

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Zkoušky odolnosti v elektromagnetické kompatibilitě**

**vedoucí práce:      Ing. Miroslav Hromádka**

**autor:                      Bc. Tomáš Žitný**

**2012**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš ŽITNÝ**  
Osobní číslo: **E10N0066P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Zkoušky odolnosti v elektromagnetické kompatibilitě**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

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

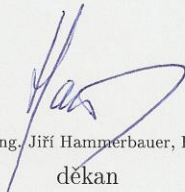
1. Uveďte přehled imunitních zkoušek EMC a zkušební signály.
2. Podrobně rozeberte zkoušky vysokofrekvenčním rušením.
3. Pomocí norem navrhnete laboratorní úlohy a měření v bezodrazové komoře.
4. Změřte vámi navržené úlohy a proveďte zhodnocení výsledků.

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

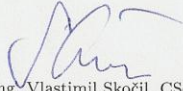
1. Svačina: Encyklopedie elektromagnetické kompatibility
2. Soubor norem z EMC

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Hromádka**  
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. Vlastimil Skočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Tato práce uvádí přehled imunitních zkoušek EMC a jejich zkušební signály, podrobně jsou rozebrány zkoušky vysokofrekvenčním rušením. Praktická část se zabývá vysokofrekvenčním měřením odolnosti vůči vyzařovanému vysokofrekvenčnímu poli podle normy ČSN EN 61000-4-3, měřením odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli podle normy ČSN EN 61000-4-6 a návrhem laboratorních úloh pro cvičení z předmětu KEE-EMC.

## **Klíčová slova**

EMC, elektromagnetická kompatibilita, zkouška odolnosti, vysokofrekvenční měření, bezdrazová komora, zkušební signál, ČSN EN 61000-4-3, ČSN EN 61000-4-6

**Abstract**

This diploma thesis provides an overview of EMC immunity testing and its test signals. The high-frequency immunity tests are analysed in detail. The practical part deals with radiated radio frequency electromagnetic field immunity testing according to the EN 61000-4-3 Standard and with immunity testing to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields according to the EN 61000-4-6 Standard. Also, some labs were designed for training in the course - KEE EMC.

**Key words**

EMC, electromagnetic compatibility, immunity test, RF measurement, anechoic chamber, test signal, EN 61000-4-3, EN 61000-4-6

## **Prohlášení**

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne .....

podpis .....

Bc. Tomáš Žitný

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Miroslavu Hromádkovi. Také bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

**Seznam použitých symbolů a zkratk**

EMC	(electromagnetic compatibility) elektromagnetická kompatibilita
EMI	(electromagnetic interference) elektromagnetické rušení
EMS	(electromagnetic susceptibility) elektromagnetická odolnost
vf	vysokofrekvenční
Tab.	tabulka
Obr.	obrázek
EUT	(equipment under test) testované zařízení
ČSN EN	česká technická norma, verze evropské normy
AM	amplitudová modulace
SAC	(semi anechoic chamber) polo-bezodrazová komora
CR	(control room) kontrolní místnost
AE	(auxiliary equipment) pomocné zařízení (připojené ke zkoušenému zařízení)
GRP	(ground reference plane) referenční zemní rovina
CDN	(coupling decoupling network) vazební / oddělovací síť
el.	elektrické, elektrický



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED IMUNITNÍCH ZKOUŠEK EMC A ZKUŠEBNÍ SIGNÁLY</b> .....	<b>14</b>
2.1	(ČSN EN 61000-4-2) ZKOUŠKY ODOLNOSTI VŮČI ELEKTROSTATICKÝM VÝBOJŮM.....	15
2.1.1	<i>Zkouška přímým vybitím vzduchovým výbojem</i> .....	16
2.1.2	<i>Zkouška přímým vybitím kontaktním výbojem</i> .....	17
2.1.3	<i>Zkouška nepřímým výbojem</i> .....	17
2.2	(ČSN EN 61000-4-3) ODOLNOST VŮČI VYZAŘOVANÉMU VYSOKOFREKVENČNÍMU POLI .....	18
2.3	(ČSN EN 61000-4-4) ZKOUŠKY ODOLNOSTI VŮČI NÍZKOENERGETICKÝM ŠIROKOPÁSMOVÝM IMPULZŮM .....	18
2.4	(ČSN EN 61000-4-5) ZKOUŠKY ODOLNOSTI VŮČI VYSOKOENERGETICKÝM ŠIROKOPÁSMOVÝM IMPULZŮM - RÁZOVÝ IMPULZ .....	19
2.5	(ČSN EN 61000-4-6) ODOLNOST PROTI RUŠENÍM ŠÍŘENÝM VEDENÍM, INDUKOVANÝM VYSOKOFREKVENČNÍMI POLI .....	21
2.6	(ČSN EN 61000-4-7) ZKOUŠKA VYŠŠÍMI HARMONICKÝMI A MEZIHARMONICKÝMI SLOŽKAMI ZÁKLADNÍHO KMITOČTU 50 HZ .....	22
2.7	(ČSN EN 61000-4-8) ZKOUŠKA ODOLNOSTI VŮČI MAGNETICKÉMU POLI SÍŤOVÉHO KMITOČTU .....	22
2.8	(ČSN EN 61000-4-9) ZKOUŠKA ODOLNOSTI VŮČI PULSŮM MAGNETICKÉHO POLE.....	24
2.9	(ČSN EN 61000-4-10) ZKOUŠKA ODOLNOSTI VŮČI TLUMENÝM KMITŮM MAGNETICKÉHO POLE.....	26
2.10	(ČSN EN 61000-4-11) ZKOUŠKA ODOLNOSTI VŮČI KRÁTKODOBÝM POKLESŮM, KRÁTKÝM PŘERUŠENÍM A POMALÝM ZMĚNÁM NAPĚTÍ .....	27
2.11	(ČSN EN 61000-4-12) ZKOUŠKA ODOLNOSTI VŮČI TLUMENÉ SINUSOVÉ VLNĚ .....	31
2.12	KRITÉRIA ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI .....	33
<b>3</b>	<b>ZKOUŠKY VYSOKOFREKVENČNÍM RUŠENÍM</b> .....	<b>34</b>
3.1	(ČSN EN 61000-4-3) ODOLNOST VŮČI VYZAŘOVANÉMU VYSOKOFREKVENČNÍMU POLI .....	34
3.1.1	<i>Všeobecně</i> .....	34
3.1.2	<i>Zkušební úrovně a zkušební signál</i> .....	35
3.1.3	<i>Zkušební zařízení</i> .....	36
3.1.4	<i>Stíněné bezodrazové komory</i> .....	37
3.1.5	<i>Kalibrace (ověření homogenity pole)</i> .....	38
3.1.6	<i>Zkušební sestava</i> .....	39
3.1.7	<i>Metodika a postup zkoušky</i> .....	39
3.1.8	<i>Vyhodnocení výsledků zkoušky</i> .....	40
3.1.9	<i>Protokol o zkoušce</i> .....	40
3.2	(ČSN EN 61000-4-6) ODOLNOST PROTI RUŠENÍM ŠÍŘENÝM VEDENÍM, INDUKOVANÝM VYSOKOFREKVENČNÍMI POLI .....	41
3.2.1	<i>Všeobecně</i> .....	41
3.2.2	<i>Zkušební úrovně a zkušební signál</i> .....	42
3.2.3	<i>Zkušební zařízení a zkušební sestava</i> .....	42
3.2.4	<i>Metodika a postup zkoušky</i> .....	47

3.2.5	Vyhodnocení výsledků zkoušky.....	49
3.2.6	Protokol o zkoušce.....	50
<b>4</b>	<b>LABORATORNÍ MĚŘENÍ PODLE NORMY ČSN EN 61000-4-3 V BEZODRAZOVÉ KOMOŘE .....</b>	<b>51</b>
4.1	KOMORA FRANKONIA SAC A JEJÍ TECHNICKÉ PARAMETRY.....	51
4.2	SCHÉMA ZAPOJENÍ MĚŘÍČÍHO SYSTÉMU .....	52
4.2.1	Signálový generátor.....	53
4.2.2	Spínací pole.....	54
4.2.3	Zesilovače .....	55
4.2.4	Měřič výkonu .....	55
4.2.5	Vysílací Antény.....	56
4.2.6	Sonda elektrického pole.....	57
4.3	KALIBRACE POLE .....	58
4.4	MĚŘENÍ ODOLNOSTI VŮČI VYSOKOFREKVENČNÍMU POLI VYBRANÝCH EL. ZAŘÍZENÍ .....	60
4.4.1	Úkol.....	60
4.4.2	Měřicí pracoviště a měřicí přístroje .....	60
4.4.3	Postup měření.....	60
4.4.4	Výsledky měření LCD monitoru DELL .....	62
4.4.5	Závěr a zhodnocení měření LCD monitoru DELL.....	62
4.4.6	Výsledky měření LCD monitoru LG.....	62
4.4.7	Závěr a zhodnocení měření LCD monitoru LG.....	63
4.4.8	Výsledky měření počítačové sestavy s bezdrátovou myší.....	63
4.4.9	Závěr a zhodnocení měření počítačové sestavy s bezdrátovou myší.....	63
4.4.10	Výsledky měření počítačové sestavy s USB myší.....	63
4.4.11	Závěr a zhodnocení měření počítačové sestavy s USB myší.....	64
4.4.12	Výsledky měření multimetru.....	64
4.4.13	Závěr a zhodnocení měření multimetru.....	64
4.4.14	Výsledky měření kalkulačky .....	65
4.4.15	Závěr a zhodnocení měření kalkulačky .....	65
<b>5</b>	<b>LABORATORNÍ MĚŘENÍ PODLE NORMY ČSN EN 61000-4-6.....</b>	<b>66</b>
5.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ MĚŘÍČÍHO SYSTÉMU .....	66
5.1.1	Signálový generátor.....	67
5.1.2	Útlumový člen.....	68
5.1.3	Elektromagnetická kleština .....	68
5.1.4	Proudová sonda.....	69
5.2	KALIBRACE .....	69
5.3	MĚŘENÍ ODOLNOSTI VŮČI VYSOKOFREKVENČNÍMU RUŠENÍ VYBRANÝCH EL. ZAŘÍZENÍ.....	70
5.3.1	Úkol.....	70
5.3.2	Měřicí pracoviště a měřicí přístroje .....	70
5.3.3	Postup měření.....	71
5.3.4	Výsledky měření multimetru.....	72
5.3.5	Závěr a zhodnocení měření multimetru.....	73

5.3.6	Výsledky měření USB myši.....	73
5.3.7	Závěr a zhodnocení měření USB myši.....	73
5.3.8	Výsledky měření stolních reproduktorů.....	73
5.3.9	Závěr a zhodnocení měření stolních reproduktorů.....	73
5.3.10	Výsledky měření světelného zdroje veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem).....	73
5.3.11	Závěr a zhodnocení měření světelného zdroje veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem).....	73
<b>6</b>	<b>NÁVRH LABORATORNÍCH ÚLOH PRO CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU EMC PODLE NOREM ČSN EN 61000-4-3 A ČSN EN 61000-4-6.....</b>	<b>74</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>75</b>
	<i>Použitá literatura a prameny.....</i>	<i>77</i>
	<i>Příloha A – Návrh laboratorní úlohy pro cvičení z předmětu EMC podle normy ČSN EN 61000-4-3.....</i>	<i>80</i>
	<i>Příloha B – Návrh laboratorní úlohy pro cvičení z předmětu EMC podle normy ČSN EN 61000-4-6.....</i>	<i>84</i>
	<i>Příloha C – Fotografie.....</i>	<i>87</i>

# 1 Úvod

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) je často velmi obecně definována jako schopnost zařízení uspokojivě pracovat v daném elektromagnetickém okolí. Tato definice zahrnuje dvě související oblasti:

- EMS (elektromagnetická susceptibilita) – **odolnost**. Zařízení musí být schopno práce v okolí, které je „zarušeno“ elektromagnetickými signály vytvořenými jinými zařízeními nebo přírodními jevy.
- EMI (elektromagnetická interference) – **odrušení**. Zařízení nesmí okolí rušit více, než je nezbytně nutné pro jeho funkci.

Elektromagnetická kompatibilita je meziodvětvovým oborem. Zahrnuje zkoušky z oblasti typicky rádiové (měření elektromagnetických polí, vf napětí a výkonů i jejich generování pro potřeby EMS), z oblasti nízkofrekvenční (generování statických napětí, impulzů a výbojů) i měření nejrůznějších parametrů zkoušených zařízení.

Aby bylo možno posoudit zařízení z hlediska EMC, je třeba provést řadu měření a zkoušek z obou výše zmíněných oblastí. Je zřejmé, že výsledek zkoušky nesmí být závislý na pracovišti, kde se zkouška provádí. Proto jsou zkoušky, měřicí postupy i samotná měřicí pracoviště definovány v řadě norem.

Laboratoř, která zkoušky provádí komerčně, musí požadavky těchto norem splňovat. Vybavení pracovišť pro celou škálu zkoušek je velmi drahé. V západní Evropě nabízí proto úplný soubor zkoušek EMC v plném souladu s normami, tzv. „compliance tests“, jen omezený počet pracovišť.

EMC však není jen oblastí rozhodování státních nebo státem určených orgánů, zda výrobek „prospěl“ nebo „neprospěl“. Už ve fázi vývoje musí být požadavkům EMC věnována značná pozornost. Náklady na úpravu vyvíjeného zařízení jsou mnohem menší než náklady na změnu konečného výrobku. První zkoušky EMC u výrobce mohou být prováděny v omezeném rozsahu jednodušším, méně univerzálním či méně přesným vybavením. Tyto zkoušky se nazývají „předběžné“, v anglické terminologii „precompliance tests“.

Za základní nástroj komplexních měření v oblasti EMC lze pokládat bezodrazovou komoru. Je to stíněná místnost, na vnitřních stěnách a stropě vyložená absorbéry, které absorbují dopadající elektromagnetickou energii. Vnitřní prostor komory má pak podobné vlastnosti jako ideální volný prostor (absence rušení a odrazů).

V bezodrazové komoře lze provádět zkoušky EMI i EMS za opakovatelných podmínek bez ohledu na vlivy prostředí. [7]

Text diplomové práce je rozdělen do pěti částí. První část se zabývá přehledem imunitních zkoušek EMC a testovacími zkušebními signály, druhá podrobněji rozebírá zkoušky vysokofrekvenčním rušením. Třetí a čtvrtá část je praktická, zde je popsáno laboratorní měření podle normy ČSN EN 61000-4-3 v bezodrazové komoře a měření podle normy ČSN EN 61000-4-6 v částečně stíněné komoře. Pátá část se zabývá návrhem laboratorních úloh podle norem ČSN EN 61000-4-3 a ČSN EN 61000-4-6 pro účely výuky předmětu KEE-EMC.

Cílem této práce je podat přehled o běžně používaných imunitních zkouškách pro el. přístroje, který by měl usnadnit orientaci v oblasti testování EMC, protože testy EMC jsou vyžadovány jako standard pro výrobky před uvedením na trh. Testy EMC jsou totiž jedna z podmínek pro označení shody výrobku (CE). Zkoušky vysokofrekvenčním rušením, nejčastěji v bezodrazové komoře, jsou nejvíce používaným druhem zkoušek pro různá technická odvětví, a proto jsou rozebrány podrobněji tak, aby se technik mohl metodicky v těchto testech podrobněji orientovat. Cílem praktického měření odolnosti el. přístrojů je ověřit, zda vyhovují z hlediska EMC podle norem ČSN EN 61000-4-3 a ČSN EN 61000-4-6 tj. zda jsou tato el. zařízení odolná proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli. Návrhy laboratorních úloh jsou koncipovány tak, aby si student předmětu KEE/EMC při cvičení mohl prakticky vyzkoušet otestování běžných el. přístrojů, které jsou již na trhu.

## 2 Přehled imunitních zkoušek EMC a zkušební signály

Pro zaručení odolnosti elektrických zařízení - produktů proti elektromagnetickému rušení se provádí řada testů EMC, a na základě jejich výsledků se produkty neustále zdokonalují tak, aby splňovaly s rezervou požadavky norem EMC. V této kapitole je uveden přehled nejčastěji používaných imunitních zkoušek EMC včetně popisu testovacích zkušebních signálů pro tyto zkoušky. V tab. 1 je pak uveden seznam vybraných imunitních zkoušek. Aplikace jednotlivých zkoušek pro posouzení odolnosti závisí na konkrétním přístroji, jeho konfiguraci, jeho vstupech/výstupech, jeho technologickém provedení a jeho provozních podmínkách.

**Tab. 1 Seznam vybraných zkoušek odolnosti**

Označení normy	Název normy	Rok vydání
ČSN EN 61000-4-1	Zkušební a měřicí technika - Přehled o souboru IEC 61000-4	2007
ČSN EN 61000-4-2	Elektrostatický výboj – Zkouška odolnosti	2009
ČSN EN 61000-4-3	Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti	2006
ČSN EN 61000-4-4	Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů - Zkouška odolnosti	2005
ČSN EN 61000-4-5	Rázový impulz - Zkouška odolnosti	2007
ČSN EN 61000-4-6	Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli	2009
ČSN EN 61000-4-7	Všeobecné směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich	2003
ČSN EN 61000-4-8	Magnetické pole síťového kmitočtu - Zkouška odolnosti	2010
ČSN EN 61000-4-9	Pulsy magnetického pole - Zkouška odolnosti	1996
ČSN EN 61000-4-10	Tlumené kmity magnetického pole - Zkouška odolnosti	1996
ČSN EN 61000-4-11	Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti	2005
ČSN EN 61000-4-12	Tlumená sinusová vlna - Zkouška odolnosti	2007

ČSN EN 61000-4-13	Harmonické a mezipharmonické včetně signálů v rozvodných sítích na střídavém vstupu/výstupu napájení - Nízkofrekvenční zkoušky odolnosti	2003
ČSN EN 61000-4-14	Zkušební a měřicí technika - Kolísání napětí - Zkouška odolnosti	2000
ČSN EN 61000-4-15	Měřič blikání - Specifikace funkce a dimenzování	1999
ČSN EN 61000-4-16	Zkouška odolnosti proti nesymetrickým rušením šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 150 kHz	1999
ČSN EN 61000-4-17	Zvlnění na stejnosměrném napájecím vstupu - Zkouška odolnosti	2000
ČSN EN 61000-4-18	Tlumená oscilační vlna - Zkouška odolnosti	2007
ČSN EN 61000-4-20	Zkoušky emise a odolnosti ve vlnovodech s příčným elektromagnetickým polem (TEM)	2011
ČSN EN 61000-4-27	Nesymetrie - Zkouška odolnosti	2001
ČSN EN 61000-4-28	Kolísání síťového kmitočtu - Zkouška odolnosti	2001
ČSN EN 61000-4-29	Krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí na vstupech stejnosměrného napájení - Zkouška odolnosti	2001
ČSN EN 61000-4-34	Zkušební a měřicí technika - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti pro zařízení se síťovým fázovým proudem větším než 16 A	2007

## 2.1 (ČSN EN 61000-4-2) Zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům

Tato norma se týká požadavků na odolnost elektrických a elektronických zařízení vystavených elektrostatickým výbojům. Elektrostatický výboj (electrostatic discharge, ESD) vznikne, dojde-li k postupnému vytvoření elektrostatického napětí mezi předmětem a jeho okolím a poté k spontánnímu výboji v podobě impulzu elektrického proudu. Ve velmi krátké době přeskočí elektrický výboj a vznikne vysoké napětí a velký proud.

Následkem elektrostatického výboje může být funkční či parametrické poškození obvodu elektrického zařízení nebo i latentní poškození, které nelze zjistit testovacími přístroji, ale projeví se až po čase při následném použití v praxi. [31, 4]

Simulace elektrostatických výbojů se provádí pomocí zkušebního zařízení (tzv. simulátoru ESD), jehož koncová část má obvykle vnější podobu „pistole“ s výměnným vybíjecím hrotem.

Zkušební výboje statické elektřiny se provádějí do těch míst a povrchů zkoušeného zařízení, která jsou přístupná obsluze při užívání zařízení. Do každého místa se provede nejméně deset jednotlivých výbojů, a to v polaritě, na kterou je zařízení citlivější. Interval mezi po sobě jdoucími výboji je minimálně 1 s. Zkušební napětí výboje se zvyšuje od nejmenší předepsané hodnoty, až po úroveň specifikovanou výrobcem zkoušeného zařízení pro požadovaný stupeň odolnosti. [1]

Test se provádí přímým a nepřímým působením výbojů na zkoušené zařízení. Zkušební úrovně jsou 2 kV, 4 kV, 6 kV, 8 kV, 15 kV. Výběr zkušebních úrovní se provádí podle konkrétního zařízení a na základě aplikovatelnosti v daném místě instalace a prostředí. Postup pro výběr zkušebních úrovní a informace o nich je uveden v této normě.

**Tab. 2 Rozsah zkušebních úrovní [31]**

Kontaktní výboj		Vzduchový výboj	
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Úroveň	Zkušební napětí [kV]
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
x	dle ujednání	x	dle ujednání

### 2.1.1 Zkouška přímým vybitím vzduchovým výbojem

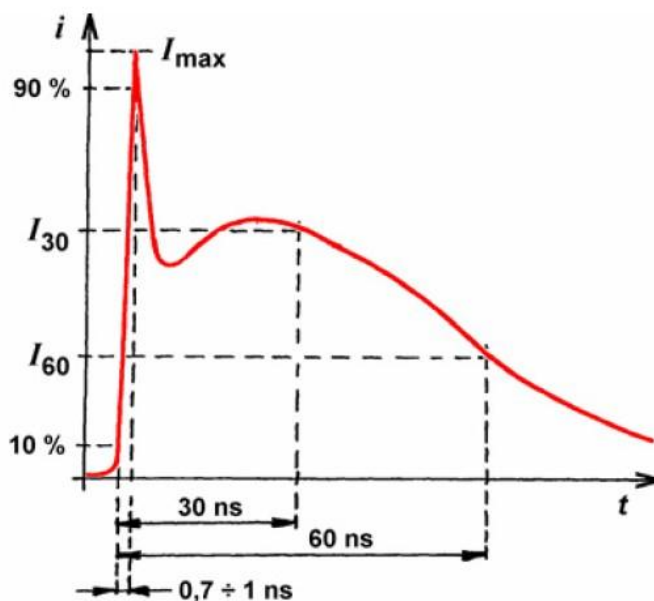
Zkouška přímým vybitím vzduchovým výbojem se uskutečňuje přiblížením hrotu simulátoru ESD ke zkoušenému objektu, až se nabitý kondenzátor vybije přeskokem jiskry do daného objektu.

Tvar vybíjecího proudu ve vzduchové mezeře je velmi proměnný a závislý na mnoha faktorech. Na rychlosti přiblížování hrotu, na vlhkosti, teplotě a tlaku vzduchu a na konstrukci zkoušeného zařízení. Výsledek zkoušky je málo reprodukovatelný. [8, 1]



## 2.1.2 Zkouška přímým vybitím kontaktním výbojem

Zkouška přímým vybitím kontaktním výbojem je preferovaná metoda zkoušky ESD. Je zde velmi dobrá reprodukovatelnost průběhu vybíjecího proudového impulsu. Zkouška se uskutečňuje pevným přiložením hrotu simulátoru ESD na zkoušený objekt a vysoké napětí nabitého kondenzátoru se připojí (výboj se „odpálí“) sepnutím kontaktu na simulátoru. [8, 1]



Obr. 1 Impulz výstupního proudu simulátoru ESD při kontaktním výboji [8]

Tab. 3 Hodnoty výstupního proudu simulátoru ESD při kontaktním výboji [8]

Výstupní napětí	$I_{MAX}$ [A]	$I_{30}$ [A]	$I_{60}$ [A]
2	7,5	4	2
4	15	8	4
6	22,5	12	6
8	30	16	8

## 2.1.3 Zkouška nepřímým výbojem

Zkouška nepřímým výbojem simuluje rušivé účinky při nepřímém elektrostatickém výboji do kovových předmětů nacházející se v blízkosti zařízení. Zkouška nepřímým výbojem se tedy uskutečňuje vybitím simulátoru ESD kontaktním výbojem do kovové vazební desky v blízkosti zkoušeného zařízení, přičemž vazební deska může být situována svisle či vodorovně. [8, 1]

## **2.2 (ČSN EN 61000-4-3) Odolnost vůči vyzařovanému vysokofrekvenčnímu poli**

Tato norma stanovuje metody zkoušení a třídy odolnosti proti vyzařovanému elektromagnetickému poli. Tato zkouška odolnosti je podrobně rozebrána v kapitole 3.1.

