

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Plzeň 2012

Monika PÍSKOVÁ

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného
v bezodrazové komoře**

Plzeň 2012

Monika PÍSKOVÁ

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Monika PÍSKOVÁ**
Osobní číslo: **E09N0131P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného
v bezodrazové komoře**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Teoreticky zpracujte problematiku testování odolnosti proti vyzařovanému vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli.
2. Popište testovací systém pro generování elektromagnetického pole požadované intenzity.
3. Popište metodiku kalibrace pole generovaného v bezodrazové komoře.
4. Proveďte kalibraci pole pro zajištění uniformity pole v testovacím místě bezodrazové komory.

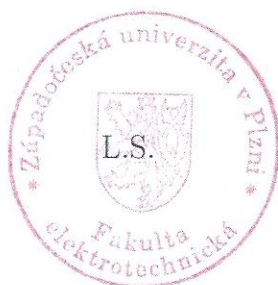
Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Technická norma ČSN EN 61000-4-3

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Martínek, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr inženýrského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze odbornou literaturu a prameny uvedené v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne

Podpis

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Martínkovi, Ph.D. za konzultace, vstřícné jednání při vedení práce, poskytnuté materiály a především za pomoc a čas strávený měřením v bezodrazové komoře.

Dále bych také chtěla poděkovat Ing. Evě Müllerové a Ing. Miroslavu Hromádkovi, kteří mi také pomáhali s měřením a poskytli potřebné normy a materiály.

Název práce

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

Anotace

Obsahem této diplomové práce je problematika měření homogenity pole generovaného v bezodrazové komoře. Práce je rozdělena do několika kapitol, v nichž je popsána metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti, problematika zkoušek odolnosti proti vyzařovanému vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli. Dále zkušební sestava pro generování elektromagnetického pole, metodika kalibrace pole v bezodrazové komoře a kapitola popisující měření provedené v bezodrazové komoře na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni. V příloze jsou uvedeny některé grafy získané při měření.

Klíčová slova

Bezodrazová komora, homogenita pole, kalibrace pole, anténa, měřicí sonda pole

Title of a work

Electromagnetic field uniformity generated inside semi anechoic chamber verification

Abstract

Content of this work is the measurement of the homogeneity field generated inside of the semi anechoic chamber. The work is dividend into several chapters which describes method of testing of electromagnetic immunity, problems with testing immunity against emitted radio frequency of electromagnetic field. Next the test set to generating to the electromagnetic field, a method of calibration field in the chamber and a section describing of measurements made inside the semi anechoic chamber at the Faculty of Electrical University of West Bohemia in Pilsen. Some graphs obtained during of the measurement are included in the addendum of the work.

Keywords

Anechoic chamber, homogeneity field, calibration field, antenna, measuring probe field

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk.....	10
1. ÚVOD.....	11
2. PROBLEMATIKA TESTOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI	13
2.1 Testovací úrovně vyzařovaného elektromagnetického pole	13
2.2 Signály pro testování elektromagnetické odolnosti	14
2.3 Problematika testování odolnosti proti vyzařovanému vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli.....	15
2.3.1 Klimatické a elektromagnetické podmínky	18
2.3.2. Vyhodnocení výsledků zkoušky	18
2.3.3 Protokol o zkoušce.....	19
2.3.4 Bezodrazová komora	20
3. TESTOVACÍ SYSTÉM PRO GENEROVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE POŽADOVANÉ INTENZITY.....	22
3.1 Základní přístrojové a technické vybavení zkušebního pracoviště	23
3.2 Měřicí přístroje a jejich parametry.....	24
3.2.1 Měřicí sonda pole.....	24
3.2.2 Spínací relé	25
3.2.3 Vyzařovací antény	25
3.2.3.1 Složená širokopásmová anténa BiLog.....	26
3.2.3.2 Trychtýřová anténa s dvojitým vlnovodem	26
3.2.4 Vysokofrekvenční generátor zkušebního signálu	27
3.2.5 Širokopásmový výkonový zesilovač	27
3.2.6 Měřič výkonu dodávaného do antény.....	28

4. METODIKA KALIBRACE POLE GENEROVANÉHO V BEZODRAZOVÉ KOMOŘE.....	29
4.1 Kalibrační metody.....	31
4.1.1 Kalibrační metoda konstantní intenzity pole	32
4.1.1.1 Příklad kalibračního postupu při konstantní intenzitě pole	33
4.1.2 Kalibrační metoda konstantního výkonu	35
4.1.2.1 Příklad kalibračního postupu při konstantním výkonu	36
4.1.3 Metoda alternativního ozáření („metoda nezávislých oken“).....	37
5. PROVEDENÍ KALIBRACE POLE PRO ZAJIŠTĚNÍ UNIFORMITY ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE V BEZODRAZOVÉ KOMOŘE.....	38
5.1 Metoda kalibrace pole konstantním výkonem při kmitočtu od 80 MHz do 1 GHz.....	39
5.1.1 Ukázka naměřených dat.....	40
5.1.2 Grafické znázornění výsledků	40
5.2 Kalibrace pole konstantním výkonem při kmitočtu od 1 GHz do 2 GHz.....	42
5.2.1 Ukázka naměřených dat.....	44
5.2.2 Grafické vyhodnocení výsledků	44
5.3 Měřicí software	46
6. ZÁVĚR.....	50
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	51
8. PŘÍLOHA A- MĚŘENÍ V KMITOČTOVÉM PÁSMU 80 MHz AŽ 1 GHz S ANTÉNOU BILOG V HORIZONTÁLNÍ POLOZE.....	52
9. PŘÍLOHA B- MĚŘENÍ V KMITOČTOVÉM PÁSMU 80 MHz AŽ 1 GHz S ANTÉNOU BILOG VE VERTIKÁLNÍ POLOZE.....	62

10. PŘÍLOHA C- MĚŘENÍ V KMITOČTOVÉM PÁSMU 1 GHz AŽ 3 GHz S ANTÉNOU TRYCHTÝŘOVOU V HORIZONTÁLNÍ POLOZE.....	63
11. PŘÍLOHA D- MĚŘENÍ V KMITOČTOVÉM PÁSMU 1 GHz AŽ 3 GHz S ANTÉNOU TRYCHTÝŘOVOU VE VERTIKÁLNÍ POLOZE	65

Seznam použitých symbolů a zkratk

E_c	intenzita pole aplikovaná při kalibraci
E_t	intenzita pole aplikovaná při zkoušení
E_{c-ref}	intenzita pole naměřená v referenčním bodě
EUT	testované zařízení
UFA	plocha homogenního pole
EMC	elektromagnetická kompatibilita
EMS	elektromagnetická odolnost
EMI	elektromagnetické rušení

1. Úvod

V dnešní době, kdy se rozvoj elektroniky posouvá stále dál, zejména v odvětví mikroprocesorové a komunikační techniky, dochází k nárůstu elektromagnetického rušení. Vyvíjejí se stále novější systémy mobilních radiokomunikačních služeb po celém světě, zdokonalují se rozhlasové a televizní vysílače a rozmáhají se pozemní a družicové sítě. Používání těchto systémů, ať už ke komunikaci, sdělování informací, přenosu dat, navigaci či jiným potřebám, patří již ke každodenním lidským potřebám a zvyklostem. Je tedy samozřejmé, že jejich vypnutí je zcela nemožné, bohužel ani snížení jejich rušivých účinků vůči jiným zařízením není zcela možné. Proto je za potřebí, jít na to jinou cestou, a to například zvyšováním elektromagnetické odolnosti vůči vysokofrekvenčním magnetickým polím u všech ostatních zařízení.

Cílem této práce, je seznámit čtenáře s problematikou ohledně elektromagnetické odolnosti (EMS) a elektromagnetického rušení (EMI). Těmito problematikami se zabývá obor elektromagnetické kompatibility (EMC). Tato vědecká disciplína vznikla někdy v šedesátých letech minulého století, kdy byla poměrně dlouhou dobu známa jen úzkému okruhu odborníků ve vojenském a kosmickém výzkumu. Daleko dříve se zabývali problematikou elektromagnetického rušení, až v posledních patnácti letech se značně zvýšil zájem o posuzování elektromagnetické odolnosti všech elektronických zařízení vůči vlivům tohoto elektromagnetického rušení. Pro účely měření, zkoušení a vyhodnocování elektromagnetické odolnosti elektrických a elektronických zařízení proti vyzařované elektromagnetické energii byla sepsána norma ČSN EN 61000-4-3.

Pro důslednou kontrolu parametrů testované hozařízení dle norem je potřeba čisté elektromagnetické prostředí, bez deformací či odražení elektromagnetických vln. Elektromagnetické prostředí je totiž dáno intenzitou elektromagnetického pole E a tuto intenzitu není vůbec snadné vypočítat ani změřit bez použití složitého přístrojového vybavení. Pro tyto účely se používají složitá přístrojová vybavení, která jsou na principu elektromagnetického odstínění vnitřního prostředí od vnějšího. Nejdůležitějším zařízením pro simulaci volného pole je bezodrazová komora. Ta nám umožňuje nasimulovat nekonečně velký prostor, bez různých předmětů a rušivých

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

vlivů. Stěny a strop bezodrazové komory na Západočeské univerzitě, která je předmětem testování v mé diplomové práci, jsou pokryty feritovými a jehlanovými absorbéry. Kde feritové absorbéry jsou účinnější pro nízkofrekvenční signál a jehlanové absorbéry pohlcují vysokofrekvenční signály.

Elektromagnetické rušení se šíří jednak po vodičích a dále prostorem. Proto je třeba oddělení či filtrace datových a napájecích cest, stínění a dále také obložení stěn pohltivými materiály.

2. Problematika testování elektromagnetické odolnosti

Všeobecně u všech zkoušek elektromagnetické odolnosti elektrických zařízení nebo přístrojů, je základ vložit tato testovaná zařízení do vhodně vytvořeného elektromagnetického prostředí. Samozřejmě, že nejlepším řešením by bylo umístění zařízení do prostředí, ve kterém bude pracovat, nebo již pracuje. Jenže reálné elektromagnetické prostředí je náhodně velmi časově proměnné, a proto v něm nelze zaručit reprodukovatelnost zkoušky. Z těchto důvodů se používá uměle vytvořené prostředí, které je přesně definované a nemělo by se měnit. Je dáno prostorové uspořádání, použité přístrojové vybavení i parametry a nastavení přístrojů.

Pokud chceme posoudit elektromagnetickou odolnost testovaných zařízení, je nutné upřesnit, jaké elektromagnetické rušení může na zařízení v pracovních podmínkách působit. Těchto rušivých vlivů, může na konkrétní zařízení působit více najednou. Zjištění a testování všech těchto rušivých vlivů je časově a finančně dosti náročné. Proto je nutné určit alespoň hlavní rušivý vliv, který ovlivňuje funkci testovaného zařízení nejvíce. Mezi základní druhy elektromagnetických rušivých vlivů patří rázové magnetické pole, rázové impulzy, nízkofrekvenční rušení (v napájecí rozvodné síti nn), vysokofrekvenční rušení, elektrostatické výboje a rušení vyzařovaným elektromagnetickým polem.

Při testování zařízení je důležité, aby odolnost byla prokázána při všech jeho provozních stavech. Testování se provádí v příslušném kmitočtovém pásmu, při kterém je nebo bude zařízení provozováno. Pokud je testované zařízení v provozu připojeno k dalším zařízením, mělo by se testovat ve spojení s nimi, nebo alespoň s částí z nich. Všechno pak musí být zaznamenáno v protokolu o zkoušce, pro případné opakování zkoušky.

2.1 Testovací úrovně vyzařovaného elektromagnetického pole

Normy ČSN EN 61000-4-x definují kategorie požadované odolnosti a jejich úrovně pro typická elektronická prostředí. Některá zařízení lze snadno zařadit do správné kategorie, jiná však nejsou jednoznačná. Pro tato zařízení se tedy volí vyšší úroveň požadované odolnosti. U zařízení používaných v mimořádně elektromagneticky obtížných prostředích, jako jsou například průmyslové objekty, se volí nejvyšší úroveň elektromagnetické

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

odolnosti. Tyto úrovně jsou čtyři (popříp. pět) a ke každé z nich je přiřazena intenzita zkušebního pole viz. Tab. 2.1.

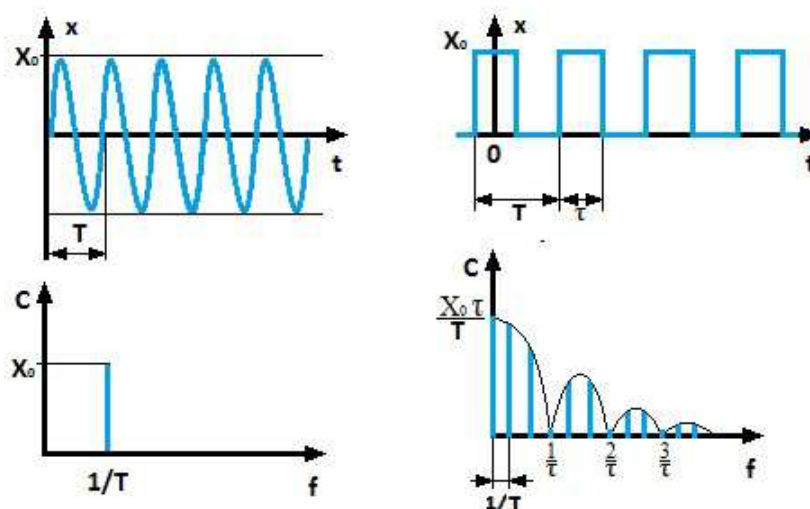
Tab. 2.1 Zkušební úrovně intenzity

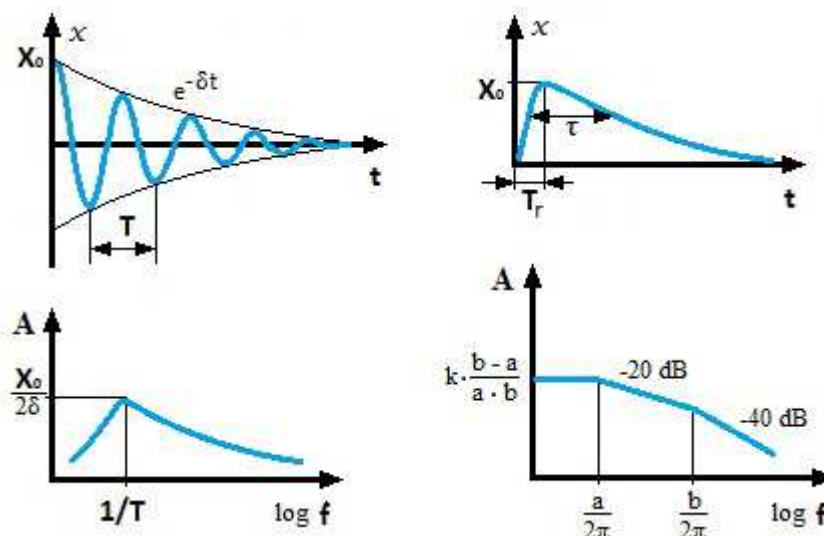
Úroveň	Intenzita zkušebního pole V/m
1	1
2	3
3	10
4	30
x	zvláštní
Pozn.: x je neomezená zkušební úroveň. Zde může být intenzita pole jakákoliv hodnota a může být dána v normě výrobku.	

Není nutné aplikovat jednu zkušební úroveň v celém kmitočtovém rozsahu. Pro každý kmitočtový rozsah určí vhodnou zkušební úroveň komise daného výrobku.

2.2 Signály pro testování elektromagnetické odolnosti

Vytvářené rušivé signály se musí podobat co nejvíce skutečnému průběhu rušivých signálů, které působí v reálném elektromagnetickém prostředí. Tyto signály jsou vytvářeny generátorem zkušebního rušivého signálu, který umí upravit časový průběh, kmitočet i amplitudu. Rozborem parametrů rušivých signálů bylo zjištěno, že pomocí čtyř základních průběhů, lze vytvořit prakticky všechny zkušební rušivé signály. Tyto základní průběhy jsou na obr. 2.1.





Obr. 2.1 a) Periodický úzkopásmový signál, b) Periodický širokopásmový signál, c) Neperiodický úzkopásmový signál, d) Neperiodický širokopásmový signál

Jednou z používaných zkušebních metod, je metoda přímá, kdy skutečný zdroj rušení je napodobován přímo generovaným zkušebním signálem. Další je nepřímá zkušební metoda, kdy jsou zkušebním signálem napodobována rušivá napětí či proudy, které jsou ve zkoušeném zařízení a jeho vodičích vyvolána rušivým signálem.

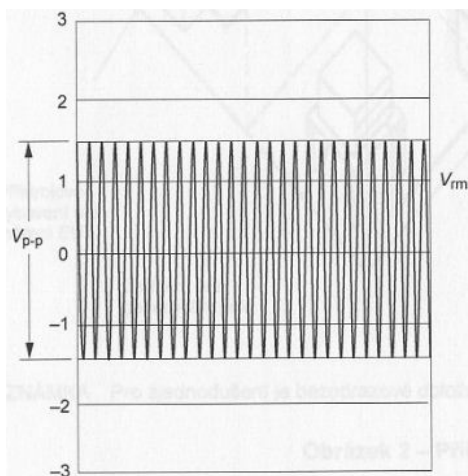
Zkušební generátory dělíme do skupin: generátory simulující nízkoenergetické a vysokoenergetické rušivé impulzní napětí a proudy, generátory magnetických polí, středofrekvenčních a vysokofrekvenčních harmonických signálů se spojitě proměnným kmitočtem, generátory simulující elektrické impulzy vzniklé vybíjením statické elektřiny a přístroje simulující typické poruchy v energetických napájecích sítích.

2.3 Problematika testování odolnosti proti vyzařovanému vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli

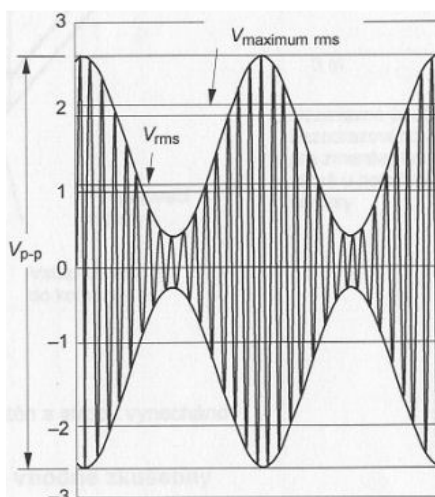
Protože v posledních letech byl zaznamenán větší nárůst používání různých vysokofrekvenčně vyzařujících přístrojů, jako jsou třeba radiotelefony, televizní a rozhlasové vysílače, pozemní a družicové sítě, je důležité testovat odolnost proti tomuto vyzařovanému vf elektromagnetickému poli. Postup provádění testování odolnosti předepisuje norma ČSN EN 61000-4-3 ed. 3. Pro generování rušivých elektromagnetických polí se používají vyzařovací antény, které pracují na kmitočtovém

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

rozsahu od 80 MHz do 6 GHz. Norma také předepisuje použití testovacích úrovní intenzity zkušební pole (1, 3, 10 a 30 V/m), které byly uvedeny v kapitole 2.1. Pokud by výrobce požadoval test pro ještě větší intenzitu pole než 30 V/m, je možné takovou zkoušku provést, avšak za předpokladu dostatečného technického vybavení zkušebny. Uvedené intenzity zkušební pole jsou efektivní hodnoty nemodulovaného signálu nosné. Ukázku nemodulovaného vysokofrekvenčního signálu můžete vidět na obrázku 2.2. Při testování odolnosti zařízení musí být tento signál modulován sinusovou vlnou 1 kHz a s hloubkou 80 %, čímž je simulováno skutečné ohrožení (viz. Obr. 2.3). Je prokázáno, že amplitudová modulace do hloubky 80 % je plně vyhovující pro posouzení odolnosti zařízení vůči vf rušivým signálům.



Obr. 2.2 Nemitovaný vysokofrekvenční signál ($V_{p-p} = 2,8 \text{ V}$, $V_{rms} = 1 \text{ V}$)



Obr. 2.3 Modulovaný vysokofrekvenční signál 80 % AM
($V_{p-p} = 2,8 \text{ V}$, $V_{rms} = 1 \text{ V}$, $V_{max.rms} = 1,8 \text{ V}$)

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

Klimatické podmínky při testování zařízení musí odpovídat podmínkám, při kterých zkoušené zařízení běžně pracuje, pokud není komisí zodpovědnou za normu určeno jinak. Vlhkost a teplota prostředí, ve kterém se měření provádí, musí být zaznamenána v protokolu o zkoušce. Zkouška nesmí být prováděna za příliš vysoké relativní vlhkosti, při níž může docházet ke kondenzaci na EUT nebo na zkušebním zařízení.

Elektromagnetické podmínky v laboratoři nesmí ovlivňovat výsledky zkoušky, proto před samotným testováním zařízení se zkontroluje intenzita pole v místě, kde bude zkoušené zařízení umístěno. Tato kontrola se provádí bez umístěného EUT pomocí sondy pole. Ta se umístí do stativu, který představuje plochu homogenního pole, a to do bodu, který přísluší poloze zkoušence. Anténa i kabely zůstanou při samotné zkoušce zařízení ve stejné poloze, jako při ověřování homogenity pole. Při kalibračním měření se nastaví požadovaná intenzita pole, které má být zkoušenec následně vystaven. Hodnota této intenzity musí být minimálně 1,8 x menší, než hodnota intenzity při ověřování homogenity pole. Poté je možno provést kalibrační měření, které se dělá pro horizontální i vertikální polohu antény. Teprve po provedení kalibračního měření se přistoupí k samotnému testování zařízení, při kterém jsou využity naměřené hodnoty z předchozího kalibračního měření.

Při testování zařízení jsou kmitočtové rozsahy rozmítány signálem modulovaným podle obrázku 5.2 a 5.3, a to s krátkými přestávkami pro nastavení úrovně vysokofrekvenčního signálu. Kmitočet se zvyšuje vždy o 1 % z předcházející hodnoty kmitočtu a doba prodlevy amplitudově modulované nosné na každém kmitočtu nesmí být kratší, než čas potřebný pro vyšetření EUT a pro jeho reakci. V žádném případě nesmí být kratší než 0,5 s.

Pokud je možno testované zařízení použít v různých orientacích (vertikální nebo horizontální), musí se měření provést tak, aby generující anténa byla postupně natočena směrem ke každé straně EUT. Zařízení se tedy postupně upevňuje na stativ, kde je vždy čelní stěna natočena souhlasně s kalibrovanou plochou homogenního pole. Po vystřídání všech stran EUT, které je třeba změřit, se měření provede i pro druhou orientaci vyzařovací antény. Pokud by byla některá strana testovaného zařízení větší než kalibrovaná plocha homogenního pole 1,5 m x 1,5 m, musí se provést několik zkoušek odolnosti, a to postupným ozařováním příslušné plochy.

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

Během zkoušení se musí podrobně zkoumat všechny kritické vyšetřovací režimy vybrané pro zkoušku odolnosti a také bezchybnou funkci zařízení v různých provozních režimech.

