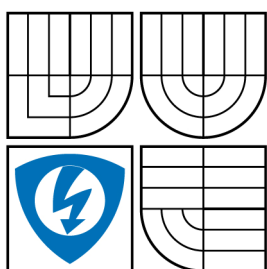


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION DEPARTMENT OF**

## **TESTOVÁNÍ A MĚŘENÍ EMC**

TESTING AND MEASUREMENT EMC

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JIŘÍ BARTOŇ**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. MARIE HAVLÍKOVÁ PH.D.**

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav automatizační a měřicí techniky

## Testování a měření EMC

Bakalářská práce

Studijní obor: Automatizační a měřicí technika

Student: Jiří Bartoň

Vedoucí práce: Ing. Marie Havlíková Ph.D.

### Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou elektromagnetické kompatibility v celé její šíři, jak po stránce technické tak i biologické. V této práci jsou rozebrány jednotlivé legislativní požadavky a předpisy EMC. Součástí bakalářské práce je návrh zkušebního postupu pro ověřování EMC zařízení informační techniky (ITE). Praktická část práce je věnována přehledu a realizaci zkoušek EMS dle platných norem v prostorách laboratoře elektrických měření Ústavu automatizace a měřicí techniky FEKT a ve zkušebnách Strojírenského ústavu v Brně.

### Klíčová slova:

elektromagnetická kompatibility, zkušební postup, ITE, EMS,

**Brno University of Technology**

**Faculty of Electrical Engineering and Communication**

**Department of Control, Measurement and Instrumentation**

## **Testing and measurement EMC**

Bachelor thesis

Specialisation of study: Automation and Measurement

Student: Jiří Bartoň

Supervisor: Ing. Marie Havlíková Ph.D.

### **Abstract :**

This bachelor thesis is focused on a problem field of electronic compability as a whole - both the technical and biological side. Each legislative requirements and regulations of EMC are analyzed in this thesis Part of thesis is to design a test procedure for verification of EMC information technology equipment (ITE). Practical work is devoted to an overview and implementation of EMS according to the applicable test standards in the laboratory measurement of the Institute of Electrical Control and Instrumentation FEEC and services in the Research Institute in Brno.

### **Keywords:**

electromagnetic compatibility, testing method, ITE, EMS,

## Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Testování a měření EMC jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **1. června 2009**

.....  
podpis autora

## Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Marii Havlíkové Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **1. června 2009**

.....  
podpis autora

**Bibliografická citace mé práce:**

BARTOŇ, J. *Testování a měření EMC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 63 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

## Obsah:

<b>1. ÚVOD [1],[12]</b> .....	<b>8</b>
<b>2. ZÁKLADNÍ POJMY A ČLENĚNÍ EMC</b> .....	<b>9</b>
2.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů [1],[2].....	9
2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů [1],[3] .....	11
2.2.1 Základní řetězec .....	11
2.2.2 Elektromagnetická interference (EMI) .....	12
2.2.3 Elektromagnetická susceptibilita (EMS) .....	13
2.3 Základní pojmy EMC [1],[5],[6].....	13
<b>3. ZDROJE RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ [1],[4]</b> .....	<b>16</b>
3.1 Průmyslové zdroje rušení.....	17
3.2 Zdroje napět'ového přepětí.....	18
3.2.1 Umělé zdroje přepětí.....	18
3.2.2 Přírodní zdroje rušení .....	18
3.3 Zdroje kontinuálního rušení .....	19
3.4 Zvláštní zdroje rušení.....	20
<b>4. LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY A PŘEDPISY V EMC</b> .....	<b>21</b>
4.1 Normalizační komise a organizace [2],[4].....	22
4.2 Vývoj legislativy a institucí v ČR [1],[4].....	23
4.3 Druhy civilních norem [1],[2],[4] .....	24
4.3.1 Základní normy ( <i>Basic standards</i> ) .....	24
4.3.2 Kmenové normy ( <i>Generic standards</i> ) .....	24
4.3.3 Předmětové normy ( <i>Products standards</i> ).....	24
<b>5. ZKUŠEBNÍ POSTUP PRO OVĚŘOVÁNÍ EMC ZAŘÍZENÍ INFORMAČNÍ TECHNIKY (ITE)</b> .....	<b>26</b>
5.1 Ověřování elektromagnetického rušení (EMI) [8],[12] .....	26
5.2 Ověřování elektromagnetické odolnosti (EMS) [4],[12] .....	28
5.2.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti [4],[12] .....	30
5.2.2 Metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti [4],[12] .....	31
5.3 Simulátor Seaward Mace [7] .....	33

<b>6. PŘEHLED ZKOUŠEK EMS PROVÁDĚNÉ SIMULÁTOREM SEAWARD MACE.....</b>	<b>37</b>
6.1 Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti (ČSN 61000-4-2) [1],[9].....	37
6.2 Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů (ČSN 61000-4-4) [10] ..	40
6.3 Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí (ČSN 61000-4-11) [11],[12] .....	42
6.4 Laboratorní referenční podmínky .....	44
<b>7. REALIZACE ZKOUŠEK EMI .....</b>	<b>45</b>
7.1 Zkouška rušivého napětí na síťových svorkách .....	46
7.2 Zkouška rušení šířeného zářením.....	48
<b>8. REALIZACE ZKOUŠEK EMS.....</b>	<b>50</b>
8.1 Realizace zkoušek odolnosti v SZÚ.....	50
8.1.1 Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům/skupině impulzů .....	50
8.1.2 Zkouška odolnosti Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí.....	52
8.1.3 Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji .....	53
8.2 Realizace zkoušek EMS ve školní laboratoři.....	53
8.2.1 Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji .....	54
8.2.2 Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům/skupině impulzů .....	55
<b>9. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>57</b>
<b>10. ZÁVĚR .....</b>	<b>58</b>
<b>11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>59</b>
<b>12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....</b>	<b>60</b>
<b>13. SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>61</b>
<b>14. SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>62</b>
<b>15. PŘÍLOHY.....</b>	<b>63</b>