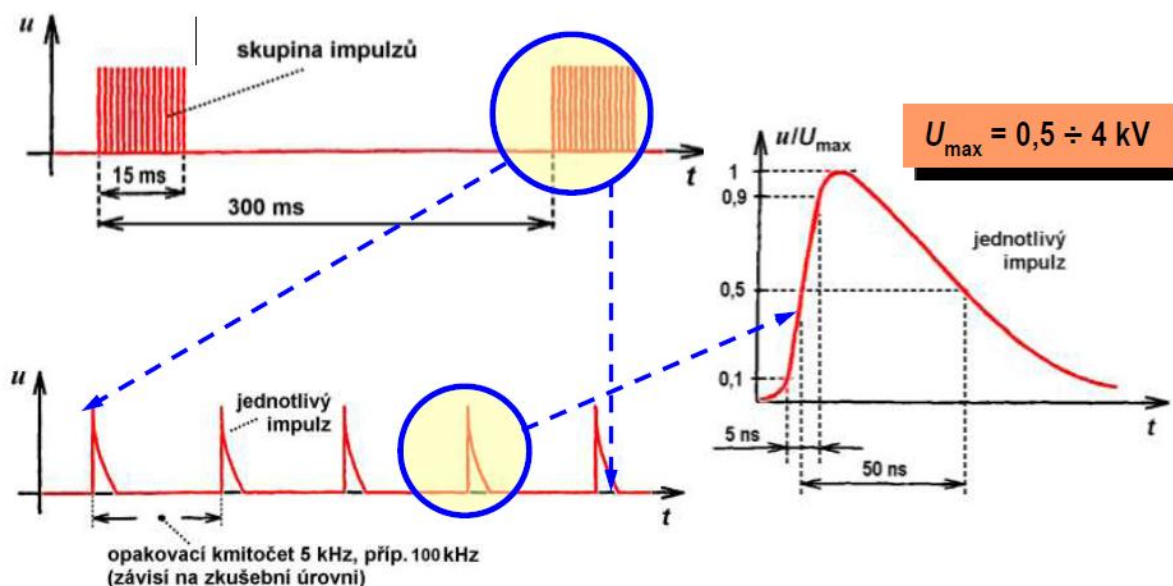
## **2.3 (ČSN EN 61000-4-4) Zkoušky odolnosti vůči nízkoeenergetickým širokopásmovým impulsům**

Zkouška ověřuje odolnost přístroje proti rychlým přechodovým jevům (skupiny nízkoeenergetických impulsů - BURST), které simulují vliv průmyslového rušení. [6]

Tyto rušivé impulsy vznikají obvykle vlivem indukčností při spínacích pochodech v napájecích, signálových či datových sítích, vlivem odskakování kontaktů elektromechanických relé, příp. při spínání vysokonapěťových vypínačů. Jejich typickými vlastnostmi jsou velmi krátká náběžná hrana, krátké trvání a celkově malá energie ( $10^{-3}$  J), avšak vysoká četnost opakování. Tyto rušivé impulsy většinou nezpůsobí přímé poškození elektronických zařízení, ale svým širokým spektrálním rozsahem až do kmitočtů cca 200 MHz vyvolávají významné vysokofrekvenční elektromagnetické rušení. [1]

Rušící signál se vytváří generátorem skupin impulsů (tzv. generátor EFT/B) a ten se injektuje jednak do napájecích obvodů a jednak do komunikační kabeláže. K simulaci uvedeného rušení se používá impuls o náběžné hraně 5 ns a době půltýlu 50 ns. Opakovací kmitočet impulsů ve skupině je 5 kHz nebo 100 kHz. Počet impulsů v každé skupině je stejný a je dán dobou 15 ms (pro opakovací kmitočet 5 kHz) a 0,75 ms (pro 100 kHz). Skupiny impulsů se opakují po 300 ms. Doba trvání testu je 1 – 6 minut. Velikost zkušebních impulsů pro napájení a ochranou zem je 0,5 kV až 4 kV v kladné i záporné polaritě dle typu zkoušeného zařízení a požadované zkušební úrovně. [6]

Výběr zkušebních úrovní se provádí podle konkrétního zařízení a na základě aplikovatelnosti v daném místě instalace a prostředí. Postup pro výběr zkušebních úrovní a informace o nich je uveden v této normě.



Obr. 2 Zkušební signál rázového impulsu napětí [1]

Tab. 4 Zkušební napětí naprázdno a opakovací kmitočet impulsů [8]

Úroveň	Vstup: napájení, ochranná zem		Vstup: vstupní a výstupní signály, data, ovládání, měření	
	Napětí (amplituda) [kV]	Opakovací kmitočet [kHz]	Napětí (amplituda) [kV]	Opakovací kmitočet [kHz]
1	0,5	5 nebo 100	0,25	5 nebo 100
2	1	5 nebo 100	0,5	5 nebo 100
3	2	5 nebo 100	1	5 nebo 100
4	4	5 nebo 100	2	5 nebo 100
x	zvláštní	zvláštní	zvláštní	zvláštní

## 2.4 (ČSN EN 61000-4-5) Zkoušky odolnosti vůči vysokoenergetickým širokopásmovým impulsům - Rázový impulz

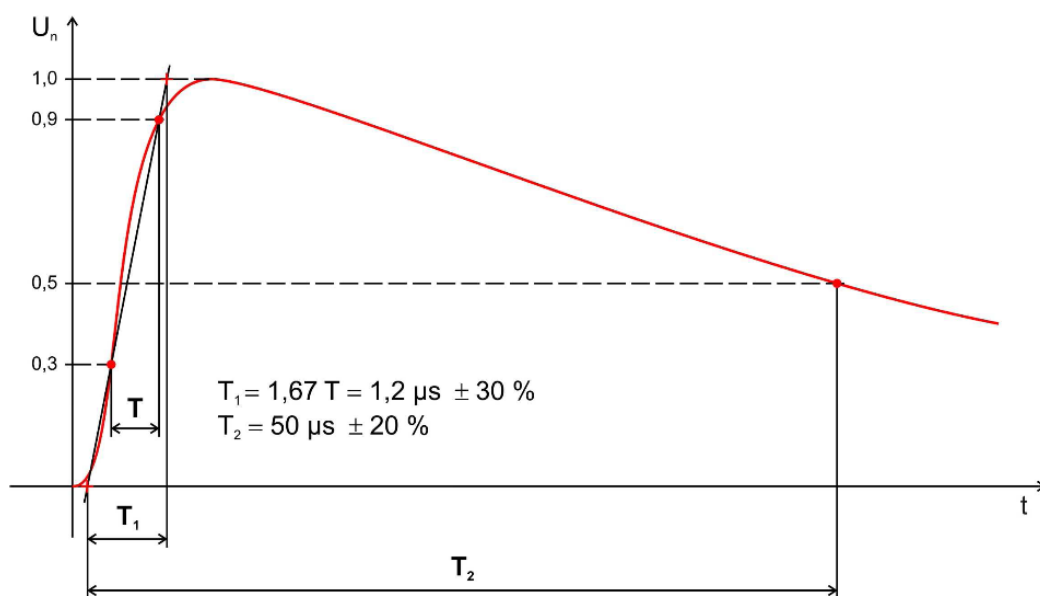
Zkouška ověřuje odolnost přístroje proti rázovým vysokoenergetickým napěťovým a proudovým impulsům (SURGE). Zdrojem takových impulsů mohou být atmosférická přepětí při bouřkové činnosti či spínací přepětí při spínacích nebo poruchových jevech v napájecí síti. Jejich kmitočtové spektrum sahá do oblasti 1 kHz až 1 MHz. Test SURGE se v praxi používá zejména pro jednofázová zařízení s proudovým odběrem do 16 A. [6]

Rázové impulzy se projevují různě podle velikosti impedance zdroje a impedance zkoušeného zařízení. Je-li vstupní impedance na napájecích svorkách zkoušeného zařízení relativně velká ve srovnání s výstupní impedancí zdroje, vytváří rázový impulz na svorkách zkoušeného zařízení impulz napětí.

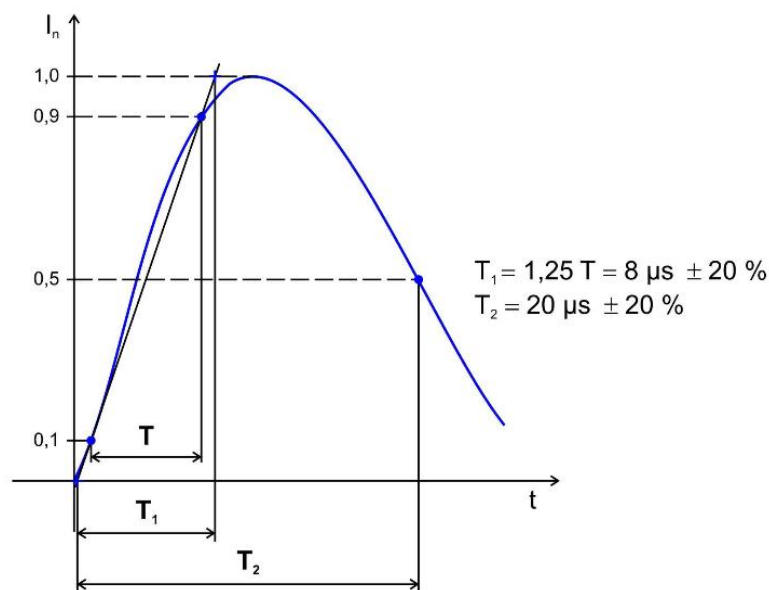
Je-li příslušná vstupní impedance na napájecích svorkách zkoušeného zařízení relativně malá, vytváří rázový impulz na svorkách zkoušeného zařízení impulz proudu. Rázové impulzy jsou vytvářeny v tzv. generátoru kombinované vlny (hybridním generátoru) CWG (angl. Combination Wave Generator). [1]

CWG generuje napěťový impuls 1,2/50  $\mu$ s naprázdno a proudový impuls 8/20  $\mu$ s nakrátko. Velikost napěťového impulsu je 0,5 kV až 4 kV, velikost proudového impulsu je 0,25 kA až 2 kA s možností změny polarity. Zkouška odolnosti se provádí s pěti kladnými a pěti zápornými impulzy s minutovým odstupem. [6]

Výběr zkušebních úrovní se provádí podle konkrétního zařízení a na základě aplikovatelnosti v daném místě instalace a prostředí. Postup pro výběr zkušebních úrovní a informace o nich je uveden v této normě.



**Obr. 3 Zkušební signál rázového impulsu napětí [8]**



Obr. 4 Zkušební signál rázového impulsu proudu [8]

Tab. 5 Zkušební úrovně rázových impulsů [1]

Třída odolnosti	Zkušební napětí naprázdno [kV]
1	0,5
2	1
3	2
4	4
x	zvláštní

## 2.5 (ČSN EN 61000-4-6) Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli

Tato norma stanovuje způsob testování odolnosti zařízení proti vysokofrekvenčnímu poli indukovaného do vedení. Na rozdíl od normy ČSN EN 61000-4-3, kde testované zařízení je ozářeno vnějším vyzářeným rušivým polem, jsou zde rušivá pole zavedena po žilách nebo stínění kabelů (napájecích i komunikačních) přímo k elektronickým obvodům zařízení. Tato testovací metoda více odpovídá stavu v reálném provozu, kdy se přívodní kabely chovají jako anténní přijímače. Tato zkouška odolnosti je podrobně rozebrána v kapitole 3.2.

## **2.6 (ČSN EN 61000-4-7) Zkouška vyššími harmonickými a mezipharmonickými složkami základního kmitočtu 50 Hz**

Zkouška vyššími harmonickými se provádí na všech typech zařízení určených pro veřejné rozvodné sítě nízkého napětí, průmyslové napájecí sítě a rozvodny. Zkouška umožňuje posoudit odolnost zařízení vůči harmonickému nízkofrekvenčnímu rušení z napájecí sítě. Zkušební signál (napětí) je tvořen jedním či kombinací několika spojitých harmonických (sinusových) průběhů superponovaných na síťové napětí 50 Hz. Kmitočty harmonických se postupně mění od 100 Hz do 2 kHz, tedy od druhé až po čtyřicátou harmonickou základního kmitočtu 50 Hz.

U zkoušky mezipharmonickými složkami je zkušební zařízení i metodika zkoušek stejná jako u zkoušky harmonickými složkami základního kmitočtu 50 Hz, jen zkušební signály nejsou harmonickými složkami základního kmitočtu 50 Hz, ale jejich kmitočty leží mezi těmito kmitočty (mezipharmonické kmitočty). [1]

## **2.7 (ČSN EN 61000-4-8) Zkouška odolnosti vůči magnetickému poli síťového kmitočtu**

Tato norma se týká požadavků na odolnost zařízení proti magnetickým rušením na síťových kmitočtech 50 Hz a 60 Hz (nepřerušovaná a krátkodobá pole) od proudů v blízkých vodičích či od jiných přístrojů. Tato norma neuvažuje rušení způsobená kapacitní nebo indukční vazbou v kabelech. Tyto situace pokrývají jiné normy řešící rušení šířená vedením.

Spojité či krátkodobé zkušební magnetické pole se vytváří prostřednictvím proudu protékající indukční cívku a toto magnetické pole se aplikuje na EUT ponornou metodou. Zkušební zařízení obsahuje zdroj proudu (zkušební generátor), indukční cívku a pomocné přístrojové vybavení. V závislosti na velikosti EUT mohou být použity indukční cívky různých rozměrů. Indukční cívka, která je vyrobena z mědi, hliníku nebo z jiného vodivého nemagnetického materiálu musí generovat intenzitu pole odpovídající vybrané zkušební úrovni a s definovanou homogenitou pole  $\pm 3$  dB.

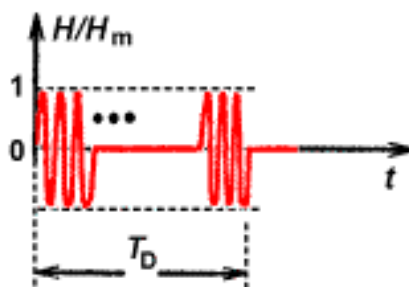
Indukční cívka pro zařízení na stole – indukční cívka normalizovaných rozměrů pro zkoušení malých zařízení má čtvercový tvar o straně 1 m a je vyrobena z vodiče o relativně malém průřezu. Zkušební prostor čtvercové cívky je 0,6 m x 0,6 m x 0,5 m (výška). Dvojitá

cívka normalizované velikosti (Helmholtzova cívka) může být použita, aby se získala homogenita pole lepší než 3 dB a nebo při zkoušení větších EUT. Tato dvojité cívky se musí skládat ze dvou nebo více řad závitů, vhodně od sebe vzdálených. Zkušební prostor dvojité cívky normalizované velikosti se vzájemnou vzdáleností 0,8 m pro homogenitu 3 dB je 0,6 m x 0,6 m x 1 m (výška).

Indukční cívka pro zařízení stojící na podlaze – indukční cívky musí být zhotoveny podle rozměrů EUT a podle různých polarizací pole. Cívka musí být schopná obklopit EUT. Rozměry cívky musí být takové, aby nejmenší vzdálenost mezi vodiči a stěnami EUT byla rovna 1/3 rozměru uvažovaného EUT. Cívky musí být zhotoveny z vodičů s relativně malým průřezem. Objem je určen zkušební plochou cívky (60 % x 60 % každé strany) násobenou hloubkou odpovídající 50 % kratší strany cívky.

V tab. 6 a 7 jsou uvedeny přednostní rozsahy zkušebních úrovní, zvláště pro spojitou a krátkodobou aplikaci magnetického pole v distribučních sítích 50 Hz a 60 Hz. [27]

Výběr zkušebních úrovní se provádí podle konkrétního zařízení a na základě aplikovatelnosti v daném místě instalace a prostředí. Postup pro výběr zkušebních úrovní a informace o nich je uveden v této normě.



**Ustálený provoz**

$H_m = 1 \dots 100 \text{ A/m}$

$TD = \text{doba zkoušky}$

**Krátkodobý provoz**

$H_m = \dots 1000 \text{ A/m}$

$TD = 1 \dots 3 \text{ s}$

**Obr. 5 Zkušební signál [1]**

**Tab. 6 Zkušební úrovně pro spojitě pole [27]**

Úroveň	Intenzita magnetického pole [A/m]
1	1
2	3
3	10
4	30
5	100
x	zvláštní
x je otevřená úroveň, tato úroveň může být dána ve specifikaci výrobku	

**Tab. 7 Zkušební úrovně pro krátké trvání: od 1 s do 3 s [27]**

Úroveň	Intenzita magnetického pole [A/m]
1	nepoužívá se
2	nepoužívá se
3	nepoužívá se
4	300
5	1000
x	zvláštní
x je otevřená úroveň, tato úroveň může být dána ve specifikaci výrobku	

1 A/m odpovídá indukci ve volném prostoru o velikosti 1,26  $\mu$ T.

## 2.8 (ČSN EN 61000-4-9) Zkouška odolnosti vůči pulsům magnetického pole

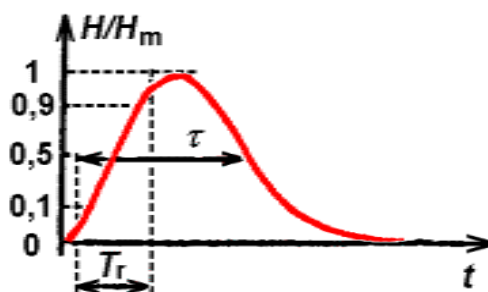
Tato norma se týká požadavků na odolnost zařízení proti impulsnímu magnetickému rušení. Impulsní magnetická pole jsou způsobena úderem blesku na budovy a jiné kovové konstrukce, včetně stožárů antén, zemních vodičů, uzemňovacích sítí a dále jsou způsobena počátečními přechodovými jevy poruch v elektrických sítích nn, vn a vvn. Impulsní magnetická pole v rozvodnách vvn mohou být také způsobena spínáním vvn sběrnic a vedení vývodovými vypínači. Zkouška se používá hlavně pro elektronická zařízení, která se instalují v elektrárnách a v centrech dálkového řízení. Tato norma neuvažuje rušení způsobená kapacitní nebo indukční vazbou v kabelech. Tyto situace pokrývají jiné normy řešící rušení šířená vedením.

Zkušební magnetické pole je opět aplikováno ponornou metodou s využitím cívky (viz ČSN EN 61000-4-8). Rozdíl je ve zdroji, který impulsní mg. pole generuje. Cívka je



připojena přímo na výstup kombinovaného generátoru v režimu surge. Parametry generovaného impulsu 6,4/16  $\mu\text{s}$  odpovídají tvaru impulsu 8/20  $\mu\text{s}$  pro zkoušky zařízení na odolnost proti účinkům atmosférického impulsu (ČSN EN 61000-4-5). Postup zkoušky je z hlediska uspořádání měřicího místa a způsobu aplikace magnetického pole shodný se zkouškou magnetického pole síťového kmitočtu. Zkouška je provedena aplikací alespoň 5 impulsů kladné a 5 impulsů záporné polarity. [28]

Zkušební úrovně magnetického pole odpovídají jednotlivým třídám prostředí stejně jako v předchozí normě ČSN EN 61000-4-8.



$$H_m = \dots 1000 \text{ A/m}$$

$$T_r = 6,4 \mu\text{s}$$

$$\tau = 16 \mu\text{s}$$

Obr. 6 Zkušební signál [1]

Tab. 8 Zkušební úrovně pulzních magnetických polí [28]

Úroveň	Intenzita impulsního magnetického pole [A/m]
1	nepoužívá se
2	nepoužívá se
3	100
4	300
5	1000
x	zvláštní
x je otevřená úroveň, tato úroveň může být dána ve specifikaci výrobku	

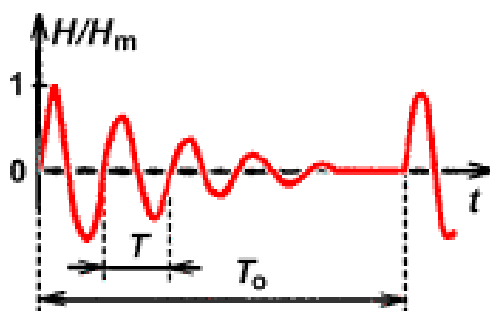
1 A/m odpovídá indukci ve volném prostoru o velikosti 1,26  $\mu\text{T}$ .

## 2.9 (ČSN EN 61000-4-10) Zkouška odolnosti vůči tlumeným kmitům magnetického pole

Tato norma se týká požadavků na odolnost zařízení proti tlumeným kmitům magnetického rušení, týkajících se rozveden vysokého a velmi vysokého napětí. Toto rušení je generováno např. při spínání obvodů odpojovači velmi vysokého napětí v energetických rozvodnách. Tato zkouška je použitelná zejména pro elektronická zařízení, u kterých se předpokládá instalace v rozvodnách vvn. Tato norma neuvažuje rušení způsobená kapacitní nebo indukční vazbou v kabelech. Tyto situace pokrývají jiné normy řešící rušení šířená vedením.

Zkušební magnetické pole je opět aplikováno ponornou metodou s využitím cívky (viz ČSN EN 61000-4-8). Rozdíl je ve zdroji, který kmity magnetického pole generuje. Zkouška se provádí aplikací tlumených kmitů magnetického pole po dobu 2 s. Zkouška musí být provedena alespoň na dvou kmitočtech v rozsahu mezi 30 kHz a 10 MHz. Přednostně musí být provedena na kmitočtech 0,1 a 1 MHz. Zkouška se provádí pro 0,1 MHz s opakovacím kmitočtem alespoň 40 Hz, pro 1 MHz s opakovacím kmitočtem alespoň 400 Hz. Opakovací kmitočet může být zvětšen nebo zmenšen úměrně se zkušebním kmitočtem. [29]

Zkušební úrovně magnetického pole odpovídají jednotlivým třídám prostředí stejně jako v předchozí normě ČSN EN 61000-4-8.



$$H_m = \dots 100 \text{ A/m}$$

$$H = 0,5 \times H_m \text{ po 3 až 6 periodách}$$

$$f = 1/T = 0,1/1 \text{ MHz}$$

$$f_0 = 1/T_0 = 40/400 \text{ Hz}$$

**Obr. 7 Zkušební signál [1]**

Tab. 9 Zkušební úrovně [29]

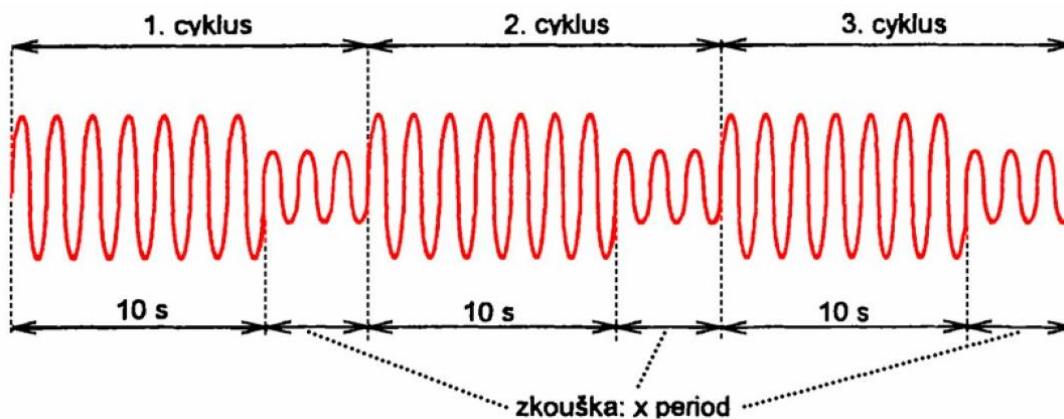
Třída odolnosti	Zkušební intenzita magnetického pole tlumených kmitů [A/m] (vrcholových)
1	nepoužívá se
2	nepoužívá se
3	10
4	30
5	100
x	zvláštní
x je otevřená úroveň, tato úroveň a rovněž i trvání zkoušky mohou být dány ve specifikaci výrobku	

1 A/m odpovídá indukci ve volném prostoru o velikosti 1,26  $\mu$ T.

## 2.10 (ČSN EN 61000-4-11) Zkouška odolnosti vůči krátkodobým poklesům, krátkým přerušením a pomalým změnám napětí

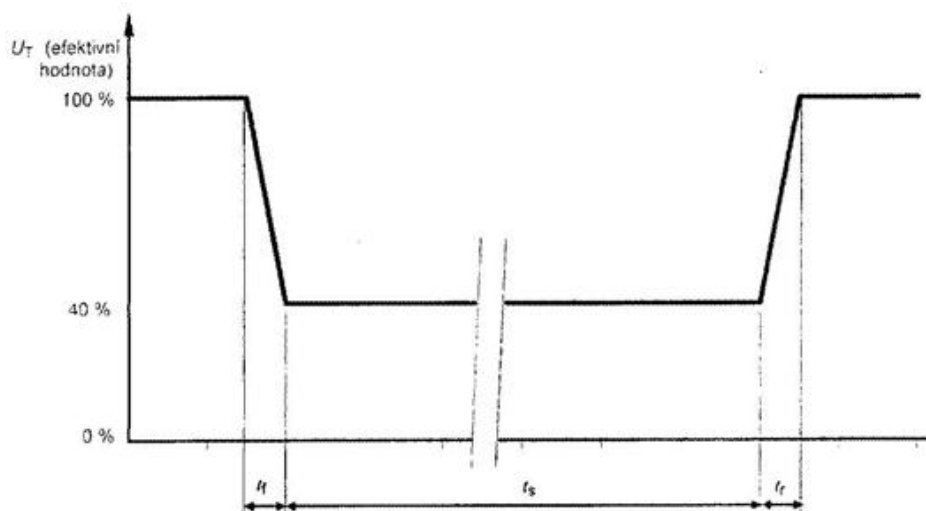
Zkouška odolnosti krátkodobými poklesy a přerušením napájecího napětí umožňuje posoudit odolnost zařízení vůči krátkodobým poklesům a přerušení napětí v napájecí síti. Poklesy napětí a krátká přerušení napětí jsou způsobena poruchami v síti, zejména zkraty nebo náhlými velkými změnami zatížení. Pomalé změny napětí jsou způsobeny spojitě proměnnými zátěžemi připojenými do sítě.