Před samotným zahájením celé zkoušky musí být sestaven zkušební plán, na jehož základě se pak zkouška provede. Plán zkoušky zahrnuje rozměry EUT, provozní podmínky, rozsahy kmitočtu, prodlevy a kmitočtové kroky. Musí být také dána zkušební úroveň intenzity pole, která má být při testování použita. Stojí-li zařízení na podlaze, je třeba uvést výška podpěry. Dále také typ zkušební technického vybavení, typy a poloha použitých vyzařovacích antén, velikost a tvar plochy homogenního pole, typy a počty použitých vodičů. Neméně důležité jsou i funkční kritéria, která jsou u EUT přípustná a popis metod vyšetřování jejich funkce. Některé aspekty uvedeny ve zkušebním plánu jsou pak při měření ověřovány a celý zkušební plán je součástí zkušební dokumentace. Dokumentace obsahuje kromě tohoto zkušební plánu, také podmínky zkoušky, použitá zkušební zařízení, prohlášení o kalibraci a výsledky zkoušky.

2.3.1 Klimatické a elektromagnetické podmínky

Klimatické podmínky musí být v mezích, které jsou specifikované pro činnost EUT. Mohou být také stanoveny komisemi zodpovědnými za normu kmenovou nebo normu výrobku. Pokud by například relativní vlhkost byla příliš vysoká, že by mohla způsobovat kondenzaci vody na EUT nebo na zkušebním zařízení, nesmí se zkouška provádět.

Elektromagnetické podmínky laboratoře musí být takové, aby neovlivňovaly výsledky zkoušky a byla zaručena správná činnost testovaného zařízení.

2.3.2. Vyhodnocení výsledků zkoušky

Výsledky zkoušky jsou klasifikovány na základě ztráty funkce nebo na zhoršení provozu zařízení, ve vztahu k úrovni funkce definované výrobcem, nebo žadatelem o zkoušku. K posouzení funkčnosti nám slouží následující kritéria:

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

- a) Zařízení funguje normálně v mezích stanovených výrobcem, žadatelem o zkoušku nebo zákazníkem
- b) U zařízení dochází k dočasné ztrátě funkce nebo se zhorší provoz, který přestane při odstranění rušení. Normální funkce zkoušeného zařízení se obnoví sama bez zásahu operátora.
- c) U zařízení dochází k dočasné ztrátě funkce nebo se zhorší provoz, který vyžaduje zásah operátora nebo opětné nastavení.
- d) Ztráta funkce nebo zhoršení provozu, které jsou neobnovitelné, a to je způsobeno poškozením technického nebo programového vybavení nebo ztrátou dat.

Vyhodnocení výsledků zkoušky odolnosti je formou posouzení funkčnosti zařízení. Není to konkrétní změřená veličina, ale jedno z uvedených funkčních kritérií a) – d) a ty jsou definována jen obecně. Upřesnění jednotlivých poruch a ztrát funkce určuje buď výrobce zařízení, zákazník nebo žadatel o zkoušku.

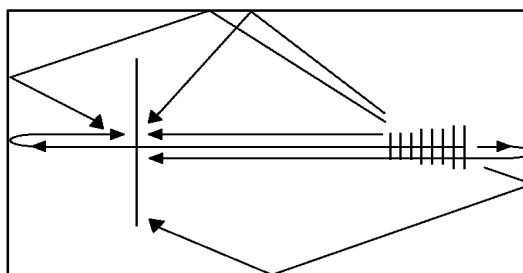
2.3.3 Protokol o zkoušce

Pro zaručení opakovatelnosti zkoušky, musí být sepsán protokol o zkoušce, který obsahuje všechny informace o jejím průběhu, klimatické a elektromagnetické podmínky, identifikace EUT a všech přidružených zařízení (např. typ výrobku, obchodní značka, sériové číslo atd.). Dále jakékoliv specifické podmínky nutné k provedení zkoušky, funkční úroveň a funkční kritérium specifikované v normě. Uvádí se i jakékoliv účinky na EUT, které byly pozorovány při aplikování zkušebního rušení a doba trvání, po kterou tyto účinky trvají. Nesmí chybět ani záznam polohy kabelů, zařízení a antény (polarizace, vzdálenosti, výška). Protokol obsahuje i zdůvodnění rozhodnutí zda zařízení při zkoušce obstálo či neobstálo (založené na funkčním kritériu, které bylo popsáno v předchozí kapitole a je také specifikováno v normě).

2.3.4 Bezodrazová komora

Aby se při testování zařízení zabránilo přítomnosti vnějších rušivých elektromagnetických polí, které se v otevřeném volném prostoru vyskytují v poměrně hojném počtu, používají se elektromagneticky stíněné prostory- bezodrazové komory. Můžeme mít buď polo-bezodrazovou komoru, a to je stíněný prostor, který má na všech stěnách a na stropu vysokofrekvenční absorpční materiál, nebo plně bezodrazovou komoru, kde je magneticky vodivý materiál umístěn i na podlaze. Podlaha je následně uzemněna, a proto je nazývána zemní rovinou. Stěny komory jsou obloženy elektromagneticky absorpčním materiálem, který značně omezuje zpětné odrazy od komory v širokém pásmu kmitočtů. Jak moc bude vlna utlumena, záleží na kmitočtu a úhlu dopadající vlny. Při kolmém dopadu vlny je útlum největší a se vzrůstajícím úhlem dopadu se útlum snižuje. Takové tlumení by bylo nedostačující, proto jsou absorpční materiály vytvarovány do klínů, nebo kuželů.

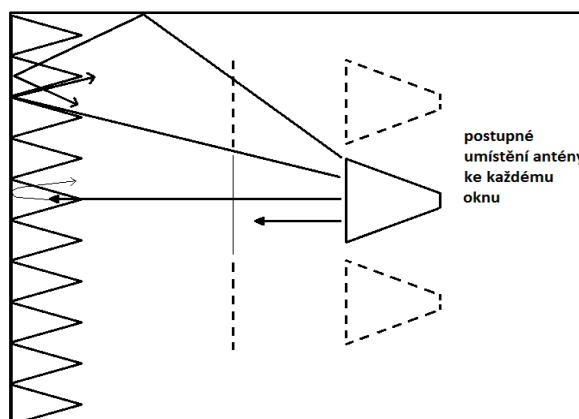
Při dopadu elektromagnetické vlny na absorpční materiál je jejich energie přeměněna na teplo s využitím magnetických nebo dielektrických ztrát. Přednost se dává spíše dielektricky ztrátovým materiálům, protože jsou oproti magnetickým materiálům výrazně lehčí a levnější. U polo- bezodrazové komory jsou kvůli dosažení požadované homogenity pole umístěny dodatečné absorbéry na podlahu. Jejich poloha se určuje experimentálně, avšak neměly by stát přímo v cestě mezi anténou a testovaným zařízením. Problém u bezodrazových komor je s nízkou účinností při nízkých kmitočtech pod 30 MHz. Naopak ty komory, které mají stěny obloženy feritovými deskami, mají nízkou účinnost při vyšších kmitočtech nad 1 GHz. Proto je nutno dbát na to, při jakých kmitočtech se měření provádí a podle toho přemísťovat přídatné absorbéry, aby homogenita pole byla vyhovující.



Obr 2.4 vícenásobné odrazy vznikající v malé bezodrazové komoře

Na obrázku 2.4 jsou znázorněny vícenásobné odrazy, které vznikají v malé bezodrazové komoře. Tento problém se dá řešit hned několika způsoby. Jedním z nich je použití správné vyzářovací antény pro určitý kmitočet. Například trychtýřová anténa má úzký

vyzařovací lalok a hodí se na vyšší kmitočty, zatímco logaritmicko-periodická anténa je vhodnější pro nižší kmitočty. Další možností je zmenšení vzdálenosti mezi vyzařovací anténou a testovaným zařízením až na vzdálenost 1 m. Poslední možností je pokrytí stěn a podlahy mezi anténou a zařízením bezodrazovým materiálem. Na následujícím Obr. 2.5 je znázorněno dodržení všech výše uvedených postupů.



Obr. 2.5 Vyloučení většiny odražených vln

Absorbční prvky

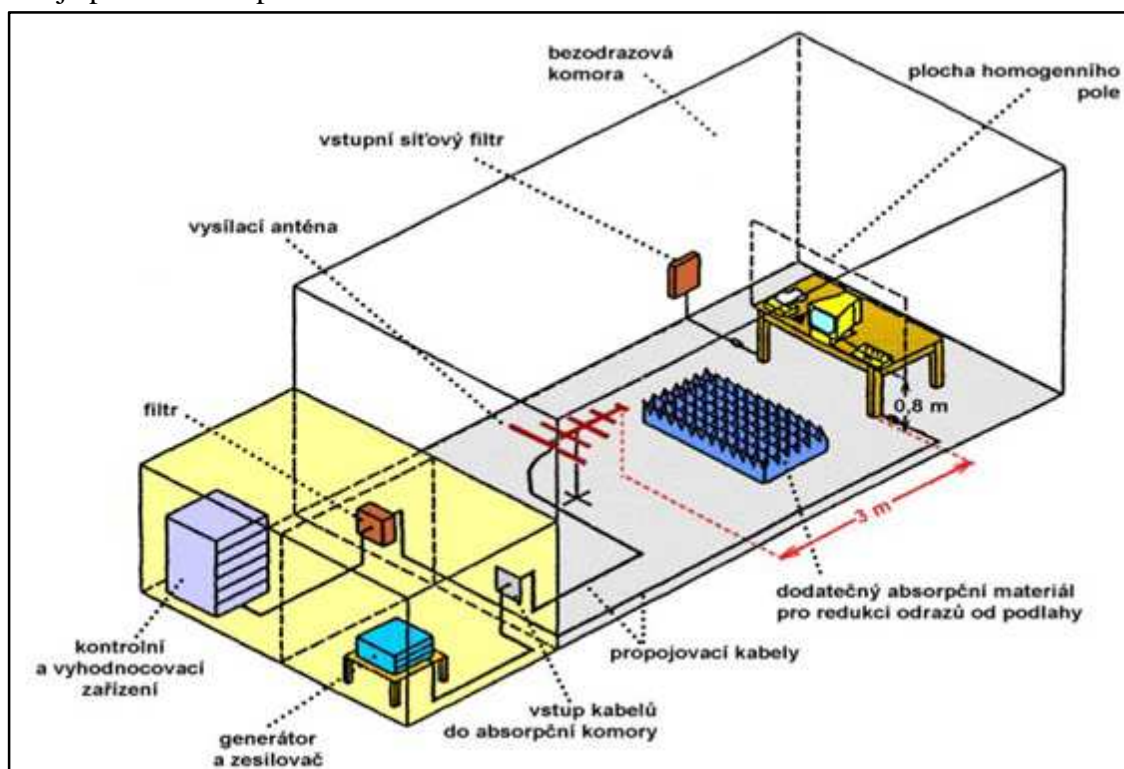
Plošné feritové absorbéry- jsou složeny z jednotlivých vrstev ztrátového materiálu a jsou plošně kladeny na sebe, čímž vznikne plochá vrstvená struktura výsledného absorbéru. Dielektrické parametry jednotlivých ztrátových vrstev $\text{tg } \varphi$ jsou voleny tak, aby bylo dosaženo přizpůsobení na “vstupu“ obložení. Dielektrické materiály musí mít nízké hodnoty relativní permitivity ϵ_r a činitel dielektrických ztrát $\text{tg } \delta$ musí být naopak velký.

Pyramidové absorbéry- v současnosti patří mezi nejrozšířenější způsob realizace širokopásmových absorpčních obkladů. Mají tvar jehlanů či kuželů a jsou zhotoveny z polystyrenu či polyuretanu s grafitovou impregnací. Díky jejich tvaru je dopadající vlna odražena do sousedního jehlanu a ještě několikrát tam a zpět. Tím dochází k značnému snížení celkové energie, která se vrací zpět do prostoru.

Hybridní absorbéry- Kombinací těchto absorbérů s plošnými feritovými vznikají hybridní absorbéry, které jsou vhodné pro menší komory.

3. Testovací systém pro generování elektromagnetického pole požadované intenzity

K testování odolnosti vůči vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli je zapotřebí složitý testovací systém. Zkoušené zařízení je ozařováno pomocí vhodných vyzářovacích antén příslušnými úrovněmi intenzit pole. Při těchto vysokých frekvencích (jednotky GHz) dosahuje intenzita až desítek V/m. K testování musí tedy docházet ve stíněných prostorech, kterými jsou polo-bezodrazové nebo bezodrazové komory. V komorách je odstraněn vliv vnějších polí na testované zařízení a je tak simulován nekonečně velký prostor, bez různých předmětů. Bezodrazová komora je níže na Obr 3.1 a musí být dostatečně velká, aby vyhověla testovanému zařízení a úrovni intenzity pole, která je při testování požadována.



Obr. 3.1 Zkušební pracoviště pro zkoušky odolnosti proti vyzářovanému vf poli (absorpční obložení stropu a stěn není naznačeno) [1]

Na obrázku 3.1 můžete vidět magneticky stíněnou absorpční komoru, kde je umístěno testované zařízení, dodatečný absorpční materiál na podlaze, kabely a vyzářovací anténa (logaritmicko-periodická). V levé části obrázku (žlutě zabarvené) je znázorněna chráněná ovládací místnost s měřicími přístroji. Tato místnost je složená ze stínících

panelů a mezi nimi je drátěné síťové těsnění, které ji chrání před radiofrekvenční interferencí. Dále jsou vybaveny dveřmi otevíranými ručně, nebo automaticky pomocí stlačeného vzduchu a elektroniky. Většinou nemají okna a jediný přívod vzduchu je přes elektrostatické filtry. Komunikace s bezodrazovou komorou je umožněna přes komunikační systémy, které jsou speciálně filtrovány a mají chráněný zvukový komunikační kanál. Ovládací místnost, která se nachází v areálu ZČU, je na Obr. 3.2.



Obr. 3.2 Chráněná ovládací místnost bezodrazové komory na ZČU

3.1 Základní přístrojové a technické vybavení zkušebního pracoviště

K získání požadovaného kmitočtového pásma je používán vysokofrekvenční generátor, který má možnost amplitudové modulace sinusovou vlnou 1 kHz a hloubkou 80 %. Generátor je vybaven jak ručním, tak i automatickým laděním celého pracovního kmitočtového pásma. Dále je zde možnost potlačení vyšších harmonických složek generovaného signálu pomocí připojení filtrů (dolní, pásmová propust). Aby bylo možné dosáhnout požadovaných výkonů zkušebního signálu, je třeba za výkonový generátor připojit ještě širokopásmový výkonový zesilovač.

Pro vytvoření zkušební elektromagnetické vlny jsou používány příslušné vysílací směrové antény, jako jsou např. trychtýřová, logaritmicko-periodická, anténa s dvojitým vlnovodem, BiLog atd. Každá se vyznačuje jinou schopností vyzářování vysokého výkonu potřebného v místě testovaného zařízení. Pro jedno měření, tedy volíme

postupně i několik antén s ohledem na požadovanou zkušební úroveň a výkonovou zatížitelnost antény.

Neméně důležitou součástí zkušební komory jsou elektrické filtry, které jsou zapojeny na všechny vstupy a výstupy kabelů a vedení do této komory. Tyto filtry zabraňují šíření rušivého signálu na zařízení, která nejsou předmětem testování.

Jako další jsou pomocná zařízení, která jsou umístěná mimo stíněnou absorpční komoru. Kontrolují a vyhodnocují funkce testovaného zařízení, popřípadě zajišťují další funkce během zkoušky. Komunikace mezi pomocným zařízením a zařízením uvnitř komory je zajištěno pomocí optočlenů a optických kabelů. Další pomocná zařízení slouží k měření úrovní výkonu, které jsou nezbytné pro vytvoření požadované intenzity pole. Blokové schéma testovací sestavy bude více popsáno v kapitole 5.3 (Obr. 5.7).

3.2 Měřicí přístroje a jejich parametry

3.2.1 Měřicí sonda pole

Protože je potřeba stále ověřovat velikost intenzity elektromagnetického pole na EUT, používá se měřicí sonda pole. Je to takové čidlo, které nám umožňuje rychlé a přesné měření. Sonda se musí před použitím nabít a poté je připojena pomocí optického rozhraní. K PC je připojena přes modem optického signálu nebo pomocí USB převodníku.



Obr. 3.3 Měřicí sonda pole ETS HI 6005

Její provozní teplota je 10 °C až 40 °C a vlhkost pracovního prostředí je povolena v rozmezí 5 % až 95 % relativní vlhkosti. Frekvenční rozsah je 100 kHz – 6 GHz. Dynamický rozsah je 0,5 V/m – 800 V/m (>64 dB) s rozlišením 0,01 V/m. Výstupní

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

jednotky jsou V/m , V^2/m^2 , mW/cm^3 a přesnost měření: $+0,5$ dB až -3 dB (od 10 kHz do 26 MHz), ± 1 dB (od 26 MHz do 2 GHz), ± 2 dB (od 2 GHz do 4 GHz) a ± 3 dB (od 4 GHz do 6 GHz).

3.2.2 Spínací relé

Spínací relé RSU (Relay Switching Unit) se používá pro přepínání jednoho vstupu na dva nebo tři výstupy. Ovládat relé je možno buď pomocí měřicího softwaru přes rozhraní RS-232, GIP nebo manuálně. Zařízení může být vybaveno maximálně čtyřmi relé s dvěma nebo třemi výstupy. Relé používané při našem měření je na obrázku 3.4. Zde můžete vidět znázorněné čtyři relé, z nichž jsou využity pouze první 3.



Obr. 3.4 Spínací relé RSU

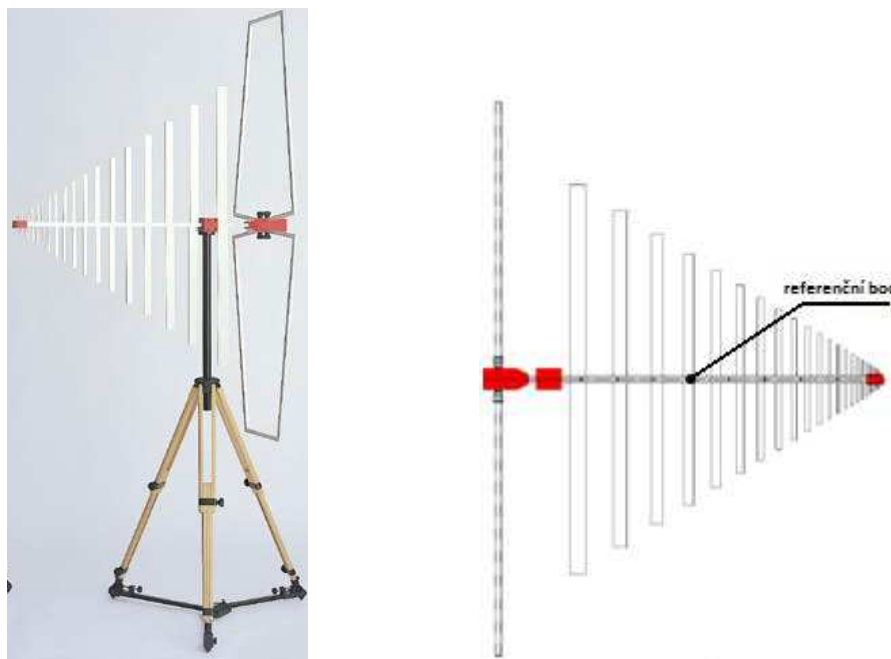
Využití relé 1- 3 je znázorněno v blokovém schématu (Obr. 5.7) z následující kapitoly 5.3. Typické použití relé je při přepínání mezi různými zesilovači, mezi anténami nebo měřiči výkonu.

3.2.3 Vyzařovací antény

Pro vytvoření zkušební elektromagnetické vlny lze použít všechny druhy antén, které jsou používány k měření rušivých polí s přihlédnutím k jejich výkonové zatížitelnosti (tj. schopnost vyžářit vysoký výkon k dosažení požadované úrovně pole v místě testovaného zařízení). Pro naše měření využijeme dva druhy antén. První je širokopásmová anténa nazývaná BiLog, která je složená z logaritmicko-periodické antény (200 – 3000 MHz) a bikónické antény (20 – 300 MHz). Druhá použitá anténa má podstatně užší vyzařovací diagram a jedná se o trychtýřovou anténu s dvojitým vlnovodem.

3.2.3.1 Složená širokopásmová anténa BiLog

Typickým představitelem je anténa BTA-M od firmy Frankonia (obr. 3.5), která je určena pro kmitočtové pásmo od 30 MHz do 2 GHz. Maximální vstupní výkon je 1 Kw a impedance antény je 50 Ω .



Obr. 3.5 Širokopásmová anténa BiLog (Frankonia BTA-M)

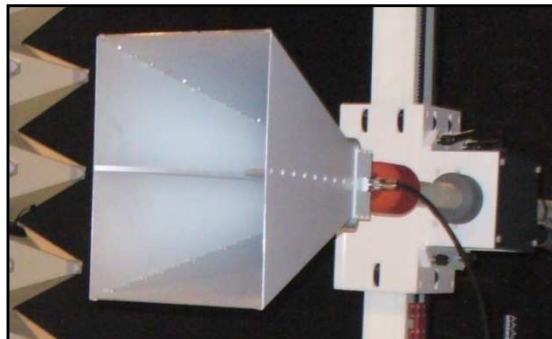
Výrobci antén pro měření rušivých signálů měli snahu vyrobit pro uživatele vysoce širokopásmovou anténu, která by byla schopna pokrýt celý nejčastěji využívaný rozsah měření EMI, a to pásmo od 30 MHz do 2 GHz. Tento kmitočtový rozsah je klasicky vykrýváno dvěma druhy antén- bikonickou a logaritmicko-periodickou. Z tohoto důvodu byly v 90. letech vytvořeny kombinací těchto dvou typů antén, nové druhy složených širokopásmových antén s pracovním názvem BiLog (BiConiLog). Vhodnou kombinací se podařilo dosáhnout poměrně malých rozměrů i při nízkých kmitočtech. Na nízkých kmitočtech mají dány vlastnosti podle bikonické části antény a na vysokých jsou jejich vlastnosti určeny částí logaritmicko-periodickou.

3.2.3.2 Trychtýřová anténa s dvojitým vlnovodem

Pro kmitočtová pásma od jednotek do desítek GHz se využívají měřicí antény trychtýřové. Ty jsou na rozdíl od předchozích antén BiLog relativně úzkopásmové, proto je třeba

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

k pokrytí celého měřeného pásma sada několika těchto trychtýřových antén pro jednotlivé dílčí kmitočtové rozsahy. Konstrukčními úpravami lze rozšířit šířku jejich pracovního pásma. Pro naše měření jsme použili anténu s dvojitým vlnovodem, která je na Obr. 3.6.

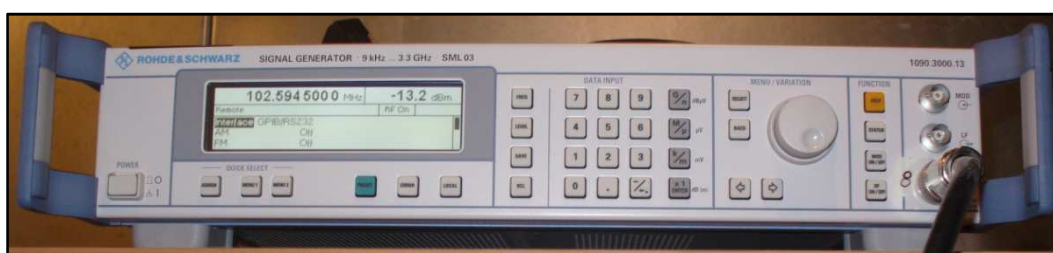


Obr. 3.6 Trychtýřová anténa s dvojitým vlnovodem

Frekvenční rozsah této antény se pohybuje od 0,5 GHz do 6 GHz. V našem měření byla použita na kmitočtech od 1 GHz do 3 GHz. Maximální vstupní výkon je limitován vstupním konektorem antény. Zisk antény je v rozmezí 6 – 18 dB.