## 1. ÚVOD [1],[12]

Elektromagnetická kompatibilita (slučitelnost) je obor, který se zabývá zabezpečením spolehlivosti jednotlivých elektrických a elektronických zařízení. Jde v podstatě o vazby mezi jednotlivými prvky nebo systémy, které musí být předem definovány tak, aby se tyto systémy mezi sebou vzájemně negativně neovlivňovaly. Je to také obor, který zkoumá, jaké rušení dané zařízení vytváří a zároveň jakému rušení zařízení odolává. Výsledkem by mělo být to, aby se různá zařízení vzájemně nerušila a pracovala spolehlivě i v podmínkách různého rušení, které přichází z vnějšího okolí.

Elektromagnetická kompatibilita vznikla jako samostatná vědecká disciplína v šedesátých letech 20. století v tehdy nejvyspělejší zemi -USA. Hlavním důvodem vzniku bylo zabezpečení bezchybné a spolehlivé činnosti elektrotechnických zařízení zejména ve vojenských a kosmických systémech. Poměrně dlouho dobu byla tato problematika málo atraktivní a zajímala jen malou skupinu odborníků. Změna nastala až s rozvojem elektrotechniky, především mikroprocesorové techniky, která pomalu začíná pronikat do všedního života každého z nás.

Název elektromagnetická kompatibilita (z anglického „*Electromagnetic Compatibility*“), z něhož pochází i mezinárodně užívaná zkratka EMC) můžeme jej chápat jako obor zabezpečující bezporuchovou činnost elektrotechnického zařízení (prvku, obvodu) pracujícího ve svém prostředí, aniž by toto zařízení nepřístupným způsobem rušilo zařízení jiná a naopak provoz okolních zařízení nesmí rušit provoz vlastního konkrétního zařízení.

Cílem bakalářské práce je seznámit se důkladně s problematikou EMC. Tato práce se zaměřuje na základní přehled a metodiku zkoušek elektromagnetické odolnosti (EMS). V dokumentu jsou popsány všeobecné požadavky na zkoušky elektromagnetické odolnosti. V poslední části je zaznamenáno provedení zkoušek EMI a EMS ve Strojním zkušebním ústavu, které bylo následně ověřeno zkouškami ve školních podmínkách simulátorem rušení SEAWARD MACE.



## 2. ZÁKLADNÍ POJMY A ČLENĚNÍ EMC

Obor EMC lze členit dle dvou hlavních hledisek. První hledisko je možné označit jako systémové. Z tohoto pohledu lze elektromagnetickou kompatibilitu rozdělit na dvě oblasti: EMC biologických a EMC technických systémů.

### 2.1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA BIOLOGICKÝCH SYSTÉMŮ [1],[2]

Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů se zabývá celkovým „elektromagnetickým pozadím“ okolního životního prostředí a přípustnými úrovněmi užitečných a rušivých elektromagnetických signálů s ohledem na jejich vlivy na živé organismy [1]. Biologické účinky EMC závisí na době působení pole, jeho charakteru a na vlastnostech daného organismu. Nežádoucí vlivy, které na člověka působí dělíme v dnešní době na přímé působení elektromagnetického pole (v zaměstnání) a na dlouhodobé působení elektrizovaného životního prostředí (doma). Každý člověk reaguje na elektromagnetické pole rozdílně, jelikož jsou u každého člověka adaptační a regenerační schopnosti zcela jiné. Proto je i v dnešní době obtížné dojít na základě statistických údajů k nějakým uceleným závěrům.

První počátky objasňování souvislostí byly realizovány v první polovině 20. století současně s velkým rozvojem elektrotechnických oborů. První vědecké práce se datují po 2. světové válce v souvislosti s využitím mikrovln. Již tehdy bylo zřejmé, že se nejedná jen o úzkou skupinu, ale o spojení více vědeckých disciplin (např. elektrotechniky, fyziky, medicíny, biochemie a jiných). Díky tomu začaly vznikat první bezpečnostní standardy, které se na základě vědeckých studií neustále vyvíjejí.

U vysokofrekvenčních a mikrovlnných polí jsou nejvíce objasněny *tepelné účinky*, které se dostaví jako následek ohřevu tkání vystavených příliš vysokým úrovním polí. U těchto polí pohlížíme na elektromagnetické pole jako na postupnou elektromagnetickou vlnu. Při dopadu vlny na tkáň se vlna odrazí a pronikne do tkáně. Tkáň je dobrý vodič, proto nedojde k průniku elektrického pole do hloubky a proud se šíří v malé hloubce pod povrchem. Z toho vyplývají dva základní biologické účinky:

- ohřívání tkáně těla při absorpci VF elektromagnetického záření,
- působení elektrických proudů nashromážděných v těle proměnným elektrickým a magnetickým polem.

U nás se touto problematikou zabývá Vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 480/2000 Sb., která od 1. 1. 2001 udává požadavky pro pobyt a práci v elektromagnetickém poli v rozsahu kmitočtu 0 až 300 Hz viz *Tab. 1*. Vyhláška stanovuje, aby doba vystavení osob elektrickým či magnetickým polem a elektromagnetickým zářením v rozsahu kmitočtů nepřekročila stanovené nejvyšší hodnoty proudové hustoty indukované v těle, měrného výkonu absorbovaného v těle ani hustotu zářivého toku. Dále také vyhláška rozlišuje velikost ozáření u tzv. „zaměstnanců“ a u tzv. „ostatních“ osob.