U zkoušky odolnosti vůči krátkodobým poklesům se provádějí skokové poklesy napětí na hodnotu 0 %, 40 %, 70 % a 80 % nominální velikosti s dobou trvání 0,5 – 1 – 5 – 10 – 25 – 250 period síťového napětí 50 Hz. Zkušební úroveň 0 % odpovídá úplnému přerušení napájecího napětí. EUT se musí zkoušet pro každou vybranou kombinaci zkušební úrovně a doby trvání v pořadí tři krátkodobé poklesy/krátká přerušení s minimálními intervaly 10 s (mezi každou dílčí zkouškou) [32]



**Obr. 8 Průběh zkušebního signálu (napájecího napětí) pro zkoušku odolnosti vůči krátkodobým poklesům napájecího napětí. [1]**

Změna mezi  $U_T$  a změněnou hodnotou napětí je náhlá. Skok může začít i končit při jakémkoliv fázovém úhlu napětí. Použijí se následující úrovně zkušebních napětí ( $v \% U_T$ ): 0 %, 40 %, 70 % a 80 %, což odpovídá zbytkovým napětím krátkodobých poklesů a krátkých přerušení napětí 0 %, 40 %, 70 % a 80 %. [32]



- $t_r$  Doba stoupání napětí
- $t_f$  Doba klesání napětí
- $t_s$  Doba zmenšeného napětí

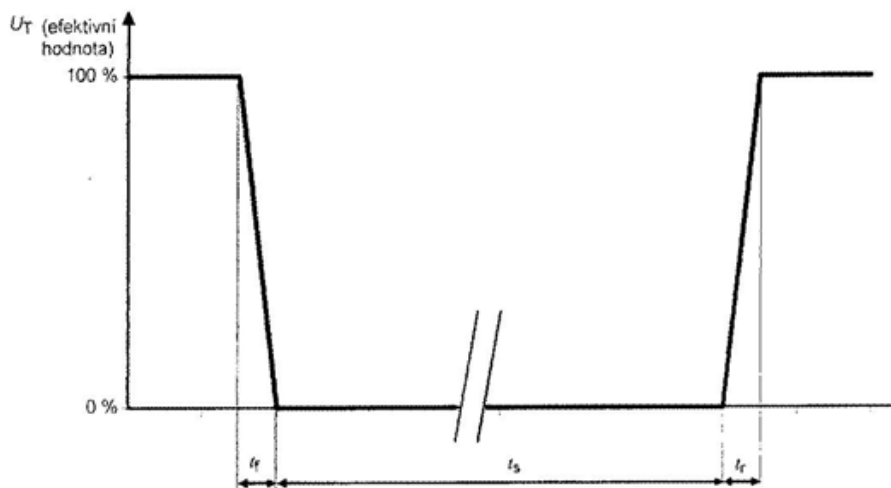
**Obr. 9 Krátkodobý pokles napětí [32]**

**Tab. 10 Zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí [32]**

Třída	Zkušební úrovně jmenovitého napětí ( $U_T$ ) a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí ( $t_s$ )				
1	Případ od případu podle požadavků zařízení				
2	0 % během $\frac{1}{2}$ periody	0 % během 1 periody	70 % během 25 period		
3	0 % během $\frac{1}{2}$ periody	0 % během 1 periody	40 % během 10 period	70 % během 25 period	80 % během 250 period
x	x	x	x	x	x
x: Určeno k definování výrobkovou komisí					

**Tab. 11 Zkušební úrovně a doby trvání pro krátká přerušení napětí [32]**

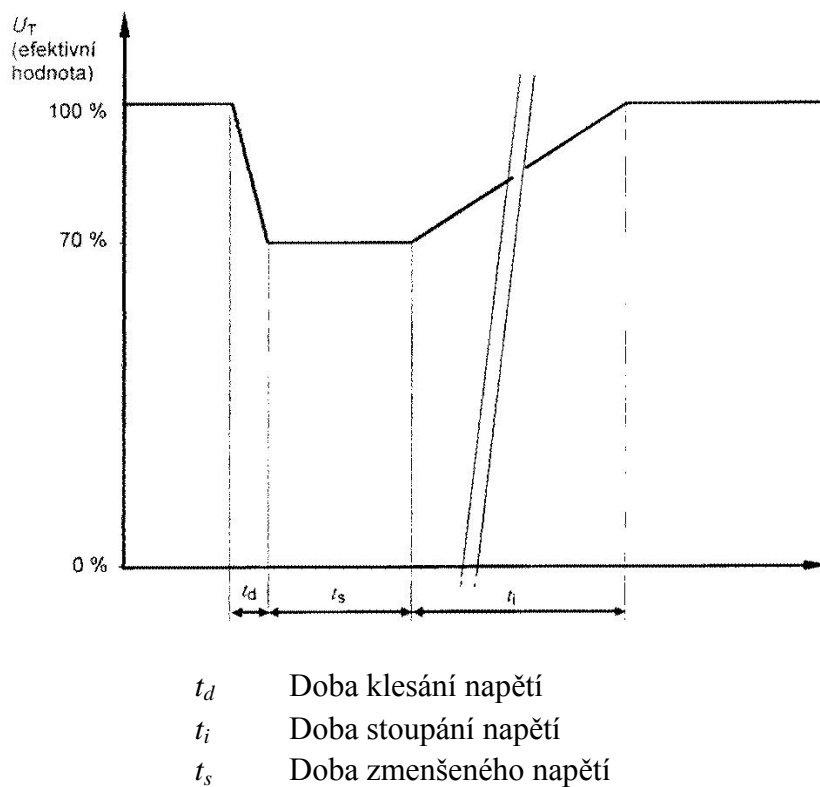
Třída	Zkušební úrovně jmenovitého napětí ( $U_T$ ) a doby trvání pro krátká přerušení napětí ( $t_s$ )
1	Případ od případu podle požadavků zařízení
2	0 % během 250 period
3	0 % během 250 period
x	x
x: Určeno k definování výrobkovou komisí	



- $t_r$  Doba stoupání napětí
- $t_f$  Doba klesání napětí
- $t_s$  Doba zmenšeného napětí

**Obr. 10 Krátkodobé přerušení napětí [32]**

Doporučená je také zkouška na pomalé změny napětí. Některá zařízení jsou citlivější na postupné změny napájecího napětí než na náhlé změny. EUT se zkouší pro každou specifikovanou pomalou změnu napětí. Zařízení je zkoušeno ve třech 10 sekundových cyklech za sebou pro nejméně reprezentativní režimu provozu. [32]



Obr. 11 Pomalá změna napětí [32]

Tab. 12 Časové hodnoty krátkodobých pomalých změn síťového napětí [32]

Zkušební úroveň napětí	Doba klesání napětí ( $t_d$ )	Doba sníženého napětí ( $t_s$ )	Doba stoupání napětí ( $t_i$ )
70 %	strmý přechod	1 periodu	25 period
x	x	x	x
x: Určeno k definování výrobkovou komisí			

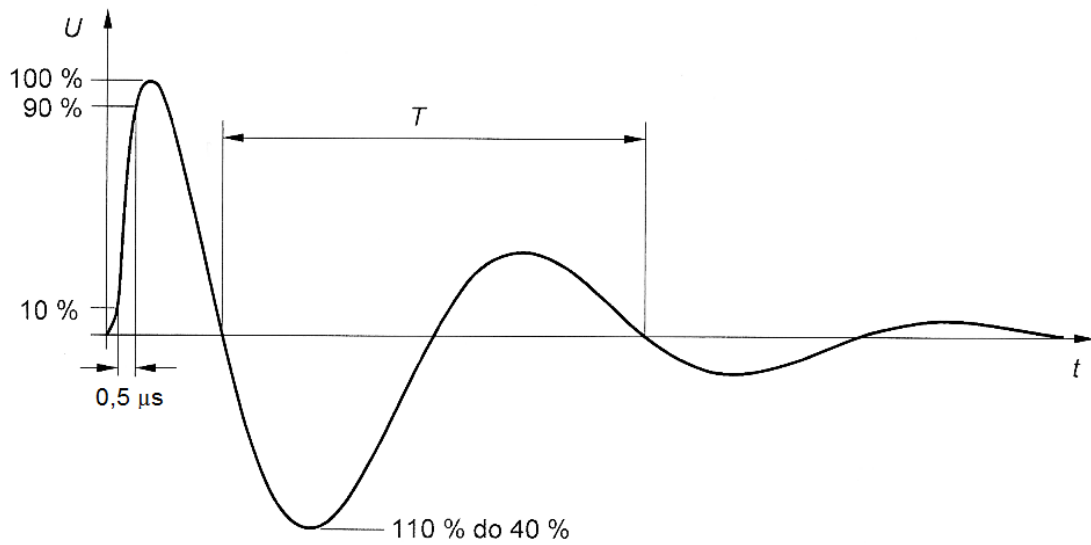
## 2.11 (ČSN EN 61000-4-12) Zkouška odolnosti vůči tlumené sinusové vlně

Tato norma se týká požadavků na odolnost zařízení proti neopakujícím se tlumeným oscilačním přechodovým jevům (tlumeným sinusovým vlnám). Tlumená sinusová vlna je typický oscilační jev indukovaný v nízkonapěťových kabelech, který je způsoben spínáním elektrických sítí a reaktivních zátěží, poruchami a průrazem izolace obvodů napájecí sítě nebo bleskem. Jedná se o nejrozšířenější jev vyskytující se v napájecích sítích velmi vysokého, vysokého a nízkého napětí a rovněž i v ovládacích a signálních vedeních.

Tlumená sinusová vlna s definovanou dobou náběhu  $0,5 \mu\text{s}$  a kmitočtem oscilace  $100 \text{ kHz}$  byla určena jako typická. Jinou příčinou tlumené sinusové vlny je blesk, který samotný je charakterizován standardním impulzem  $1,2/50 \mu\text{s}$ .

Zkušební napětí je tvořeno exponenciálně tlumenými kmitočky o kmitočtu  $100 \text{ kHz}$  s náběžnou dobou prvního kmitu  $0,5 \mu\text{s}$ . Počáteční amplituda obvykle udána v rozmezí  $0,5$  až  $4 \text{ kV}$ . Pokud není v normě výrobku specifikováno jinak, aplikuje se minimálně pět kladných a pět záporných přechodových jevů při maximální rychlosti  $1/\text{s}$ . Zkušební úroveň pro tlumenou sinusovou vlnu aplikovanou na napájecích, signálních a ovládacích vstupech/výstupech zařízení jsou uvedeny v tab. 13. Zkušební úroveň je definována jako první vrchol (maximum nebo minimum) na zkušebním tvaru vlny. [30]

Výběr zkušebních úrovní se provádí podle konkrétního zařízení a na základě aplikovatelnosti v daném místě instalace a prostředí. Postup pro výběr zkušebních úrovní a informace o nich je uveden v této normě.



Obr. 12 Zkušební signál tlumené sinusové vlny napětí [30]

Tab. 13 Zkušební úrovně pro tlumenou sinusovou vlnu [30]

Úroveň	Do vodiče a uzemnění [kV]	Do vodičů [kV]
1	0,5	0,25
2	1	0,5
3	2	1
4	4	2
x	x	x

x může být jakákoliv úroveň nad, pod nebo mezi ostatními úrovněmi, tato úroveň může být stanovena v normě výrobku.



## 2.12 Kritéria elektromagnetické odolnosti

Kritéria elektromagnetické odolnosti definují meze narušení funkcí technického zařízení či systému. V kmenové normě ČSN EN 61000-6-1 jsou zavedena tři funkční kritéria A, B a C. U zkoušek odolnosti je sledována funkce zařízení po dobu zkoušky i po jejím ukončení.

**Funkční kritérium A** – Přístroj musí pracovat nepřetržitě během zkoušky i po ní dle svého určení. Není dovoleno žádné zhoršení činnosti nebo ztráta funkce pod úroveň činnosti stanovenou výrobcem, pokud je přístroj užíván dle svého určení. Úroveň činnosti může být nahrazena dovolenou ztrátou činnosti. Není-li stanovena výrobcem minimální úroveň činnosti nebo přípustná ztráta činnosti, pak obojí může být odvozeno z popisu výrobku a dokumentace a dále z toho, co může uživatel rozumně očekávat od přístroje, je-li užíván dle svého určení.

**Funkční kritérium B** – Přístroj musí po zkoušce pracovat nepřetržitě dle svého určení. Není dovoleno žádné zhoršení činnosti nebo ztráta funkce pod úroveň činnosti stanovenou výrobcem, pokud je přístroj užíván dle svého určení. Úroveň činnosti může být nahrazena dovolenou ztrátou činnosti. Během zkoušky je však dovoleno zhoršení činnosti. Není dovolena změna aktuálního provozního stavu nebo ztráta uložených dat. Není-li stanovena výrobcem minimální úroveň činnosti nebo přípustná ztráta činnosti, pak obojí může být odvozeno z popisu výrobku a dokumentace a z toho, co může uživatel rozumně očekávat od přístroje, je-li užíván dle svého určení.

**Funkční kritérium C** - Je dovolena dočasná ztráta funkce za předpokladu, že funkce je samoobnovitelná nebo může být obnovena řízením. [2]

## 3 Zkoušky vysokofrekvenčním rušením

Tato kapitola se zabývá dvěma normovanými zkouškami odolnosti vůči vysokofrekvenčnímu rušení. Zkouška odolnosti vůči vyzařovanému vysokofrekvenčnímu poli (ČSN EN 61000-4-3) se zabývá odolností zařízení proti vf poli, které se šíří vzduchem. Zkouška odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli (ČSN EN 61000-4-6) se zabývá odolností zařízení proti vf poli, které se šíří po vodiči.

Kmitočtový rozsah zkušebních harmonických signálů pro uvedené typy zkoušek odolnosti je velmi široký. Norma ČSN EN 61000-4-6 je vymezuje od kmitočtu 9 kHz. Harmonická elektromagnetická pole o těchto nízkých kmitočtech se přivádějí do zkoušeného zařízení pomocí vazebních obvodů kapacitního či induktivního charakteru, případně jsou injektována do přívodních kabelů pomocí kapacitních kleští. Přestože jsou tyto zkoušky přípustné až do 230 MHz, dává se na kmitočtech vyšších než 26 MHz přednost simulaci rušivých elektromagnetických polí vyzařováním anténami.

Tyto zkoušky odolnosti pro nejčastěji využívaný kmitočtový rozsah od 80 MHz až 2 GHz popisuje právě česká norma ČSN EN 61000-4-3. [1] Ve většině případů se ale zkouší až do 3 GHz.

### 3.1 (ČSN EN 61000-4-3) Odolnost vůči vyzařovanému vysokofrekvenčnímu poli

Tato norma se týká odolnosti elektrických zařízení proti vyzařované elektromagnetické energii. Ustanovuje zkušební úrovně a požadované zkušební postupy.

Předmětem této normy je vytvoření všeobecného doporučení pro vyhodnocování funkce elektrického zařízení vystaveného působení vysokofrekvenčních elektromagnetických polí. [19]

#### 3.1.1 Všeobecně

Většina elektronických zařízení je svým způsobem ovlivňována elektromagnetickým zářením. Toto záření je často generováno takovými zdroji, jako jsou malé sestavy vysílač/přijímač, stabilní rádiové a televizní vysílače, různé průmyslové elektromagnetické zdroje a pod.

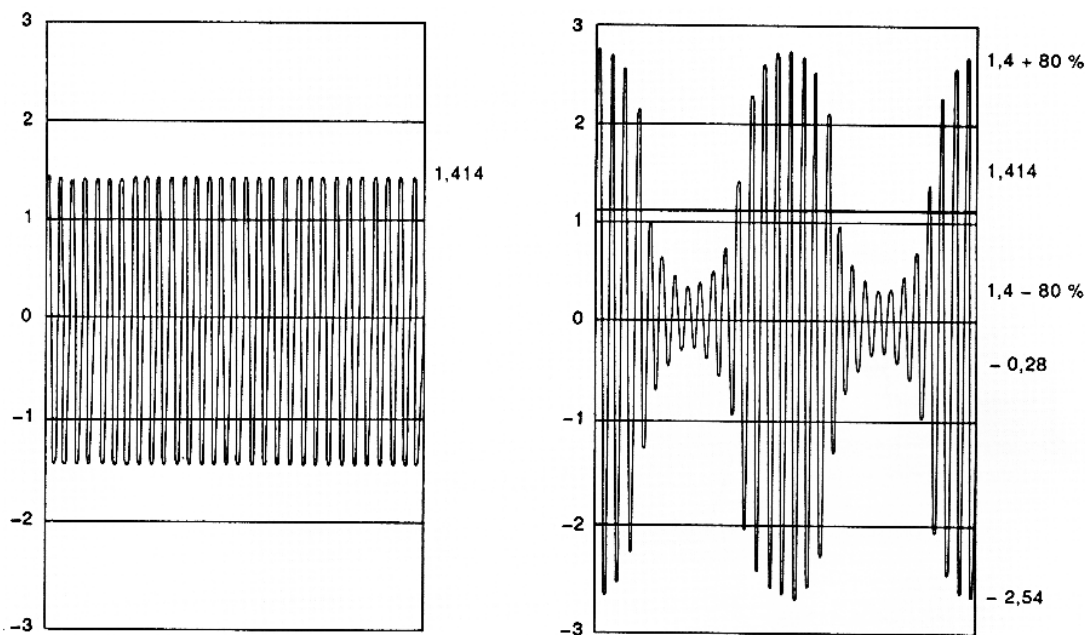
Kromě elektromagnetické energie generované úmyslně existuje také rušivé zařízení způsobené přístroji, jako jsou svářečky, tyristory, zářivky atd. Toto rušení se projevuje převážně jako elektrické rušení šířené vedením, kterým se zabývá další norma ČSN EN 61000-4-6 [19]

### 3.1.2 Zkušební úrovně a zkušební signál

Zkušební úrovně vztahující se na všeobecné účely jsou uvedeny v tab. 14. Zkušební úrovně týkající se ochrany před vysokofrekvenčním vyzařováním z digitálních radiotelefonů jsou uvedeny v tab. 15. Tabulky udávají intenzitu pole nemodulovaného signálu. Pro zkoušení zařízení je tento signál modulován sinusovou vlnou 1 kHz s hloubkou modulace 80 % tak, aby bylo simulováno skutečné ohrožení zkoušeného zařízení. [19]

V normě ČSN EN 61000-4-3 ed. 3 je navíc ukázáno, že zvolený typ modulace (80 % AM) plně vyhovuje pro posouzení odolnosti zařízení i vůči jiným rušivým vf signálům, např. s pulzní amplitudovou modulací, PCM a dalšími typy. Amplitudová modulace vlnou 1 kHz je realizačně jednoduchá a univerzální [1]

Nemodulovaný signál má efektivní hodnotu 1 V a rozkmit 2,8 V. Modulovaný signál má efektivní hodnotu 1,12 V a rozkmit 5,1 V.



Obr. 13 Průběh nemodulovaného a modulovaného zkušebního signálu s 80 % AM [19]

**Tab. 14 Zkušební úrovně pro kmitočtové pásmo 80 MHz až 1000 MHz [19]**

Úroveň	Intenzita zkušebního pole [V/m]
1	1
2	3
3	10
x	Zvláštní
POZNÁMKA x je neomezená zkušební úroveň. Tato zkušební úroveň může být dána v normě výrobku.	

**Tab. 15 Zkušební úrovně pro kmitočtové rozsahy: od 800 MHz do 960 MHz a od 1,4 GHz do 2,0 GHz [19]**

Úroveň	Intenzita zkušebního pole [V/m]
1	1
2	3
3	10
4	30
x	Zvláštní
POZNÁMKA x je neomezená zkušební úroveň. Tato zkušební úroveň může být dána v normě výrobku.	

### 3.1.3 Zkušební zařízení

**Bezodrazová komora** - Musí mít takovou velikost, aby bylo s ohledem na zkoušené zařízení (EUT) udržováno homogenní pole dostatečné velikosti. Pro utlumení odrazů v komorách, které nejsou úplně obloženy, mohou být použity dodatečné absorbéry.

**Filtry EMI** - Tyto filtry nesmí způsobovat dodatečné rezonance na připojených vedeních.

**Vysokofrekvenční signální generátor** - Musí být schopen pokrýt vyšetřované kmitočtové pásmo. Také musí poskytovat možnost ručního nastavení.

**Výkonový zesilovač** - Pro zesílení modulovaného i nedomulovaného signálu a pro zajištění napájení antény vytvářející potřebnou úroveň pole.

**Anténa generující pole** - Anténa může být dvoukuželová, logaritmicko-periodická nebo jakýkoliv jiný lineárně polarizovaný anténní systém, který je schopný vyhovět kmitočtovým požadavkům zkoušky.

**Horizontálně nebo vertikálně polarizovaná anténa nebo anténa monitorující izotropní intenzitu pole** - Tato anténa musí mít dipóly celkové délky 0,1 m a méně, jakýkoliv zesilovač a optoelektroniku s odpovídající odolností proti intenzitě měřeného pole a spojovací vedení světelným vláknem k indikátoru mimo komoru.

**Pomocné zařízení k záznamu úrovní výkonu** – Nezbytné pro požadovanou intenzitu pole a pro řízení generování této úrovně pro účely zkoušky. [19]

### 3.1.4 Stíněné bezodrazové komory

Stíněné bezodrazové komory a související příslušenství (širokopásmové zesilovače, zařízení pro nastavení pozice antény, speciální monitorovací zařízení pro EMC komory, antény, a další) patří k základnímu vybavení pro zkoušky odolnosti vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím.

Existuje řada profesionálních výrobců a dodavatelů. Komory pokrývají řadu norem podle typu využití (pro automobilový průmysl, armádu, komerční účely atd.), jako například ČSN EN 61000-4-3 (měřicí vzdálenost 1 m, 3 m, 5 m a 10 m).

Stíněná bezodrazová komora je elektromagneticky stíněný prostor, jehož vnitřní stěny jsou obloženy elektromagneticky absorpčním materiálem, který omezuje vnitřní odrazy v komoře v širokém pásmu kmitočtů.

Komory jsou buď plně bezodrazové, to znamená, že absorbéry jsou i na podlaze, nebo polo-bezodrazové, kde absorbéry na podlaze nejsou. Důvod jejich absence je lepší manipulovatelnost s měřenými el. přístroji uvnitř komory. Jestli je komora plně bezodrazová nebo polo-bezodrazová opět záleží na konkrétním využití.

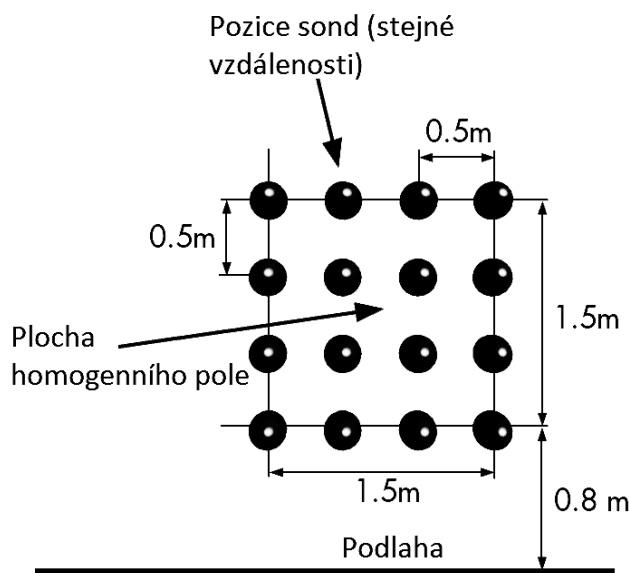
Komora je elektromagneticky stíněná pro účinné potlačení vnějších rušivých elektromagnetických signálů a bezodrazová pro zamezení vzniku vnitřních odrazů elektromagnetických vln a vlastní rezonance stíněného prostoru.

Absorpční materiály přeměňují energii dopadající vlny na teplo s využitím buď dielektrických nebo magnetických ztrát. Upřednostňují se většinou dielektricky ztrátové materiály z důvodu nízké hmotnosti a cenových nákladů oproti magneticky ztrátovým materiálům. Pro výrobu ztrátových dielektrik ve tvaru jehlanů, či kuželů se používají tvrzené pěnové materiály z polystyrénu, polypropylénu nebo polyuretanu, které se sytí elektrovedivými či grafitovými plnidly (dnes nejpoužívanější).