3.2.4 Vysokofrekvenční generátor zkušebního signálu

K vytvoření zkušebního signálu jsme používali vysokofrekvenční generátor SML 03 od firmy ROHDE & SCHWARZ. Jeho kmitočtový rozsah je od 9 kHz do 3.3 GHz a je vybaven ručním i automatickým laděním. Dále umí provádět amplitudovou modulaci generovaného signálu sinusovou vlnou 1 kHz do hloubky 80 % (podle Obr. 2.3).



Obr. 3.7 Vysokofrekvenční generátor SML 03

3.2.5 Širokopásmový výkonový zesilovač

Z důvodů, že zkušební signál z vf generátoru nemá takové parametry, aby anténa byla schopna vybudit požadovanou intenzitu pole pro EUT, museli jsme použít Zesilovač výkonu. Pro naše měření od 80 MHz do 2 GHz jsme museli použít dva zesilovače.

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

Nejprve zesilovač FLH- 200B pro první měření od 80 MHz do 1 GHz. Jeho frekvenční pásmo je 20 MHz – 1 GHz, jeho maximální vstupní výkon je 200 W, zisk 54 dB, vstupní výkon (AC) 3000 W a vstupní/výstupní impedance je 50/50.

Jako druhý byl použit zesilovač FLG- 30C pro kmitočty navazující na první měření od 1 GHz do 2 GHz. Frekvenční rozsah druhého zesilovače je od 1 GHz do 3 GHz, maximální vstupní výkon je 30 W, zisk 45 dB, vstupní výkon (AC) je 350 W a vstupní/výstupní impedance také 50/50. Oba zesilovače jsou níže na Obr. 3.8.



Obr. 3.8 Širokopásmové zesilovače FLG- 30C a FLH- 200B

3.2.6 Měřič výkonu dodávaného do antény

Při měření byl použit měřič výkonu PMS 1084 od firmy Frankonia, který je ve standardní verzi dvou-kanálový a v případě potřeby je možné ho kdykoliv rozšířit na čtyř-kanálový. Slouží k průběžnému měření výkonových parametrů signálu, který odchází k anténě.



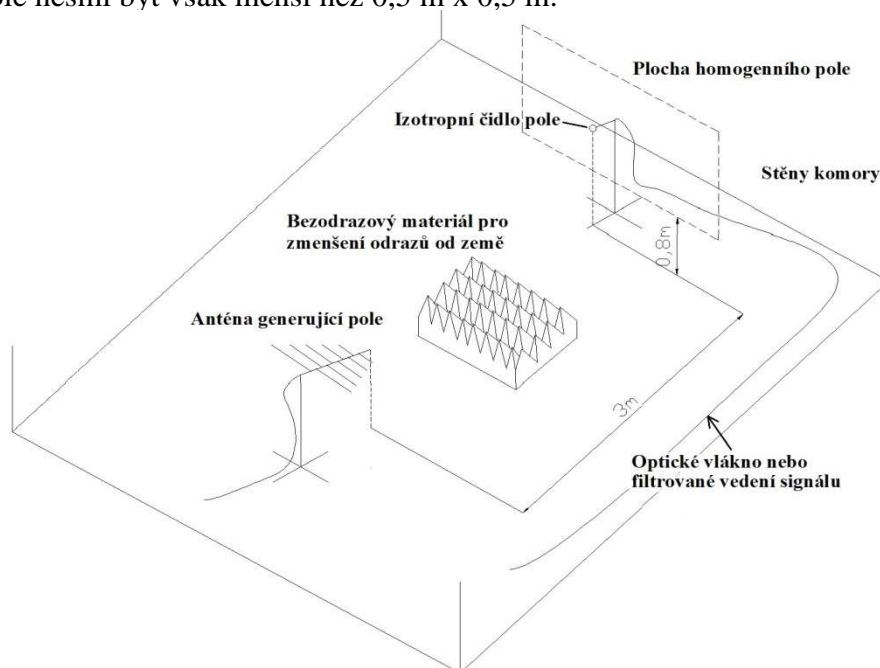
Obr. 3.9 Měřič výkonu PMS 1084

Frekvenční rozsah měřiče je od 100 kHz do 6 GHz a měřicí rozsah – 60 dBm do ± 20 dBm ($10 \text{ kHz} \leq f \leq 4 \text{ GHz}$) s přesností ± 1 dB a rozlišením 0,1 dB. Maximální vstupní úroveň je 27 dBm (= 50 mW), RF- impedance 50 Ω a naměřené hodnoty jsou zobrazovány pomocí měřicího softwaru přes rozhraní RS- 232 nebo USB.

4. Metodika kalibrace pole generovaného v bezodrazové komoře

Kalibrace pole generovaného v bezodrazové komoře, je velice důležité měření, které se provádí za účelem zajištění dostatečné homogenity pole přes celý zkušební vzorek. Díky tomu, je pak možné zajistit platnost výsledků následně prováděných zkoušek. Je tedy nutné, nejdříve provádět kalibraci pole ve zkušebně, před samotným testováním zařízení. Při testování zařízení v celém jeho používaném kmitočtovém rozsahu musí být intenzita zkušebního elektromagnetického pole homogenní přes celé testované zařízení. Velikost této zkušební intenzity nám udává norma ČSN EN 61000-4-3 ed. 3, jak bylo uvedeno v kapitole 2.1 a její velikost je 1, 3, 10, 30 V/m.

Kalibrace pole využívá podle normy koncepci plochy homogenního pole (UFA), která je níže na Obr. 4.1. Tato plocha je hypotetickou vertikální rovinou pole a jsou zde povoleny přijatelně malé odchylky. Plocha homogenního pole o celkových rozměrech 1,5 m x 1,5 m je rozdělena do devíti oken o rozměrech 0,5 m x 0,5 m a je umístěna ve výšce 0,8 m nad podlahou viz Obr. 4.2. Rozměry UFA mohou být i menší, pokud se předpokládá, že zkoušené zařízení bude mít menší rozměry. Plocha pole nesmí být však menší než 0,5 m x 0,5 m.



Obr. 4.1 Kalibrace pole- koncepce plochy homogenního pole

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

Kalibrace pole se provádí bez umístěného zkoušeného zařízení v bezodrazové komoře (viz Obr. 4.1). Plocha homogenního pole je umístěna na doporučení podle normy ve vzdálenosti 3 m od vyzařovací antény, aby spadala do vysílaného pole. Nejmenší vzdálenost pro čidlo pole je 1 m od antény. Vzdálenost je myšlena od středu bikonické antény nebo od předního konce logaritmicko-periodické (kombinované) a od přední hrany trychtýřové antény nebo antény s dvojitým vlnovodem. Pokud je potřeba ozářit větší plochu než 1,5 m x 1,5 m, může se měření provést posouváním vyzařovací antény do různých poloh, které poté obsáhnou celou ozařovanou plochu. Další možností je přemísťovat testované zařízení tak, aby postupně došlo k celkovému ozáření. Při tomto postupu se musí pečlivě zaznamenat všechny pozice testovaného zařízení i ozařovacích antén, pro případné pozdější opakování kalibrace.

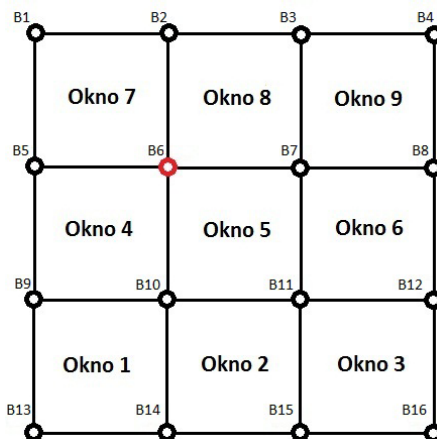
Při kalibraci pole se určí vztah mezi intenzitou pole uvnitř plochy homogenního pole a propustným výkonem aplikovaným do antény. Požadovaný výkon získáme v průběhu zkoušky z předchozího vztahu a z naplánované intenzity pole. Kalibrační sestava je složena z antény, přídavných absorbérů, kabelů, atd. a jejich poloha musí být při zkoušení stejná, aby byla předchozí kalibrace platná. Celý postup kalibrace by se podle norem měl provádět každoročně nebo pokaždé, když je provedena nějaká změna konfigurace krytu. Mezi tyto změny patří přemístění absorbéru, posunutí UFA, změna zařízení a podobně.

Vytvoření homogenního pole v blízkosti referenční zemní roviny je velice obtížné, musí být brány ohledy na odrazy od podlahy u polobezodrazové komory. Tento problém může být řešen přidáním dodatečných absorbérů. Z těchto důvodů je kalibrovaná plocha umístěna ve výšce 0,8 m nad zemí. Při následných zkouškách je tato výška preferována (dá se předpokládat, že to je jako výška stolu). Z přísnosti zkoušky pro testované zařízení a pro kabeláž umístěných v blízkosti zemní roviny, se musí zaznamenat velikost pole i ve výšce 0,4 m nad zemí. Tato data se pouze zaznamenají, ale při vyhodnocování homogenity pole a vhodnosti komory.

Jak již bylo zmíněno, plocha homogenního pole je rozdělena do 9-ti oken, kde je celkem 16 měřicích bodů. Toto rozdělení můžete vidět na další stránce na obrázku 4.2. Všechny tyto body jsou postupně ozařovány ze zvolené vzdálenosti 3 m (1 m) a je na nich měřena intenzita pole pomocí měřicí sondy pole. Pole se považuje

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

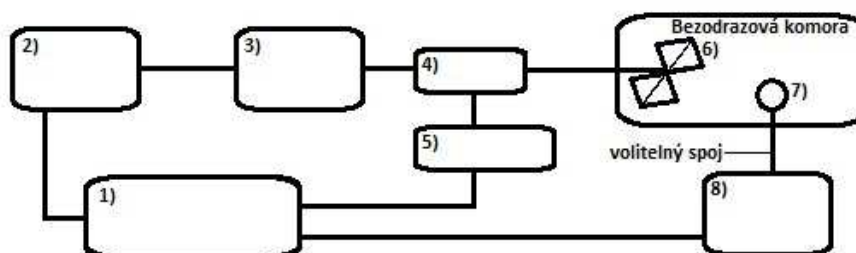
za homogenní, pokud jeho měřená velikost je v toleranci -0 až $+6$ dB alespoň pro 75 % bodů ze všech 16-ti (tzn. alespoň 12 bodů z 16-ti). Pokud se přistoupí k metodě nezávislých oken, kde má UFA minimální velikost 0,5 m x 0,5 m (čtyři měřicí body), musí být velikost pole ve všech bodech okna v toleranci.



Obr. 4.2 Kalibrace pole, rozměry plochy homogenního pole

4.1 Kalibrační metody

Při kalibraci pole se používá zkušební sestava, která je znázorněna na obrázku 4.3. Po výběru kalibrační metody se provádí kalibrace vždy s nemodulovanou nosnou, jak při horizontální polarizaci, tak i při vertikální. Zesilovače během zkoušky musí zvládnout modulaci a nenasytit se. Toho se dá dosáhnout například prováděním kalibrace s intenzitou pole (kalibrační intenzita E_c) alespoň 1,8 x větší než je intenzita aplikovaná na testované zařízení. E_c je hodnota, která je používána pouze při kalibraci, zatímco zkušební intenzita E_t nesmí překročit hodnotu $E_c/1,8$.



Obr. 4.3 Měřicí sestava

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| 1) Ovladač (např. PC) | 5) Měřicí přístroj |
| 2) Signální generátor | 6) Vysílací anténa |
| 3) Výkonový zesilovač | 7) Měřič pole |
| 4) Směrový vazební člen | 8) Čidlo pole |

* možná náhrada detektorem propustného výkonu vloženým mezi zesilovač ³⁾ a anténu ⁶⁾

4.1.1 Kalibrační metoda konstantní intenzity pole

Tato metoda je založena na vytvoření konstantní intenzity homogenního pole, která musí být vytvořena na všech kmitočtech v celém měřeném kmitočtovém rozsahu. Měří se pomocí kalibrovaného čidla, kterým je sonda pole. Tato sonda se postupně umísťuje do všech 16-ti měřicích bodů ve stativu, který představuje plochu homogenního pole. Vyzařovací anténa je umístěna 3 metry od homogenní plochy pole, postupně se proměřuje všech 16 bodů s nastaveným krokem kmitočtu 1 % a s příslušným nastavením propustného výkonu. Propustný výkon je potřebný pro vytvoření zvolené intenzity pole a měří se podle obrázku 4.3, který je na předchozí stránce.

Postup kalibrace je stejný jak pro vertikální polohu, tak i pro horizontální. Nejprve se umístí měřicí sonda pole do měřicího bodu 4, který je na obrázku 4.2 označen červeně a je jako referenční bod. Kmitočet výstupního signálu generátoru se nastaví na nejnižší hodnotu rozsahu zkoušky, v našem případě je to 80 Hz. Propustný výkon do antény, software nastaví tak, aby získaná intenzita pole byla rovna kalibrační intenzitě E_c v místě měřicího čidla, která musí být minimálně 1,8 násobek testovací intenzity E_t . Pro nastavený kmitočet se zaznamenají hodnoty propustných výkonů. Nastaví se další kmitočty, které se vždy zvyšují o 1 % z předchozího kmitočtu, takto se postupuje až do nejvyššího měřeného kmitočtu (např. 1 GHz).

Celý postup se postupně opakuje pro zbylých 15 bodů. Po změření všech 16-ti bodů se vzestupně seřadí hodnoty propustných výkonů. Od nejvyšší hodnoty se zkontroluje, zda alespoň 11 hodnot pod tou nejvyšší je v toleranci -6 až $+0$ dB této hodnoty. Pokud hodnoty nejsou v toleranci od -6 dB do $+0$ dB postupuje se nadále stejným způsobem, kdy jako vztažnou hodnotu bereme druhou nejvyšší a tak dále. Postup se zastaví, je-li alespoň 12 hodnot v toleranci a zaznamená se maximální hodnota propustného výkonu, který leží vně. Tento propustný výkon se označí P_c . Jako poslední krok se potvrdí, zda zkušební systém (např. výkonový zesilovač) není nasycen.

4.1.1.1 Příklad kalibračního postupu při konstantní intenzitě pole

V následující tabulce 4.1 jsou uvedeny hodnoty propustných výkonů, které jsou třeba pro vytvoření konstantní intenzity pole (například $E_c = 10 \text{ V/m}$), a to na jednom konkrétním kmitočtu s použitím měřicí sestavy podle obrázku 4.3. Postup vyhodnocení výsledků měření je vysvětlen v následujícím textu.

Tab. 4.1 Hodnoty propustného výkonu pro konkrétní kmitočet, při použití metody konstantní intenzity pole (vpravo řazeny vzestupně dle propustného výkonu)

Měřený bod	Propustný výkon dBm	Měřený bod	Propustný výkon dBm	$E_c \text{ V/m}$ (vztaženo k výkonu v bodě 4)
1	28	2	21	35,5
2	21	7	24	25,1
3	35	9	26	20
4	32	8	27	17,8
5	31	15	27	17,8
6	28	1	28	15,8
7	24	6	28	15,8
8	27	14	28	15,8
9	26	10	29	14,1
10	29	11	29	14,1
11	29	16	29	14,1
12	30	12	30	12,6
13	39	5	31	11,2
14	28	4	32	10
15	27	3	35	7,1
16	29	13	39	4,5

V tabulce jsou dále přepočtené hodnoty intenzity E_c , které jsou vztaženy k hodnotě propustného výkonu v bodě 4 (postačujícího pro vytvoření intenzity 10 V/m). Vztah pro přepočet intenzity (4.1) je na následující stránce.

Postup vyhodnocení výsledků:

Vezmeme největší propustný výkon potřebný pro vytvoření požadované intenzity. Tato hodnota je horní hranice rozsahu a po odečtení 6 dB dostaneme spodní hranici rozsahu. Uvnitř tohoto rozsahu musí ležet alespoň 12 bodů z 16-ti. Pokud tomu tak není, vezmeme druhou nejvyšší hodnotu, od které odečteme 6 dB a vytvoříme nový rozsah. Takto pokračujeme, dokud není kritérium splněno pro oněch 12 bodů z 16-ti.

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

Bod 13: $39 - 6 = 33$ dBm

- v tomto rozsahu leží pouze 2 body z 16-ti měřených bodů (13 a 3), a to pro splnění kritéria nestačí. Proto přistoupíme k druhé nejvyšší hodnotě, kterou je bod 3.

Bod 3: $35 - 6 = 29$ dBm

- v tomto rozsahu leží již 7 bodů z 16-ti (3 – 5, 10 – 12 a 16), ale pro splnění kritéria to je stále nedostačující. Musíme tedy přistoupit k třetí nejvyšší hodnotě a tou je bod 4.

Bod 4: $32 - 6 = 26$ dBm

- v tomto rozsahu leží 12 bodů z 16-ti (1, 4 – 6, 8 – 12, 14 – 16) a kritérium je splněno. Z toho plyne, že pro zajištění takové hodnoty intenzity pole v bodě 4, která byla požadovaná při referenčním měření, je třeba dodávat propustný výkon 32 dBm. V našem měření byla zvolena hodnota intenzity 10 V/m. Pro dosažení intenzity 10 V/m v bodě 9 je potřeba menší výkon, než v bodě 4, a to 24 dBm. Menší výkon postačoval i u ostatních bodů, které byly v měřeném rozsahu. Proto, když bude po celou dobu měření dodáván konstantní výkon 32 dBm, bude intenzita pole větší. Tato intenzita E_c se vypočte podle vztahu 4.3.

$$P_{Dmax} - P_{Dmin} = 20 \cdot \log\left(\frac{E_c}{E_{c_ref}}\right); \text{ (dBm)} \quad (4.1)$$

$$\Delta P_D = 20 \cdot (\log E_c - \log E_{c_ref}); \text{ (dBm)} \quad (4.2)$$

$$E_c = 10^{\left(\frac{\Delta P_D}{20} + \log(E_{c_ref})\right)}; \text{ (V/m)} \quad (4.3)$$

Kde:

ΔP_D rozdíl maximálního a minimálního dodávaného výkonu v rozsahu bodů, které jsou v toleranci 0 až – 6 dB.

E_c intenzita pole v daném měřicím bodě

E_{c_ref} hodnota požadované intenzity ve všech měřicích bodech při referenčním měření (pro naše měření 10 V/m)

4.1.2 Kalibrační metoda konstantního výkonu

Stejně jako u předchozí metody musí být vytvořena intenzita homogenního pole, na všech kmitočtech v celém měřeném kmitočtovém rozsahu. Měří se pomocí kalibrovaného čidla, kterým je sonda pole a postupně umísťuje do všech 16-ti měřicích bodů ve stativu. Vyzařovací anténa je umístěna do vzdálenosti 3 m od homogenní plochy pole a postupně se proměřuje všech 16 bodů s nastaveným krokem kmitočtu 1 % a s příslušným nastavením propustného výkonu. Podle obrázku 4.1 se změří propustný výkon nutný pro vytvoření počáteční intenzity pole. Stejný propustný výkon se pak aplikuje pro všech 16 měřicích bodů.

Postup kalibrace se jako u předchozí metody provádí jak pro vertikální polohu, tak i pro polohu horizontální. Začne se tím, že se umístí měřicí sonda pole do referenčního měřicího bodu 4 podle obrázku 4.2. Kmitočet výstupního signálu generátoru je nastaven na nejnižší hodnotu rozsahu zkoušky. Propustný výkon do antény generující pole se aplikuje takový, aby získaná intenzita pole byla rovna kalibrační intenzitě E_c v místě měřicího čidla. Pro nastavený kmitočet se zaznamenají hodnoty propustných výkonů a intenzit pole. Poté se nastaví další kmitočty, které se vždy zvyšují o 1 % z předchozího kmitočtu, takto se postupuje až do nejvyššího měřeného kmitočtu (např. 1 GHz).

Celý postup se postupně opakuje pro zbylých 15 bodů. Po změření všech 16-ti bodů se vzestupně seřadí všech 16 odečtů intenzity pole. Jedna intenzita pole se určí jako referenční a podle ní se vypočte odchylka v decibelech u všech ostatních poloh. Od nejnižší hodnoty se zkontroluje, zda alespoň 11 hodnot nad touto hodnotou je v toleranci -6 až $+0$ dB této nejnižší hodnoty. Pokud hodnoty nejsou v toleranci od -6 dB do $+0$ dB postupuje se nadále stejným způsobem počínaje odečtením bezprostředně nad a tak dále. Postup se zastaví, je-li alespoň 12 hodnot v toleranci a z těchto odečtů se odebere poloha, kde minimální intenzita pole byla získána jako reference. Z toho se vypočte propustný výkon nutný pro vytvoření požadované intenzity pole v referenční poloze. Tento propustný výkon se označí P_c . Jako poslední krok se potvrdí, zda zkušební systém (např. výkonový zesilovač) není nasycen.

4.1.1.1 Příklad kalibračního postupu při konstantním výkonu

V následující tabulce 4.2 jsou uvedeny konkrétní naměřené hodnoty intenzit pole z našeho měření, při dodávání konstantního propustného výkonu do antény (88,9 dB μ V) pro všech 16 bodů, a to při jednom kmitočtu. Postup vyhodnocení výsledků měření je vysvětlen níže.

Tab. 4.2 Hodnoty intenzity pole a propustného výkonu pro konkrétní kmitočty, při použití metody konstantního výkonu (řazeny vzestupně dle intenzity pole)

měřicí bod	f (MHz)	úroveň (dB μ V)	P _{vyslaný} (W)	P _{zpětný} (W)	E _c (V/m)	E _c (dB)
13	812,78	88,9	7,6	0,2	5,11	-5,87
15	812,78	88,9	7,6	0,2	5,83	-4,73
14	812,78	88,9	7,6	0,2	6,50	-3,79
16	812,78	88,9	7,6	0,2	6,65	-3,59
1	812,78	88,9	7,6	0,2	8,16	-1,81
5	812,78	88,9	7,6	0,2	8,99	-0,97
4	812,78	88,9	7,6	0,2	9,35	-0,63
8	812,78	88,9	7,6	0,2	9,43	-0,55
9	812,78	88,9	7,6	0,2	9,70	-0,31
11	812,78	88,9	7,6	0,2	9,77	-0,25
2	812,78	88,9	7,6	0,2	9,90	-0,13
6 ref	812,78	88,9	7,6	0,2	10,05	0
7	812,78	88,9	7,6	0,2	10,20	0,13
3	812,78	88,9	7,6	0,2	10,25	0,17
12	812,78	88,9	7,6	0,2	10,36	0,26
10	812,78	88,9	7,6	0,2	11,34	1,05

V tabulce jsou jednak naměřené hodnoty E_c ve V/m, tak i přepočtené v dB podle vztahu:

$$E_c = 20 \cdot \log\left(\frac{E_{cx}}{E_{c_ref}}\right); \text{ (dB)} \quad (4.4)$$

Kde:

E_{cx} intenzita pole naměřená v bodě x

E_{c_ref} Intenzita pole naměřená v referenčním bod

Postup vyhodnocení výsledků:

Vezmeme nejnížší převedenou intenzitu pole E_c v decibelech, která nám udává spodní hranici rozsahu, a po přičtení 6 dB dostaneme horní hranici rozsahu. V něm musí ležet alespoň 12 bodů z 16-ti změřených. Pokud toto kritérium splňuje méně bodů, vezme se druhá nejnížší hodnota, odečte se znova 6 dB a vytvoří se tak nový rozsah. Tímto způsobem se pokračuje, dokud nevyhovuje alespoň oněch 12 bodů z 16-ti.