Pro vyhodnocení expozice elektrickým, nebo magnetickým polem a elektromagnetickým zářením se využívají tyto základní veličiny:

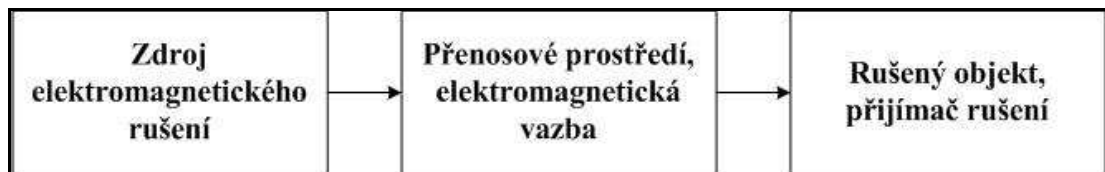
- měrný absorbovaný výkon (SAR),
- měrná absorbovaná energie (SA),
- proudová hustota indukovaná v těle (J),
- hustota zářivého toku elektromagnetické vlny dopadající na tělo nebo na jeho část (S).

Platí pro frekvence od $10^5$ do $10^{10}$	SAR [W/kg]	SA [J/kg]	S [ $W \cdot m^{-2}$ ]	J [ $A/m^2$ ]
	Měrný absorbovaný výkon	Špičková hodnota měrné absorbované energie SA pro 10g tkáně	Hustota zářivého toku (na plochu $20cm^2$ )	Indukovaná proudová hustota
Zaměstnanci	0.4	0.01	50	0.01
Obyvatelstvo	0.08	0.002	10	0.002

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

## 2.2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ [1],[3]

Základní analýza elektromagnetické kompatibility vychází ze dvou faktorů. Jde o *zkoumání emise rušení a zjišťování odolnosti zařízení proti rušení*. Přitom ale musí být bráno v potaz to, že rozbor nežádoucích vlivů sledovaných v rámci EMC předpokládá, že jakékoliv zařízení (přístroj) nebo systém, nebo jeho libovolná část může být zároveň jak zdrojem rušení (vysílačem), tak i přijímačem rušení (ovlivňovaným objektem). Při zkoumání EMC daného zařízení nebo systému se vychází ze základního řetězce EMC viz. *Obr. 1*. V obecných případech jsou prošetřovány všechny jeho složky.



*Obr. 1 - Základní řetězec EMC*

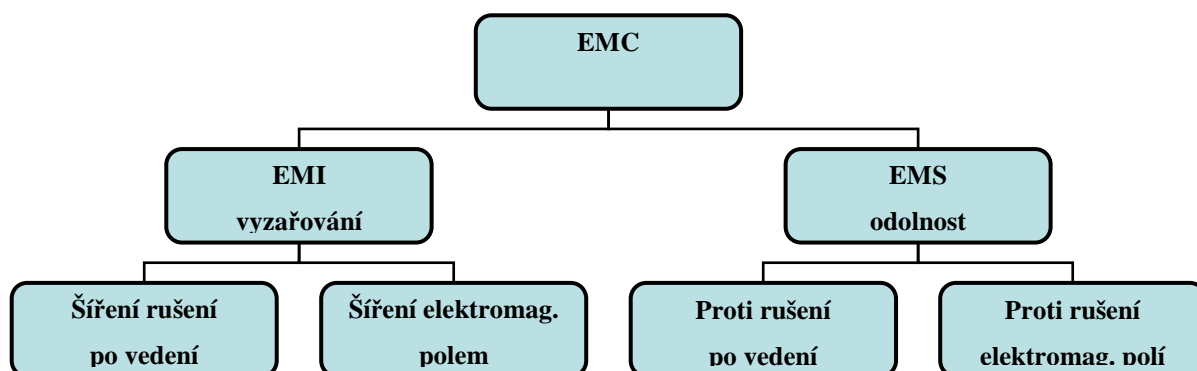
### 2.2.1 Základní řetězec

První oblast zdrojů elektromagnetického rušení se zabývá otázkami vzniku rušení, jeho intenzity a charakteru. Patří sem přírodní (přirozené) zdroje a umělé interferenční zdroje. Mezi přirozené zdroje rušení řadíme např. elektrické procesy v atmosféře nebo změny magnetického a elektrického pole produkované kosmickými tělesy. Umělé interferenční zdroje jsou takové zdroje, které vznikly lidskou technickou činností. Řadí se mezi ně nejrůznější technická zařízení např. – elektrické motory, silnoproudé generátory, tepelné a světelné spotřebiče, lékařské přístroje, elektrické přístroje, počítače atd.

Druhá oblast základního řetězce se zabývá elektromagnetickými vazbami a prostředími, které umožňují vznik nežádoucích vazeb. Elektromagnetická vazba je způsob, kterým se může energie ze zdroje rušení šířit až do přijímačů rušení. Zde se zkoumají především podmínky šíření a mechanismy elektromagnetických vazeb.

Poslední oblast se zabývá problematikou přijímačů rušení a objektů. Jde o určení podrobné specifikace rušivých účinků na základě konstrukčních a technologických parametrů a z toho plynoucí jejich elektromagnetickou odolností.

V technické praxi musí být počítáno s tím, že v každém okamžiku působí v daném místě současně mnoho zdrojů rušení na mnoho přijímačů rušení pomocí různých typů vazeb. Proto se věnuje největší pozornost jenom těm zdrojům rušení, které jsou v dané konfiguraci dominantní. Vyšetřování EMC se rozděluje do dvou základních skupin, které jsou zobrazeny na *Obr. 2*.