Konstrukce komor je zpravidla šroubovaná (rozebíratelná) nebo svařovaná. Šroubované oproti svařovaným konstrukcím komor s sebou přináší řadu výhod. Kvůli maximálnímu využití prostoru určeného pro instalaci komory je možné přizpůsobit vnější rozměry komory požadavkům, což znamená, že lze realizovat komoru prakticky jakýkoli rozměrů. Jednotlivé stínící panely jsou vyrobeny z vysoce galvanizované plátované oceli o konstantní tloušťce cca 2 mm, která má zdvojené okraje na všech čtyřech stranách.

### 3.1.5 Kalibrace (ověření homogenity pole)

Pro zajištění reprodukovatelnosti imunitních testů normy předepisují homogenitu generovaného pole. Bezodrazová komora musí garantovat homogenitu pole v oblasti o velikosti 1,5 m x 1,5 m ve vzdálenosti 1 až 3 m od vysílací antény. Nejnižší část homogenního pole se nachází ve výšce 0,8 m nad podlahou. K zajištění správného zobrazení sondy pole jsou měření prováděny bez modulace v prázdné bezodrazové komoře. Homogenita pole musí být stanovena v 1% krocích, od 80 MHz až 3 000 MHz. Požadovaná homogenita pole pro příslušnou frekvenci je splněna, jakmile v 12 měřících bodech z 16, rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší intenzitou pole není větší než 6 dB, čili aby se alespoň 75 % plochy nelišilo o více než 6 dB.



Obr. 14 Plocha homogenního pole [16]

Vysoké požadavky na homogenitu pole nemůžou splnit běžné pouze stíněné komory kvůli odrazům. Je nezbytné pokrýt stínící stěny pohlcujícím materiálem (pyramidové nebo feritové absorbéry), které elektromagnetické vyzařování absorbují.

### 3.1.6 Zkušební sestava

Zkouška musí být provedena v konfiguraci pokud možno co nejbližší případu instalace. Instalace kabelů musí být důsledně v souladu s doporučenými postupy výrobce a zařízení musí být ve své skříni se všemi krycími víky a přístupovými panely, pokud není stanoveno jinak. Kovová zemní rovina není vyžadována.

**Uspořádání zařízení na stole** – Zkoušené zařízení je ve zkušebně umístěno na nevodivém stole o výšce 0,8 m.

**Uspořádání zařízení stojícího na podlaze** – Zařízení stojící na podlaze by mělo být umístěno na nevodivé podložce o výšce 0,1 m nad rovinou podložky. Použití nevodivých podložek chrání před náhodným uzemněním EUT a deformaci pole.

**Uspořádání zařízení připevněného k lidskému tělu** – Zařízení připevněné k lidskému tělu může být zkoušeno jako zařízení umístěné na stole. Doporučuje se použití simulátoru lidského těla s odpovídajícími dielektrickými charakteristikami. [19]

### 3.1.7 Metodika a postup zkoušky

Při vlastním měření je zkoušené zařízení podle své velikosti umístěno v absorpční komoře buď na nevodivém (často otočném) stole o výšce 80 cm, nebo na podlaze na nevodivé podložce o výšce 10 cm. Normou preferovaná vzdálenost zkoušeného zařízení od vysílací antény je 3 m, nelze-li ji realizovat, je nejmenší přípustná vzdálenost 1 m. Rovněž vzdálenost zkoušeného objektu od stěn měřicí komory by měla být větší než 1 m.

EUT (zkoušené zařízení) musí být zkoušeno za předpokládaných provozních a klimatických podmínek. Teplota a relativní vlhkost musí být zapsány ve zkušebním protokolu.

Základním principem zkoušek odolnosti vůči vyzařovanému vlnovému elektromagnetickému poli je ozařování zkoušeného objektu příslušnými úrovněmi pole pomocí vhodných antén vyzařujících rušivý signál v kmitočtovém pásmu od 80 MHz do 3 GHz. Protože potřebná intenzita buzených zkušebních polí dosahuje až několika desítek V/m při kmitočtech

sahajících do oblasti GHz pásem, doporučuje se měření přednostně provádět ve stíněných absorpčních prostorech. Tím se jednak odstraní vliv vnějších polí na zkoušený objekt, jednak se chrání obsluhující personál a blízká elektronická měřicí a vyhodnocovací zařízení před vlivem silného vf zkušebního signálu. [1]

Zkouška musí být normálně provedena s anténou čelně ke všem čtyřem stranám EUT. Může-li být zařízení používáno v různých orientacích (tj. vertikální nebo horizontální), měla by být zkouška provedena na všech stranách. Polarizace pole generovaného každou anténou vyžaduje zkoušení každé strany dvakrát, jednou s anténou umístěnou vertikálně a znovu s anténou umístěnou horizontálně. [19]

### 3.1.8 Vyhodnocení výsledků zkoušky

Výsledky zkoušky musí být klasifikovány na základě ztráty funkce nebo zhoršení provozu zkoušeného zařízení ve vztahu k úrovni funkce definované výrobcem nebo žadatelem o zkoušku. Zkouška se tedy vyhodnocuje podle kritérií A, B, C, D uvedených v kapitole 2.12. [19]

### 3.1.9 Protokol o zkoušce

Protokol o zkoušce musí obsahovat všechny potřebné informace pro opakování zkoušky, zejména musí být zaznamenáno následující:

- identifikace EUT a jakéhokoliv přidruženého zařízení, například obchodní značka, typ výrobku, číslo série
- identifikace zkušebního zařízení, například obchodní značka, typ výrobku, číslo série
- jakékoliv zvláštní podmínky prostředí, při kterých byla zkouška provedena, například stínící kryt
- jakékoliv specifické podmínky nutné k umožnění provedení zkoušky
- funkční úroveň definovaná výrobcem, žadatelem o zkoušku
- funkční kritérium specifikované v kmenové normě, normě výrobků nebo v normě skupiny výrobků
- jakékoliv účinky na EUT pozorované během nebo po aplikování zkušebnímu rušení a doba trvání, po kterou tyto účinky setrvají



- zdůvodnění rozhodnutí zda zařízení při zkoušce obstálo/neobstálo (založené na funkčním kritériu)
- jakékoliv použité specifické podmínky, například délka nebo typ kabelu, stínění nebo uzemnění nebo provozní podmínky EUT, které jsou požadovány k dosažení shody [19]

## **3.2 (ČSN EN 61000-4-6) Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli**

Tato norma se týká požadavků na odolnost elektrických zařízení proti elektromagnetickým rušením, jejichž zdrojem jsou vysokofrekvenční vysílače v kmitočtovém rozsahu od 150 kHz do 80 MHz (pro rozsah 9 kHz až 150 kHz nejsou požadovány žádné zkoušky odolnosti vůči tomuto rušení). Cílem zkoušek je stanovit anténní efekty kabelů připojených ke zkoušenému objektu.

Norma se netýká zařízení, která nemají aspoň jeden vodivý kabel (jako je síťový přívod, signální vedení nebo připojení na zem), které může způsobit vazbu zařízení na vf rušivá pole. [1, 24]

### **3.2.1 Všeobecně**

Zdrojem rušení popisované v této normě je elektromagnetické pole, přicházející z vf vysílačů, které může působit na celou délku kabelů připojených k instalovanému zařízení.

Rozměry rušeného zařízení, které je většinou částí většího systému, jsou považovány za malé ve srovnání s vyšetřovanou délkou vlny. Přívodní a výstupní pohyblivé přívody se chovají jako pasivní přijímací anténní sítě s ohledem na jejich délku, která může být několikanásobkem délky vlny. Předpokládá se, že kabelové systémy připojené na zařízení jsou v režimu rezonance ( $\lambda/4$ ,  $\lambda/2$  otevřené, nebo skládané dipóly) a jako takové jsou reprezentovány vazebními a oddělovacími prostředky, jejichž nesymetrická impedance proti referenční zemní rovině je  $150 \Omega$ .

Zkoušené zařízení je touto zkušební metodou vystaveno zdroji rušení obsahujícímu elektrická a magnetická pole, která simulují pole přicházející z vysokofrekvenčních vysílačů.

Skutečnou situaci, kdy rušící zdroje působí na všechny kabely současně s rozsahem různých amplitud a fází je možno modelovat jen použitím vazebních a oddělovacích prvků pro působení rušivého signálu na jeden kabel a současně udržováním všech ostatních kabelů v nevybuzeném stavu. [24]

### 3.2.2 Zkušební úrovně a zkušební signál

Zkušební úrovně nemodulovaného rušivého signálu naprázdno, vyjádřené v efektivních hodnotách jsou uvedeny v tab. 16. Zkušební úrovně jsou nastavovány na jednotlivých vstupech/výstupech zkoušeného zařízení. Při zkoušení zařízení je tento signál amplitudově modulován, úplně stejně jako v normě ČSN EN 61000-4-3, sinusovou vlnou frekvence 1 kHz s amplitudou 80 % tak, aby bylo simulováno skutečné rušení. Zdrojem signálu je vf signální generátor. Generátor se připojuje ke zkoušenému zařízení jedním z několika typů vazebních obvodů specifikovaných rovněž v této normě. Testování se provádí na frekvenčním rozsahu od 150 kHz to 80 MHz v 1 % krocích. [1, 24]

Tab. 16 Zkušební úrovně pro kmitočtové pásmo 150 kHz až 80 MHz [24]

Kmitočtový rozsah 150 kHz – 80 MHz		
Úroveň	Úroveň napětí (e.m.f.)	
	U <sub>o</sub> dB (μV)	U <sub>o</sub> (V)
1	120	1
2	130	3
3	140	10
x	Zvláštní	
x je otevřená úroveň		

### 3.2.3 Zkušební zařízení a zkušební sestava

**Vysokofrekvenční signální generátor** – Musí být schopen pokrýt vyšetřované kmitočtové pásmo. Také musí poskytovat možnost ručního nastavení.

**Vazební a oddělovací prostředky** – Pro vytvoření vhodné vazby rušivého signálu (v celém kmitočtovém rozsahu, s definovanou nesymetrickou impedancí na vstupu/výstupu EUT) na různé kabely připojené k EUT a pro zabránění vlivu aplikovaných zkušebních signálů na jiné přístroje, zařízení a systémy, které se nezkouší, se musí použít vazební

a oddělovací prostředky. Preferovanými vazebními a oddělovacími prostředky jsou sítě CDN, důvodem je reprodukovatelnost zkoušky a ochrana AE (pomocné zařízení). Pokud však jsou nevhodné nebo nedostupné mohou se použít jiné metody injektování.

Při výběru typu a počtu kabelů, které je třeba vybavit vazebními a oddělovacími prostředky, se musí brát ohled na fyzikální konfiguraci typických podmínek instalace např. pravděpodobná délka nejdelších kabelů.

Při všech zkouškách nesmí celková délka kabelu mezi EUT a AE (včetně interní kabeláže jakékoliv použité CDN) překročit maximální délku specifikovanou výrobcem EUT.

- **Vazební/oddělovací sítě (CDN)**

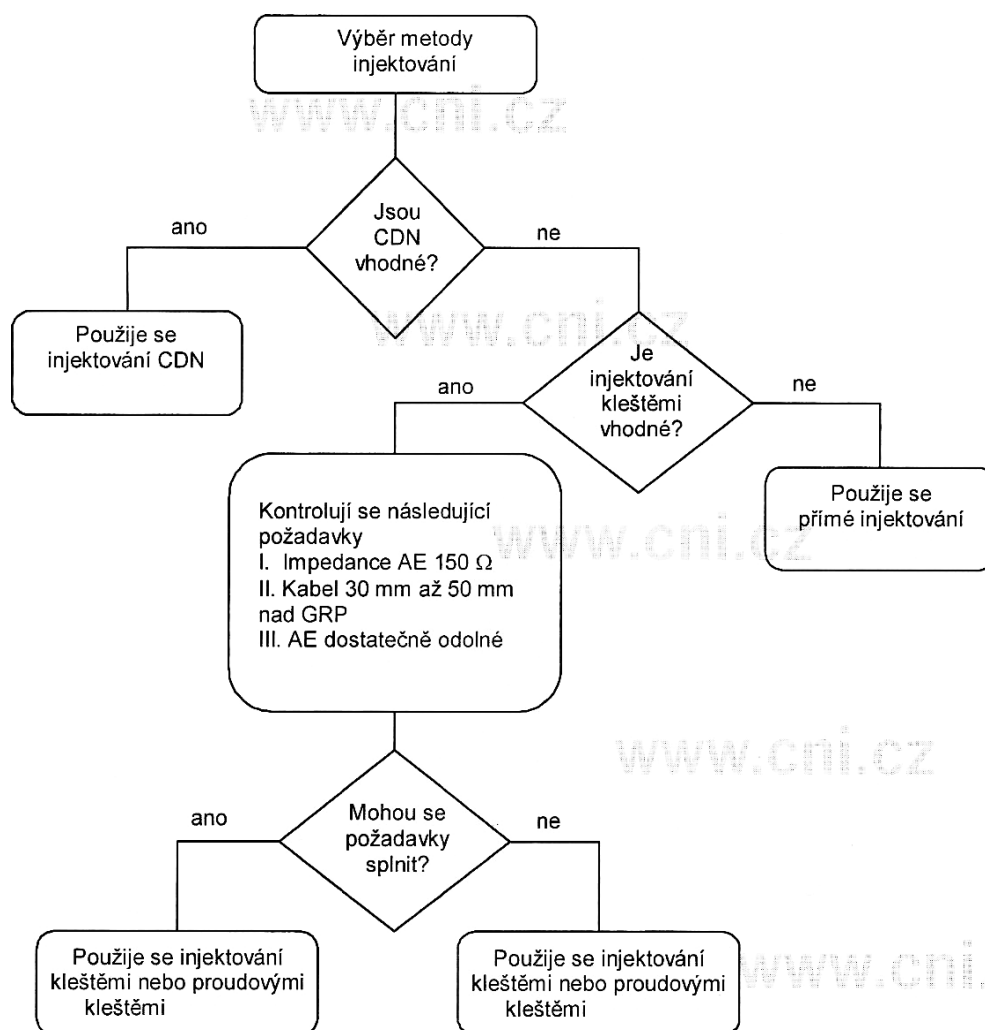
- **Vazební/oddělovací sítě (CDN) pro nestíněná symetrická vedení**
- **Vazební/oddělovací sítě (CDN) pro napájecí vedení**
- **Vazební/oddělovací sítě (CDN) pro nestíněná nesymetrická vedení**
- **Vazební/oddělovací sítě (CDN) pro stíněná vedení**
- **Vazební/oddělovací sítě (CDN) pro nestíněná datová vedení**
- **Vazební/oddělovací sítě (CDN) pro stíněná datová vedení**

- **Prostředky klešťového injektování**

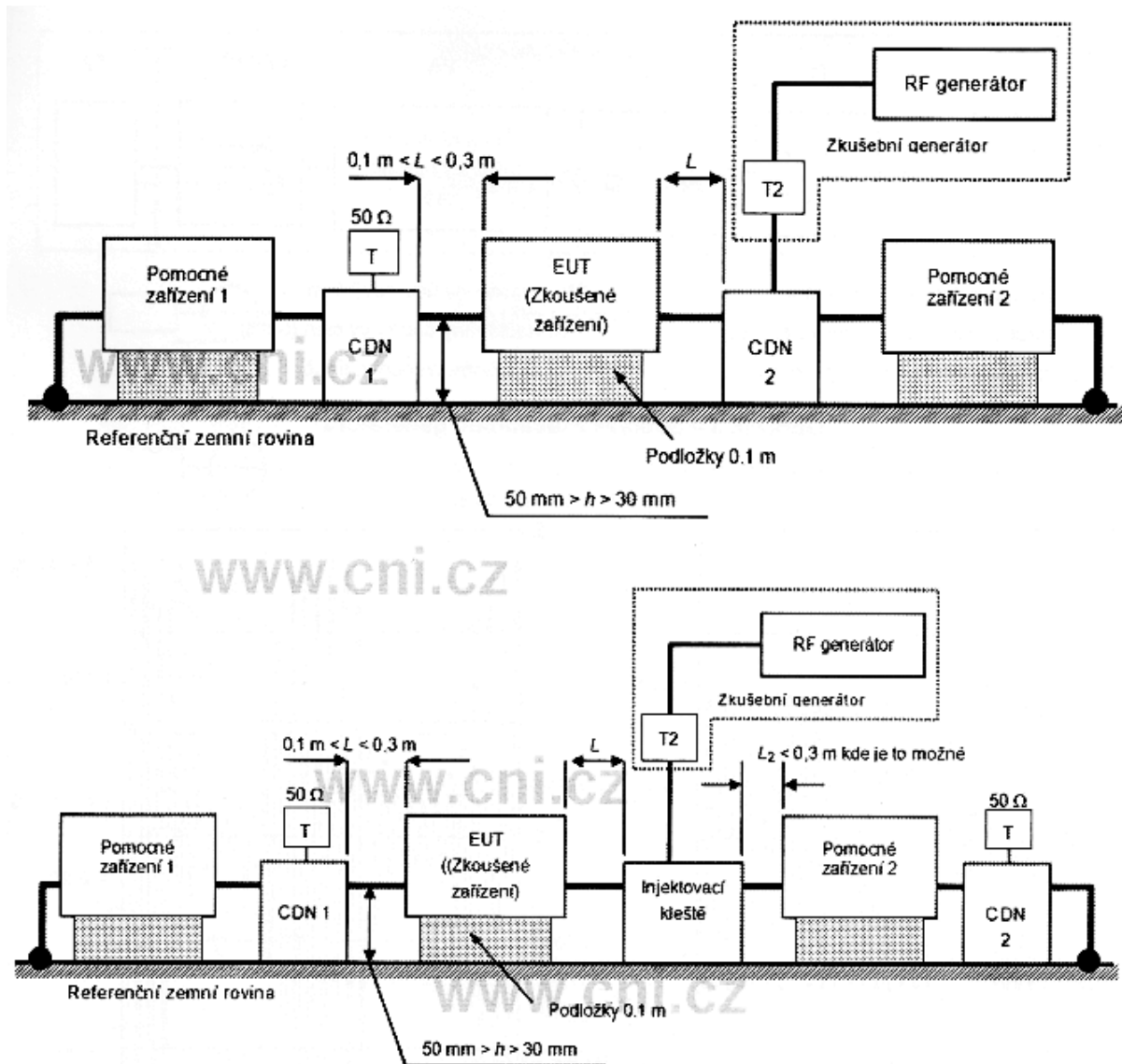
- **Proudové kleště** – Tento prostředek vytváří induktivní vazbu na kabel připojený na EUT.
- **Elektromagnetické kleště** – EM kleště vytvářejí jak kapacitní tak i induktivní vazbu na kabel připojený na EUT.

- **Prostředky přímého injektování** - Rušivý signál, přicházející od zkušebního generátoru, se injektuje do stíněného a koaxiálního kabelu přes rezistor 100  $\Omega$  (dokonce i pokud stínění je neuzemněno nebo uzemněno jen na jednom konci). Mezi pomocným zařízením (AE) a bodem injektování musí být vložen oddělovací obvod co nejblíže k bodu injektování.

- **Oddělovací síť** - Oddělovací síť normálně obsahuje několik indukčností k vytvoření vysoké impedance přes kmitočtový rozsah. Toto je určeno použitým materiálem feritu a na kmitočtu 150 kHz je požadována indukčnost alespoň 280  $\mu\text{H}$ . Reaktance musí zůstat vysoká,  $>260 \Omega$  až do 26 MHz a  $>150 \Omega$  nad 26 MHz. Indukčnost může být získána buď navinutím určitého počtu závitů na feritové toroidy nebo použitím určitého počtu feritových toroidů navlečených na kabel (obvykle ve formě svérkové trubice). [24]



Obr. 15 Pravidla pro výběr metody injektování [24]



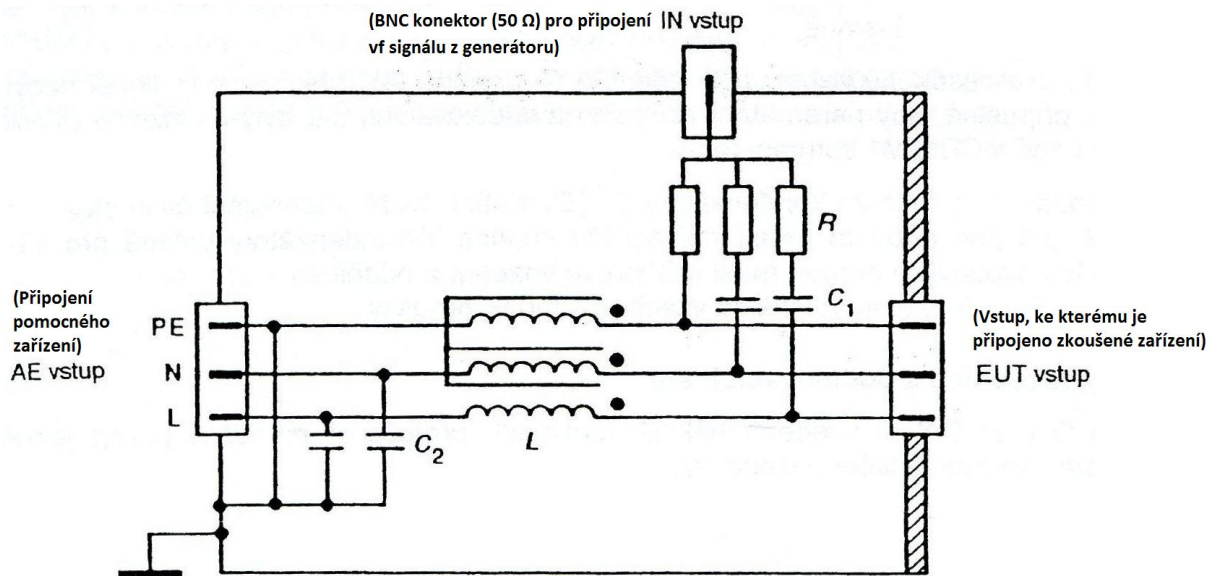
T: zakončení  $50\Omega$

T2: výkonový útlumový člen (6dB)

CDN: vazební a oddělovací síť

Injektovací kleště: proudové kleště nebo EM kleště

**Obr. 16** Schématické znázornění sestavy pro zkoušku odolnosti proti vf rušením šířeným vedením [24]



$$C_1 = 10 \text{ nF}, C_2 = 47 \text{ nF}$$

$$R = 100, 200, 300 \text{ } \Omega$$

$$L \geq 280 \text{ } \mu\text{H}$$

Obr. 17 Příklad schématu zapojení CDN typu M pro nestíněná napájecí vedení [8]



$$250 \text{ V AC} / 400 \text{ V DC}, 16 \text{ A (80 A)}$$

$$150 \text{ kHz} - 230 \text{ MHz}$$

Obr. 18 Příklad CDN typu M pro nestíněná napájecí vedení [8]

### 3.2.4 Metodika a postup zkoušky

Zkoušené zařízení se umístí na izolační podložce ve výšce 0,1 m nad referenční zemní rovinou. Všechny kabely vycházející z EUT se musí podepřít ve výšce alespoň 30 mm nad referenční zemní rovinou. Pokud zařízení je navrženo k montáži v panelu, stojanu nebo skříní, pak se musí zkoušet v této konfiguraci. Pokud je požadován prostředek k podepření zkoušeného vzorku, musí se takováto podpěra konstruovat z nekovového a nevodivého materiálu. Pokud jsou požadovány vazební nebo oddělovací prostředky, musí se umístit ve vzdálenosti mezi 0,1 m až 0,3 m od EUT. Všechny nezkoušené kabely se musí buď odpojit (pokud je to z hlediska funkce možné) nebo opatřit oddělovacími sítěmi nebo jen nezakončenými CDN.

Základním principem zkoušek odolnosti proti vf rušením šířeným vedením je injektování zkušebního vf signálu do příslušných kabelů pomocí vazebních prostředků (CDN, EM kleště) pomocí signálového generátoru generující rušivý signál v kmitočtovém pásmu od 150 kHz do 80 MHz (pro testování odolnosti se používá 80% amplitudová modulace signálu s 1 kHz obálkou). Frekvenční krok je 1%, zvolí se úroveň napětí indukovaného vf signálu (10 V) a čas vysílání signálu na každé frekvenci je podle normy 3 s.

Zkoušené zařízení se musí provozovat při svých předpokládaných klimatických podmínkách. Teplota a relativní vlhkost by měly být zaznamenány ve zkušebním protokolu. Zkouška se musí provést s generátorem připojeným střídavě ke každému z vazebních prostředků (CDN, EM kleště, sonda injektování proudu).

**Postup aplikace CDN injektování** - Pokud se použije CDN injektování je třeba provést několik opatření.

Pokud je AE umístěováno nad GRP (referenční zemní rovina) pak se umístí 0,1 m nad GRP. Jedna CDN se musí připojit k vstupu/výstupu určenému ke zkoušení a jedna CDN se zakončením 50  $\Omega$  se musí připojit k dalšímu vstupu/výstupu. Oddělovací síť se musí instalovat na všech ostatních vstupech/výstupech, ke kterým se kabely připojují. Tímto způsobem je jen jedna smyčka na každém konci zakončena 150  $\Omega$ .