Bod 13: $-5,87 + 6 = 0,13$ dBm

- v tomto rozsahu leží 13 bodů z 16-ti měřených, a to nám pro splnění podmínky stačí. Pro zajištění minimální intenzity $E_c = 10$ V/m je tedy třeba dodávat výkon, který se vypočte dle vztahu $\left(88,9 + 20 \cdot \log \frac{10,2}{5,11}\right)$, kde 10,2 V/m je maximální hodnota intenzity pole z vypočteného povoleného rozsahu a 5,11 V/m minimální hodnota intenzity pole z povoleného rozsahu.

4.1.3 Metoda alternativního ozáření („metoda nezávislých oken“)

Tato metoda se používá převážně při zkouškách na kmitočtech nad 1 GHz. Přistupuje se k ní v případě, že předchozí dvě metody nemají vyhovující výsledky. Při této metodě je homogenní plocha rozdělena do matice oken o rozměrech 0,5 m x 0,5 m, jak je vidět v této kapitole na obrázku 4.2. Anténa je umístěna do vzdálenosti 1 m od této homogenní plochy a homogenita pole se musí postupně ověřit v každém okně. Výsledky měření musí být vyhovující pro každé jednotlivé okno, a to nezávisle na sobě.

Anténa generující pole se umístí ve vzdálenosti 1 m proti středu měřeného okna, kde se do jednoho ze čtyř rohů připevní čidlo pole. Do antény se aplikuje takový výkon, aby získaná intenzita pole byla v rozsahu od 3 V/m do 10 V/m. Zvolí se kmitočtový rozsah, nastaví se počáteční kmitočet a dále se zvyšuje vždy o 1 % z předchozího kmitočtu. Pro každý kmitočet se zaznamenají hodnoty intenzity pole a výkonu. Stejným způsobem se změří intenzita pole ve zbývajících třech rozích, a to se stejným výkonem, jaký byl u prvního měřeného rohu. U této metody je rozdíl v tom, že intenzita pole ve všech čtyřech rozích měřeného okna musí ležet v rozsahu -6 až $+0$ dB. Jako referenční se označí místo s nejnižší intenzitou pole, a tím se zajistí splnění podmínky -6 až $+0$ dB.

Celý tento postup se opakuje pro všech 9 oken, a to jak pro horizontální, tak i pro vertikální polohu generující antény. Při měření dalšího okna, se anténa posune znovu naproti jeho středu a její poloha se zaznamená. Při měření se musí zaznamenat co nejpřesněji poloha stativu, antény i kabelů.

5. Provedení kalibrace pole pro zajištění uniformity elektromagnetického pole v bezodrazové komoře

Pokud chceme provést kalibraci pole, a tím zajistit homogenitu pole pro celé zkoušené zařízení, je třeba rozmístit potřebné vybavení v bezodrazové komoře. Umístili jsme stativ, odpovídající rozměrům požadované plochy homogenního pole (UFA), které jsou dány normou IEC 61000-4-3. Stativ je konstruován tak, aby se do něj dala umisťovat měřicí sonda, dle požadavků, do 16-ti různých poloh. Poté jsme umístili vyzařovací anténu do speciálního stojanu, který je možno posouvat nahoru a dolů pomocí počítačového programu. Antény jsme použili dvě, každou pro jiný kmitočtový rozsah. Další důležitá věc je zamezení odrazů od podlahy komory. To jsme zajistili rozmístěním dodatečných absorbérů na podlahu mezi anténu a stativ. Při našem kalibrování je stojan postaven na točném, na které je při zkouškách postaven stůl s testovaným zařízením. Tato točna nesmí být obsazena dodatečnými absorbéry, které by bránily v jejím pohybu.

Dalším potřebným zařízením pro měření je signálový generátor, měřiče výkonu a zesilovače pro generování požadovaného pole a počítač s příslušným softwarovým vybavením. Měření jsme prováděli v kmitočtovém rozsahu od 80 MHz do 3 GHz. Pro kmitočty od 80 MHz do 1 GHz jsme použili logaritmicko-periodickou anténu, která byla umístěna ve vzdálenosti 3 m. Pro kmitočty od 1 GHz do 3 GHz jsme použili anténu s dvojitým vlnovodem, kde vzdálenost musela být snížena na 1 m a použita metoda nezávislých oken. Měření u obou antén jsme provedli pro horizontální i vertikální polarizaci.

V kapitole 4.1 byly zmíněny dvě kalibrační metody, které se mohou použít pro měření homogenity pole. Buď měření kalibrační metodou s konstantní intenzitou pole, nebo použití kalibrační metody s konstantním vyzařovaným výkonem. Po vyzkoušení obou metod, které nám nabízí měřicí software, jsme z důvodu časové náročnosti zvolili metodu konstantního vyzařovaného výkonu.

5.1 Metoda kalibrace pole konstantním výkonem při kmitočtu od 80 MHz do 1 GHz

Pro tento kmitočtový rozsah jsme použili logaritmickeo-periodickou anténu, kterou jsme upevnili do stojanu. Nejdříve v poloze vertikální a pak i v poloze horizontální. Stativ, který představuje ozařovanou plochu 1,5 m x 1,5 m jsme umístili na točnu 3 m od středu antény, jak udává norma. Na podlahu mezi anténu a stativ jsme rozmístili dodatečné absorbéry, tak aby nezasahovaly do prostoru točny. Na stativu jsme zvolili jeden z 16-ti bodů jako referenční a do něj jsme umístili měřicí sondu. V měřicím softwaru RF- LAB, jsme jako referenční zvolili bod 6, který se shoduje s umístěním sondy ve stativu. Dále jsme nastavili kmitočtové pásmo (80 MHz-1 GHz), v kterém se bude kalibrace provádět a zároveň i krok (1 %), podle kterého se bude postupně frekvence zvyšovat. Dále bylo třeba nastavit intenzitu pole včetně její tolerance. Měřicí sonda nám oproti minulému měření dovolila nastavit intenzitu 10 V/m a toleranci jsme zvolili 1 V/m. Pomocí programu pro posuv antény ve vertikální poloze jsme nastavili polohu tak, aby anténa byla ve výšce, kde je měřicí sonda. Pro posuv v horizontální rovině je stojan opatřen kolečky. V měřicím softwaru bylo ještě potřeba vybrat polarizaci antény, podle toho jak je právě upevněna a mohli jsme spustit měření.

Software postupně proměřil celý požadovaný rozsah kmitočtu s nastaveným krokem 1 %. Na každém kmitočtu byla zaznamenána hodnota dodávaného výkonu, který je potřeba pro vytvoření námi požadované intenzity pole 10 V/m v referenčním bodě. Poté jsme postupně přemísťovali měřicí sondu do zbývajících 15-ti bodů. V každém bodu bylo uskutečněno kalibrační měření. Při těchto měřeních software využívá, pro konkrétní frekvence stejné dodávané výkony, které byly naměřeny při referenčním měření. Měření referenčního bodu trvá mnohem déle, než měření ostatních bodů. Všechny naměřené hodnoty jsou automaticky zaznamenávány formou textového dokumentu. Ten je vygenerován, stejně jako grafické výsledky měření, po změření všech 16-ti bodů. Software na konci vyhodnotí, zda alespoň 12 bodů z 16-ti je v toleranci 0 dB až 6 dB, což je 75%. Oba grafy, které jsou na obrázcích 5.1 a 5.2, lze uložit ve formátu *.jpg a dále použít do protokolu o provedené kalibraci.

5.1.1 Ukázka naměřených dat

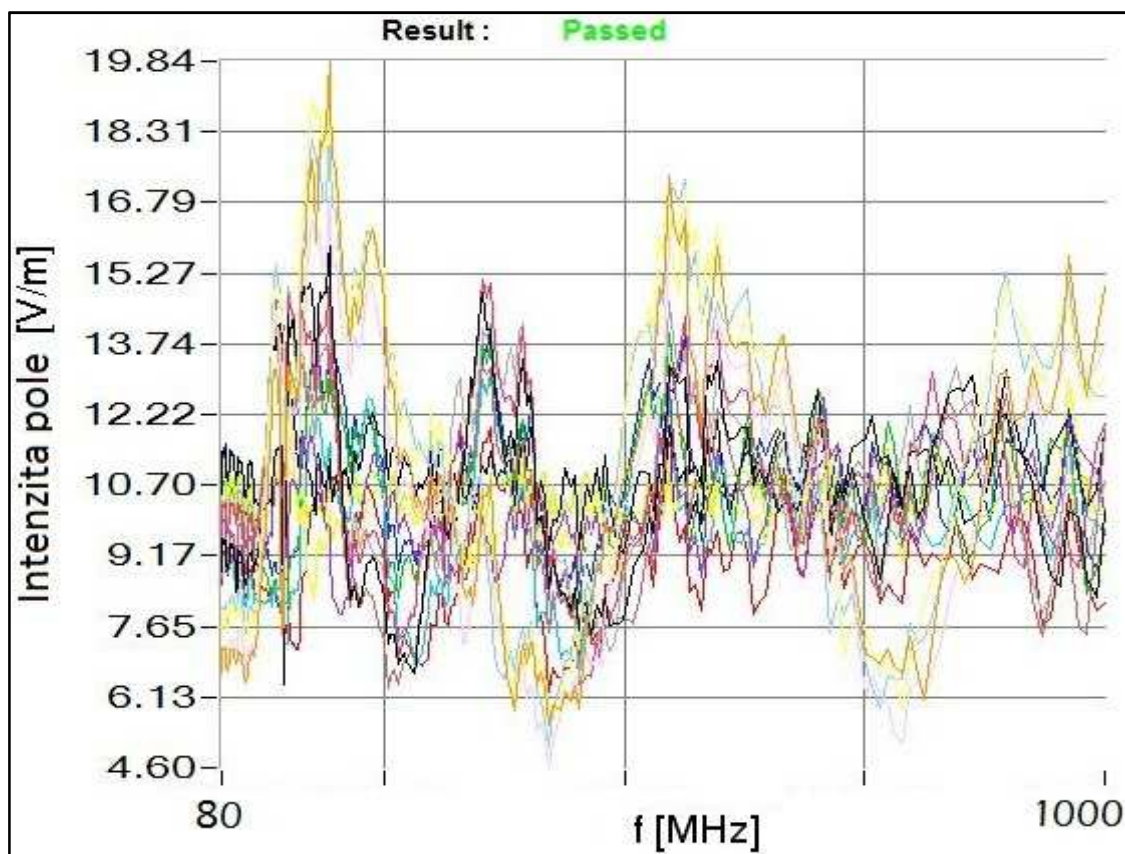
V následující tabulce 5.1 jsou na ukázkou vybrány hodnoty z datového souboru, který nám vytvořil měřicí software. Hodnoty jsou pouze pro jeden kmitočet ze všech proměřených, kterých je celkem 255. Pro každý kmitočet je v tabulce uvedena hodnota vysílaného a zpětného výkonu (W), dodávaného výkonu (dBuV) a intenzita pole. Hodnoty všech třech výkonů jsou pro každý měřicí bod stejné, akorát hodnota intenzity je u každého z 16-ti bodů jiná.

Tab. 5.1 Naměřené hodnoty u metody kalibrace pole konstantním výkonem v rozsahu 80 MHz až 1 GHz

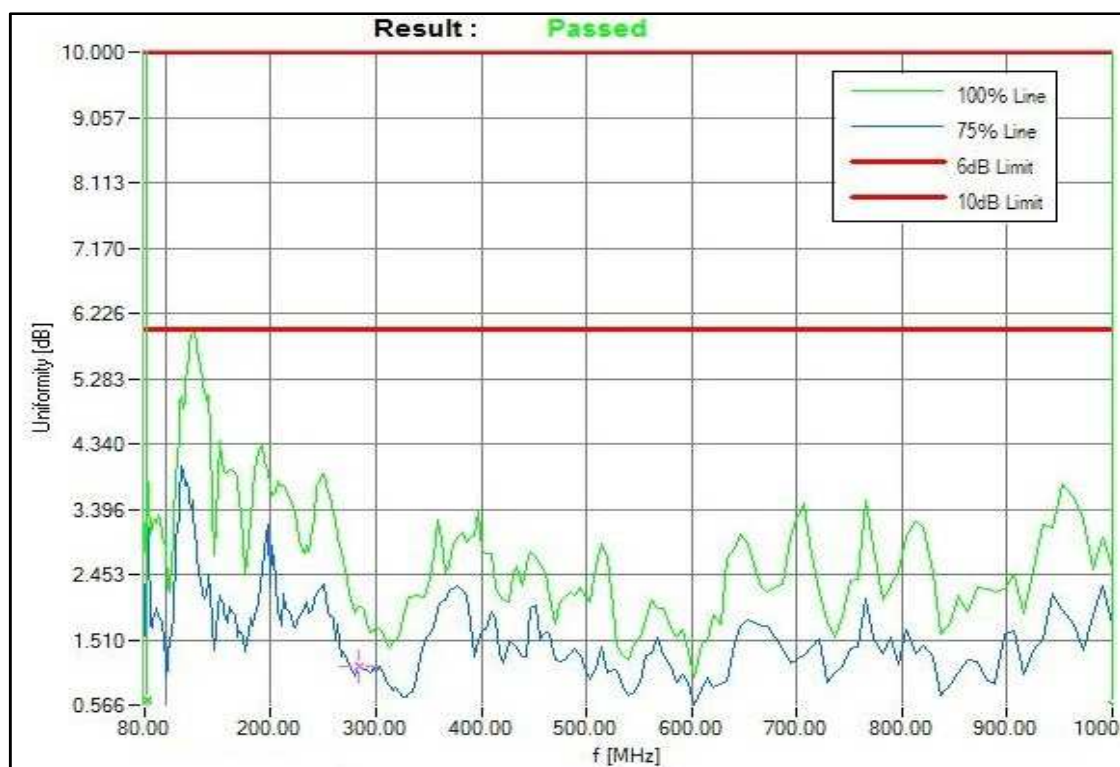
Měřicí bod	f (MHz)	úroveň (dBuV)	$P_{\text{vysílaný}}$ (W)	$P_{\text{zpětný}}$ (W)	E_c (V/m)
6 ref	524,6	88,7	10,1	0,1	10,89
1	524,6	88,7	10,1	0,1	9,15
2	524,6	88,7	10,1	0,1	13,41
3	524,6	88,7	10,1	0,1	12,92
4	524,6	88,7	10,1	0,1	10,79
5	524,6	88,7	10,1	0,1	10,21
7	524,6	88,7	10,1	0,1	10,94
8	524,6	88,7	10,1	0,1	10,25
9	524,6	88,7	10,1	0,1	9,47
10	524,6	88,7	10,1	0,1	10,61
11	524,6	88,7	10,1	0,1	10,61
12	524,6	88,7	10,1	0,1	9,98
13	524,6	88,7	10,1	0,1	12,34
14	524,6	88,7	10,1	0,1	14,17
15	524,6	88,7	10,1	0,1	14,52
16	524,6	88,7	10,1	0,1	12,97

5.1.2 Grafické znázornění výsledků

Pro každý měřený bod nám software vygeneruje graf, na kterém je závislost intenzity pole na frekvenci (viz příloha). Těchto grafů je celkem 16 a po odměření posledního bodu software zakreslí všechny průběhy do jednoho výsledného grafu, který je na Obr 5.1. Zde můžete vidět průběhy všech 16-ti změřených bodů, a zda byl test vyhovující. Na dalším obrázku 5.2 je graf závislosti uniformity (výchylky intenzity) na frekvenci. Jsou zde dvě limitující hodnoty, které nesmí být podle normy překročeny. Jedna je 6 dB, pod níž musí být 75 % měřených bodů a druhá hodnota je 10 dB.



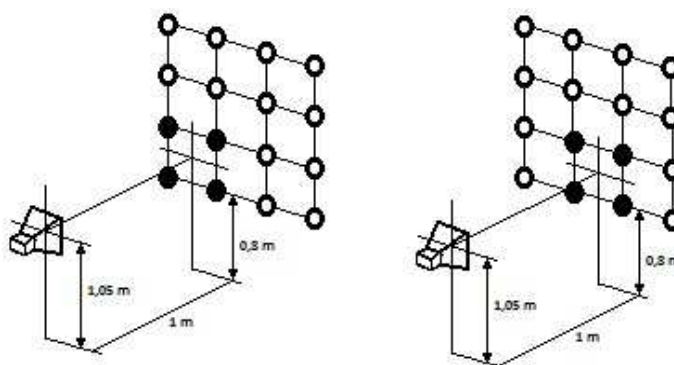
Obr. 5.1 Výsledný graf- zakreslení všech 16-ti změřených průběhů do jednoho grafu



Obr. 5.2 Výsledný graf vyhodnocení homogenity pole

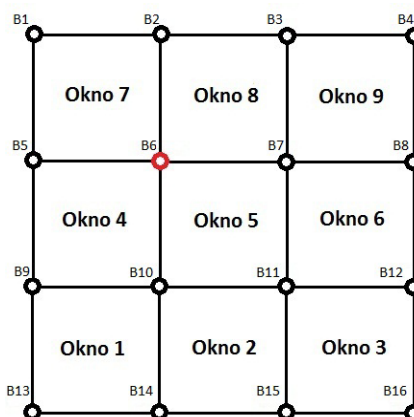
5.2 Kalibrace pole konstantním výkonem při kmitočtu od 1 GHz do 2 GHz

Pro tento rozsah kmitočtu jsme vyměnili logaritmicko-periodickou anténu za anténu s dvojitým vlnovodem, která je pro vysoké frekvence vhodnější. Měření jsme prováděli stejně jako u předchozí antény, jak je popsáno v kapitole 5.1. Podle softwaru sice vyšlo u obou poloh antény, že elektrické pole je homogenní, ale s trochu větší odchylkou, než udává norma. Proto jsme přistoupili k metodě postupného ozařování oken, která je níže na Obr. 5.3.



Obr. 5.3 Metoda alternativního ozařování oken nad 1 GHz

K metodě postupného ozařování oken se přistupuje, pokud anténa s dvojitým vlnovodem není schopna dostatečným výkonem ozářit celou plochu stativu 1,5 m x 1,5 m. Při této metodě jsme rozdělili kalibrační plochu na 9 oken 0,5 m x 0,5 m tak, aby celá plocha stativu byla pokryta. Pro každé okno je potřeba ověřit homogenitu pole zvlášť. Vzdálenost mezi stativem a anténou jsme snížili na 1 m, jak při zkouškách na kmitočtech nad 1 GHz s použitím této metody, udává norma. Začali jsme v okně 1 tím, že jsme si zvolili referenční bod, kterým byl bod B6, do kterého jsme umístili sondu podle obrázku 5.4.



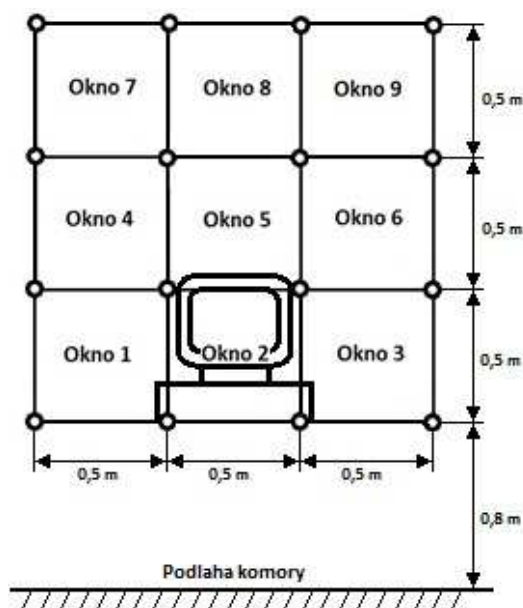
Obr. 5.4 Rozdělení kalibrační plochy do oken 0,5 m x 0,5 m

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

Poté jsme v softwaru nastavili požadované kmitočtové pásmo i krok postupného zvyšování kmitočtu. Dále intenzitu pole, její toleranci a přesnost, se kterou bude generátor nastavovat intenzitu pole.

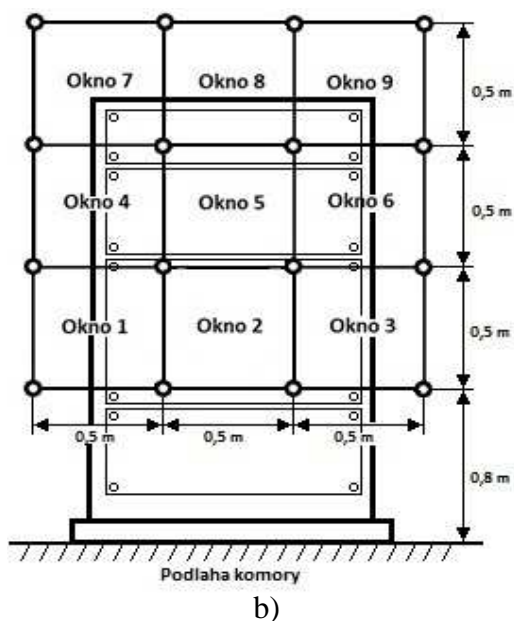
Nakonec jsme potvrdili polohu antény, její horizontální polarizaci a spustili měření. Software postupně proměřil celý měřený rozsah kmitočtu s nastaveným krokem 1 %. Na každém kmitočtu se zaznamenala hodnota dodávaného výkonu, který je potřeba pro vytvoření námi požadované intenzity pole 10 V/m v referenčním bodě. Poté jsme postupně přemísťovali měřicí sondu do zbývajících třech bodů, kde se opět spustilo měření. Při těchto měřeních software využívá, pro konkrétní frekvence stejné dodávané výkony, které byly naměřeny při referenčním měření.

Když byly všechny čtyři body příslušného okna proměřeny, software data vyhodnotil a vygeneroval textový soubor s naměřenými hodnotami. A dále vygeneroval grafické výsledky měření, kde je vidět zda okno vyhovuje podmínce pro homogenitu pole. Této podmínce musí vyhovovat všechny čtyři body. Stejným způsobem jsme proměřili zbylých 8 oken. Pokud by některé z oken nevyhovělo podmínce pro homogenitu pole, musí se to zaznamenat do protokolu o měření. V této části nesmí být při následném testování umístěno testované zařízení, což je znázorněno na Obr. 5.5 a) i b). Měření metodou nezávislých oken je časově mnohem náročnější, z důvodu většího počtu referenčních bodů, které trvá proměřit mnohem déle, než ostatní body.



a)

Na obrázku 5.5 a) je jako testované zařízení počítač umístěný na stole. Zasahuje pouze do oken 1, 2, 3 a 5. Pouze tato okna musí splňovat podmínku pro kalibraci homogenního pole.

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře

Na obrázku je jako testované zařízení rozvodná skříň stojící na zemi. Zasahuje do všech oken 1 až 9. Proto všechna tato okna musí splňovat podmínku pro kalibraci homogenního pole.