*Obr. 2 - Základní členění problematiky EMC*

### 2.2.2 Elektromagnetická interference (EMI)

Zabývá se zjišťováním úrovní vyzařovaných z testovaného zařízení. Nejčastěji se šíření rušivé elektromagnetické energie uskutečňuje prostřednictvím galvanické vazby, např. do telekomunikačních vedení nebo napájecího vedení nízkého napětí. Rušivá energie pak ovlivňuje pomocí takto vytvořené vazby činnost ostatních elektrických zařízení. V tomto případě testované zařízení generuje rušivé svorkové napětí [1]. Druhým způsobem jak se může nežádoucí parazitní elektromagnetická energie šířit je vyzářením do okolního prostoru. V tomto případě hovoříme o rušivém elektromagnetickém poli, které působí negativně na okolní prostředí.

### 2.2.3 Elektromagnetická susceptibilita (EMS)

Vyjadřuje schopnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení [1]. EMS se zabývá prověřováním citlivosti rušení, neboli odolnosti zařízení, systémů nebo prvků proti působení rušivé elektromagnetické energie z okolí. Rušivá energie se může šířit buď po vedení, nebo pomocí vyzařovaného elektromagnetického pole. V poslední době se rychle rozvíjí kromě měření i oblast testování elektromagnetické odolnosti objektů pomocí tzv. simulátorů rušení. Testování odolnosti se provádí nejenom na již konstruovaných přístrojích, ale hlavně i v průběhu jejich vývoje.

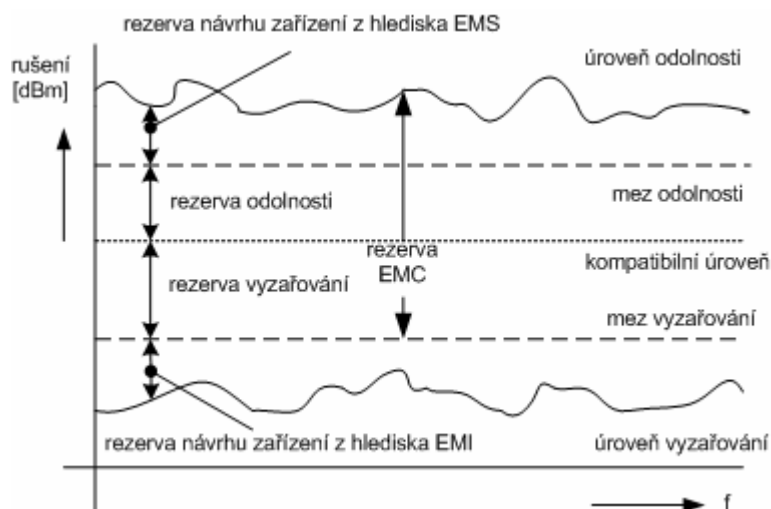
## 2.3 ZÁKLADNÍ POJMY EMC [1],[5],[6]

Každé elektrotechnické zařízení je zároveň jak zdrojem elektromagnetického rušení, tak i jeho přijímačem v elektromagnetickém prostředí. Podobně jako v jiných odvětvích je však i zde nutné rozlišovat, zda-li jsou některé rušivé účinky funkčními parametry ovlivňujícího systému nebo jeho rušivými produkty. Mezinárodní elektrotechnický slovník IEC 50 v kapitole elektromagnetická kompatibilita definuje některé základní pojmy, jejichž vztah je popsán na obrázku *Obr. 3*.

Základní terminologie z oblasti EMC vycházejí především z anglických pojmů a zkratk. Tyto zkratky už leckde zdomácněly a patří tak již do české odborné terminologie. Jedná se často o „dohodnuté termíny“ pracovní velmi používané a všem technikům již známé. Níže jsou uvedeny základní pojmy z oblasti EMC:

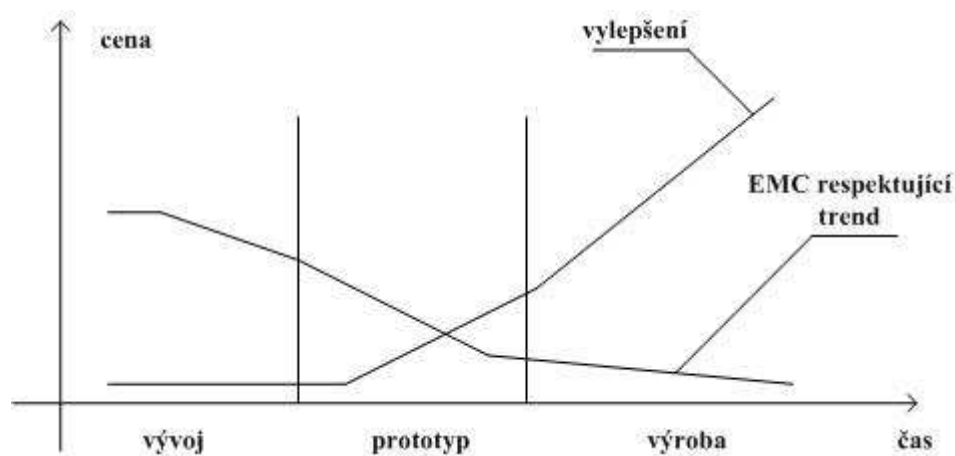
- elektromagnetická kompatibilita – schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení pro cokoliv v tomto prostředí,
- elektromagnetická interference – elektromagnetické rušení, které může mít za následek zhoršení provozu zařízení nebo systému,
- elektromagnetická citlivost na rušení – neschopnost přístroje, zařízení nebo systému být v provozu bez negativního ovlivnění funkčnosti v přítomnosti elektromagnetického rušení,

