72 vybarvení kritických hodnot.....	92
.obr. 73 Panel průhlednost	92
.obr. 74 Použití průhlednosti červené barvy	94
.obr. 75 Panel textura	94
.obr. 76 Aparatura pro měření stacionárního magnetického pole.....	97
.obr. 77 měřený magnet.....	97
.obr. 78 výsledné oskenované plochy po 2 mm	98
.obr. 79Centrála Bentel Omnia 4 CEN	99
.obr. 80 Magnetické pole nad Centrálou Bentel Omnia 4 CEN.....	100
.obr. 81 1. Překryv magnetického pole a skenované oblasti.....	100
.obr. 82 2. Překryv magnetického pole a skenované oblasti.....	101
.obr. 83 Vysílací část RSN 451	101
.obr. 84 Magnetické pole vysílací části RSN 451	102
.obr. 85 1. Překryv magnetického pole a skenované oblasti.....	102
.obr. 86 2. Překryv magnetického pole a skenované oblasti.....	103
.obr. 87 Retranzační část AMO 1600.....	104
.obr. 88 Magnetické pole retransační části AMO 1600	104
.obr. 89 Překryv magnetického pole a skenované oblasti.....	105
.obr. 90 Schéma zdroje Diracova impulsu	107
.obr. 91 schéma zapojení aparatury pro skenování	107
.obr. 92 sonda RS E 10.....	108
.obr. 93 skenování 1 a skenování 2 sondou RS E 10	108
.obr. 94 sonda RS H 2,5-2	112
.obr. 95 skenování 1 a skenování 2 sondou RS H 2,5-2	112

.obr. 96 směr magnetického toku	115
.obr. 97 sonda RS E 0,2.....	116
.obr. 98 skenování 1 a skenování 2 sondou RS E 0,2	116
.obr. 99 sonda RS H50-1	122
.obr. 100 skenování 1 sondou RS H 50-1	122
.obr. 101 sonda RS H400-1	126
.obr. 102 skenování 1 sondou RS H 400-1	126
.obr. 103 Přejíchodová charakteristika statické soustavy vyšších řádů [14].....	131
.obr. 104 sonda RS E 10.....	133
.obr. 105 sonda RS H 2,5-2	133
.obr. 106 orientace sondy	134
.obr. 107 orientace sond RS H 50-1 a RS H 400-1	135
.obr. 108 změna směru magnetického toku vůči sondě při skenování.....	136
.obr. 109 Sonda RS E 02	136
.obr. 110 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 1 GHz	137
.obr. 111 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 1 GHz	140
.obr. 112 mobilní telefon SIEMENS C10	141
.obr. 113 A.) Elektronika mobilního telefonu,.....	141
.obr. 114 Schéma elektronického obvodu nahrazujícího uživatele.....	142
.obr. 115 celkové schéma aparatury pro skenování mobilního telefonu	143
.obr. 116 Sondy určené ke skenování mobilního telefonu.....	144
.obr. 117 Skenování mobilního telefonu sondou RS H 2,5-2	144
.obr. 118 Celková intenzita Elektrické složky	145
.obr. 119 nalezení maximální intenzity elektrické složky elektromagnetického pole	146
.obr. 120 Spektrální charakteristika v místě nalezení maximální	146
.obr. 121 Grafické určení místa.....	147
.obr. 122 Celková intenzita magnetické složky	148
.obr. 123 Celková intenzita elektrické složky	149
.obr. 124 nalezení maximální intenzity elektrické složky elektromagnetického pole	150
.obr. 125 Spektrální charakteristika v místě nalezení maximální	150
.obr. 126 Maximálních hodnot.....	151
.obr. 127 Celková intenzita magnetické složky	152
.obr. 128 nalezení maximální intenzity magnetické složky	152