Obr.5.5 a) zařízení umístěné na stole, b) zařízení stojící na podlaze

5.2.1 Ukázka naměřených dat

Následující tabulka 5.2 obsahuje vybrané hodnoty opět z datového souboru, který nám vygeneroval software. Hodnoty jsou také pouze pro jeden kmitočet ze všech proměřených, kterých je pro tento měřený rozsah celkem 112. Pro tento kmitočet jsou v tabulce uvedeny hodnoty vysílaného a zpětného výkonu (W) a dodávaného výkonu (dBuV). Tyto hodnoty jsou pro všechny body stejné. Dále je zde intenzita E_c , která je u každého ze čtyř bodů jiná.

Tab 5.2 Naměřené hodnoty při kalibraci pole konstantním výkonem s použitím metody nezávislých oken (Okno 5)

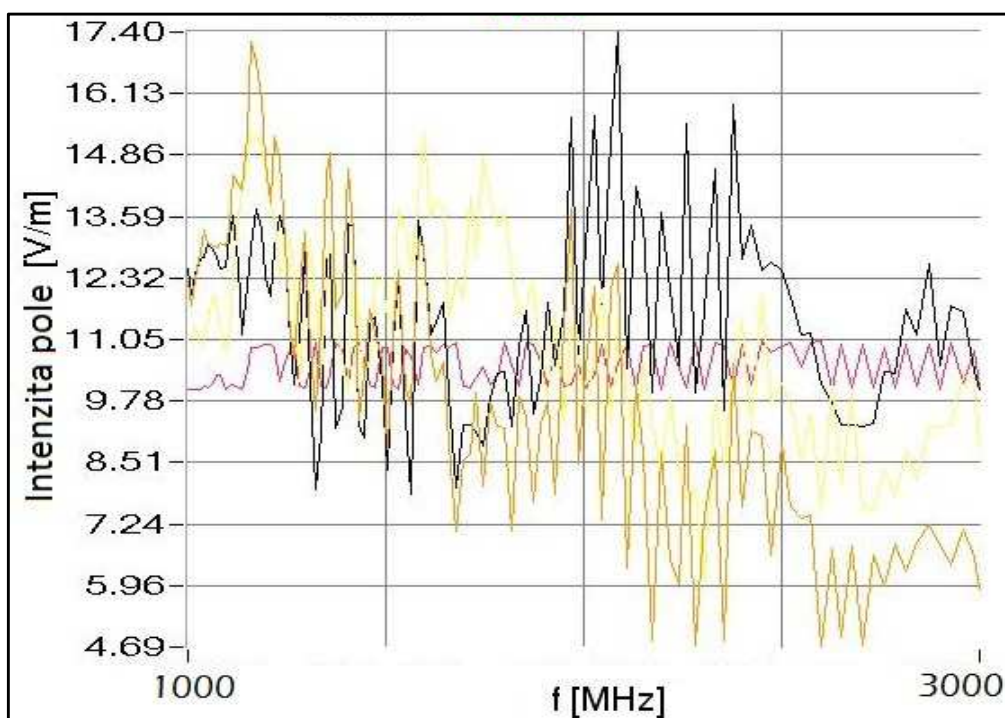
Měřicí bod	f [MHz]	úroveň [dBuV]	$P_{\text{vysílaný}}$ [W]	$P_{\text{zpětný}}$ [W]	E_c [V/m]
11	2329,79	90,9	0,8	0	10,98
12	2329,79	90,9	0,8	0	14,58
15	2329,79	90,9	0,8	0	9,85
16	2329,79	90,9	0,8	0	8,75

5.2.2 Grafické vyhodnocení výsledků

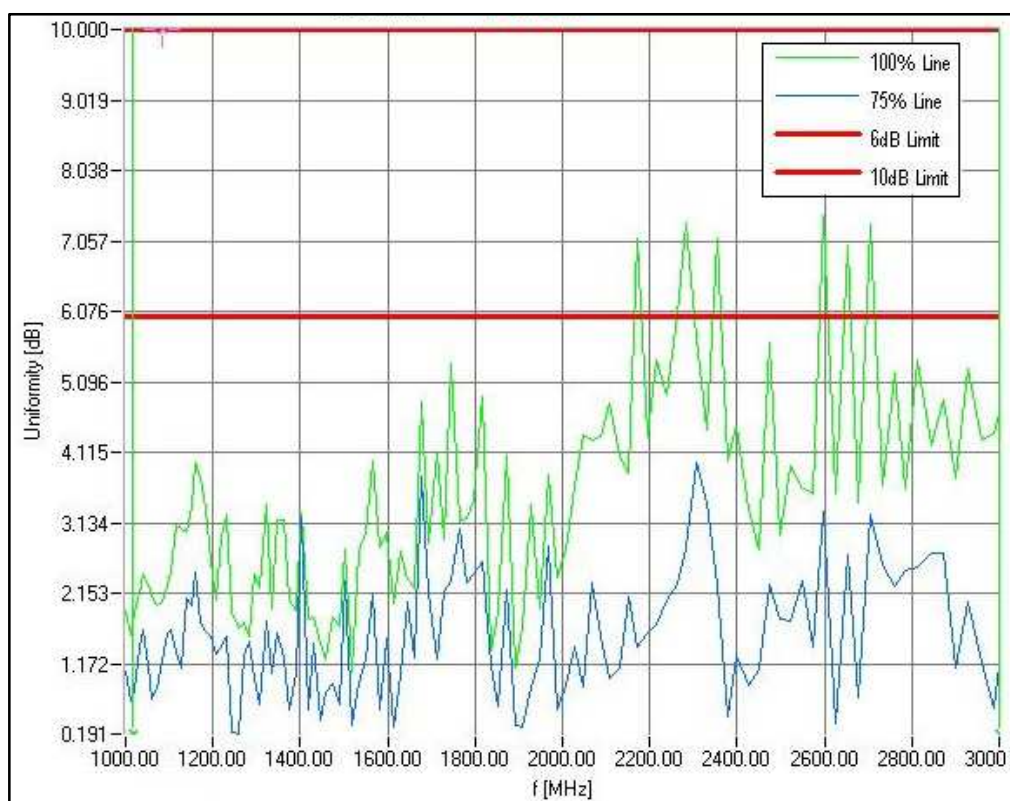
Pro všechny čtyři body okna nám software vygeneruje grafy, kde je závislost intenzity pole na frekvenci. Poté spojí všechny čtyři průběhy do jednoho výsledného grafu, který je na Obr. 5.6. Po změření celé plochy homogenního pole je takových grafů 9 (dle počtu oken).

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře

Na dalším obrázku 5.7 je graf závislosti uniformity (výchylky intenzity) na frekvenci. Jsou zde dvě limitující hodnoty (6 dB a 10 dB), které nesmí být podle normy překročeny.



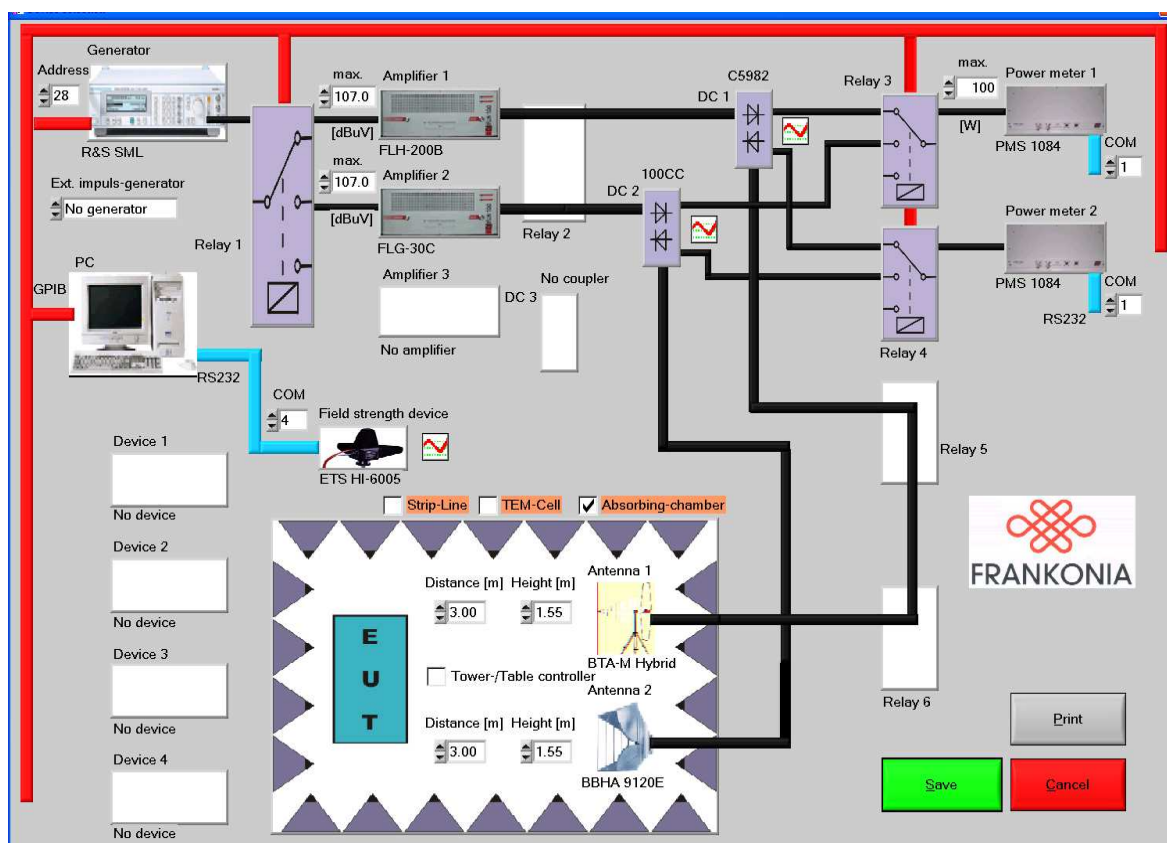
Obr. 5.6 Výsledný graf- zakreslení čtyř změřených průběhů do jednoho grafu (okna 3)



Obr. 5.7 Vyhodnocení homogenity pole- výsledný graf

5.3 Měřicí software

K ověřování homogenity pole je zapotřebí nejen bezdrazová komora, ale také měřicí software. V bezdrazové komoře na ZČU, kterou projektovala a stavěla v roce 2006 firma Frankonia je měřicí software RF-LAB. Ten zajišťuje komunikaci mezi zařízeními měřicí sestavy, která je znázorněna níže na Obr. 5.8. Důležité jsou zpětné vazby, které hlídají především mezní parametry těchto zařízení (např. přesycení zesilovače rušivého signálu).



Obr. 5.8 Sestava zařízení

Absorbing-Chamber ...	absorbční komora
Power meter	měřič výkonu dodávaného do antény
Amplifier	zesilovač signálu z generátoru
Generator	generátor rušivého signálu
Field strength device ...	zařízení pro měření intenzity
TEM-Cell	buňka s příčnou elektromagnetickou vlnou
Distance	vzdálenost mezi vyzářovací anténou a testovaným zařízením
Relay	relé pro přepínání mezi jednotlivými přístroji
Strip-Line	páskové vedení
EUT	testované zařízení

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

Při spuštění měřicího softwaru se objeví tabulka, do které se vyplní potřebná data. Tato tabulka je na Obr. 5.9, kam se zadává počáteční frekvence, na které měření začíná a konečná frekvence, na které se měření zastaví. Dále je třeba zadat hodnotu intenzity pole v místě měřicí sondy, která se volí od 3 V/m do 10 V/m. S tím souvisí tolerance, s jakou bude tato intenzita nastavována a dále také krok postupného zvyšování kmitočtu. Dle normy volíme tento krok 1 %, které je počítáno vždy z předchozího kmitočtu. Norma také udává toleranci od - 0 dB do +6 dB (max. +10 dB), která nesmí být překročena u více než 3 % zkušebních kmitočtů. Další údaj v tabulce je zvolená kalibrační metoda a přesnost, se kterou je tato proměnná veličina nastavována. Pro naše měření jsme si vybrali metodu Constant generator level, což je metoda kalibrace konstantním výkonem. Poté je možné nastavit polohu antény pomocí polohového senzoru, který je součástí softwaru. My však používáme jiný program (viz Obr. 5.10), který nám nastaví výšku antény, a posuv v horizontální rovině provádíme sami. Proto do tabulky zadáme vzdálenost antény od sondy ručně, a to i její výšku nad zemí, i zda je vertikálně či horizontálně. Doplňující informace jsou teplota a vlhkost prostředí, které se měří pomocí čidel uvnitř bezodrazové komory.

The screenshot shows a software window titled "Proof of uniformity" with the following settings:

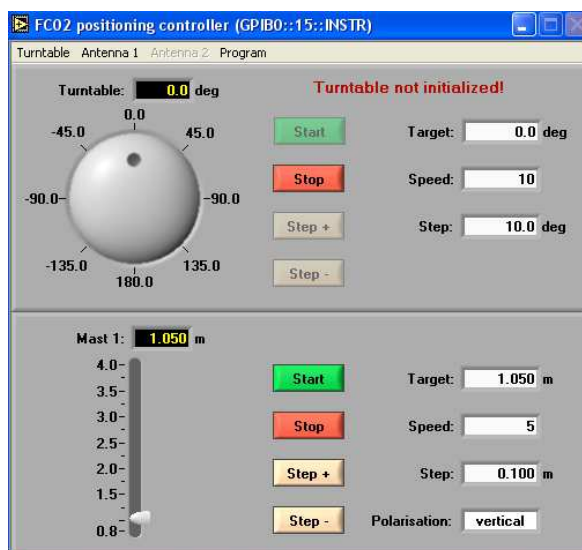
- Start frequency [MHz]: 1000.000
- Stop frequency [MHz]: 3000.000
- Field strength [V/m]: 10.0
- Tolerance [V/m]: 1.0
- Step size [%]: 1.0
- Tolerance from: 0.0 dB to: 6.0 dB
- Calibration methode: Constant generator level
- Tolerance: 0.1 [V/m]
- Sensor positioning: No controller
- Antenna distance: 3.00 m
- Antenna height: 1.55 m
- Horizontal: Vertical:
- Temperature: 21.0
- rel. humidity: 50.0
- Buttons: Cancel (red), OK (green)
- Tester: [empty text box]
- Comment: [empty text box]

Obr. 5.9 Nastavení parametrů měření

Na následujícím obrázku 5.10 je tabulka, pro ovládání polohy antény. V horní části tabulky se uvádí natočení antény do pozice vertikální nebo horizontální. V dolní části tabulky

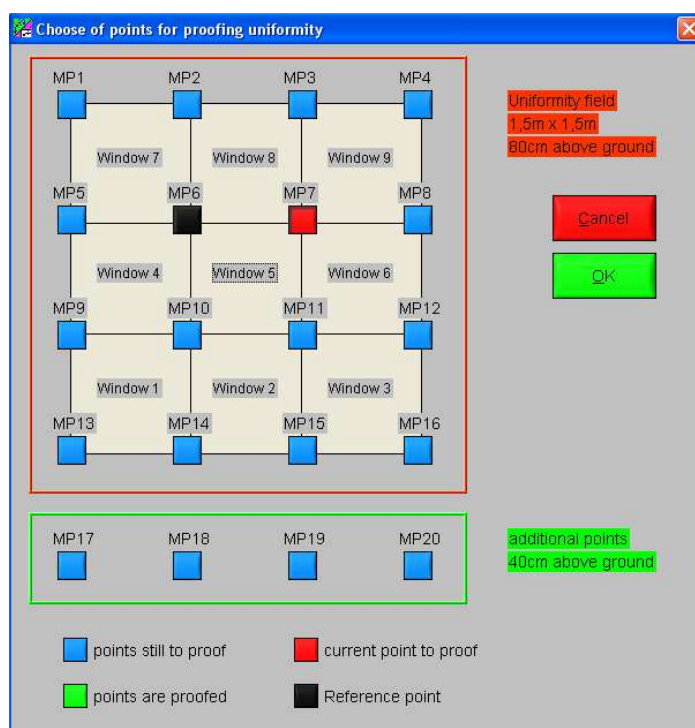
Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

se uvede výška, do které chceme anténu dostat a dále i rychlost jakou se bude anténa pohybovat.



Obr. 5.10 Nastavení polohy antény

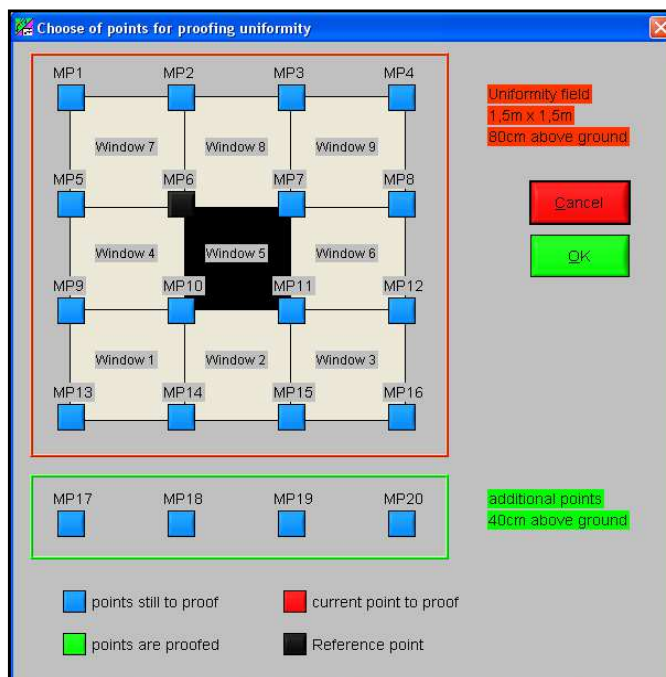
Po nastavení první tabulky a polohy antény, se objeví další tabulka s maticí 4 x 4 body, kde zvolíme nejdřív referenční bod (bod 6). Tento bod odpovídá místu, kde je měřicí sonda ve stavu umístěna. Po označení se bod zabarví a následně už nelze znovu zvolit. Tento postup je znázorněn na Obr. 5.11.



Obr. 5.11 Výběr druhého měřicího bodu

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezodrazové komoře

Při měření s kmitočty nad 1 GHz, kde je použita metoda nezávislých oken, která je popsána v kapitole 4.1.3, vybereme v druhé tabulce příslušné okno, které chceme právě měřit. Naproti tomuto oknu musí být umístěna vyzářovací anténa a ve zvoleném referenčním bodě měřicí sonda. Označení okna 5 a referenčního bodu 6, můžete vidět na Obr 5.12.



Obr. 5.12 Výběr okna a referenčního bodu u metody postupného ozáření oken

Když jsou všechny potřebné hodnoty nastaveny, může se spustit měření. Proměření referenčního bodu trvá nejdéle, a to přibližně 20 minut. Ostatní body trvá proměřit okolo 10-ti minut každý. Vyhodnocení výsledků je během pár minut.

Pro měření s BiLog anténou ze vzdálenosti 3 m na kmitočtech 80 MHz až 1 GHz byly potřeba celkem 3 hodiny (180 minut). Musíme však připočítat čas strávený přemísťováním měřicí sondy pole a nastavování parametrů pro měření (30 minut). To znamená, že měření pro obě polarizace antény BiLog nám zabralo 7 hodin.

Měření s trychtýřovou anténou metodou nezávislých oken ze vzdálenosti 1 m na kmitočtech 1 GHz až 3 GHz je časově mnohem náročnější. Každé okno trvalo proměřit přibližně 30 minut. Proměřit všechna okna nám tedy zabralo 4,5 hodiny. Nesmíme zapomenout přičíst čas strávený přemísťováním nejen měřicí sondy pole, ale i vyzářovací antény. Ta musí být vždy proti středu měřeného okna. Měření pro obě polarizace trychtýřové antény nám tedy trvalo 10 hodin.

6. Závěr

Úvodem této práce jsem popsala problematiku ohledně elektromagnetické odolnosti a elektromagnetického rušení. V poslední době dochází k jeho značnému nárůstu, z důvodu vývoje stále novějších mobilních radiokomunikačních systémů, televizních a rozhlasových vysílačů, pozemních a družicových sítí. Protože tyto systémy patří mezi každodenní potřeby lidí, je jejich vypnutí zcela nemožné, bohužel ani snížení jejich rušivých účinků není zcela možné. Proto se klade větší důraz na zvyšování elektromagnetické odolnosti vůči vysokofrekvenčním magnetickým polím u všech ostatních zařízení.

Zadání mé diplomové práce bylo ověření homogenity elektromagnetického pole v berodrazové komoře. Takovou komoru máme k dispozici v budově Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni, kterou v roce 2006 projektovala firma Frankonia. Měřicí software stejně jako přístrojové vybavení dodala také firmy Frankonia. Samotné testování homogenity se provádí pomocí kalibrační metody konstantního výkonu nebo pomocí kalibrační metody konstantní intenzity pole. My jsme z důvodu časové náročnosti zvolili první kalibrační metodu konstantního výkonu dodávaného do vyzařovací antény.

Měření proběhlo v kmitočtovém pásmu od 80 MHz do 3 GHz a velikost ozařované plochy byla 1,5 m x 1,5 m. Nejdříve byla použita složená širokopásmová anténa BiLog pro rozsah kmitočtu 80 MHz až 1 GHz. Poté jsme ji vyměnili za trychtýřovou anténu s dvojitým vlnovodem, se kterou jsme měřili v kmitočtovém pásmu 1 GHz až 3 GHz. Výsledky měření pro obě použité antény ukázaly, že homogenita pole v daném místě bezodrazové komory byla podle norem dosažena. Pro upřesnění měření s trychtýřovou anténou jsme přistoupili i k metodě nezávislých oken. Toto měření proběhlo ze vzdálenosti 1 m, avšak na rozdíl od předchozího měření pouze pro horizontální polarizaci antény.

Měření bylo časově velice náročné. Jelikož měřicí sonda pole vydržela nabitá pouze 3 hodiny a nabíjela se několik hodin, měření se tím prodloužilo na několik dní. Postup jednotlivých měření, ukázka naměřených dat a postup vyhodnocení výsledků byly popsány v kapitole 5. V přílohách jsou fotky z bezodrazové komory a grafy z jednotlivých měření.