- elektromagnetická emise - jev, při němž elektromagnetická energie vychází ze zdroje,
- odolnost (proti rušení) - schopnost přístroje, zařízení nebo systému být v provozu bez zhoršení charakteristik za přítomnosti elektromagnetického rušení,
- rušivé napětí – napětí, vyvolané rušením mezi dvěma body dvou oddělených vodičů, za předepsaných podmínek,
- úroveň rušení – rušení generované zkoušeným zařízením a měřené daným postupem,
- mez rušení - maximálně přípustná úroveň elektromagnetického rušení měřeného předepsaným způsobem,
- elektromagnetická kompatibilní úroveň - předepsaná úroveň elektromagnetického rušení použitá jako referenční úroveň pro koordinaci stanovení mezí emise a odolnosti,
- úroveň odolnosti – maximální úroveň rušení působícího na zkoušené zařízení, při kterém nedojde k výskytu zhoršení provozu,
- mez odolnosti - nejnižší předepsaná úroveň odolnosti,
- rezerva odolnosti - rozdíl mezi mezní odolností přístroje, zařízení nebo systému a kompatibilní úrovní,
- rezerva rušení – rozdíl mezi kompatibilní úrovní a mezí rušení,
- rezerva EMC – odstup meze rušení a meze odolnosti,
- zkoušené zařízení – zařízení vystavené zkouškám vyhovění EMC,
- spojitě rušení – vysokofrekvenční rušení trvající déle než 200 ms,
- nespojitě rušení – vysokofrekvenční rušení pro spočitatelné mžikové poruchy, trvající méně než 200 ms,
- impulsní rušení – rušení, které se projevuje jako posloupnost jednotlivých impulsů nebo přechodových dějů.



Obr. 3 - Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti

U komplexních systémů je nutné brát již ve vývoji zřetel na požadované EMC aspekty. Mělo by být pamatováno na to, že dodatečná řešení jsou vždy spojena s vysokými náklady. Je tedy zřejmé, že dodržování zásad EMC úzce souvisí s kvalitou a spolehlivostí výrobků. Tato situace je znázorněna na Obr. 4. Podceňování těchto zásad při vývoji, projektování, konstrukci a testování výrobků obsahujících elektronické obvody vede k jejich velké poruchovosti, provozní nespolehlivosti, a neprodejnosti. Mimo to může neznalost zásad a podmínek EMC za určitých okolností způsobit značné hospodářské škody, havárie technických zařízení, či ohrozit život a zdraví lidí.



Obr. 4 - Schematické znázornění EMC vývoje nákladů

### 3. ZDROJE RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ [1],[4]

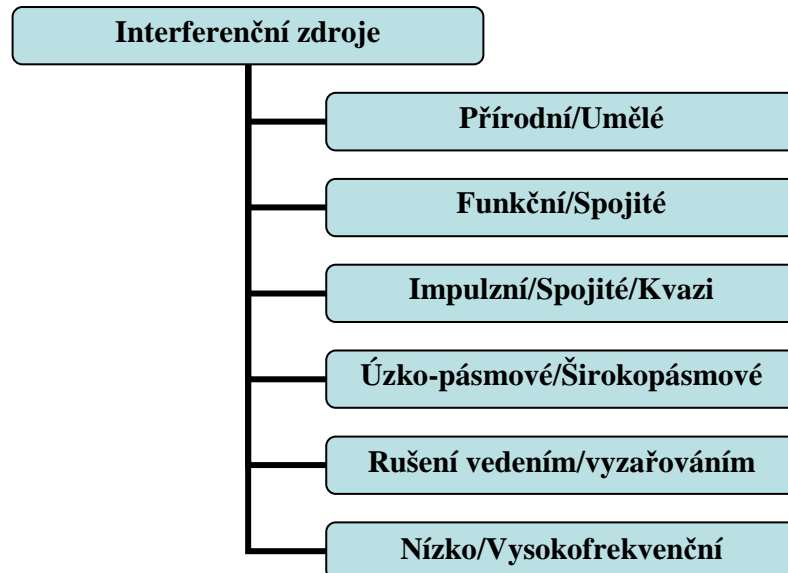
Každý elektrotechnický systém může být pokládán zároveň za zdroj i za přijímač elektromagnetického rušení. Z praktických důvodů se však přesto vyčleňuje typická skupinu systémů, u nichž vysoce převažuje proces generování rušivých signálů nad jejich nežádoucím příjmem. Tato skupina se nazývá interferenční zdroje či zdroje elektromagnetického rušení. V obecném případě se z každého zdroje rušení šíří rušivá energie buď vyzařováním a nebo vedením. Klasifikaci rušení i jejich zdrojů lze uskutečnit podle mnoha hledisek, popsanych na Obr. 5 [1].

Z hlediska zamezení rušení jsou důležité především umělé *interferenční zdroje*, tj. zdroje vytvořené lidskou technickou činností. *Přírodní zdroje* rušivých signálů musíme respektovat, nelze jim zabránit. Jedinou obranou je snažit se jim vyvarovat. Pokud jsou zdroje rušení základem funkce jednoho systému (např. sdělovací signály), a přitom ovlivňují základní funkci jiného systému, nazýváme je *funkčními*. Ostatní, které při svém chodu produkují parazitní rušivá napětí a pole pak označujeme jako *nefunkční*. Dále můžeme interferenční zdroje rozdělit podle časového průběhu rušivého signálu. *Impulsní rušení* má charakter časové posloupnosti jednotlivých impulsů nebo přechodných jevů. Opakem je tzv. *spojité rušení*, které nemůže být považováno za posloupnost oddělených jevů a působí kontinuálně (nepřetržitě) na rušené zařízení. Kombinace spojitého a impulsního rušení je *kvazi-impulsní rušení* [1].