CDN určená k zakončení se musí zvolit podle následující priority:

- 1) CDN-M1 používané pro zapojení zemní svorky;
- 2) CDN-S<sub>n</sub> (n = 1,2,3,..), která je nejbližší k bodu injektování (geometricky nejkratší vzdálenost ke zkoušenému vstupu/výstupu);

- 3) CDN-M2, CDN-M3, CDN-M4 nebo CDN-M5 používané pro síťová napájení;
- 4) Další CDN, která je nejbližší k bodu injektování (geometricky nejkratší vzdálenost ke zkoušenému vstupu/ výstupu).

Pokud EUT má jen jeden vstup/výstup pak se tento připojí k CDN použité pro injektování. Pokud k EUT je připojeno alespoň jedno AE a k EUT je možno připojit jen jednu CDN pak jeden vstup/výstup AE se musí připojit k CDN se zakončením  $50 \Omega$  podle výše uvedené priority a u ostatních připojení k AE se musí provést oddělení.

**Postup klešťového injektování, když se požadavky na nesymetrickou impedanci mohou splnit** - Pokud se použije klešťové injektování, musí sestava AE mít nesymetrickou impedanci. Každé AE použité při klešťovém injektování musí reprezentovat funkční podmínky instalace pokud možno co nejdříve. Při aproximování požadované nesymetrické impedance je třeba uplatnit několik opatření.

Každé AE použité při klešťovém injektování se musí umístit na izolační podpěře 0,1 m nad zemní referenční rovinou. Oddělovací síť se musí instalovat na každém kabelu mezi EUT a AE kromě zkoušeného kabelu. Všechny kabely připojené na každé AE, jiné než ty, které jsou připojeny na EUT, se musí opatřit oddělovacími sítěmi.

Oddělovací síť připojené na každé AE (kromě těch na kabelech mezi EUT a AE) se musí aplikovat ve vzdálenosti ne větší než 0,3 m od AE. Kabel (kabely) mezi AE a oddělovací sítí (oddělovacími sítěmi) nebo mezi AE a injektovacími kleštěmi se nesmí svazovat ani svinovat a musí se udržovat mezi 30 mm a 50 mm nad referenční zemní rovinou.

Na jednom konci zkoušeného kabelu je EUT a na opačném konci je AE. K EUT a k AE se může připojit více CDN; avšak jen jedna CDN u každého EUT a AE musí mít zakončení  $50 \Omega$ .

Pokud se použije několik kleští, injektování se provede na každém kabelu vybraném pro zkoušení jeden po druhém. Kabely, které jsou vybrány pro zkoušení injektovacími kleštěmi, avšak zrovna se nevyšetřují, musí se oddělit.

**Postup klešťového injektování, když se požadavky na nesymetrickou impedanci nemohou splnit** - Nemohou-li být při klešťovém injektování požadavky na nesymetrickou impedanci na straně pomocného zařízení AE splněny, je nutné, aby nesymetrická impedance AE byla menší nebo rovná nesymetrické impedanci zkoušeného vstupu/výstupu EUT. Pokud není, musí se provést opatření (např. použitím CDN-M1 nebo rezistoru  $150 \Omega$  od AE



k uzemnění) na vstupu/výstupu AE pro vyhovění této podmínce a zabránění rezonanci. V tomto postupu jsou dány jen tyto podstatné rozdíly proti předchozímu postupu klešťového injektování, když se požadavky na nesymetrickou impedanci mohou splnit.

Každé AE a EUT použité při klešťovém injektování musí co nejvíce reprezentovat funkční instalační podmínky, např. EUT musí být buď připojeno na referenční zemní rovinu nebo umístěno na izolační podložce.

Proud způsobený indukovaným napětím se musí monitorovat pomocí zvláštní proudové sondy (s nízkým vložitelným útlumem) vložené mezi injektovací kleště a EUT. Pokud proud překračuje jmenovitou hodnotu obvodu  $I_{\max}$  uvedenou níže, musí se úroveň zkušebního generátoru zmenšovat až je měřený proud rovný hodnotě  $I_{\max} = U_0/150 \Omega$ . Aplikovaná modifikovaná úroveň zkušebního napětí se musí zapsat v protokolu o zkoušce. Pro zajištění reprodukovatelnosti musí být zkušební sestava v protokolu o zkoušce kompletně popsána.

**Postup přímého injektování** - Pokud se použije přímé injektování na stíněné kabely je třeba uplatnit několik opatření. EUT se musí umístit na izolační podložce o výšce 0,1 m nad referenční zemní rovinou.

Na kabelu určeném ke zkoušení se musí mezi bodem injektování a AE umístit oddělovací síť pokud možno co nejblíže k bodu injektování. Druhý vstup/výstup se musí zatížit  $150 \Omega$  (CDN se zakončením  $50 \Omega$ ). Na všech ostatních kabelech připojených k EUT se musí instalovat oddělovací síť. (Pokud jsou naprázdno, považuje se CDN za oddělovací síť.)

Bod injektování se musí umístit ve vzdálenosti mezi 0,1 a 0,3 m od geometrické projekce EUT na referenční zemní rovinu. Zkušební signál se musí injektovat přímo na stíněný kabelu přes rezistor  $100 \Omega$ . [24]

### 3.2.5 Vyhodnocení výsledků zkoušky

Výsledky zkoušky musí být klasifikovány na základě ztráty funkce nebo zhoršení provozu zkoušeného zařízení ve vztahu k úrovni funkce definované výrobcem nebo žadatelem o zkoušku. Zkouška se tedy vyhodnocuje podle kritérií A, B, C, D uvedených v kapitole 2.12. [24]

### 3.2.6 Protokol o zkoušce

Protokol o zkoušce musí obsahovat všechny potřebné informace pro opakování zkoušky, zejména musí být zaznamenáno následující:

- identifikace EUT a jakéhokoliv přidruženého zařízení (např. obchodní značka, typ výrobku, číslo série)
- velikost EUT
- reprezentativní provozní podmínky EUT
- zda se EUT zkouší jako jedna jednotka nebo více jednotek
- typy propojovacích kabelů včetně jejich délky a vstupu/výstupu rozhraní EUT, ke kterému byly připojeny
- jakékoliv použité specifické podmínky, například délka nebo typ kabelu, stínění nebo uzemnění nebo provozní podmínky EUT, které jsou požadovány k dosažení shody
- doba zotavení EUT pokud je nezbytná
- druh použitého zkušebního zařízení a poloha EUT, pomocných zařízení a vazebních i oddělovacích prvků
- identifikace zkušebního zařízení, např. obchodní značka, typ výrobku, číslo série
- vazební a oddělovací členy na každém kabelu a jejich interní délka kabelu
- pro každý vstup/výstup injektování vyznačit, které oddělovací prostředky byly zakončeny  $50\Omega$
- popis metody vyšetřování EUT
- jakékoliv specifické podmínky nutné pro umožnění provedení zkoušky
- kmitočtový rozsah zkoušky
- rychlost rozmítání kmitočtu, doby prodlevy a kmitočtové kroky
- aplikovaná zkušební úroveň
- funkční úroveň definovaná výrobcem, žadatelem o zkoušku nebo zákazníkem kupujícím výrobek
- aplikovaná funkční kritéria
- jakékoliv účinky na EUT pozorované během nebo po aplikování zkušebnímu rušení a doba trvání, po kterou tyto účinky setrvají
- zdůvodnění rozhodnutí zda zařízení při zkoušce obstálo/neobstálo (založené na funkčním kritériu) [24]

## 4 Laboratorní měření podle normy ČSN EN 61000-4-3 v bezodrazové komoře

Všechna měření pro účely této diplomové práce byla provedena v bezodrazové komoře Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni, která se nachází v suterénu budovy. Komora byla dodána 19. Července 2004 německou firmou Frankonia. Jedná se o typ Semi Anechoic Chamber (SAC). Níže jsou popsány její technické parametry i schéma zapojení celého systému Frankonia.

### 4.1 Komora Frankonia SAC a její technické parametry

Tento typ komory je navržen pro měření ve frekvenčním pásmu od 10 kHz do 18 GHz. Na zdích a stropě jsou černé feritové absorbéry typu Franko<sub>Sorb</sub> F006, které mají velmi dobré útlumové charakteristiky v pásmu od 30 MHz do 1 GHz. Dále jsou na bočních stěnách a podlaze použity kombinované absorbéry typu Franko<sub>Sorb</sub> H450, což je kombinace feritových a pyramidových absorbérů, které rozšiřují útlumový frekvenční rozsah až do 18 GHz. Pyramidové absorbéry jsou z tenké vodivé fólie, která je umístěna v nosném polystyrénovém materiálu. Tato celková kombinace absorbérů zajišťuje homogenitu pole ve zkušebním prostoru a je ideální řešení pro komory s měřicím rozsahem 3 m. Komora je plně v souladu s normou ČSN EN 61000-4-3 pro vysokofrekvenční testování odolnosti.

**Tab. 17 Technické parametry komory Frankonia SAC [33]**

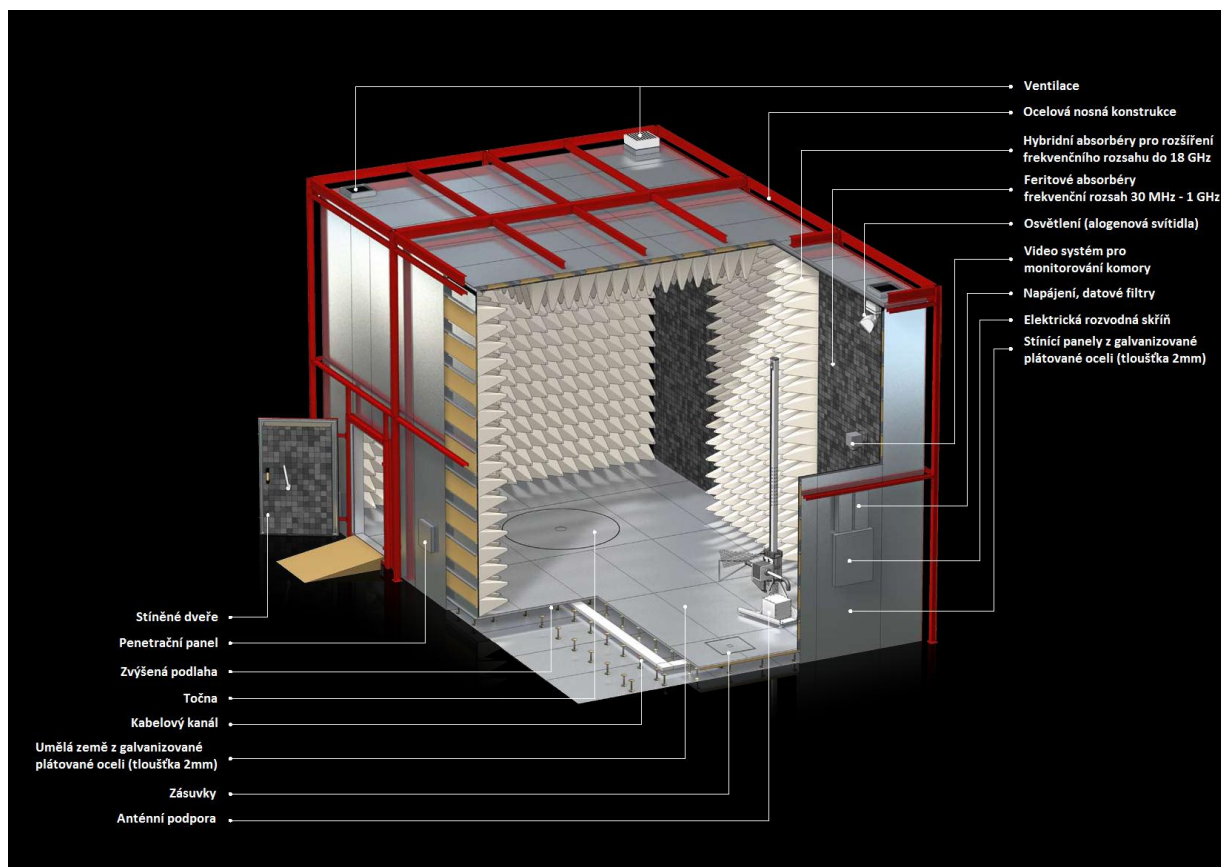
Měřicí pásmo	10 kHz - 18 GHz
Měřicí vzdálenost	3 m
Zkušební prostor - točna	Frankonia, 2 m v průměru
Posuvné dveře	1238 mm x 1968 mm
Rozměry komory	8480 mm x 4955 mm x 5750 mm
Absorbéry	Franko <sub>Sorb</sub> F006, Franko <sub>Sorb</sub> H450

**Tab. 18 Technické parametry kontrolní místnosti [33]**

Rozměry	4955 mm x 1840 mm x 2550 mm
Stíněné dveře	938 mm x 1968 mm

Tab. 19 Klimatické podmínky pro testování [33]

	Uvnitř komory	Vně komory
Teplota	22 – 25 °C	21 – 25 °C
Vlhkost	41 – 48 %	41 – 49 %



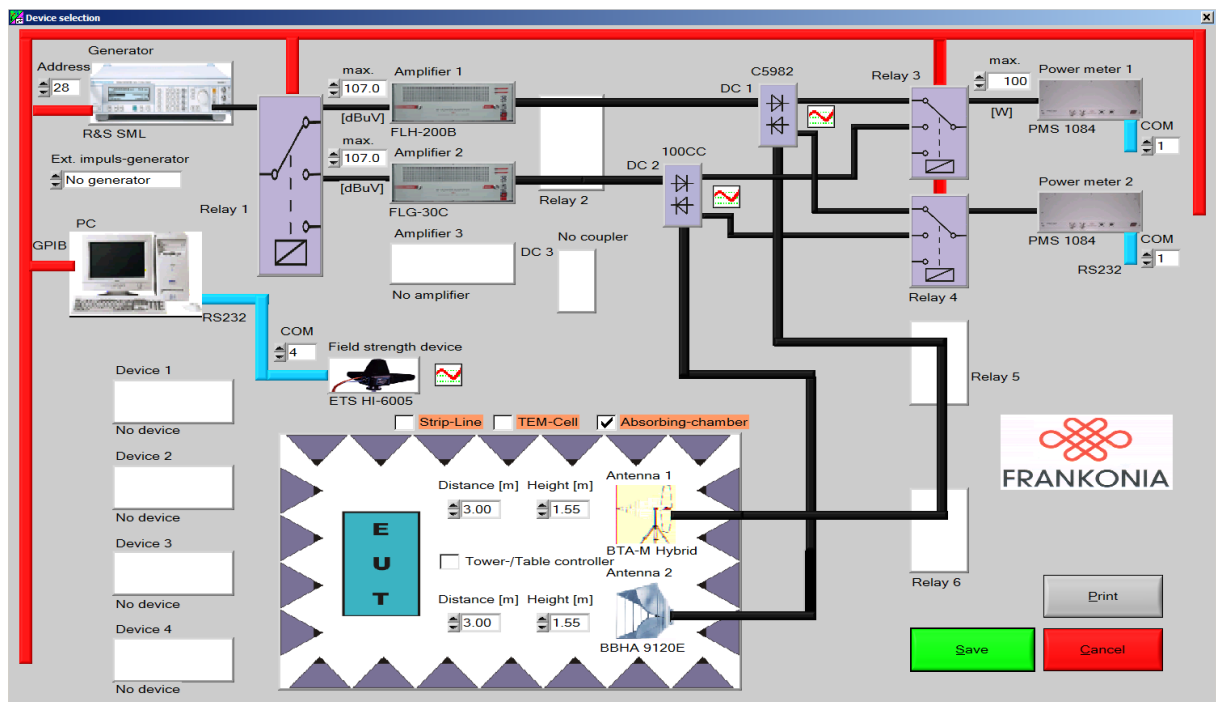
Obr. 19 Popis bezodrazové stíněné komory Frankonia [15]

## 4.2 Schéma zapojení měřícího systému

Zde je uvedeno schéma zapojení pro měření odolnosti vůči vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli. Bezodrazové komory Frankonia používají vlastní ovládací software RF-LAB, který komunikuje s prvky ve schématu.

Počítač komunikuje s prvky přes GPIB rozhraní. V softwaru se nastavují všechny parametry měření, jako jsou frekvenční rozsah (od 80 MHz do 3 GHz), frekvenční krok (používáme 1%), intenzitu elektrického pole (maximálně  $10 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ ), čas vysílání signálu na každé frekvenci, modulace signálu (používá se 80 % amplitudová modulace signálu s 1 kHz obálkou).

Podle zadaných parametrů ovládá počítač signální generátor Rohde & Schwarz SML 03, ze kterého jde signál do spínacího pole, které přepíná mezi zesilovači. Zesilovač FLH-200B je pro signály od 80 MHz do 1 GHz a zesilovač FLG-30C od 1 GHz do 3 GHz. Ze zesilovače jde signál do měřiče výkonu PMS 1084 a přes stíněné průchodky kabelem do prostoru zkušební bezodrazové komory a do vysílacích antén BTA-M Hybrid nebo BBHA 9120E. Měření intenzity pole ve zkušební prostor (3 m od vysílací antény) a zpětnou vazbu zprostředkovává sonda pole ETS HI-6005.



Obr. 20 Schéma zapojení měřícího systému [10]

## 4.2.1 Signálový generátor

Signálový generátor Rohde & Schwarz SML 03 pokrývá požadovaný frekvenční rozsah a umožňuje amplitudovou modulaci testovacího signálu podle normy.



Obr. 21 Rohde & Schwarz SML 03 [18]

**Tab. 20** Technické parametry Rohde & Schwarz SML 03 [18]

Frekvenční rozsah	9 kHz až 3,3 GHz
Rozsah úrovní	-140 dBm až 13 dBm
Frekvenční rozlišení (nejnižší krok)	1 Hz
Úrovnňové rozlišení (nejnižší krok)	0,1 dB
Amplitudová modulace	0 až 99,9 %
Modulace	AM, FM, fázová

## 4.2.2 Spínací pole

Spínací pole Frankonia RSU slouží pro přepínání signálu mezi zesilovači podle jeho frekvence.

**Obr. 22** Frankonia Relay Switching Unit - RSU [25]**Tab. 21** Technické parametry Frankonia Relay Switching Unit - RSU [25]

Frekvenční rozsah	Do 40 GHz
Impedance	50 $\Omega$
Spínací doba	$\leq 60$ ms
Počet operací	max. 10/min
VSWR	$\leq 1,14$
Izolování	$\geq 80$ dB
Vložný útlum	$\leq 0,1$ dB
Max. vstupní výkon	$\leq 0,44$ kW

### 4.2.3 Zesilovače

Zesilovače Frankonia FLH 200B a Frankonia FLG 30C zvyšují úroveň výstupního signálu ze signálového generátoru na požadovanou zadanou testovací úroveň prostřednictvím ovládacího softwaru RF-LAB. Zesilovač Frankonia FLH 200B je použit pro vysokofrekvenční měření od 80 MHz do 1 GHz a Frankonia FLG 30C od 1 GHz do 3 GHz.



Obr. 23 Frankonia FLH 200 B [14]

Tab. 22 Technické parametry Frankonia FLH 200 B a FLG 30C [14]

	FLH 200 B	FLG 30C
Frekvenční rozsah	20 MHz - 1GHz	1 GHz - 3 GHz
Max. výstupní výkon	200 W	30 W
Zisk	54 dB	46 dB
Zvlnění	+/- 2 dB	+/- 1,5 dB
Vstupní impedance	50Ω	50Ω
Výstupní impedance	50Ω	50Ω

### 4.2.4 Měřič výkonu

Frankonia PMS 1084 je dvoukanálový měřič výkonu. Měří výkon, který jde ze zesilovače do antény a zároveň výkon odražený zpět do systému. Obě měřené hodnoty se ukládají do počítače prostřednictvím ovládacího softwaru RF-LAB. Pro integraci PMS 1084 do ovládacího softwaru slouží sériové a USB rozhraní (přes adaptér).



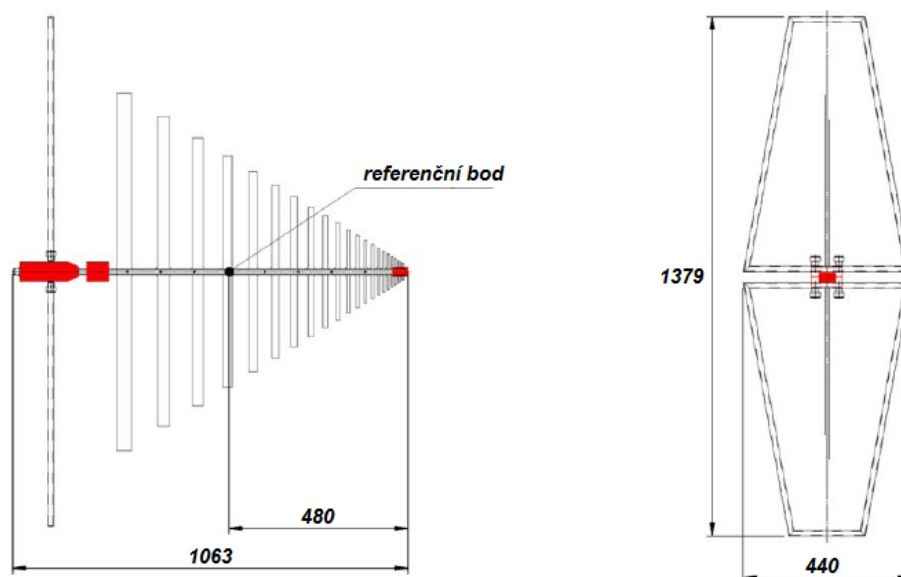
Obr. 24 Frankonia PMS 1084 [13]

Tab. 23 Technické parametry Frankonia PMS 1084 [13]

Počet kanálů	2
Frekvenční rozsah	100 kHz – 6 GHz
Vstupní impedance	50 Ω
Měřicí rozsah	–60 dBm až 20 dBm
Přesnost	± 1 dB (0,5 dB typicky)
Rozlišení	0,1 dB
Max. vstupní úroveň	27 dBm (= 500 mW)
WSWR	1,15

#### 4.2.5 Vysílací Antény

Pro vysokofrekvenční imunitní testy v bezodrazové komoře Frankonia se od 80 MHz do 1 GHz používá kombinovaná širokopásmová logaritmicko-periodická anténa Frankonia BTA-M a od 1 GHz do 3 GHz trychtýřová anténa Schwarzbeck BBHA 9120E.

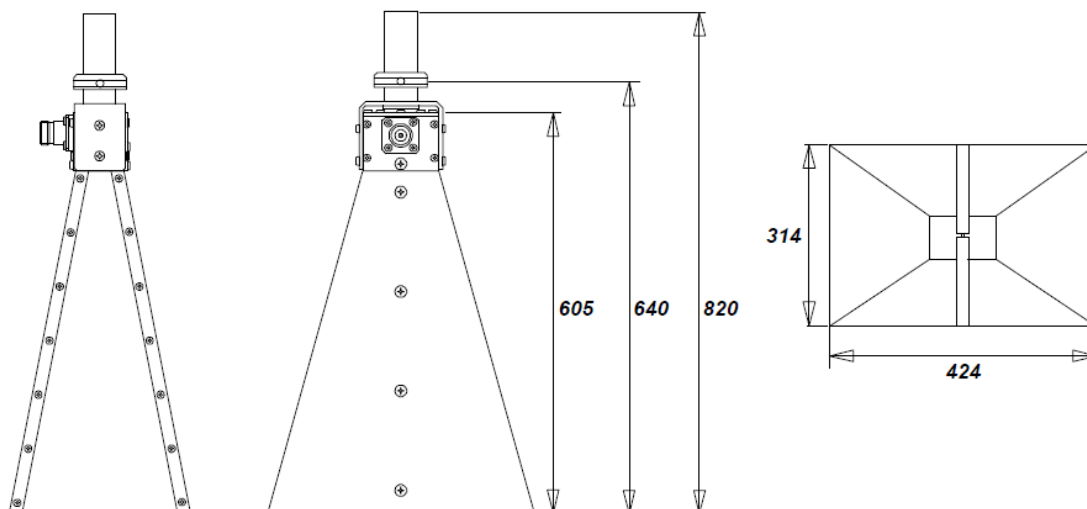


Obr. 25 Logaritmicko-periodická anténa Frankonia BTA-M [11]



**Tab. 24** Technické parametry Frankonia BTA-M [11]

Frekvenční rozsah	30 MHz – 3 GHz
Impedance	50 $\Omega$
Maximální vstupní výkon	1000 W

**Obr. 26** Trychtýřová anténa Schwarzbeck BBHA 9120E [12]**Tab. 25** Technické parametry Schwarzbeck BBHA 9120E [12]

Frekvenční rozsah	0,5 – 6 GHz
Impedance	50 $\Omega$
Maximální vstupní výkon	300 W

#### 4.2.6 Sonda elektrického pole

Sonda elektrického pole ETS-Lindgren HI-6005 je sensor umožňující rychlé a přesné měření intenzity pole při kalibraci a při testování stínění. Výhoda je optické připojení a nepotřeba přepínání rozsahu. Sonda měří elektrické pole ve třech osách a jako výslednou intenzitu vyhodnotí vektorový součet měření.