7. Seznam použité literatury

- [1] SVACIINA, J.: Základy elektromagnetické kompatibility, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, Přednášky 2002.
- [2] ČSN EN 61000-4-3 ed 3, Elektromagnetická kompatibilita, Část 4-3: Zkušební a měřicí technika-Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole- Zkouška odolnosti, 2009.
- [3] ČSN EN 61000-4-6, Elektromagnetická kompatibilita, Část 4-6: Zkušební a měřicí technika- Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli, 1997.
- [4] Vaculíková, P.; Vaculík, E., Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů. Grada Publishing, Praha 1998

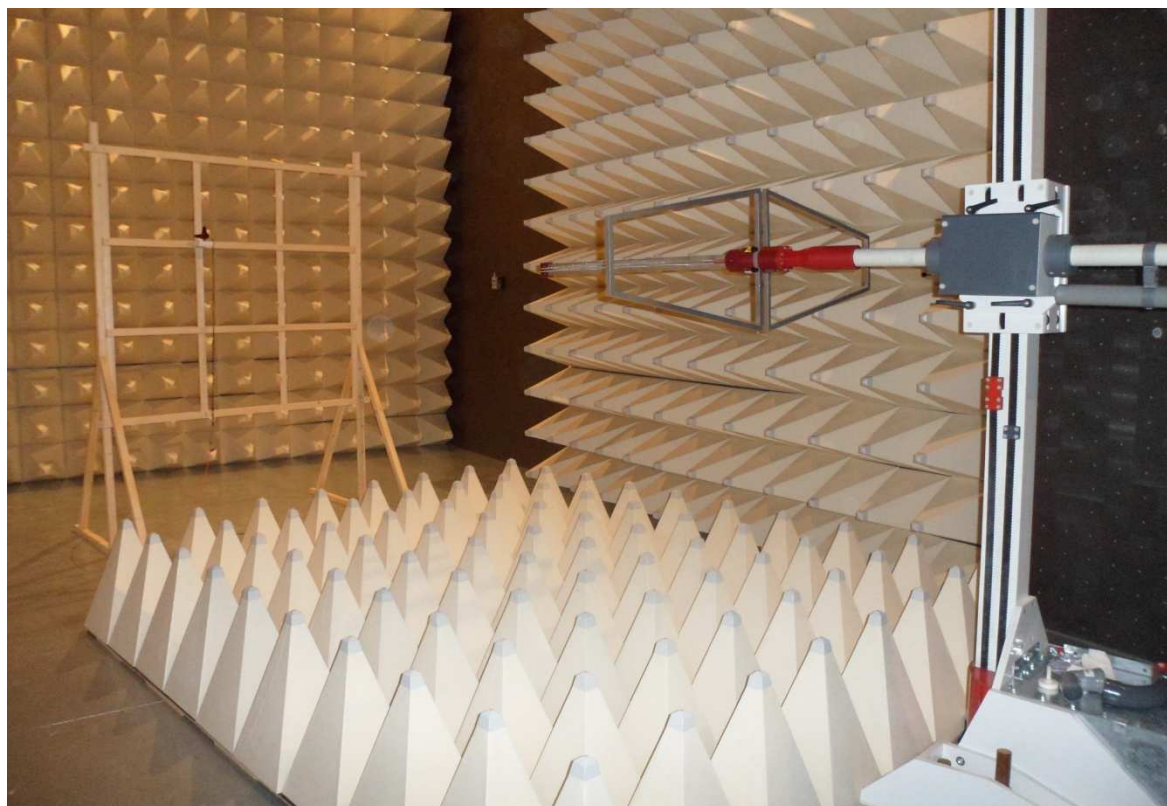
Internetové zdroje:

<http://www.frankonia-emc.com>

<http://www.frankonia-emv.com>

<http://www.ets-lindgren/manuals>

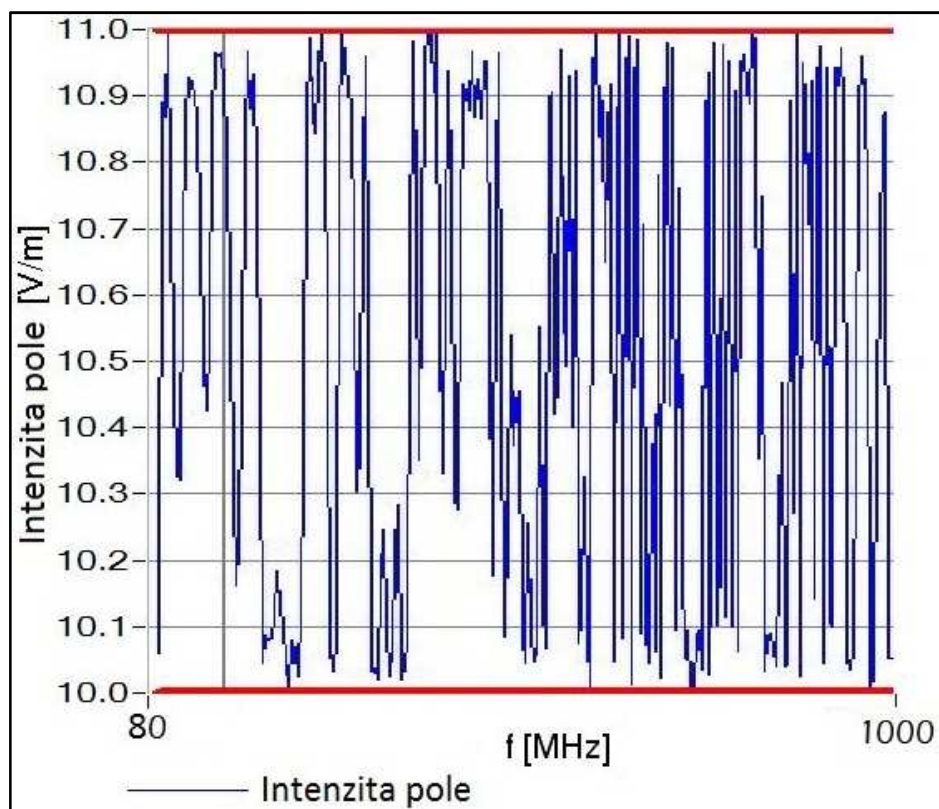
8. Příloha A- měření v kmitočtovém pásmu 80 MHz až 1 GHz s anténou BiLog v horizontální poloze



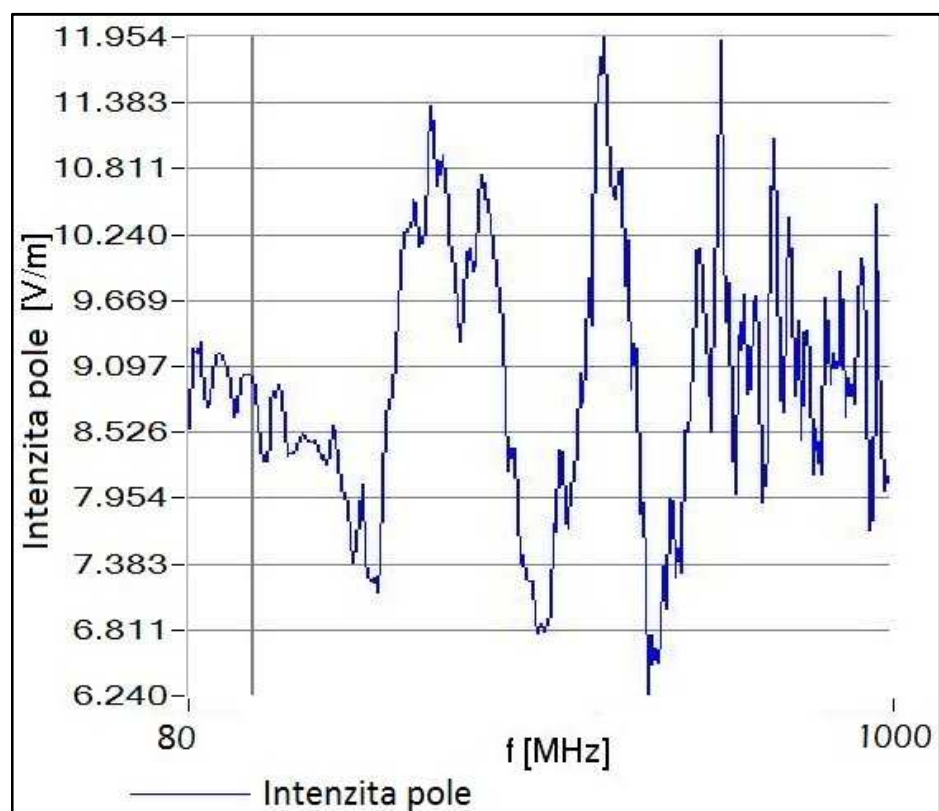
Obr. 8.1 Vyzařovací anténa BiLog v horizontální poloze pro měření v kmitočtovém rozsahu 80 MHz až 1 GHz.

Tab. 8.1 Výchozí parametry měření v kmitočtovém pásmu 80 MHz až 1 GHz- horizontální polarizace BiLog antény.

Frankonia EMV-Mess-Systeme GmbH		20.01.12	13:39
Reference measurement		rel. humidity : 50.0 %	
		Temperature : 21.0 C	
Start : 80.0 MHz	Field strength : 10.00 V/m	Tester :	
Stop : 1000.0 MHz	Tolerance from : 0.50 V/m		
Step size : 1.0 %	Polarization : Horizontal	Antenna distance : 3.0 m	
Used Equipment :			
HF-Generator :	R&S SML	Reference device :	ETS HI-6005
Power meter 1 :	PMS 1084	Power meter 2 :	PMS 1084
HF-Amplifier 1 :	FLH-200B	Directional coupler 1 :	C5982
HF-Amplifier 2 :	FLG-30C	Directional coupler 2 :	100CC
HF-Amplifier 3 :	No amplifier	Directional coupler 3 :	No coupler
Test area :	Absorbing chamber		
Antenna 1 :	BTA-M Hybrid	Antenna 2 :	BBHA 9120E
Filename of test results :	c:\Program Files\CR-LAB\kalibrace\80_1_10V_v_120cm.R3F		
Name of correction file :	c:\Program Files\CR-LAB\Data\HI-6005.KOR		

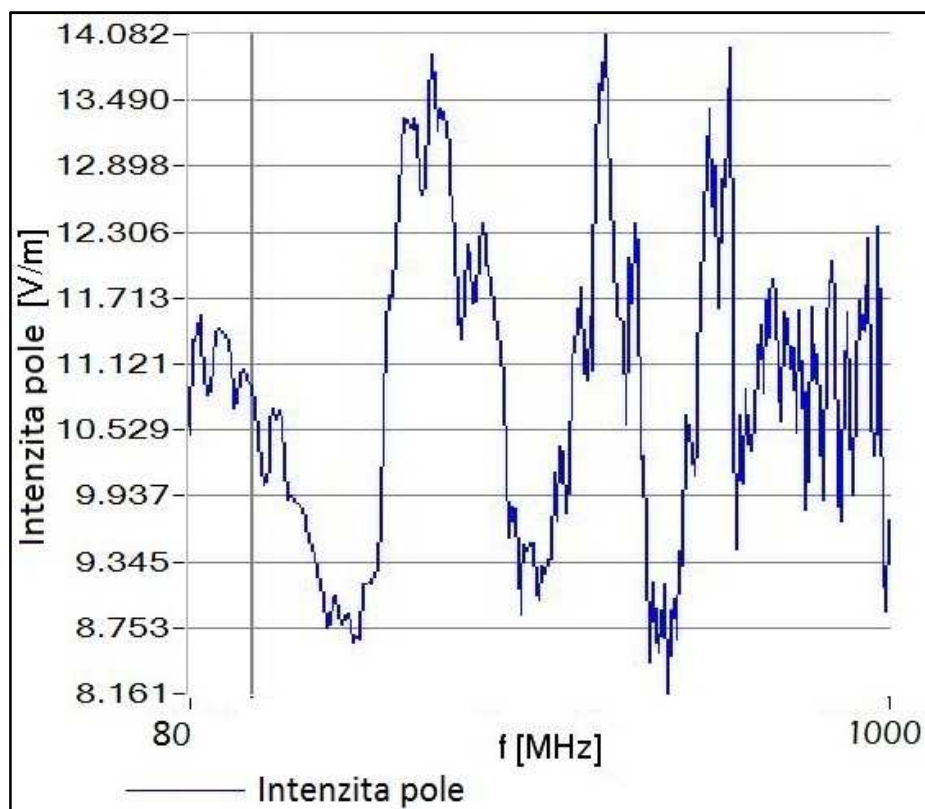


Obr. 8.2 Proměřený ref bod č. 6 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.

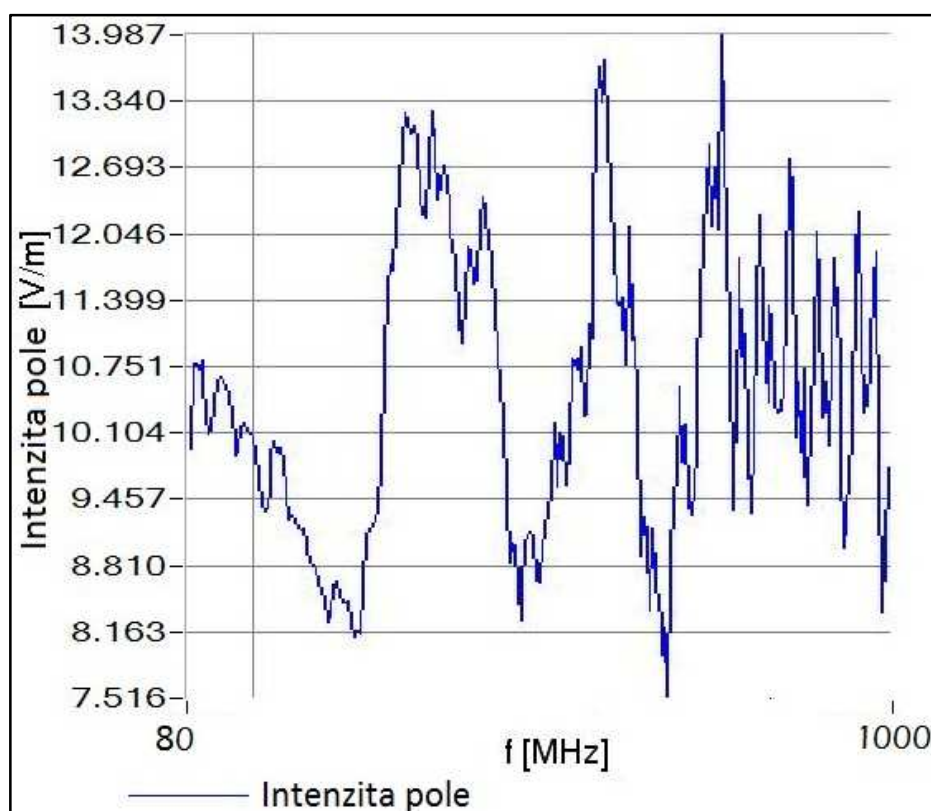


Obr. 8.3 Proměřený bod č. 1 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizontálně

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře

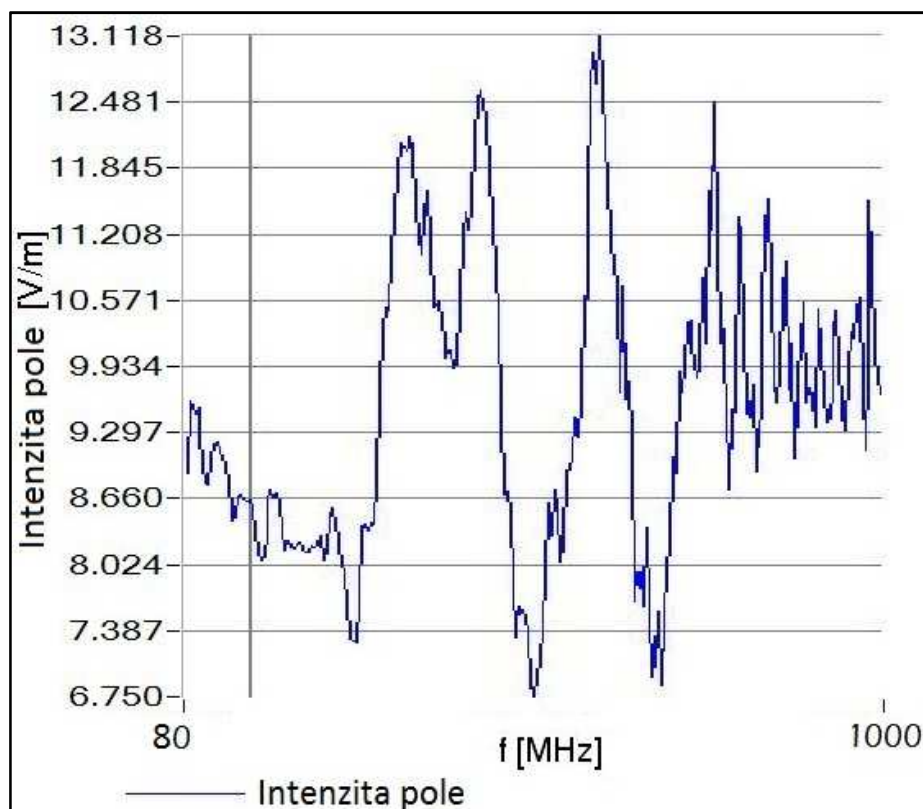


Obr. 8.4 Proměřený bod č. 2 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa horizontálně

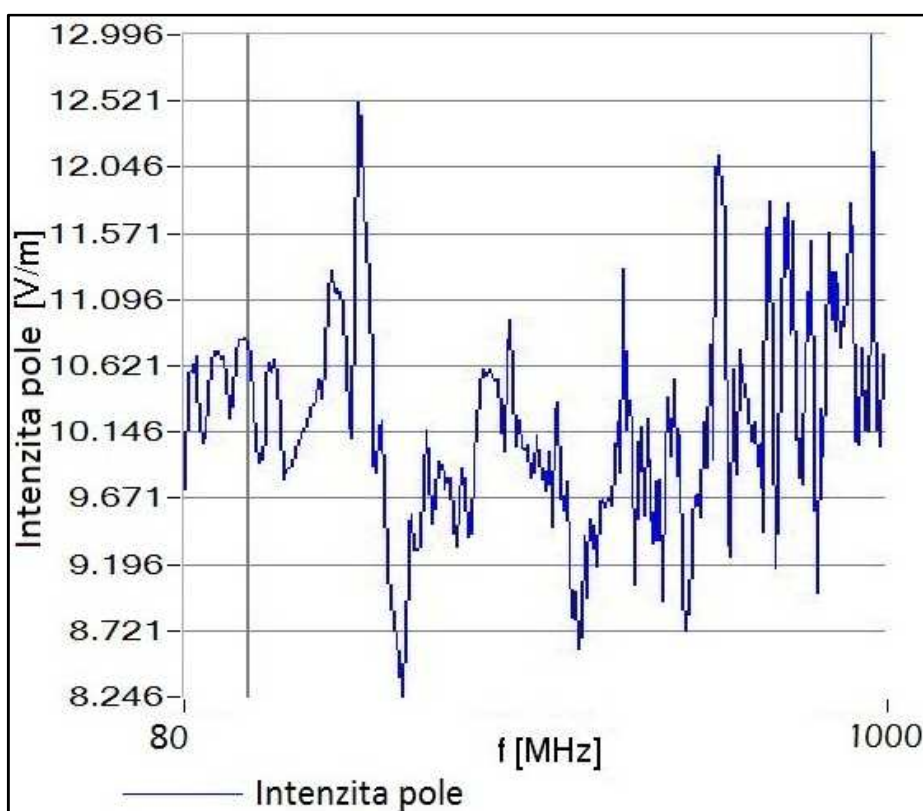


Obr. 8.5 Proměřený bod č. 3 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizontálně

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře

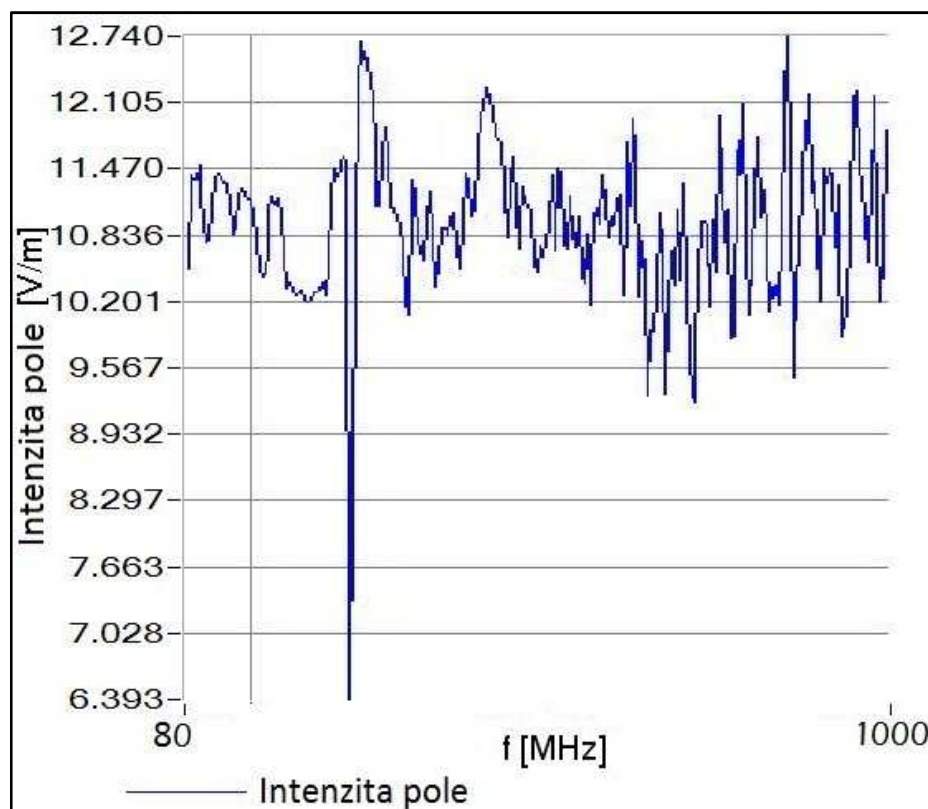


Obr. 8.6 Proměřený bod č. 4 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizontálně

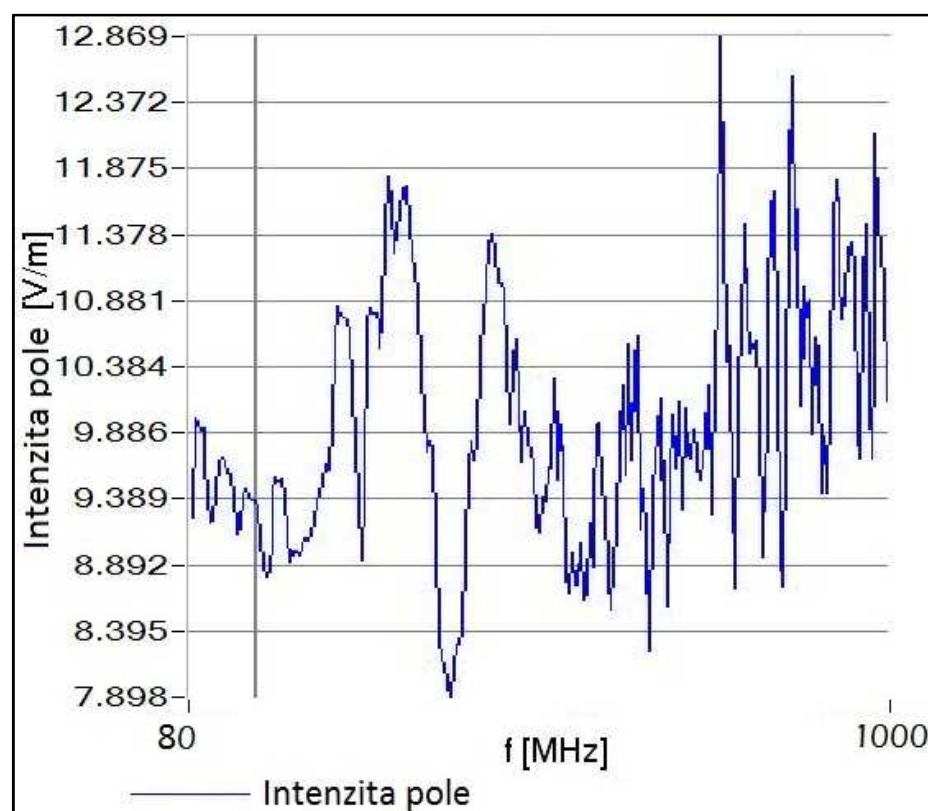


Obr. 8.7 Proměřený bod č. 5 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizontálně

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře

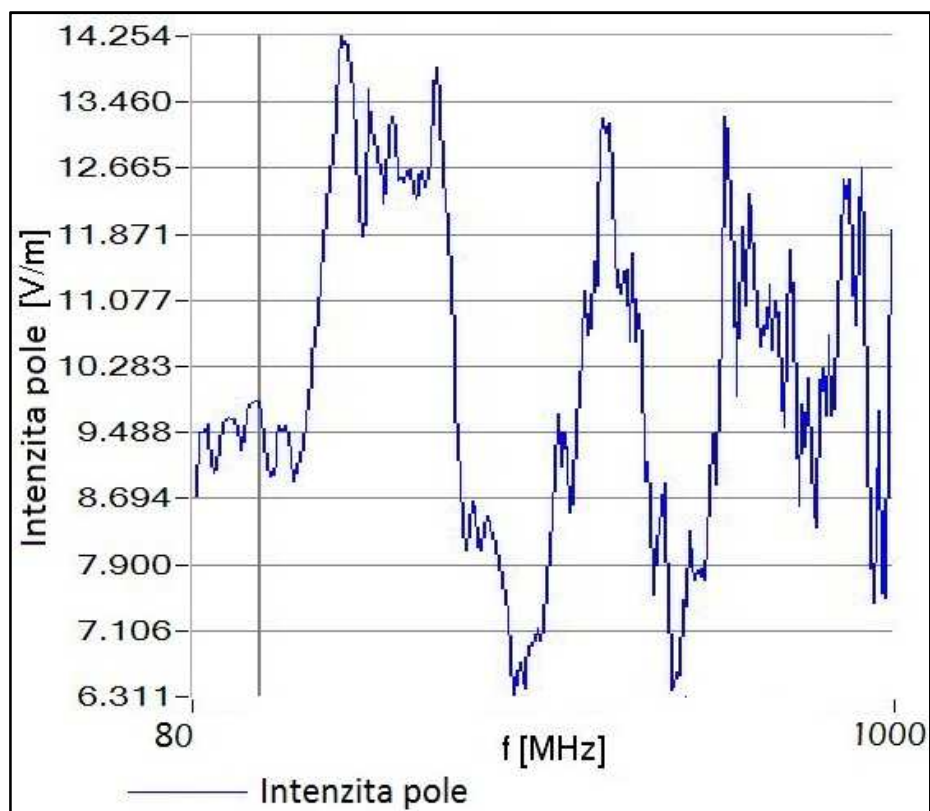


Obr. 8.8 Proměřený bod č. 7 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizontálně

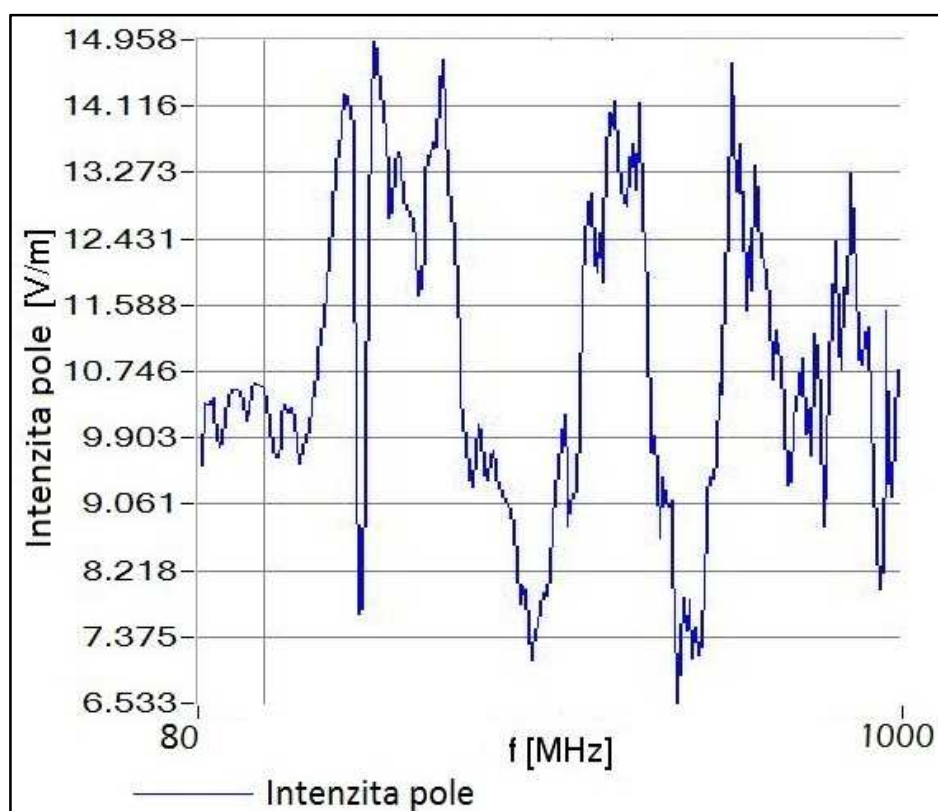


Obr. 8.9 Proměřený bod č. 8 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizontálně

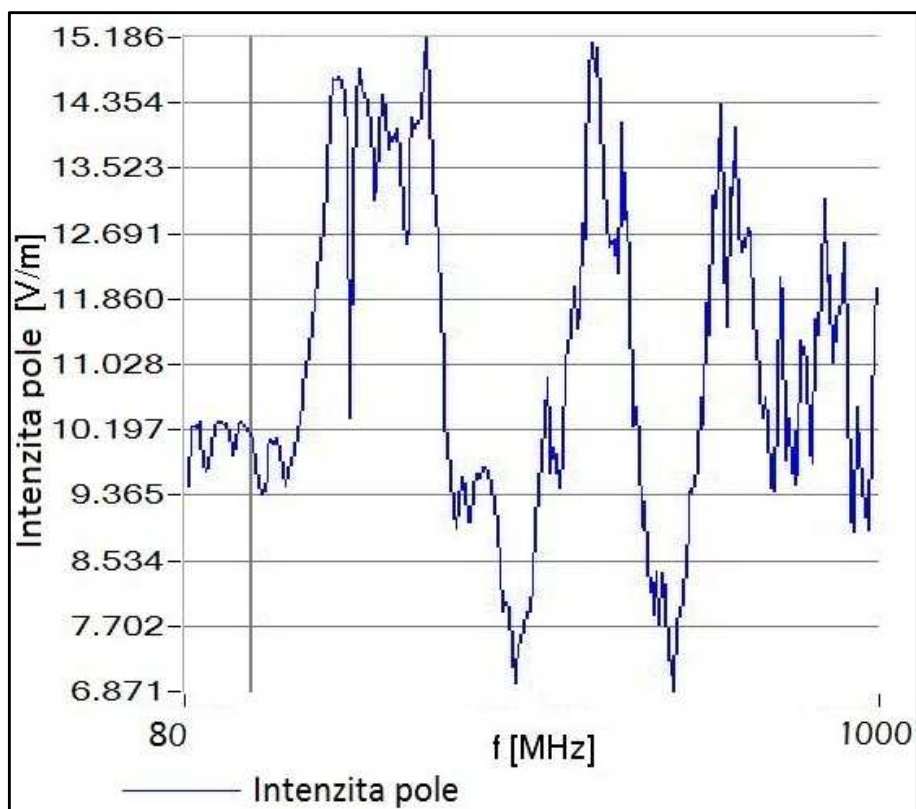
Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře



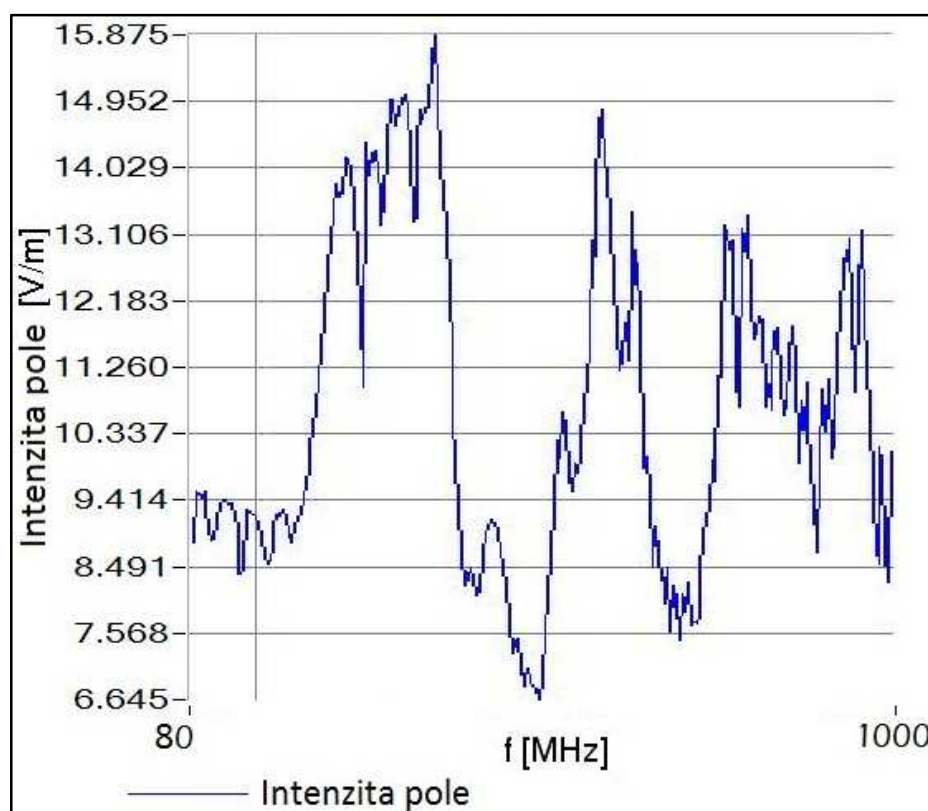
Obr. 8.10 Proměřený bod č. 9 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.



Obr. 8.11 Proměřený bod č. 10 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.

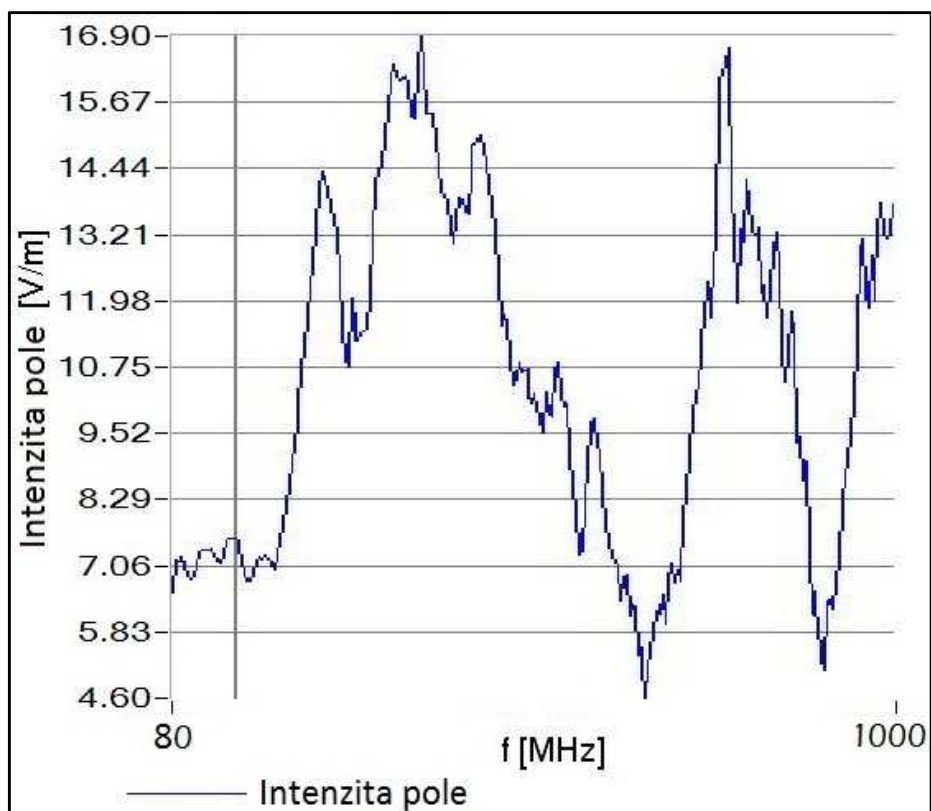


Obr. 8.12 Proměřený bod č. 11 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.

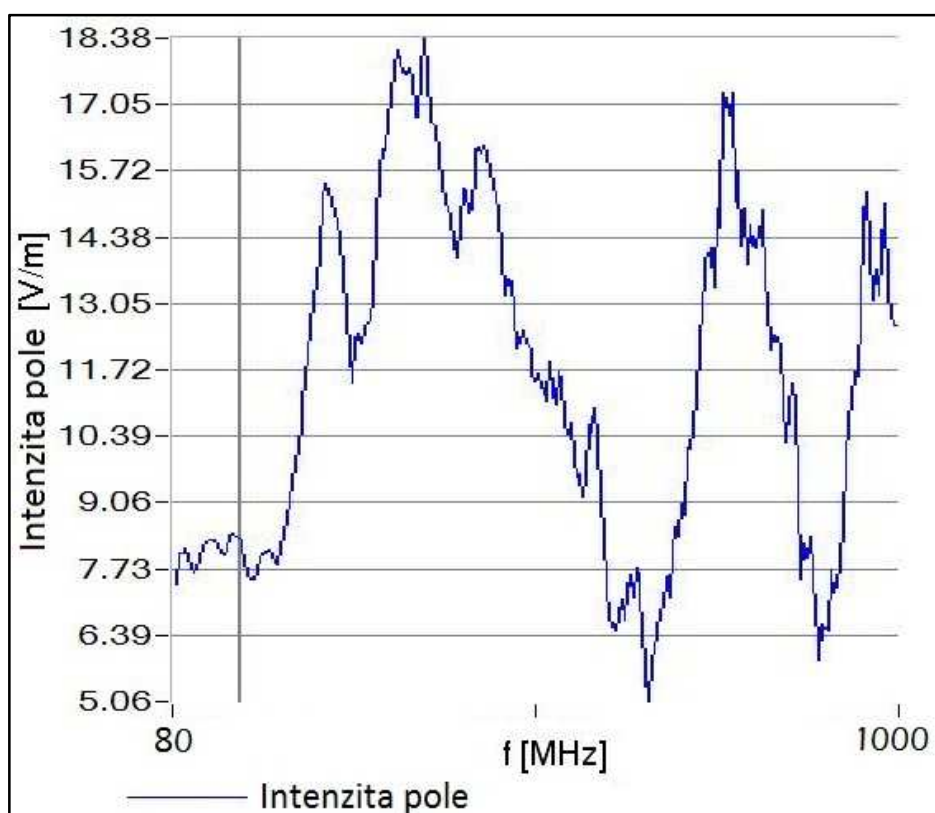


Obr. 8.13 Proměřený bod č. 12 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.

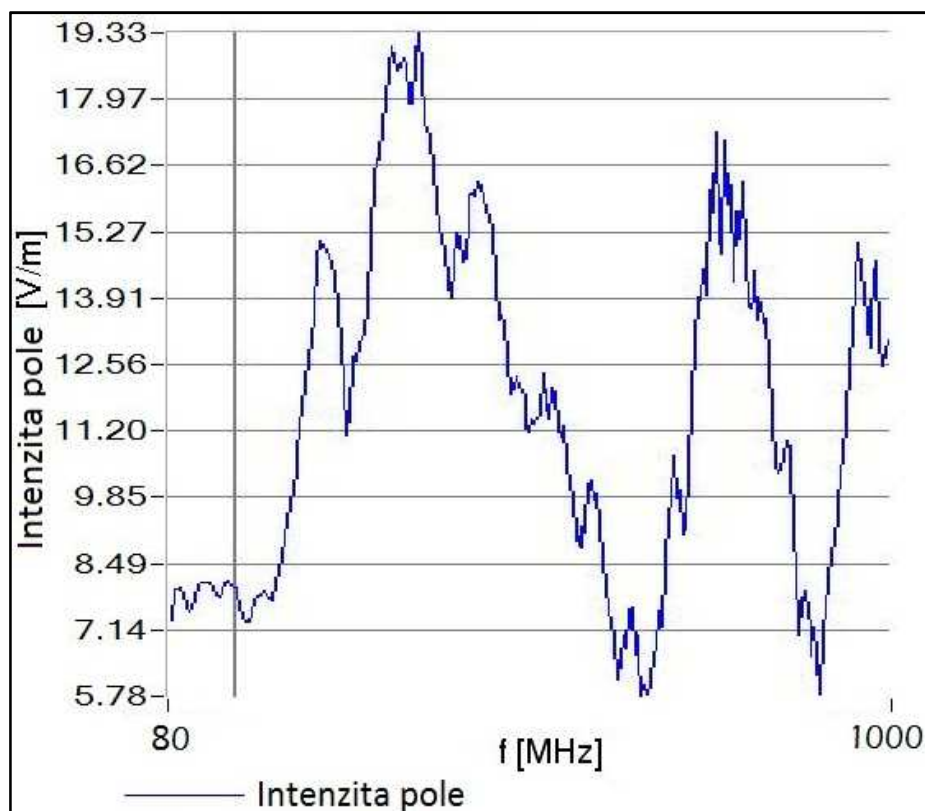
Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře



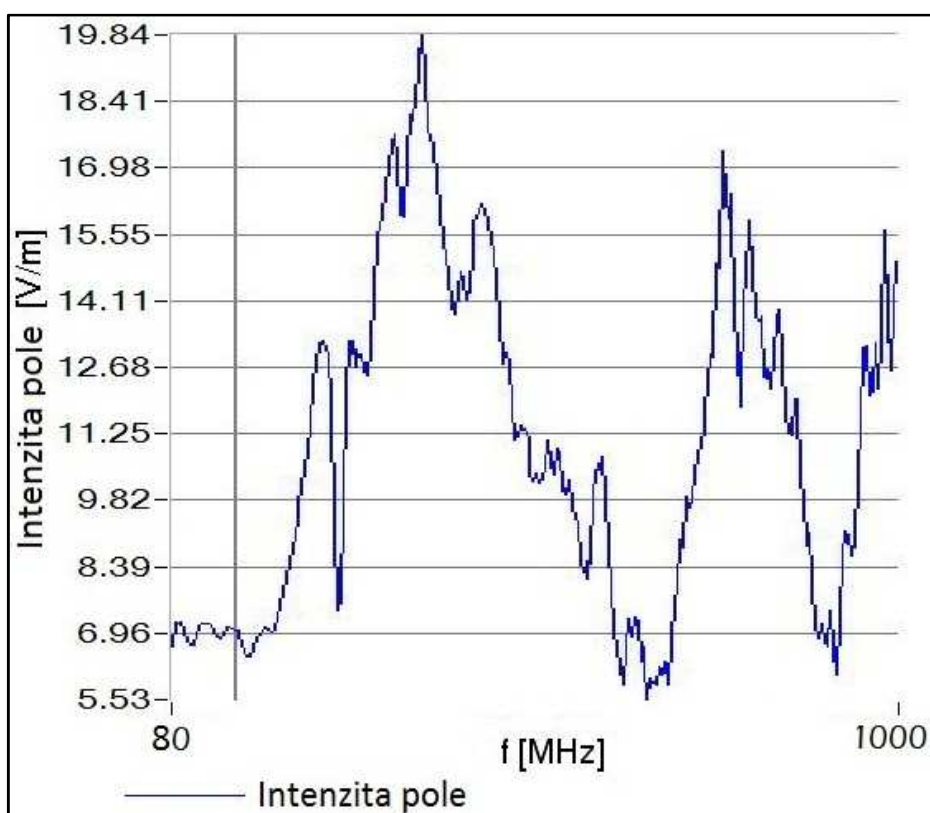
Obr. 8.14 Proměřený bod č. 13 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.



Obr. 8.15 Proměřený bod č. 14 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.

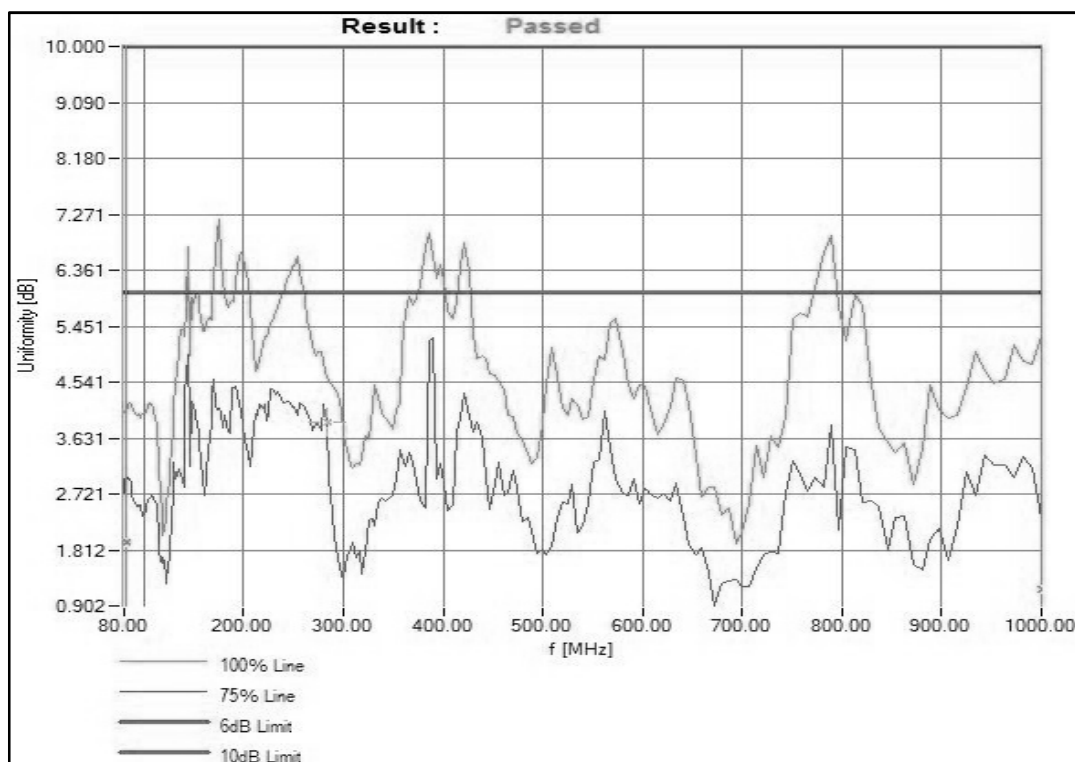


Obr. 8.16 Proměřený bod č. 15 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.