*Úzko-pásmové rušení* je tvořeno zejména signály televizních a rozhlasových vysílačů, charakter *širokopásmového rušení* má naopak většina průmyslových rušivých signálů. *Nízkofrekvenční rušení* se projevuje dvojitým charakterem. Jde o energetické nízkofrekvenční rušení (do 2 kHz) způsobuje zkreslení napájecího napětí energetických sítí. Zdrojem rušení je v principu každá nelineární zátěž napájecí sítě, která způsobuje deformaci odebíraného proudu. Akustické nízkofrekvenční rušení (do 10 kHz) ruší a negativně ovlivňuje přenosové a komunikační systém (telefony, měřicí systémy, informační soustavy). Toto rušení vyvolávají prakticky všechny energetické zdroje, radary apod. Ke zdrojům *vysokofrekvenčního rušení* neboli



radiové rušení (od 10 kHz do 400 GHz) patří prakticky všechny rušivé zdroje, jelikož rušivé signály zasahují obvykle vždy do těchto kmitočtových oblastí.



Obr. 5 - Obecný rozbor rušivých signálů

### 3.1 PRŮMYSLOVÉ ZDROJE RUŠENÍ

Z periodických spojitých rušivých signálů jsou nejdůležitější harmonické složky kmitočtu napájecí sítě 50 Hz, které jsou často produkovány již samostatnými silnoproudými generátory při výrobě elektrické energie [1]. Takto vzniklé vyšší harmonické složky vyvolávají na nelineárních impedancích sítě (např. transformátory s nelineární magnetickou charakteristikou) vznik dalších harmonických složek. Velkými zdroji tohoto rušení jsou především řízené polovodičové měniče velkých výkonů, které vytváří v napájecích sítích harmonické kmitočty až do 30 MHz.

Druhý typ rušení vzniká při činnosti stykačů a jističů. Při přechodovém jevu rozpojování obvodu obsahujícího indukčnost dochází v okamžiku rozpojení kontaktů k rychlé změně proudu  $di/dt$ , a tím vzniku vysokého rušivého napětí.

Další typ rušení vzniká na usměrňovačích diodového typu, nebo zejména v případech tyristorového řízení průmyslových zařízení, kdy v každé půlce periody napájecího napětí dochází ke spínání velkých proudů. Mezi další zdroje rušení v energetické síti řadíme vysílače systému hromadného dálkového ovládání (HDO).

## 3.2 ZDROJE NAPĚŤOVÉHO PŘEPĚTÍ

Zdroje napěťového přepětí můžeme podle původu rozdělit na dvě skupiny. Jde o zdroje přírodní a zdroje umělé, které byly vytvořeny lidskou činností.

### 3.2.1 Umělé zdroje přepětí

K umělým zdrojům přepětí patří prakticky všechna spínací zařízení. Výsledná velikost přepětí závisí na mnoha parametrech. Na velikosti spínaného proudu a napětí, na kvalitě spínacích prvků, na impedančních poměrech v energetické síti a na rychlosti spínacího procesu. Ke zdrojům rušení, u kterých v posledních letech nabývá na významu, se přiřazují elektrostatické výboje (*ESD - Electrostatic Discharge*). Navzdory tomu, že mají nízkou energii (méně než 10 mJ) je jejich napěťová úroveň rušení (až 15 kV) velmi nebezpečná pro integrované obvody pracující s nepatrnými proudy a vysokými pracovními odpory (CMOS).

K elektrostatickému výboji dochází při kumulaci některých skutečností:

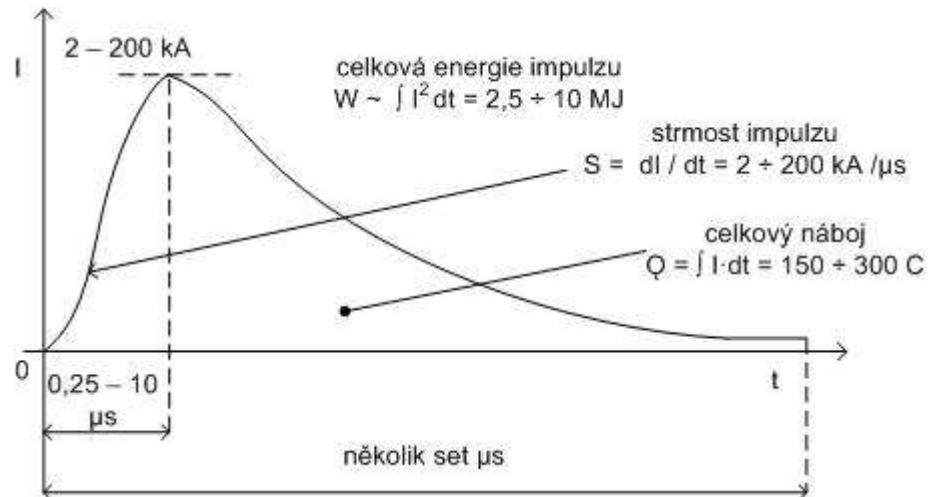
- nevhodné oblečení pracovníků- oděvy ze syntetických tkanin,
- povrch pracovních pomůcek (stolů, židlí) a podlahového materiálu je z umělých hmot s vysokým izolačním odporem,
- nízká vlhkost vzduchu v místnosti.

Třením šatů a bot o izolační povrch vznikne náboj o vysokém elektrickém napětí. Náboj se poté vybije při kontaktu s povrchem elektrického zařízení. Tento výboj může ovlivnit funkci i životnost elektrotechnického zařízení.