**Obr. 27 Sonda elektrického pole  
ETS-Lindgren HI-6005 [17]**

**Tab. 26 Technické parametry ETS-Lindgren HI-6005 [17]**

Frekvenční rozsah	100 kHz – 6 GHz
Dynamický rozsah	Dynamický rozsah 0,5 až 800 V.m <sup>-1</sup>
Rozlišení	0,01 V.m <sup>-1</sup>
Baterie	NiMH
Výdrž	10 hodin
Přesnost	26 MHz – 2 GHz +/- 1 dB 2 GHz – 4 GHz +/- 2 dB 4 GHz – 6 GHz +/- 3 dB

### 4.3 Kalibrace pole

Před vlastním měřením byla provedena pomocí ovládacího softwaru RF-LAB kalibrace elektromagnetického pole logaritmicko-periodické a trychtýřové antény, a to jak v horizontální, tak ve vertikální polarizaci. Kalibrace byla provedena pro elektrickou intenzitu 10 V/m s tolerancí  $\pm 0,5$  V/m, anténní vzdálenost 3 m a výšku 120 cm nad zemí. Frekvenční krok se volí podle normy 1%. Klimatické podmínky jsou cca na 21,5 °C a vlhkost 42 %.

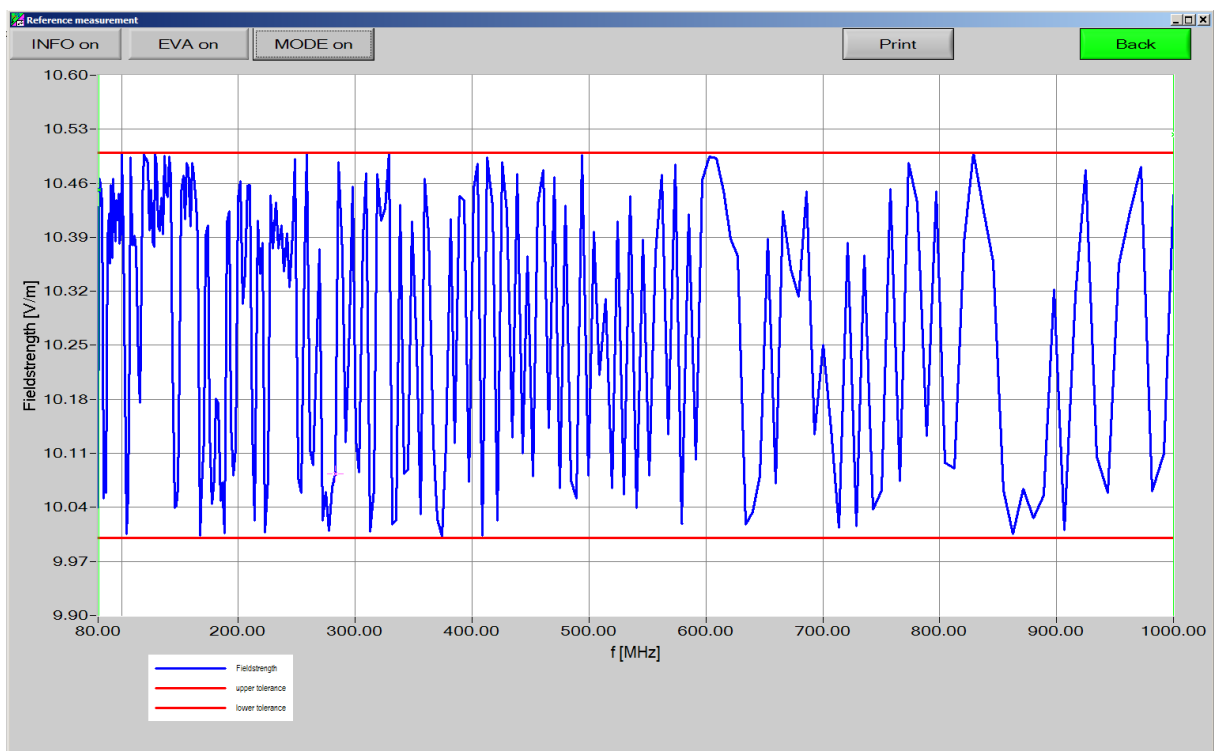
Kalibrace logaritmicko-periodické antény byla provedena pro kmitočty od 80 MHz do 1 GHz a kalibrace trychtýřové antény pro kmitočty od 1 GHz do 3 GHz. Každá kalibrace se uložila do referenčního souboru, podle něhož se pak provedlo samotné vysokofrekvenční měření.

The screenshot shows the 'Reference measurement' dialog box with the following settings:

- Start frequency [MHz]: 1000.000
- Stop frequency [MHz]: 3000.000
- Field strength [V/m]: 10.0
- Tolerance [V/m]: 0.50
- Standard: Standard
- Step size:  percentage, 1.0 [%],  absolut
- Regulation:  Regulation,  Const. level, 100.0 [dBuV],  max. level stop
- Approach from lower level:  Approach from lower level, -3.0 [dB]
- Horizontal:  Horizontal,  Vertical
- Temperature [C]: 21.5
- rel. humidity [% r.H.]: 42.0
- Tester: [Empty field]
- Comment: 1 GHz az 3 GHz, 10V/m, vertikalne, 120cm vyska
- Reference curve: \*.rku
- Reference file: rogram Files\CR-LAB\kalibrace\1000\_3000\_10V\_v\_120cm.R3F

Buttons: Cancel (red), OK (green)

Obr. 28 Nastavení kalibračního měření v softwaru RF-LAB [10]



Obr. 29 Kalibrace pole pro logaritmicke-periodickou anténu (horizontálně) [10]

## 4.4 Měření odolnosti vůči vysokofrekvenčnímu poli vybraných el. zařízení

Zkouškou odolnosti podle normy ČSN EN 61000-4-3 byla otestována tato el. zařízení: LCD monitor DELL, LCD monitor LG, počítačová sestava s bezdrátovou myší, počítačová sestava s USB myší, multimetr a kalkulačka.

### 4.4.1 Úkol

Úkolem testovacího měření bylo zjistit, zda LCD monitor DELL, LCD monitor LG, počítačová sestava s bezdrátovou myší, počítačová sestava s USB myší, multimetr a kalkulačka vyhovují z hlediska EMC podle normy ČSN EN 61000-4-3, tj. zda jsou tato el. zařízení odolná proti vyzařovanému vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli.

### 4.4.2 Měřicí pracoviště a měřicí přístroje

Bezodrazová komora Frankonia SAC, FEL ZČU v Plzni

Signálový generátor Rohde & Schwarz SML 03 (9kHz – 3,3GHz)

Spínací pole Frankonia RSU

Zesilovač Frankonia FLH 200B (20MHz – 1GHz)

Zesilovač Frankonia FLG 30C (1GHz – 3GHz)

Měřič výkonu Frankonia PMS 1084

Logitmicko-periodická anténa Frankonia BTA-M

Trychtýřová anténa Schwarzbeck BBHA 9120E

Měřicí notebook s ovládacím softwarem RF-LAB

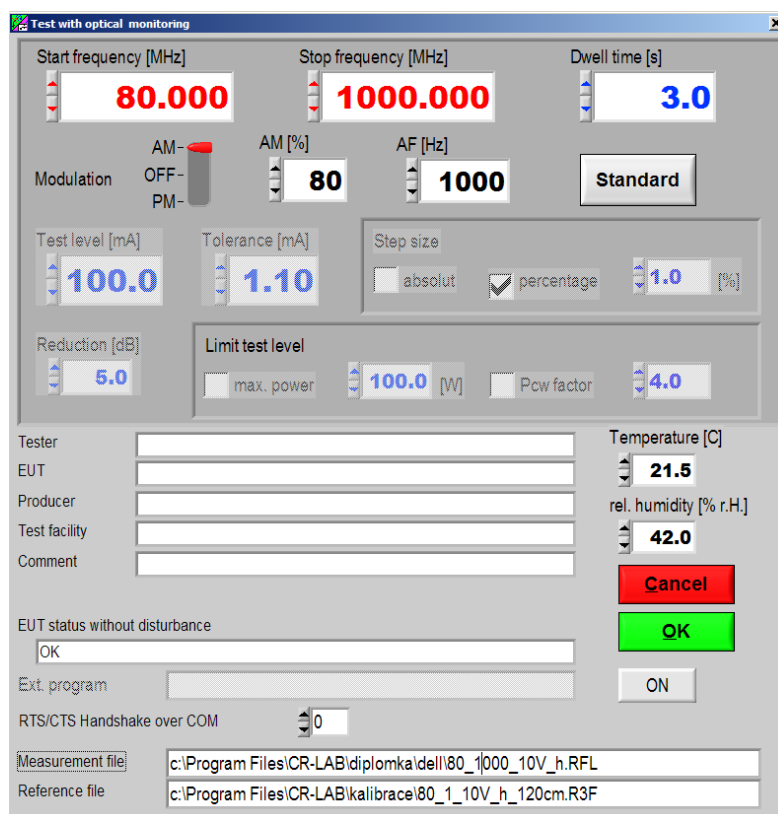
### 4.4.3 Postup měření

Před měřením se provede kalibrace systému Frankonia. Pro testování odolnosti všech testovaných el. zařízení se od 80MHz do 1 GHz použije kombinovaná širokopásmová logaritmicko-periodická anténa Frankonia BTA-M a zesilovač Frankonia FLH 200B a od 1 GHz do 3 GHz trychtýřová anténa Schwarzbeck BBHA 9120E a zesilovač Frankonia FLG 30C. Všechna testovací měření se provedou pro horizontální i pro vertikální polarizaci antény.

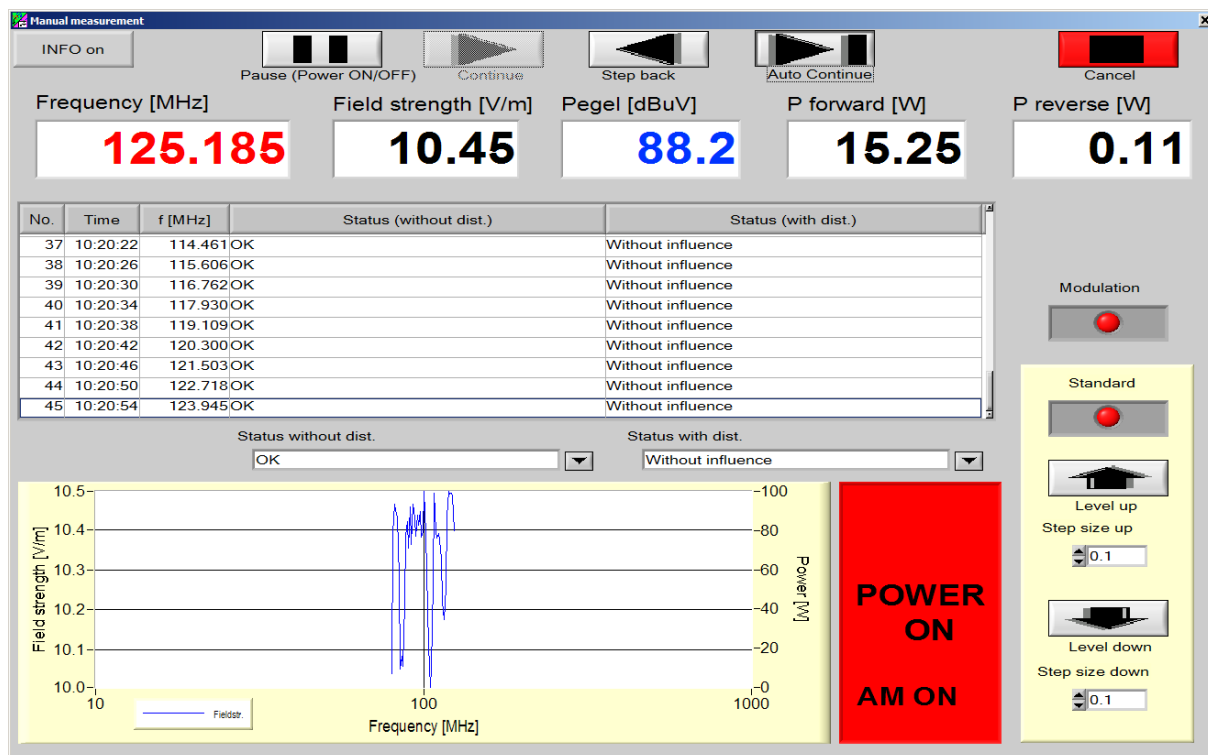
V softwaru RF-LAB se nastaví počáteční a konečná testovací frekvence, čas vysílání signálu na každé frekvenci 3 s dle normy, modulace signálu (používá se 80% amplitudová

modulace signálu s 1 kHz obálkou) a načte se příslušný kalibrační referenční soubor. Na otočný stůl se položí příslušné el. zařízení a spustí se samotné měření.

System postupně zvyšuje testovací frekvenci. Do měřícího protokolu se zaznamenává samotná testovací frekvence ( Frequency [MHz] ), síla vyzařovaného pole ( Field strength [V/m] ), úroveň signalu ( Pegel [dBμV] ), výkon, který jde ze zesilovače do antény ( P forward [W] ), výkon odražený zpět do systému ( P reverse [W] ), čas měření, a status odolnosti. Kdykoliv nastane změna funkčnosti zařízení na určité frekvenci, je možnost testování nachvíli pozastavit a do statusu vložit textově změnu funkčnosti. V průběhu měření se graficky znázorňuje testovací frekvence a síla vyzařovaného pole. Když systém otestuje všechny frekvence, testování se vypne a následuje zhodnocení odolnosti zařízení.



**Obr. 30 Nastavení pro testování odolnosti el. zařízení pro frekvenční rozsah 80 MHz do 1 GHz s logaritmicke-periodickou anténou [10]**



Obr. 31 Průběh měření [10]

#### 4.4.4 Výsledky měření LCD monitoru DELL

Frekvenční rozsah: 80 MHz – 1 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

Frekvenční rozsah: 1 GHz – 3 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

#### 4.4.5 Závěr a zhodnocení měření LCD monitoru DELL

Všechny funkce LCD monitoru jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.

#### 4.4.6 Výsledky měření LCD monitoru LG

Frekvenční rozsah: 80 MHz – 1 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

Frekvenční rozsah: 1 GHz – 3 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

#### 4.4.7 Závěr a zhodnocení měření LCD monitoru LG

Všechny funkce LCD monitoru jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.

#### 4.4.8 Výsledky měření počítačové sestavy s bezdrátovou myší

Frekvenční rozsah: 80 MHz – 1 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

Frekvenční rozsah: 1 GHz – 3 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

#### 4.4.9 Závěr a zhodnocení měření počítačové sestavy s bezdrátovou myší

Všechny funkce počítačové sestavy jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.

#### 4.4.10 Výsledky měření počítačové sestavy s USB myší

Frekvenční rozsah: 80 MHz – 1 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: C
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: C
Detail zkoušky	
Frekvence 80 MHz, horizontálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 103 MHz, horizontálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 111 MHz, horizontálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 205 MHz, horizontálně	2x rozsvícení na plnou intenzitu a poté zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 234 MHz, horizontálně	Rozsvícení na plnou intenzitu
Frekvence 117 MHz, vertikálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost

Frekvence 120 MHz, vertikálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 168 MHz, vertikálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 207 MHz, vertikálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost

Frekvenční rozsah: 1 GHz – 3 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

#### 4.4.11 Závěr a zhodnocení měření počítačové sestavy s USB myší

V podmínkách elektromagnetického rušení došlo u USB myši k rozsvícení na plnou intenzitu či nefunkčnosti, takže opětovné zprovoznění si vyžádalo zásah obsluhy.

#### 4.4.12 Výsledky měření multimetru

Frekvenční rozsah: 80 MHz – 1 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: B
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: B
Detail zkoušky	
Frekvence 484 – 540 MHz, 781 – 1000 MHz, horizontálně	Změna údaje na displeji na 0,001
Frekvence 241 – 261 MHz, 315 – 434 MHz, 460 – 484 MHz, 906 – 1000 MHz, vertikálně	Změna údaje na displeji od 0,001 – 0,018

Frekvenční rozsah: 1 GHz – 3 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: B
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: B
Detail zkoušky	
Frekvence 1084 – 1139 MHz, horizontálně	Změna údaje na displeji od 0,001 – 0,003
Frekvence 1001 – 1234 MHz, vertikálně	Změna údaje na displeji od 0,001 – 0,007

#### 4.4.13 Závěr a zhodnocení měření multimetru

V podmínkách elektromagnetického rušení došlo u multimetru k částečnému ovlivnění měření přístroje tak, že se změnili předposlední a poslední číslice na displeji.



#### 4.4.14 Výsledky měření kalkulačky

Frekvenční rozsah: 80 MHz – 1 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

Frekvenční rozsah: 1 GHz – 3 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

#### 4.4.15 Závěr a zhodnocení měření kalkulačky

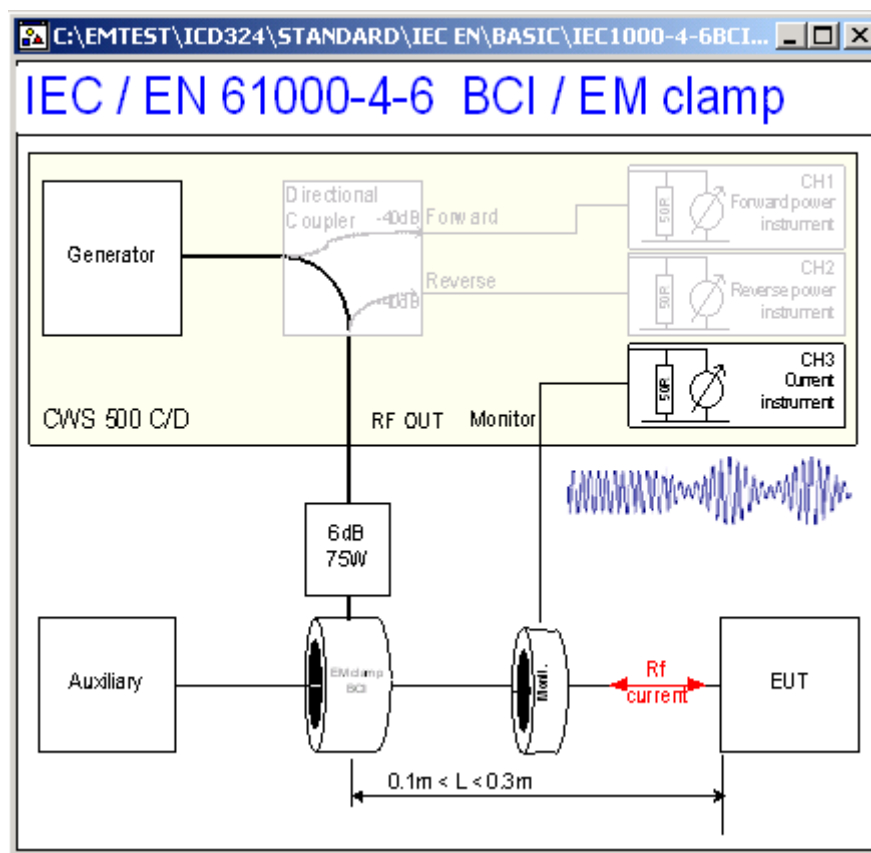
Všechny funkce kalkulačky jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.

## 5 Laboratorní měření podle normy ČSN EN 61000-4-6

Všechna měření podle normy ČSN EN 61000-4-6 byla pro účely této diplomové práce provedena v kovové stíněné komoře Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni, která se nachází v suterénu budovy Fakulty strojní.

### 5.1 Schéma zapojení měřícího systému

Zde je uvedeno schéma zapojení pro měření odolnosti vůči vysokofrekvenčnímu rušení, šířeném po vedení pomocí elektromagnetické - kapacitní kleštiny. V softwaru se nastavují všechny parametry měření, jako jsou typ zkoušky ČSN EN 61000-4-6 (frekvenční rozsah od 150 kHz do 80 MHz), frekvenční krok (používá se 1%), napětí indukovaného vf signálu (10 V), čas vysílání signálu na každé frekvenci 3 s, modulace signálu (pro testování odolnosti se používá 80% amplitudová modulace signálu s 1 kHz obálkou).



Obr. 32 Schéma zapojení [20]

Podle zadaných parametrů ovládá počítač signální generátor CWS 500D, ze kterého jde signál přes 6 dB útlumový člen do kapacitní kleštiny, pomocí které se vř signál indukuje do vodiče. Na monitorovací vstup je zapojena proudová sonda.

### 5.1.1 Signálový generátor

Signálový generátor EM TEST CWS 500D pokrývá požadovaný frekvenční rozsah a umožňuje amplitudovou modulaci testovacího signálu podle normy.



Obr. 33 EM TEST CWS 500D [22]

Tab. 27 Technické parametry EM TEST CWS 500D [22]

Frekvenční rozsah	10 kHz až 400 MHz
Rozsah úrovní	-13 dBm až 50 dBm
Amplitudová modulace	0 až 95 %
Modulace	AM, FM, fázová
Výstupní impedance	50 $\Omega$
Zisk	>52 dB
Nominální výkon 10kHz – 400 MHz	100W

### 5.1.2 Útlumový člen

Útlumový člen EM TEST ATT 6/75 slouží pro impedanční přizpůsobení výkonového zesilovače generátoru.



Obr. 34 EM TEST ATT 6/75 [21]

Tab. 28 Technické parametry EM TEST ATT 6/75 [21]

Útlum	6 dB
Jmenovitý výkon	75 W
Impedance	50 $\Omega$

### 5.1.3 Elektromagnetická kleština

Pro indukování testovacího vf signálu do kabelu je použita elektromagnetická kleština Luthi Electromagnetic injection clamp EM 101, která představuje kombinovanou kapacitní a induktivní vazbu.



Obr. 35 Electromagnetic injection clamp EM 101 [26]

**Tab. 29** Technické parametry Electromagnetic injection clamp EM 101 [28]

Frekvenční rozsah	150 kHz – 1000 MHz
Směrovost	10 dB nad 25 MHz
Max. úroveň napětí (e.m.f.), vstupní příkon	150 kHz – 100 MHz: 140 V <sub>rms</sub> (100 W), max. 15 min. 100 MHz – 230 MHz: 140 V <sub>rms</sub> (100 W), max. 5 min. 230 MHz – 1000 MHz: 100 V <sub>rms</sub> (50 W), max 3 min.

### 5.1.4 Proudová sonda

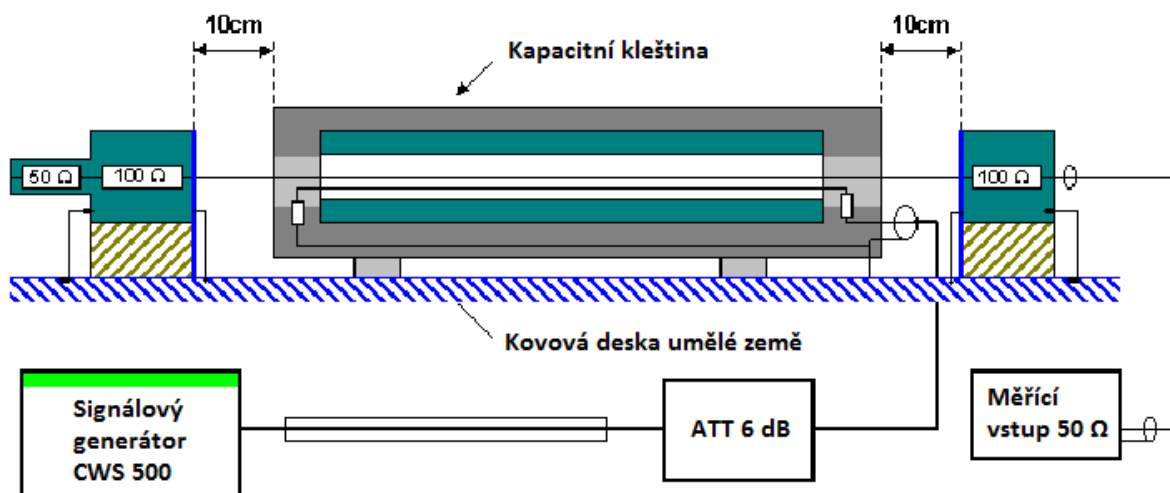
Proudová sonda FCC F-55 je připojena na monitorovací vstup vf generátoru a slouží jako zpětná vazba proti přetížení generátoru.