Obr. 8.17 Proměřený bod č. 16 pro kmitočty 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře

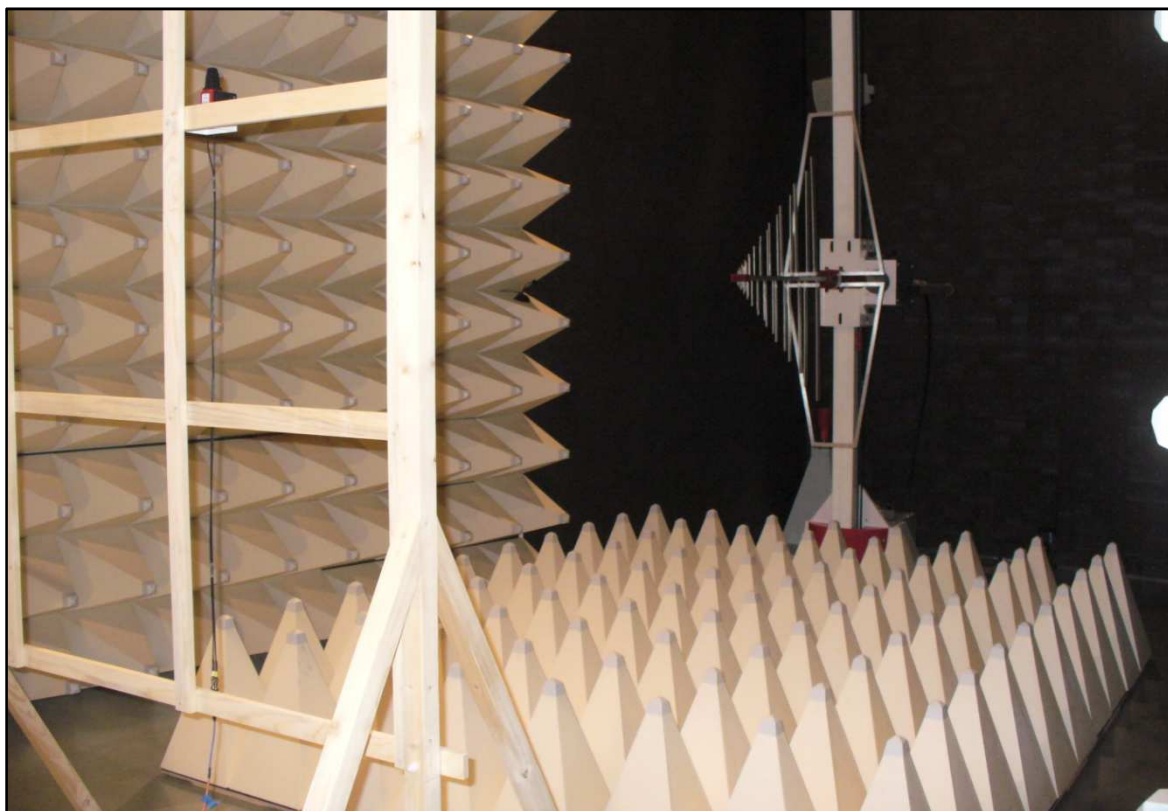


Obr. 8.18 Vyhodnocení homogenity pole pro kmitočety 80 MHz až 1 GHz při použití BiLog antény v horizontální polarizaci- výsledný graf

Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda	
Frankonia EMV-Mess-Systeme GmbH	
EMC-Test according to IEC EN61000-4-3	
Results of uniformity check	
Date	: 20.01.12 Time : 12:54
Temperature	: 21.0 °C Humidity : 50.0 % r.F.
Frequency range	: 80.00 MHz - 1000.00 MHz
Fieldstrength	: 10.0 V/m
Tolerance abs	: 1.0 V/m
Step size	: 1.0 %
Tolerance	: 0.0 dB to 6.0 dB
Area	: Absorbing chamber
Polarization	: Horizontal
Antenna distance	: 3.00 m Antenna height : 1.55 m
Comment	:
Operator	:
Test equipment	
HF-Generator	: R&S SML
HF-Amplifier 1	: FLH-200B
HF-Amplifier 2	: FLG-30C
Power meter 1	: PMS 1084
Power meter 2	: PMS 1084
DC 1	: C5982Attenuation : c:\Program Files\CR-LAB\Data\C5982.RKK
DC 2	: 100CCAttenuation : c:\Program Files\CR-LAB\Data\100CC.RKK
Field sensor	: ETS HI-6005
Antenna 1	: BTA-M Hybrid
Correction file	: c:\Program Files\CR-LAB\Data\HI-6005.KOR
File name	: c:\Program Files\CR-LAB\unif-2012\gen level konst\80_1000_10v_h.HOM
Number of recorded points: 16	
Reference point	: 6
Measuring points	: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,

Obr. 8.19 Tabulka hodnot pro kmitočety 80 MHz až 1 GHz, BiLog anténa-horizont.

9. Příloha B- měření v kmitočtovém pásmu 80 MHz až 1 GHz s anténou BiLog ve vertikální poloze

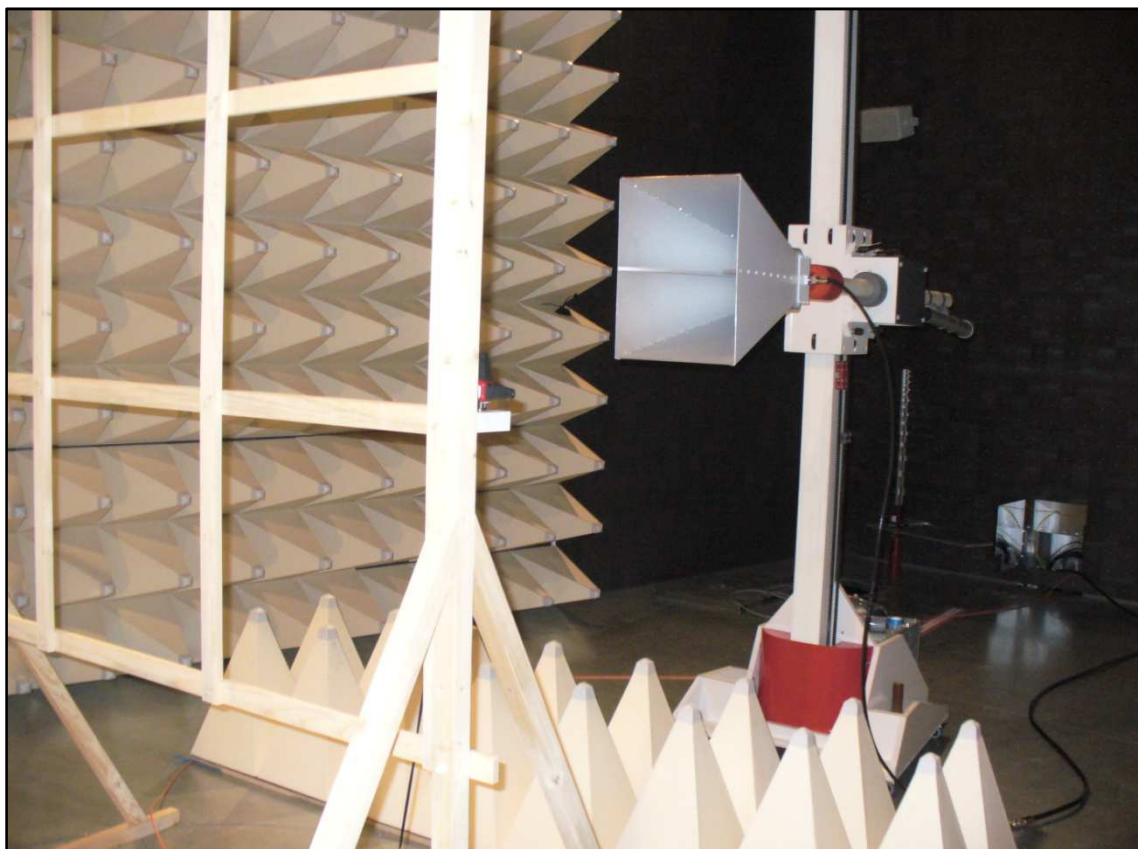


Obr. 9.1 Vyzařovací anténa BiLog ve vertikální poloze pro měření v kmitočtovém rozsahu 80 MHz až 1 GHz.

Tab. 9.1 Výchozí parametry měření v kmitočtovém pásmu 80 MHz až 1 GHz- vertikální polarizace BiLog antény.

Frankonia EMV-Mess-Systeme GmbH		26.01.12	10:56
Reference measurement		rel. humidity : 50.0 %	
		Temperature : 21.0 C	
Start : 80.0 MHz	Field strength : 10.00 V/m	Tester :	
Stop : 1000.0 MHz	Tolerance from : 0.00 V/m		
Step size : 1.0 %	Polarization : Vertical	Antenna distance : 3.0 m	
Used Equipment :			
HF-Generator :	R&S SML	Reference device :	ETS HI-6005
Power meter 1 :	PMS 1084	Power meter 2 :	PMS 1084
HF-Amplifier 1 :	FLH-200B	Directional coupler 1 :	C5982
HF-Amplifier 2 :	FLG-30C	Directional coupler 2 :	100CC
HF-Amplifier 3 :	No amplifier	Directional coupler 3 :	No coupler
Test area :	Absorbing chamber		
Antenna 1 :	BTA-M Hybrid	Antenna 2 :	BBHA 9120E
Filename of test results :	c:\Program Files\CR-LAB\kalibrace\1_3_10V_v_120cm.R3F		
Name of correction file :	c:\Program Files\CR-LAB\Data\HI-6005.KOR		

10. Příloha C- měření v kmitočtovém pásmu 1 GHz až 3 GHz s trychtýřovou anténou v horizontální poloze

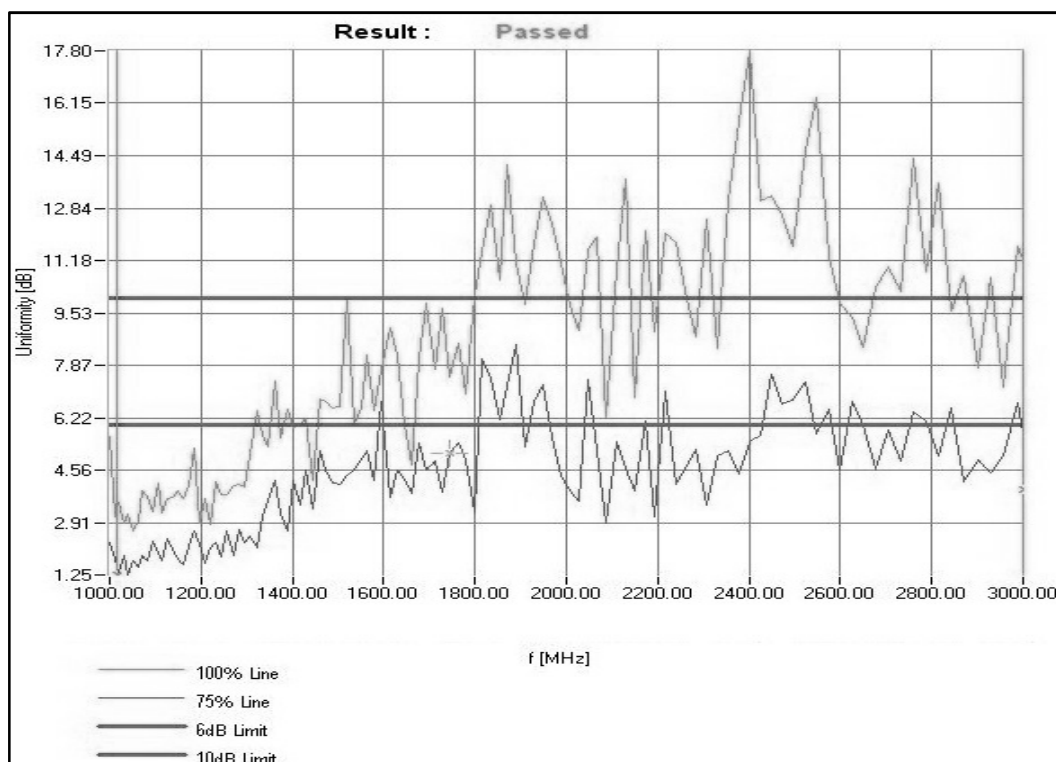


Obr. 10.1 Vyzařovací trychtýřová anténa v horizontální poloze pro měření v kmitočtovém rozsahu 1 GHz až 3 GHz.

Tab. 10.1 Výchozí parametry měření v kmitočtovém pásmu 1 GHz až 3 GHz- horizont. polarizace trychtýřové antény.

Frankonia EMV-Mess-Systeme GmbH		30.01.12	12:14
Reference measurement		rel. humidity : 50.0 %	
		Temperature : 21.0 °C	
Start : 1000.0 MHz	Field strength : 10.00 V/m	Tester :	
Stop : 3000.0 MHz	Tolerance from : 0.00 V/m		
Step size : 1.0 %	Polarization : Horizontal	Antenna distance : 3.0 m	
Used Equipment :			
HF-Generator :	R&S SML	Reference device :	ETS HI-6005
Power meter 1 :	PMS 1084	Power meter 2 :	PMS 1084
HF-Amplifier 1 :	FLH-200B	Directional coupler 1 :	C5982
HF-Amplifier 2 :	FLG-30C	Directional coupler 2 :	100CC
HF-Amplifier 3 :	No amplifier	Directional coupler 3 :	No coupler
Test area :	Absorbing chamber		
Antenna 1 :	BTA-M Hybrid	Antenna 2 :	BBHA 9120E
Filename of test results :			
Name of correction file :		c:\Program Files\CR-LAB\Data\HI-6005.KOR	

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře

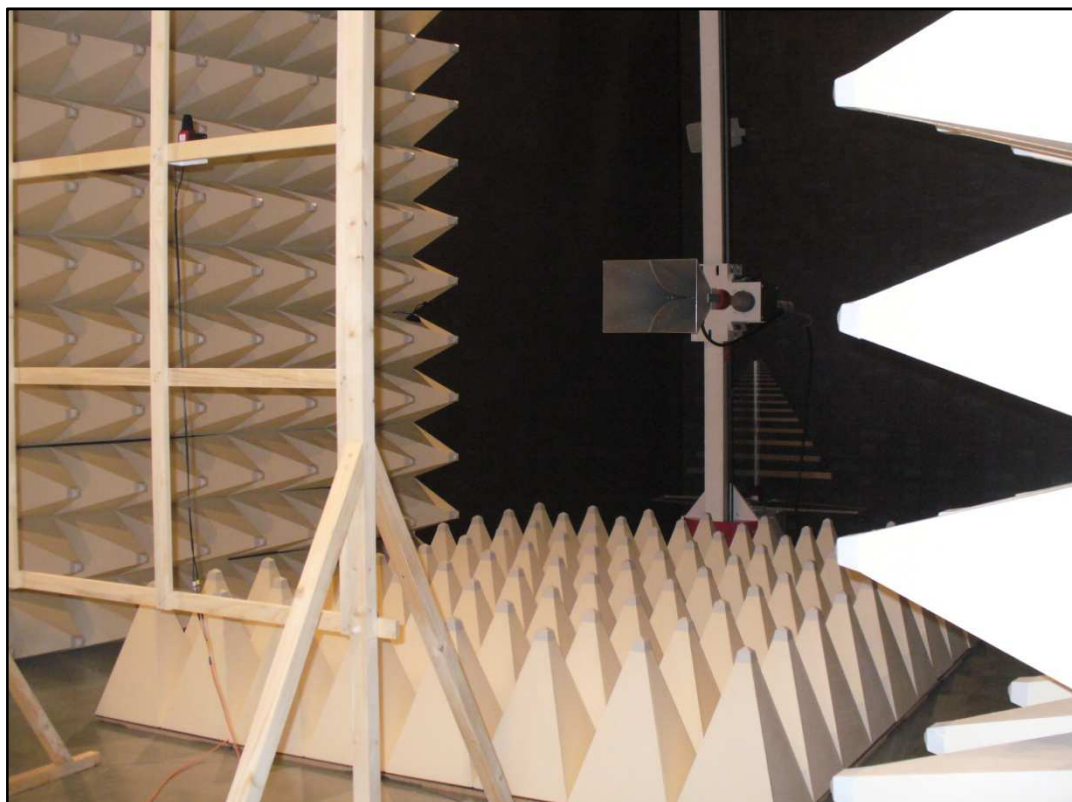


Obr. 10.2 Vyhodnocení homogenity pole pro kmitočety 1 GHz až 3 GHz při použití trychtýřové antény v horizontální polarizaci- výsledný graf

evaulation data 1_3G_h - Poznámkový blok	
Šoubor Úpravy Formát Zobrazení Nápořádá	
Frankonia EMV-Mess-Systeme GmbH	
EMC-Test according to IEC EN61000-4-3	
Results of uniformity check	
Date	: 26.01.12 Time : 12:35
Temperature	: 21.0 °C Humidity : 50.0 % r.F.
Frequency range	: 1000.00 MHz - 3000.00 MHz
Fieldstrength	: 10.0 V/m
Tolerance abs	: 1.0 V/m
Step size	: 1.0 %
Tolerance	: 0.0 dB to 6.0 dB
Area	: Absorbing chamber
Polarization	: Horizontal
Antenna distance	: 3.00 m Antenna height : 1.55 m
Comment	:
Operator	:
Test equipment	
HF-Generator	: R&S SML
HF-Amplifier 1	: FLH-200B
HF-Amplifier 2	: FLG-30C
Power meter 1	: PMS 1084
Power meter 2	: PMS 1084
DC 1	: C5982Attenuation : c:\Program Files\CR-LAB\Data\C5982.RKK
DC 2	: 100CCAttenuation : c:\Program Files\CR-LAB\Data\100CC.RKK
Field sensor	: ETS HI-6005
Antenna 1	: BTA-M Hybrid
Correction file	: c:\Program Files\CR-LAB\Data\HI-6005.KOR
File name	: c:\Program Files\CR-LAB\Unif-2012\gen level konst\horn\Horiz_2\1_3G_h.HOM
Number of recorded points: 16	
Reference point	: 6
Measuring points	: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,

Obr. 10.3 Tabulka hodnot pro kmitočety 1 GHz až 3 GHz, trychtýřová anténa-horizont.

11. Příloha D- měření v kmitočtovém pásmu 1 GHz až 3 GHz s trychtýřovou anténou ve vertikální poloze

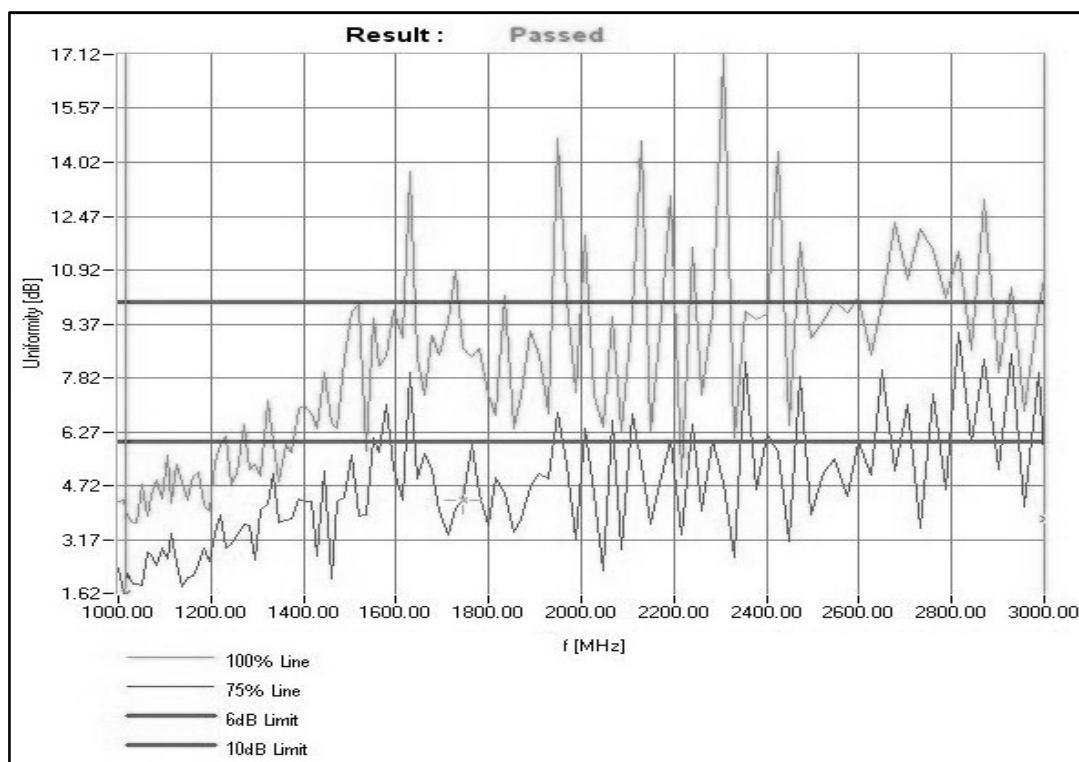


Obr. 11.1 Vyzařovací trychtýřová anténa ve vertikální poloze pro měření v kmitočtovém rozsahu 1 GHz až 3 GHz.

Tab. 11.1 Výchozí parametry měření v kmitočtovém pásmu 1 GHz až 3 GHz- vertikální polarizace trychtýřové antény.

Frankonia EMV-Mess-Systeme GmbH		06.02.12	13:38
Reference measurement		rel. humidity : 50.0 %	
		Temperature : 21.0 C	
Start : 1000.0 MHz	Field strength : 10.00 V/m	Tester :	
Stop : 3000.0 MHz	Tolerance from : 1.00 V/m		
Step size : 1.0 %	Polarization : Vertical	Antenna distance : 3.0 m	
Used Equipment :			
HF-Generator :	R&S SML	Reference device :	ETS HI-6005
Power meter 1 :	PMS 1084	Power meter 2 :	PMS 1084
HF-Amplifier 1 :	FLH-200B	Directional coupler 1 :	C5982
HF-Amplifier 2 :	FLG-30C	Directional coupler 2 :	100CC
HF-Amplifier 3 :	No amplifier	Directional coupler 3 :	No coupler
Test area :	Absorbing chamber		
Antenna 1 :	BTA-M Hybrid	Antenna 2 :	BBHA 9120E
Filename of test results :			
Name of correction file : c:\Program Files\CR-LAB\Data\HI-6005.KOR			

Ověření homogenity elektromagnetického pole generovaného v bezdrazové komoře



Obr. 11.2 Vyhodnocení homogenity pole pro kmitočty 1 GHz až 3 GHz při použití trychtýřové antény ve vertikální polarizaci- výsledný graf

1_3G_V_data - Poznámkový blok	
Soubor Úpravy Formát Zobrazení Nápověda	
Frankonia EMV-Mess-Systeme GmbH	
EMC-Test according to IEC EN61000-4-3	
Results of uniformity check	
Date	: 06.02.12 Time : 12:59
Temperature	: 21.0 °C Humidity : 50.0 % r.F.
Frequency range	: 1000.00 MHz - 3000.00 MHz
Fieldstrength	: 10.0 V/m
Tolerance abs	: 1.0 V/m
Step size	: 1.0 %
Tolerance	: 0.0 dB to 6.0 dB
Area	: Absorbing chamber
Polarization	: Vertical
Antenna distance	: 3.00 m Antenna height : 1.55 m
Comment	:
Operator	:
Test equipment	
HF-Generator	: R&S SML
HF-Amplifier 1	: FLH-200B
HF-Amplifier 2	: FLG-30C
Power meter 1	: PMS 1084
Power meter 2	: PMS 1084
DC 1	: C5982Attenuation : c:\Program Files\CR-LAB\Data\C5982.RKK
DC 2	: 100CCAttenuation : c:\Program Files\CR-LAB\Data\100CC.RKK
Field sensor	: ETS HI-6005
Antenna 1	: BTA-M Hybrid
Correction file	: c:\Program Files\CR-LAB\Data\HI-6005.KOR
File name	: c:\Program Files\CR-LAB\Unif-2012\gen level konst\horn\vertikalni\1_3G_V.HOM
Number of recorded points: 16	
Reference point	: 6
Measuring points	: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,

Obr. 10.3 Tabulka hodnot pro kmitočty 1 GHz až 3 GHz, trychtýřová anténa-vertikálně