### 3.2.2 Přírodní zdroje rušení

K nejdůležitějším přírodním zdrojům přepětí patří bleskový náboj. Jde o nejsilnější přírodní elektrický náboj, který ohrožuje elektrická a elektronická zařízení až do vzdálenosti 4 km. Vybíjení atmosférické elektřiny blesky způsobuje vznik strmého *elektromagnetického impulsu* (LEMP – *Lightning Electromagnetic Pulse*) který má v zasažených zařízeních destrukční účinky. Velikost vyrovnávacích proudů bleskového výboje se pohybuje od několika tisíc až do 300 tisíc ampérů. Blesk produkuje úroveň rušení až 140 dB $\mu$ V (v pásmu 2 – 30 kHz). Potom úroveň klesá, až do 100 MHz, jak je vidět na *Obr. 6*. Důležitým parametrem, který je uváděn při zjišťování bouřkové aktivity, je tzv. intenzita bouřkové činnosti neboli četnost úderu

blesku na km<sup>2</sup> za rok. V našich podmínkách se četnost úderu blesku pohybuje od 2 až 8 úderů na km<sup>2</sup> za rok, v subtropích a tropických oblastech je tato hodnota 30 až 70 úderů na km<sup>2</sup> za rok.



Obr. 6 - Proudový impulz při úderu blesku a jeho parametry

### 3.3 ZDROJE KONTINUÁLNÍHO RUŠENÍ

Kromě obávanějšího průmyslového a přepětového rušení ohrožují správnou činnost systému i rušivé signály, které působí obvykle nepřetržitě, nebo stále s krátkým přerušením. Mezi nejnámější zdroje **kontinuálního rušení** řadíme televizní a rozhlasové vysílače, radarové stanice nebo i taktovací signály elektronických obvodů. Jejich signály jsou buď parazitně injektovány do kabelových a jiných vedení, nebo se šíří pouze vyzařováním [1]. V posledních letech lze ke zdrojům kontinuálního rušení připočítat nežádoucí vyzařování systémů neveřejných radiokomunikačních služeb (např. Citizen Band rádio, pásmo 27 MHz). Zdrojem rušení je zde záměrné překračování povoleného vysokofrekvenčního vyzařovaného výkonu přidáním koncového výkonového zesilovače do anténního přívodu stanice. Mezi další zdroje elektromagnetického spojitého rušení patří systémy společných televizních a rozhlasových signálů. Zde se používají k rozvodu TV signálů stejná kmitočtová pásma, jaká se užívají v jiných odvětvích (letectví, meteorologie), což vede k častým komplikacím.

### 3.4 ZVLÁŠTNÍ ZDROJE RUŠENÍ

Při výbuchu jaderné bomby vzniká, i když jen na velmi krátkou dobu, poměrně silné elektrické pole. Jedná se o *nukleární elektromagnetický impulz* (NEMP – *Nuclear Electromagnetic Pulse*). Vzniká při jaderném výbuchu, kdy výbuchem uvolněné záření gama vyrazí elektrony z molekul vzduchu. Tyto elektrony se zrychlují radiálním směrem, a tím se oddělují od neionizovaných molekul vzduchu. Vlivem toho vznikne v několika málo nanosekundách silné elektrické pole a následkem časově se rychle měnícího transportu náboje je vyzářen krátký elektromagnetický impulz [1]. Tyto účinky velmi silně ovlivňují veškerá slaboproudá i silnoproudá zařízení, a mohou je i zcela zničit. Rozsah účinků závisí na typu jaderné bomby a výšce nad zemí, ve které dojde ke konečnému výbuchu. Exploze jaderné bomby v kosmickém prostoru může mít vliv na všechny živé organizmy žijící zemi, ale také způsobit přepětíové stavy u elektrických zařízení a venkovních vedení s podobnými efekty, jako má úder blesku, jen s větším podílem vysokých kmitočtů (až do 10 GHz).

Mimo bleskových impulzů k nám z okolního prostoru pronikají do zemského povrchu i další druhy rušení. Jde o rušení, které souhrnně označujeme jako *rušení mimozemského původu*. Jedná se především o slunce, které při zvýšeném výskytu slunečních skvrn a erupcí ve fotosféře a protuberancí v chromosféře a koruně, vysílá k zemi “sluneční vítr“ nukleárních částic. Ty v zemské atmosféře při srážkách s ionty a molekulami vytvářejí geomagnetické bouře způsobující elektromagnetické rušení nepříznivě ovlivňující přenos informací [4]. To stejné můžeme také tvrdit o kosmickém záření, které tvoří jen určité “pozadí“ v širokém pásmu velmi vysokých kmitočtů.

## 4. LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY A PŘEDPISY V EMC

Normalizace nabývá v oblasti EMC stále více na významu, neboť práce na pracovištích EMC vyžaduje znalost veškerých dokumentů a nařízení. Technické normy jsou dokumenty, které poskytují pravidla nebo pokyny, které nám zajišťují shodu materiálů či výrobků k danému účelu. V dnešní době slouží normy jako vhodné doporučení, nikoli jako příkazy nebo ustanovení.

Technické normy obsahují několik nezbytných předností, které vyplývají z jejich samotné existence.

- normy jsou nezbytnou podmínkou pro oběh zboží a služeb,
- slouží k porovnání úrovně výrobku nebo služby,
- určují míru bezpečnosti,
- jsou účinným nástrojem konkurenčního boje,
- jsou povinné u veřejných zakázek.

Z tohoto pohledu je možné veškeré normy EMC rozdělit do tří základních skupin.

- normy rušivého vyzařování,
- normy elektromagnetické odolnosti,
- normy pro odrušovací prostředky.

Trendem v oblasti legislativy je dosažení kompatibility mezi jednotlivými státy. Pro zabezpečení sjednocení normalizace požadavků vydala Rada Evropské unie v roce 1989 směrnici č. 89/336/EEC s názvem „Směrnice o sblížování zákonů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility“ [1]. Tato směrnice byla schválena a přeložena v každém státě Evropské unie, a poté vstoupila v platnost jako zákon platný od 1.1.1996. Od tohoto data musí každý prodejce na evropském trhu tuto směrnici dodržovat. Oblast tvorby technických norem má pod patronátem Mezinárodní elektrotechnická komise IEC.