**Obr. 36** Proudová sonda FCC F-55 [23]**Tab. 30** Technické parametry FCC F-55 [23]

Frekvenční rozsah	10 kHz – 500 MHz
Přenosová impedance	0 dBΩ

## 5.2 Kalibrace

Před vlastním měřením se provede pomocí ovládacího softwaru ICD 324 kalibrace s kapacitní kleštinou. Signálový generátor je přes 6 dB útlumový člen připojen ke kapacitní kleštině. Při kalibraci se vodič uzavře do kapacitní kleštiny a zakončí se 100 Ω/ 50 Ω impedancí. Jelikož měřící vstup signálového generátoru má impedanci 50 Ω, je jeden přechod 100 Ω/ 50 Ω realizován přímo s ním. Na každé frekvenci (1% krok od 150 kHz do 80 MHz) signálový generátor postupně zvyšuje výkon, dokud se na měřícím vstupu nenaměří požadovaná úroveň napětí indukovaného vf signálu. Do kalibračního souboru se pak zaznamená frekvence a výkon. Podle kalibračního referenčního souboru se pak provádí samotné vysokofrekvenční měření.



Obr. 37 Schéma zapojení kalibrace s kapacitní kleštinou [22]

### 5.3 Měření odolnosti vůči vysokofrekvenčnímu rušení vybraných el. zařízení

Zkouškou odolnosti podle normy ČSN EN 61000-4-6 byla otestována tato el. zařízení: USB myš připojená k počítači, multimetr, stolní reproduktory a světelný zdroj veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem).

#### 5.3.1 Úkol

Úkolem testovacího měření bylo zjistit, zda USB myš připojená k počítači, multimetr, stolní reproduktory a světelný zdroj veřejné osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem) vyhovují z hlediska EMC podle normy ČSN EN 61000-4-6, tj. zda jsou tato el. zařízení odolná proti vysokofrekvenčnímu rušení indukovaného do vedení.

#### 5.3.2 Měřicí pracoviště a měřicí přístroje

Částečně stíněná komora, FEL ZCU v Plzni

Signálový generátor EM TEST CWS 500D (10 kHz až 400 MHz)

Kapacitní kleština Electromagnetic Injection Clamp EM101

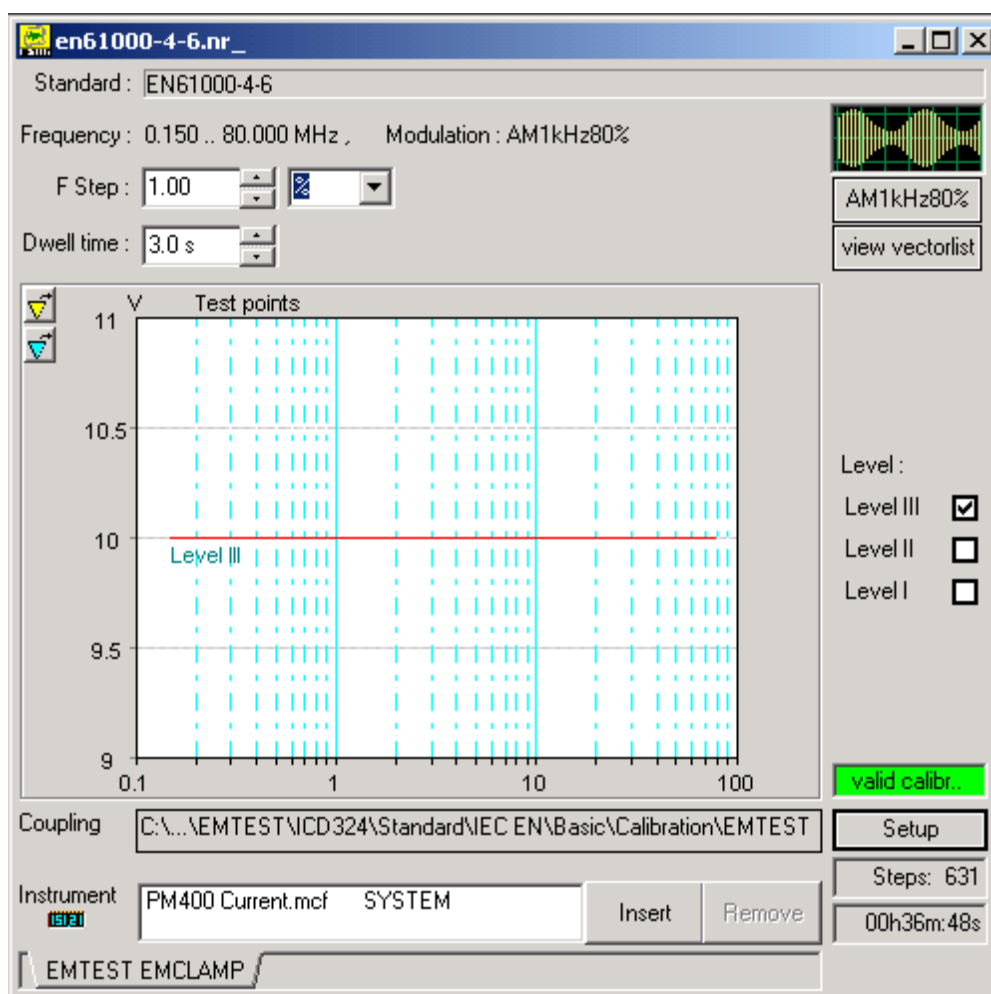
Proudová sonda FCC F-55

Útlumový člen EM TEST ATT6 / 75 (útlum 6 dB)

Měřicí stíněný počítač s ovládacím softwarem EM TEST ICD 324

### 5.3.3 Postup měření

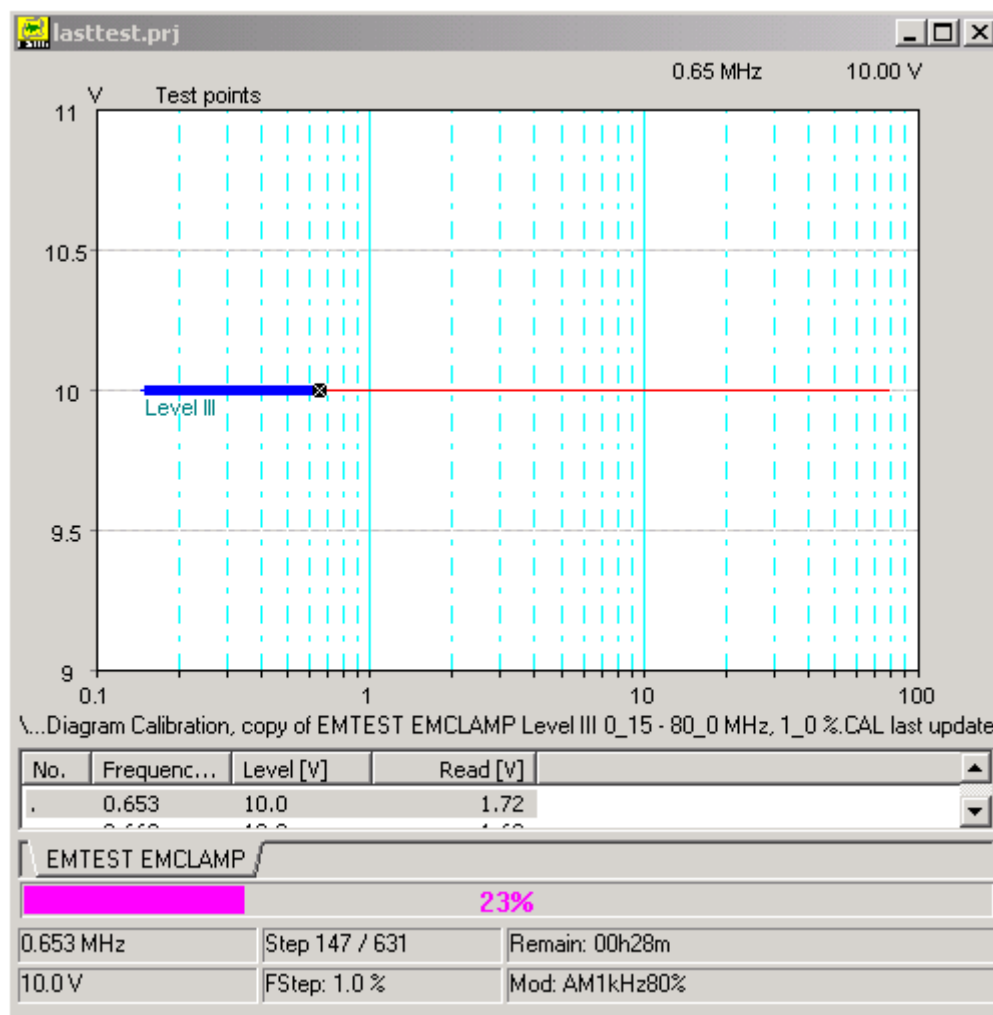
Před měřením se provede kalibrace. V softwaru ICD 324 se vybere norma ČSN EN 61000-4-6, podle které se testuje. Podle ní se nastaví počáteční a konečná testovací frekvence 150 kHz – 80 MHz. Pro toto testování odolnosti se také používá 80% amplitudová modulace signálu s 1 kHz obálkou. Frekvenční krok podle normy se nastaví 1%, čas vysílání signálu na každé frekvenci 3 s a načte se příslušný kalibrační referenční soubor. Nakonec se spustí samotné měření.



**Obr. 38** Nastavení pro testování vysokofrekvenční odolnosti pro frekvenční rozsah od 150 kHz do 80 MHz [20]

System postupně zvyšuje testovací frekvenci. Kdykoliv nastane změna funkčnosti zařízení na určité frekvenci, je možnost testování na chvíli pozastavit a do statusu vložit textově změnu funkčnosti. V průběhu měření se graficky znázorňuje testovací frekvence

a velikost napětí indukovaného vf signálu. Dále se zobrazuje také testovací frekvence a hodnota proudu z proudové sondy, která je připojená na kontrolní vstup signálového generátoru. Kontrolní vstup signálového generátoru slouží proti přetížení. Když systém otestuje všechny frekvence, testování se vypne a následuje zhodnocení odolnosti zařízení.



Obr. 39 Průběh měření [20]

### 5.3.4 Výsledky měření multimetru

Frekvenční rozsah: 150 kHz – 80 MHz
Výsledek zkoušky: A



### 5.3.5 Závěr a zhodnocení měření multimetru

Všechny funkce multimetru jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.

### 5.3.6 Výsledky měření USB myši

Frekvenční rozsah: 150 kHz – 80 MHz
Výsledek zkoušky: A

### 5.3.7 Závěr a zhodnocení měření USB myši

Všechny funkce USB myši jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.

### 5.3.8 Výsledky měření stolních reproduktorů

Frekvenční rozsah: 150 kHz – 80 MHz
Výsledek zkoušky: A

### 5.3.9 Závěr a zhodnocení měření stolních reproduktorů

Všechny funkce reproduktorů jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.

### 5.3.10 Výsledky měření světelného zdroje veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem)

Frekvenční rozsah: 150 kHz – 80 MHz
Výsledek zkoušky: A

### 5.3.11 Závěr a zhodnocení měření světelného zdroje veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem)

Všechny funkce veřejného osvětlení jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.

## **6 Návrh laboratorních úloh pro cvičení z předmětu EMC podle norem ČSN EN 61000-4-3 a ČSN EN 61000-4-6**

Pro účely cvičení z předmětu EMC jsem navrhl laboratorní úlohu pro testování odolnosti počítačové sestavy s USB myší podle normy ČSN EN 61000-4-3 a laboratorní úlohu pro testování odolnosti světelného zdroje veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem) podle normy ČSN EN 61000-4-6. Zadání, měřicí pracoviště a měřicí přístroje, blokové schéma zapojení, postup měření, výsledky měření a také závěr se zhodnocením laboratorních úloh jsou již v kapitolách 4 a 5, a proto jsou vzorová vypracování úloh v přílohách A a B.

## 7 Závěr

V první části práce jsem uvedl přehled imunitních zkoušek EMC podle platných norem pro usnadnění orientace v běžně používaných imunitních zkouškách pro el. zařízení. Jsou zde uvedeny zkušební signály zkoušek, metodika zkoušek, zkušební úrovně a také vyhodnocovací kritéria zkoušek.

V následující části jsem podrobněji rozebral zkoušky vysokofrekvenčním rušením, protože tyto zkoušky patří k nejvíce používaným druhem zkoušek pro různá technická odvětví. V této kapitole jsem se zabýval dvěma normovanými zkouškami odolnosti vůči vysokofrekvenčnímu rušení. Zkouška odolnosti vůči vyzařovanému vysokofrekvenčnímu poli (ČSN EN 61000-4-3) se zaměřuje na odolnost zařízení proti vf poli, které se šíří vzduchem. Zkouška odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli (ČSN EN 61000-4-6) se zaměřuje na odolnost zařízení proti vf poli, které se šíří po vodiči. U každé zkoušky vysokofrekvenčním rušením jsem uvedl co je předmětem dané normy, zkušební úrovně pro jednotlivá kmitočtová pásma, zkušební signál, zkušební zařízení a zkušební sestavu, zkušební prostředí, kalibraci, postup zkoušky, vyhodnocení výsledků zkoušky a co má obsahovat protokol o zkoušce. Tato část má za úkol podrobnější metodickou orientaci technika v těchto testech odolnosti.

Třetí praktická část se zaměřovala na laboratorní měření podle normy ČSN EN 61000-4-3 v bezodrazové komoře. Uvedl jsem technické parametry komory Frankonia SAC a její grafický popis, schéma zapojení celého systému Frankonia, postup praktického zkoušení i technické parametry přístrojového vybavení pro tuto zkoušku. Před vlastním měřením jsem provedl pomocí ovládacího softwaru RF-LAB kalibraci elektromagnetického pole logaritmicko-periodické a trychtýřové antény, a to jak v horizontální, tak ve vertikální polarizaci. Zkouškou odolnosti podle normy ČSN EN 61000-4-3 jsem otestoval tato el. zařízení: LCD monitor DELL, LCD monitor LG, počítačovou sestavu s bezdrátovou myší, počítačovou sestavu s USB myší, multimetr a kalkulačku.

Testovacím měřením jsem zjistil, že LCD monitor DELL, LCD monitor LG, počítačová sestava s bezdrátovou myší a kalkulačka vyhovují z hlediska EMC podle normy ČSN EN 61000-4-3, tj. že jsou tato el. zařízení odolná proti vyzařovanému vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli. Všechny funkce těchto el. zařízení byly tedy vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení. Výsledek

zkoušky pro frekvenční rozsah od 80 MHz do 1 GHz i pro rozsah od 1 GHz do 3 GHz byl A. Testovacím měřením počítačové sestavy s USB myši jsem zjistil, že od 80 MHz do 207 MHz docházelo buď k rozsvícení myši na plnou intenzitu či nefunkčnosti, takže opětovné zprovoznění si vyžádalo zásah obsluhy. Výsledek zkoušky pro frekvenční rozsah od 80 MHz do 1 GHz byl C. V měření odolnosti multimetru došlo na několika frekvenčních pásmech k částečnému ovlivnění měření přístroje tak, že se změnili předposlední a poslední číslice na displeji. Výsledek zkoušky pro frekvenční rozsah od 80 MHz do 1 GHz i pro rozsah od 1 GHz do 3 GHz byl B.

Čtvrtá část byla také praktická, zde jsem popsal další laboratorní měření podle normy ČSN EN 61000-4-6 v částečně stíněné kovové komoře. Uvedl jsem schéma zapojení testovacího systému, postup praktického zkoušení i technické parametry přístrojového vybavení pro tuto zkoušku. Před vlastním měřením jsem provedl pomocí ovládacího softwaru ICD 324 kalibraci s kapacitní kleštinou. Zkouškou odolnosti podle normy ČSN EN 61000-4-6 jsem otestoval tato el. zařízení: USB myš připojenou k počítači, multimetr, stolní reproduktory a veřejné osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předradníkem). Testovacím měřením jsem zjistil, že všechny tyto přístroje vyhovují z hlediska EMC podle normy ČSN EN 61000-4-6, tj. že jsou tato el. zařízení odolná proti vysokofrekvenčnímu rušení indukovaného do vedení. Všechny funkce těchto el. zařízení byly tedy vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení. Výsledek zkoušky pro každé el. zařízení pro vyšetřované frekvenční pásmo byl tedy A.

V poslední kapitole jsem na základě předchozího praktického měření navrhl laboratorní úlohy podle norem ČSN EN 61000-4-3 a ČSN EN 61000-4-6 pro účely cvičení z předmětu KEE-EMC. Laboratorní úloha podle ČSN EN 61000-4-3 byla navržena pro testování odolnosti počítačové sestavy s USB myši a laboratorní úloha podle ČSN EN 61000-4-6 byla navržena pro testování odolnosti světelného zdroje veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předradníkem). Každá laboratorní úloha obsahuje titulní stranu, zadání, měřicí pracoviště a měřicí přístroje, popis schématu zapojení, postup měření, výsledky měření a závěr a zhodnocení měření pro tuto zkoušku. Návrhy laboratorních úloh byly navrženy tak, aby si student předmětu KEE/EMC při cvičení mohl prakticky vyzkoušet otestování běžných el. přístrojů.

## Použitá literatura a prameny

- [1] DŘÍNOVSKÝ, FRÝZA, SVAČINA, KEJÍK a RŮŽEK. *Encyklopedie elektromagnetické kompatibility*. Brno: UREL, 2010, 280 s.
- [2] ČSN EN 61000-4-1. *Elektromagnetická kompatibility (EMC) - Část 4-1: Zkušební a měřicí technika - Přehled o souboru IEC 61000-4*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [3] PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken: John Wiley, 2006, 983 s. ISBN 04-717-5500-1.
- [4] KODALI, V. *Engineering electromagnetic compatibility: principles, measurements, and technologies*. New York: IEEE Press, 1996, 369 s. ISBN 07-803-1117-5.
- [5] CHATTERTON, Paul A a Michael A HOULDEN. *EMC: electromagnetic theory to practical design*. Chichester: Wiley, c1992, 295 s. ISBN 04-719-2878-X.
- [6] Elektromagnetická kompatibility výrobků. *ELKO EP* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.elkoep.cz/emc-kompatibilita/>
- [7] Elektromagnetická kompatibility v TESTCOM. *TESTCOM* [online]. 2004 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.testcom.cz/lab2-popis.php>
- [8] EMC. *PORTÁL ZČU* [online]. 2012 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: <http://portal.zcu.cz/wps/portal/>
- [9] CHAMBERS. *Frankonia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.frankonia-emc.com/language/en/chambers/chambers.html>
- [10] Frankonia GmbH: Frankonia RF Lab – měřicí software
- [11] EMC Test Equipment. Frankonia [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.frankoniagroup.com/cms/en/products/emc-test-equipment/?PHPSESSID=eb30c392e7f26bb962eaf5bc66dda3bb>
- [12] *Schwarzbeck Mess - Elektronik* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.schwarzbeck.de/>
- [13] EMC Test Equipment. *Frankonia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: [http://www.frankoniagroup.com/downloads/EMC\\_Test\\_Equipment/RF-Power%20Meter.pdf?PHPSESSID=eb30c392e7f26bb962eaf5bc66dda3bb](http://www.frankoniagroup.com/downloads/EMC_Test_Equipment/RF-Power%20Meter.pdf?PHPSESSID=eb30c392e7f26bb962eaf5bc66dda3bb)
- [14] RF-Power-Amplifiers. *Frankonia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: [http://frankoniagroup.com/downloads/Broadband\\_RF\\_Power\\_Amp.pdf](http://frankoniagroup.com/downloads/Broadband_RF_Power_Amp.pdf)

- [15] Anechoic Chambers & RF-Shielded Rooms. *Frankonia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: [http://frankoniagroup.com/downloads/Anechoic\\_Chambers.pdf](http://frankoniagroup.com/downloads/Anechoic_Chambers.pdf)
- [16] Immunity Test acc. to IEC/EN 61000-4-3. *Frankonia* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: [http://www.frankoniagroup.com/downloads/EMC\\_Test\\_Equipment/its\\_3000\\_6000\\_description.pdf?PHPSESSID=eb30c392e7f26bb962eaf5bc66dda3bb](http://www.frankoniagroup.com/downloads/EMC_Test_Equipment/its_3000_6000_description.pdf?PHPSESSID=eb30c392e7f26bb962eaf5bc66dda3bb)
- [17] EMC Field Probes. *ETS-LINDGREN* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.ets-lindgren.com/manuals/Hi-6005.pdf>
- [18] Product specs for Rohde & Schwarz SML03. *Gsamart* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.gsamart.com/sp.cfm/SIGSOU/RS/SML03.html>
- [19] ČSN EN 61000-4-3. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-3: Zkušební a měřicí technika - Vyzářované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [20] ICD 324 – měřicí software, EM TEST
- [21] Accessories for CWS500. *EM TEST* [online]. 2012 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: [http://www.emtest.com/bindata/bindata/datasheets/data\\_sheet\\_CWS\\_acc\\_v100.pdf](http://www.emtest.com/bindata/bindata/datasheets/data_sheet_CWS_acc_v100.pdf)
- [22] *User Manual CWS 500D*. 1.03 / 23.05.2005. Switzerland, 2005.
- [23] Current Probes. *FCC* [online]. 2012 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <http://www.fischercc.com/ViewProductGroup.aspx?productgroupid=127>
- [24] ČSN EN 61000-4-6. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-6: Zkušební a měřicí technika - Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [25] Equipment. *Frankonia* [online]. 2012 [cit. 2012-01-13]. Dostupné z: [http://www.frankoniagroup.com/downloads/EMC\\_Test\\_Equipment/RF-Relay%20Switching%20Unit.pdf](http://www.frankoniagroup.com/downloads/EMC_Test_Equipment/RF-Relay%20Switching%20Unit.pdf)
- [26] EM injection Clamps for IEC 61000-4-6. *Compliance Direction Systems* [online]. 2012 [cit. 2012-01-13]. Dostupné z: <http://www.emcdir.com/menu/pdf/EM%20injection%20Clamps%20for%20IEC%2061000-en.pdf>
- [27] ČSN EN 61000-4-8. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-8: Zkušební a měřicí technika - Magnetické pole síťového kmitočtu - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2010.
- [28] EM101. *schwarzbeck* [online]. 2012 [cit. 2012-01-13]. Dostupné z: <http://www.schwarzbeck.de/Datenblatt/mEM101.pdf>

- [29] ČSN EN 61000-4-10. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-10: Zkušební a měřicí technika - Tlumené kmity magnetického pole - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [30] ČSN EN 61000-4-12. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-12: Zkušební a měřicí technika - Tlumená sinusová vlna - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [31] ČSN EN 61000-4-2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-2: Zkušební a měřicí technika - Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [32] ČSN EN 61000-4-11. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-11: Zkušební a měřicí technika Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušování a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [33] FRANKONIA. *TEST REPORT*. F049009/01. Plzeň, 2004.

**Příloha A – Návrh laboratorní úlohy pro cvičení z předmětu EMC  
podle normy ČSN EN 61000-4-3**

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

**Elektromagnetická kompatibilita**

**ČSN EN 61000-4-3: Odolnost vůči vyzařovanému  
vysokofrekvenčnímu poli**



## Zadání

1. Zapojte měřicí přístroje podle schématu
2. Otestujte odolnost počítačové sestavy s USB myší podle normy
3. Kdykoliv nastane změna funkčnosti prvku sestavy, zaznamenejte frekvenci
4. Proveďte zhodnocení výsledků

## Měřicí pracoviště a měřicí přístroje

Bezodrazová komora Frankonia SAC, FEL ZČU v Plzni

Signálový generátor Rohde & Schwarz SML 03 (9kHz – 3,3GHz)

Spínací pole Frankonia RSU

Zesilovač Frankonia FLH 200B (20MHz – 1GHz)

Zesilovač Frankonia FLG 30C (1GHz – 3GHz)

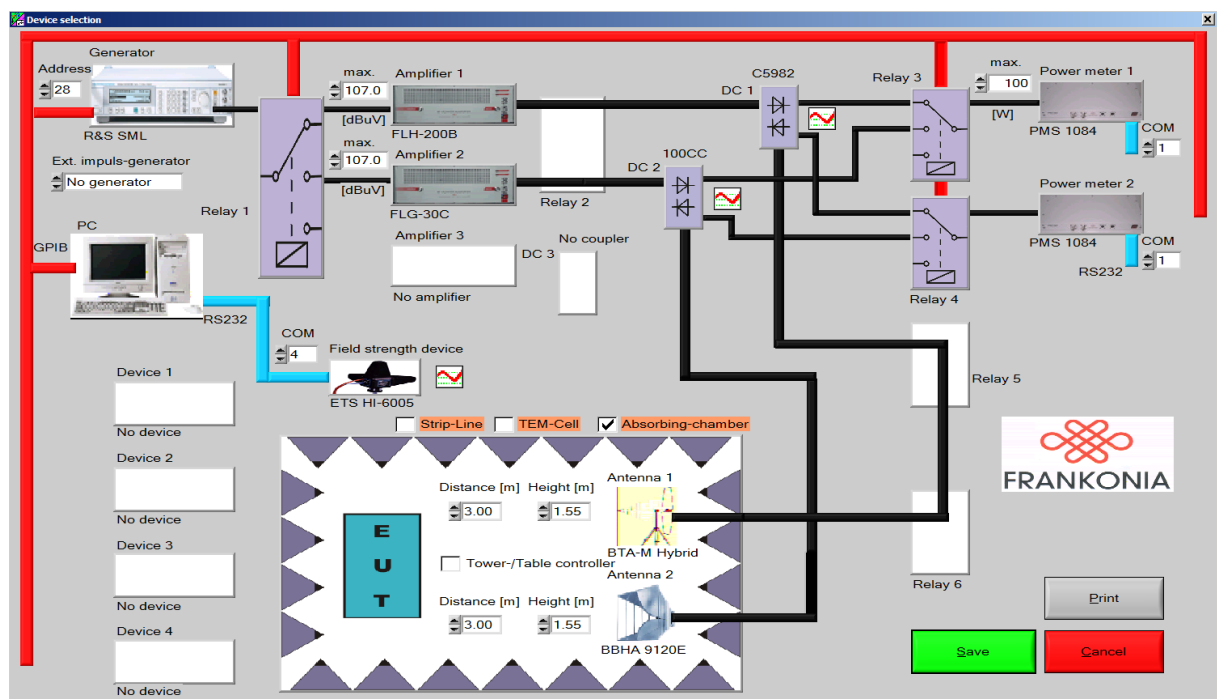
Měřič výkonu Frankonia PMS 1084

Logitmicko-periodická anténa Frankonia BTA-M

Trychtýřová anténa Schwarzbeck BBHA 9120E

Měřicí notebook s ovládacím softwarem RF-LAB

## Blokové schéma zapojení



Bezodrazové komory Frankonia používají vlastní ovládací software RF-LAB, který komunikuje s prvky ve schématu. Počítač komunikuje s prvky přes GPIB rozhraní. V softwaru se nastavují všechny parametry měření. Podle zadaných parametrů ovládá počítač signální generátor Rohde & Schwarz SML 03, ze kterého jde signál do spínacího pole RSU, které přepíná mezi zesilovači. Zesilovač FLH-200B je pro signály od 80 MHz do 1 GHz a zesilovač FLG-30C od 1 GHz do 3 GHz. Ze zesilovače jde signál do měřiče výkonu PMS 1084 a přes stíněné průchodky kabelem do prostoru zkušební bezodrazové komory a do vysílacích antén BTA-M Hybrid nebo BBHA 9120E. Měření intenzity pole ve zkušebním prostoru (3 m od vysílací antény) a zpětnou vazbu zprostředkovává sonda pole ETS HI-6005.