.obr. 129 Spektrální charakteristika v místě nalezení maximální	153
.obr. 130 Maximálních hodnot	154
.obr. 131 Nalezené obvody s maximální intenzitou	155
.obr. 132 Vlevo: Skenovaný radiopřijímač;	158
.obr. 133 sonda RS E02 a sonda RS H 50-1	158
.obr. 134 skenáž radiopřijímače sondou	159
.obr. 135 Celková intenzita elektrické složky	160
.obr. 136 Zobrazení magnetické složky elektromagnetického	160
.obr. 137 Zobrazení magnetické složky elektromagnetického	161
.obr. 138 Výsledný překryv zobrazení magnetické složky	161
.obr. 139 Zobrazení míst se zvýšenou intenzitou magnetické složky	162
.obr. 140 varianty zobrazení míst se zvýšenou intenzitou magnetické složky	162

SEZNAM TABULEK

tabulka 1 Tabulka problémů palubních systémů letadel způsobených	13
tabulka 2 Souhrn doporučených limitů ICNIRP* [8]	16
tabulka 3 Tabulka měření intenzity elektromagnetického záření mobilního telefonu.....	19
tabulka 4 Prahové výkonové hustoty tepelných účinků.....	23
tabulka 5 Mezní úrovně elektromagnetického pole a největší přípustná ozáření podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 408/1990 Sb. [3]	23
tabulka 6 tabulka struktury souboru s příponou prn	74
tabulka 7 struktura souboru s příponou dt2.....	75
tabulka 8 tabulka Funkce multifunkčního tlačítka.....	83
tabulka 9 Tabulka minimálního rozlišení sondy RS E 10 v mm	111
tabulka 10 Tabulka minimální rozlišení sondy RS H 2,5-2 v mm.....	115
tabulka 11 Tabulka minimální rozlišení sondy RS E 0,2 v mm při skenování 1	121
tabulka 12 Tabulka minimální rozlišení sondy RS E 0,2 v mm při skenování 2.....	121
tabulka 13 Minimální rozlišení sondy RS H 50-1 v mm	125
tabulka 14 minimální rozlišení sondy RS H 400-1 v mm.....	129
tabulka 15 tabulka pro vyhodnocování statických soustav n-tého řádu [14].....	132
tabulka 16 Tabulka výsledky měření	156

SEZNAM GRAFŮ

graf č. 1 Graf rostoucí intenzity elektromagnetického záření v přírodě [8].....	20
graf č. 2 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 10 na 30 MHz	109
graf č. 3 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 10 na 100 MHz ...	109
graf č. 4 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 10 na 500 MHz ...	110
graf č. 5 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 10 na 1000 MHz ..	110
graf č. 6 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS H 2,5-2 na 30 MHz.....	113
graf č. 7 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS H 2,5-2 na 100 MHz.....	113
graf č. 8 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS H 2,5-2 na 500 MHz.....	114
graf č. 9 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS H 2,5-2 na 1000 MHz.....	114
graf č. 10 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 30 MHz ..	117
graf č. 11 výsledek skenování 2 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 30 MHz ..	117
graf č. 12 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 100 MHz.....	118
graf č. 13 výsledek skenování 2 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 100 MHz.....	118
graf č. 14 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 500 MHz.....	119
graf č. 15 výsledek skenování 2 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 500 MHz.....	119
graf č. 16 výsledek skenování 1 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 1000 MHz.....	120
graf č. 17 výsledek skenování 2 jednotkového impulsu sondou RS E 0,2 na 1000 MHz.....	120
graf č. 18 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 50-1 na 30 MHz...	123
graf č. 19 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 50-1 na 100 MHz.....	123

graf č. 20 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 50-1 na 500 MHz.....	124
graf č. 21 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 50-1 na 1000 MHz.....	124
graf č. 22 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 400-1 na 30 MHz.....	127
graf č. 23 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 400-1 na 100 MHz.....	127
graf č. 24 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 400-1 na 500 MHz.....	128
graf č. 25 výsledek skenování jednotkového impulsu sondou RS H 400-1 na 1000 MHz.....	128
graf č. 26 impulsové charakteristiky sondy RS E 02 při 500 MHz	130
graf č. 27 Přechodové charakteristiky sondy RS E 02 při 500 MHz	131
graf č. 28 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 1 GHz.....	138
graf č. 29 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 1.5 GHz.....	138
graf č. 30 Stojaté vlnění nad vodičem při frekvenci 2 GHz.....	139