## Postup měření

Před měřením se provede kalibrace systému Frankonia. Pro testování odolnosti testovaných el. zařízení se od 80MHz do 1 GHz použije kombinovaná širokopásmová logaritmicko-periodická anténa Frankonia BTA-M a zesilovač Frankonia FLH 200B a od 1 GHz do 3 GHz trychtýřová anténa Schwarzbeck BBHA 9120E a zesilovač Frankonia FLG 30C. Všechna testovací měření se provedou pro horizontální i pro vertikální polarizaci antény.

V softwaru RF-LAB se nastaví počáteční a konečná testovací frekvence, čas vysílání signálu na každé frekvenci 3 s dle normy, modulace signálu (pro testování odolnosti se používá 80% amplitudová modulace signálu s 1 kHz obálkou), frekvenční krok (používá se 1%), intenzita elektrického pole (maximálně  $10 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$ ) a načte se příslušný kalibrační referenční soubor. Na otočný stůl se položí příslušné el. zařízení a spustí se samotné měření.

System postupně zvyšuje testovací frekvenci. Do měřicího protokolu se zaznamenává samotná testovací frekvence ( Frequency [MHz] ), síla vyzařovaného pole ( Field strength [V/m] ), úroveň signálu ( Pegel [dB $\mu$ V] ), výkon, který jde ze zesilovače do antény ( P forward [W] ), výkon odražený zpět do systému ( P reverse [W] ), čas měření, a status odolnosti.

Kdykoliv nastane změna funkčnosti zařízení na určité frekvenci, je možnost testování nachvíli pozastavit a do statusu vložit textově změnu funkčnosti. V průběhu měření se graficky znázorňuje testovací frekvence a síla vyzařovaného pole. Když systém otestuje všechny frekvence, testování se vypne a následuje zhodnocení odolnosti zařízení.

## Výsledky měření počítačové sestavy s USB myší

Frekvenční rozsah: 80 MHz – 1 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: C
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: C
Detail zkoušky	
Frekvence 80 MHz , horizontálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 103 MHz , horizontálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 111 MHz , horizontálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 205 MHz , horizontálně	2x rozsvícení na plnou intenzitu a poté zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 234 MHz , horizontálně	Rozsvícení na plnou intenzitu
Frekvence 117 MHz , vertikálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 120 MHz , vertikálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 168 MHz , vertikálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost
Frekvence 207 MHz , vertikálně	Zhasnutí myši - nefunkčnost

Frekvenční rozsah: 1 GHz – 3 GHz	
Poloha antény: horizontální	Výsledek zkoušky: A
Poloha antény: vertikální	Výsledek zkoušky: A

## Závěr a zhodnocení měření počítačové sestavy s USB myší

V podmínkách elektromagnetického rušení došlo u USB myši k rozsvícení na plnou intenzitu či nefunkčnosti, takže opětovné zprovoznění si vyžádalo zásah obsluhy.

**Příloha B – Návrh laboratorní úlohy pro cvičení z předmětu EMC  
podle normy ČSN EN 61000-4-6**

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

**Elektromagnetická kompatibilita**

**ČSN EN 61000-4-6: Odolnost proti rušením šířeným  
vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli**

## Zadání

1. Zapojte měřicí přístroje podle schématu, jako vazební prostředek použijte elektromagnetické kleště
2. Otestujte odolnost světelného zdroje veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem) podle normy
3. Kdykoliv nastane změna funkčnosti, zaznamenejte frekvenci
4. Proveďte zhodnocení výsledků

## Měřicí pracoviště a měřicí přístroje

Částečně stíněná komora, FEL ZČU v Plzni

Signálový generátor EM TEST CWS 500D (10 kHz až 400 MHz)

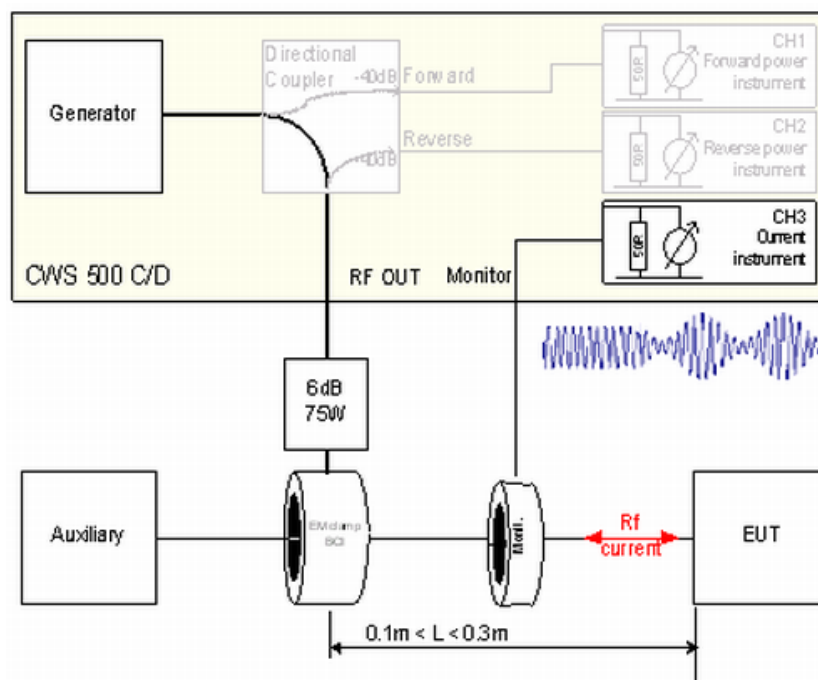
Kapacitní kleština Electromagnetic Injection Clamp EM101

Proudová sonda FCC F-55

Útlumový člen EM TEST ATT6 / 75 (útlum 6 dB)

Měřicí stíněný počítač s ovládacím softwarem EM TEST ICD 324

## Schéma zapojení



Počítač ovládá signální generátor CWS 500D, ze kterého jde signál přes 6 dB útlumový člen do kapacitní kleštiny, pomocí které se vf signál indukuje do vodiče. Na monitorovací vstup je zapojena proudová sonda.

## Postup měření

Před měřením se provede kalibrace. V softwaru ICD 324 se vybere norma ČSN EN 61000-4-6, podle které se bude testovat. Podle ní se nastaví počáteční a konečná testovací frekvence 150 kHz – 80 MHz. Pro toto testování odolnosti se používá 80% amplitudová modulace signálu s 1 kHz obálkou. Frekvenční krok podle normy se nastaví 1%, čas vysílání signálu na každé frekvenci 3 s, napětí indukovaného vf signálu 10 V a načte se příslušný kalibrační referenční soubor. Nakonec se spustí samotné měření.

System postupně zvyšuje testovací frekvenci. Kdykoliv nastane změna funkčnosti el. zařízení na určité frekvenci, je možnost testování na chvíli pozastavit a do statusu vložit textově změnu funkčnosti. V průběhu měření se graficky znázorňuje testovací frekvence a velikost napětí indukovaného vf signálu. Dále se zobrazuje také testovací frekvence a hodnota proudu z proudové sondy, která je připojena na kontrolní vstup signálového generátoru.

Kontrolní vstup signálového generátoru slouží proti přetížení. Když systém otestuje všechny frekvence, testování se vypne a následuje zhodnocení odolnosti el. zařízení.

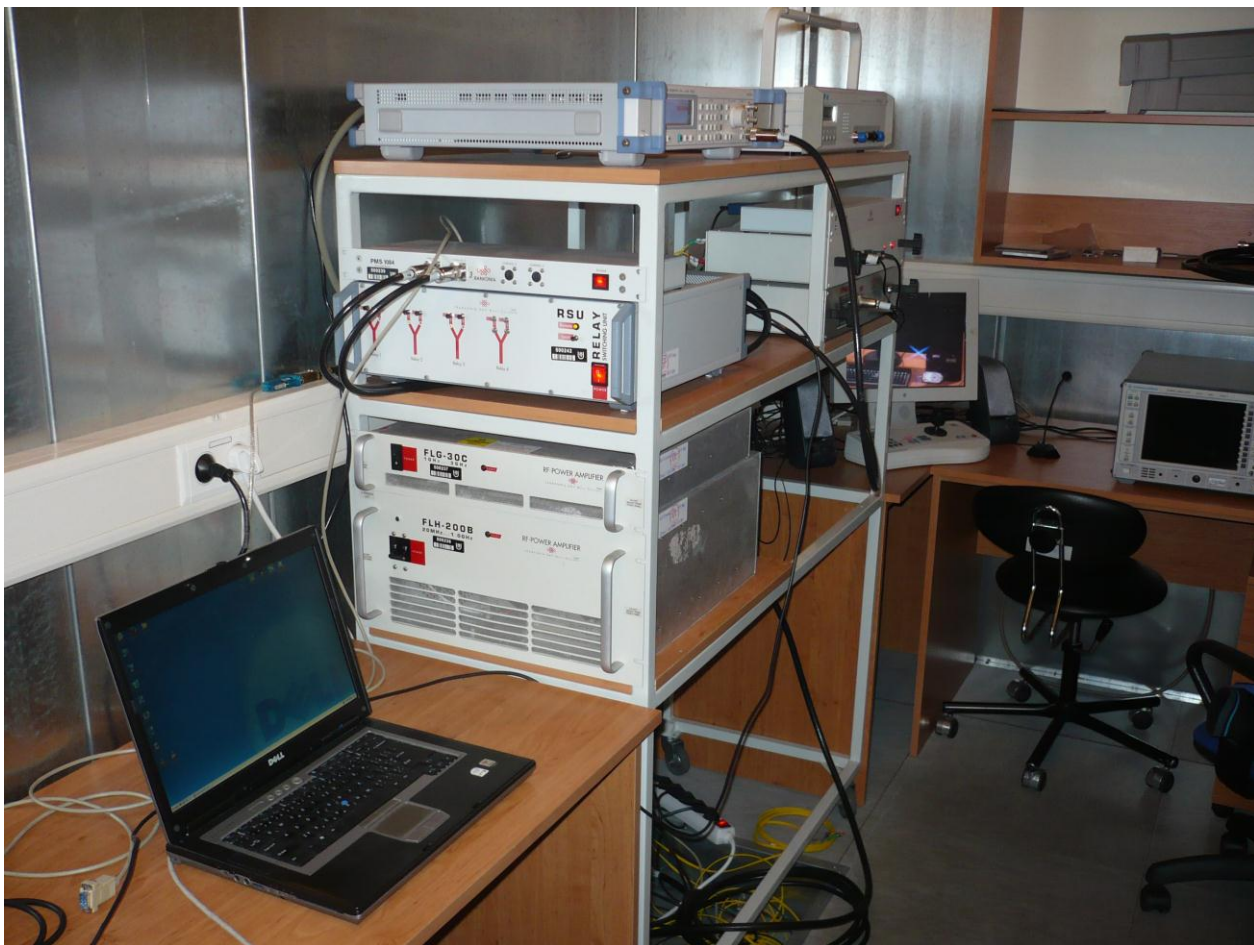
## Výsledky měření světelného zdroje veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem)

Frekvenční rozsah: 150 kHz – 80 MHz
Výsledek zkoušky: A

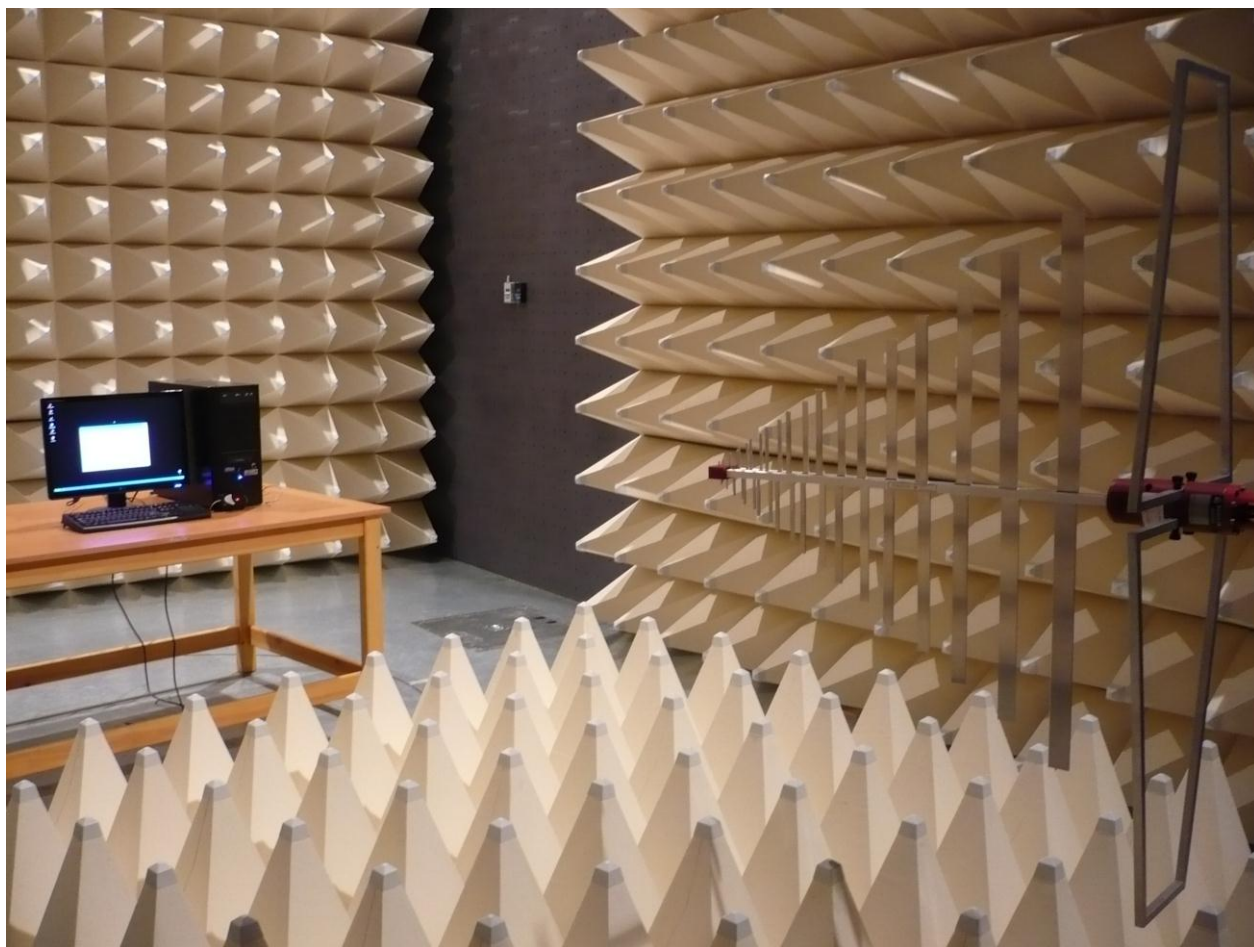
## Závěr a zhodnocení měření světelného zdroje veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem)

Všechny funkce veřejného osvětlení jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.

## Příloha C – Fotografie

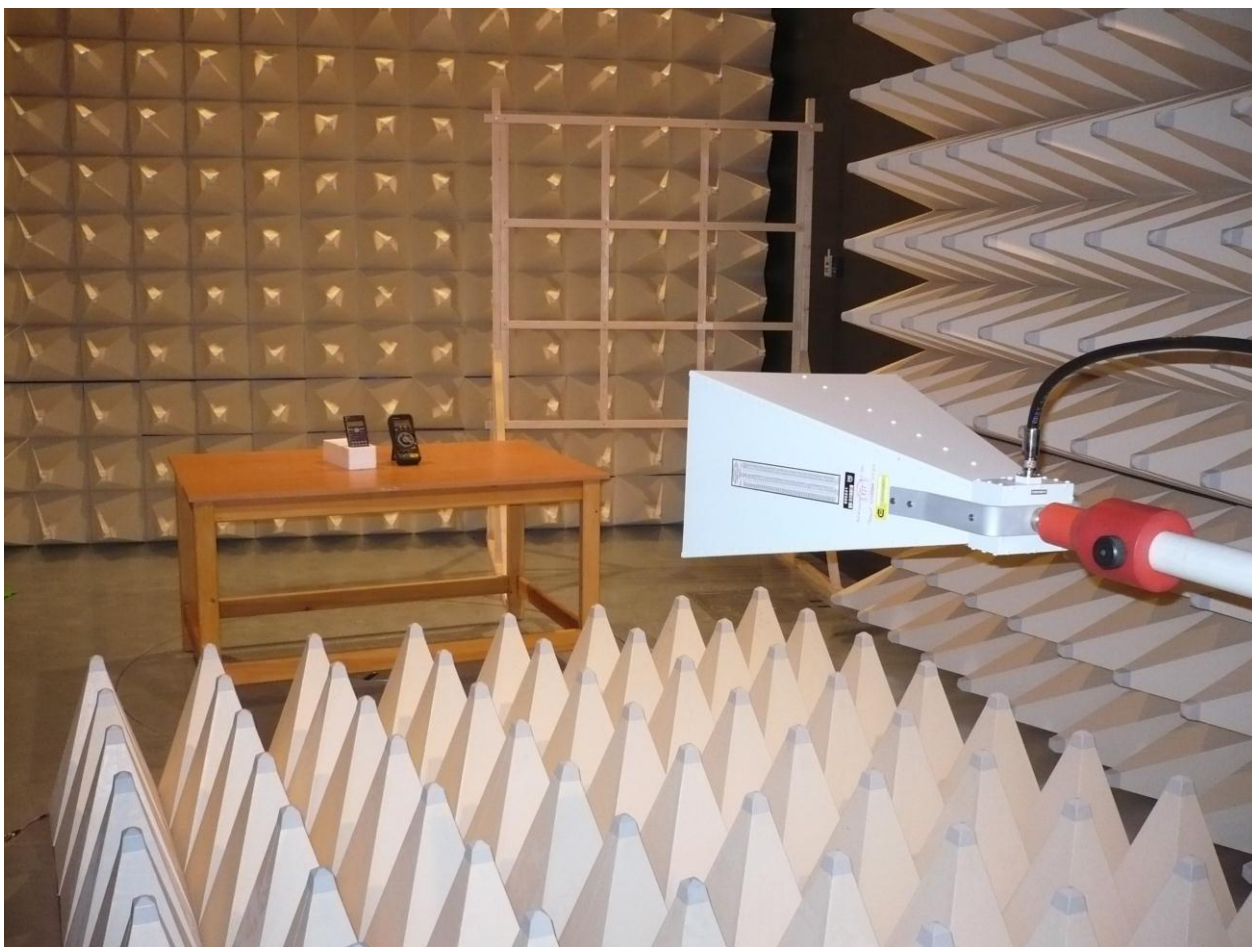


Obr. C 1. Měřicí pracoviště bezodrazové komory



**Obr. C 2. Měření odolnosti PC sestavy s logaritmicko-periodickou anténou**

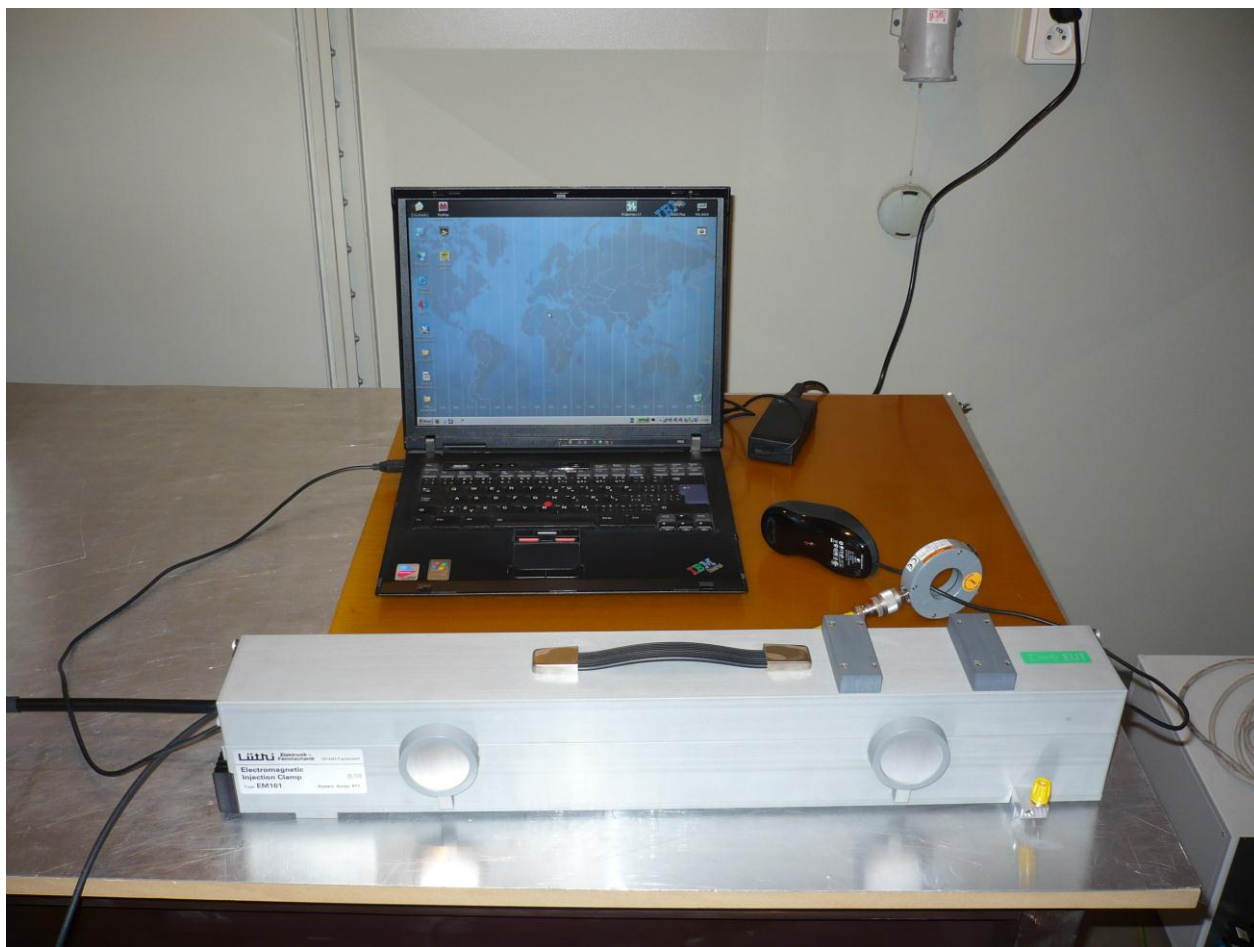




**Obr. C 3. Měření odolnosti multimetru a kalkulačky s trychtýřovou anténou**



**Obr. C 4. Měřicí pracoviště - měření odolnosti multimetru**



**Obr. C 5. Měření odolnosti USB myši**



**Obr. C 6. Měřicí pracoviště - měření odolnosti veřejného osvětlení (vysokotlaká sodíková výbojka s elektronickým předřadníkem)**