#### 4.1 NORMALIZAČNÍ KOMISE A ORGANIZACE [2],[4]

Mezinárodní elektrotechnická komise **IEC** (*International Electrotechnical Commission*) je světová organizace, založená roku 1904 v USA. Jejím úkolem je vytvářet uveřejňovat mezinárodní normy pro elektrotechnické, elektronické a příbuzné obory. Normy IEC jsou určeny k tomu, aby pomáhaly průmyslu, vládním orgánům a široké veřejnosti. Zároveň podporují lepší kvalitu života tím, že napomáhají k větší bezpečnosti a v dnešní době i k ochraně životního prostředí. Technickou práci v IEC vykonává asi dvě stě technických komisí a subkomisí a asi sedm set pracovních skupin. Jednotlivé technické komise vypracovávají technické dokumenty různého typu a ty potom předkládají národním členům IEC k hlasování, výsledným cílem je jejich schválení jako mezinárodní normy. Podle odhadu se na technické práci IEC podílí asi deset tisíc odborníků z celého světa.

Problematikou EMC se zabývá komise **TC 77**. Mezi její hlavní úkoly patří příprava základních dokumentů určených pro odborné technické pracovníky. Různé dokumenty vydané touto komisí upřesňují emise rušení, odolnost testovací techniky, elektromagnetické prostředí, či podmínky při provádění zkoušek. S normami IEC se můžeme setkat skoro na každém kroku, počínaje jednoduchou elektrickou žárovkou, a konče informační a telekomunikační technikou. IEC je zařazena do celosvětového normalizačního procesu řízeného a koordinovaného Mezinárodní organizací pro normalizaci **ISO** (*International Standard Organization*). Problematikou EMC se v rámci IEC zabývá zvláštní mezinárodní komise **CISPR** (*Comité International Special des Perturbations Radioelectriques*). Tato komise byla založena v 60. letech jako ochrana rádiového a televizního vysílání. V dnešní době se zaměřuje především na rušení od přístrojů informační techniky. Snaha o vytváření jednotné Evropy se společným trhem, měla za následek sjednocení a harmonizaci různých předpisů a norem. To vše vedlo až k založení evropských norem (**EN**).

Zaváděním technických norem v oblasti EMC v rámci Evropské unie se zabývá Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice **CENELEC** (*Comité Européen de Normalisation en Electrotechnique*). Normy se vydávají buď jako povinné, nebo ve formě dokumentů, které zavádějí již hotové normy do souladu s mezinárodními dokumenty. Na základě dohody s IEC, přebírá CENELEC již

vytvořené normy IEC a IEC-CISPR beze změn a předkládá IEC požadavky na vypracování nových norem. Členy CENELEC jsou národní normalizační orgány Belgie, Dánska, Finska, Francie, Irsko, Islandu, Itálie, Lucemburska, Německo, Nizozemsko, Norsko, Portugalsko, Rakousko, Řecko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko a Velká Británie. Normy těchto komisí jsou celoevropsky harmonizované [4]. Mezinárodní telekomunikační unie *ITU (International Telecommunications Union)* a její výbory se zabývají problematikou EMC v oblasti radiokomunikačních a telekomunikačních systémů.

#### 4.2 VÝVOJ LEGISLATIVY A INSTITUCÍ V ČR [1],[4]

První počátky normalizace u nás souvisí se vznikem ČSR v roce 1918. O rok později, tedy v roce 1919, byla založena první instituce s celostátní organizací. Nesla název Elektrotechnický svaz československý (ESČ). Tato instituce vydala první československé normy pod názvem Předpisy a normy ESČ. Položila tím základ tvorby pro budoucí národní norem v elektrotechnické oblasti.

V roce 1922 byla založena Československá společnost normalizační (*ČSN*). Šlo o neziskovou organizaci, do které přispívali odborníci z řad vysokých škol, výzkumných ústavů, a průmyslových podniků. Normy, které tato společnost vydala, byly nezávazné a sloužili jen jako forma dohody. Roku 1951 zanikla činnost ČSN a ESČ a řízení normalizace převzal stát. Orgánem vykonávajícím technickou normalizaci se stal Úřad pro normalizaci, který fungoval až do rozpadu ČSFR roku 1992. Normy se za tuto dobu staly povinné a měli celostátní platnost.

V dnešní době se v České republice tvorbou technických norem zabývá *ČNI (Český normalizační institut)* v Praze. Jde o státní příspěvkovou organizaci řízenou Ministrem průmyslu a obchodu. Jeho technická normalizační komise TNK 47 postupně reviduje již vytvořené české normy ČSN v oblasti EMC a dává je do souladu s normami IEC, CISPR a EN. Od roku 1997 probíhá v České republice snaha o harmonizaci všech národních technických norem. Tyto normy mají své tradiční označení ČSN.

### 4.3 DRUHY CIVILNÍCH NOREM [1],[2],[4]

#### 4.3.1 Základní normy (*Basic standards*)

Tyto normy definují problém EMC a stanoví základní všeobecné podmínky a pravidla pro metody testování elektromagnetické kompatibility libovolného výrobku. Tyto normy nestanoví meze rušení nebo odolnosti ani vyhodnocování a vyhodnocovací kritéria [2]. Např.:

- normy pro nf. rušení řady ČSN EN 61000-2 a ČSN EN 61000-3,
- normy pro EM odolnost řady ČSN EN 61000-4.

#### 4.3.2 Kmenové normy (*Generic standards*)

Specifikují minimální soubor požadavků (jak pro vyzařování, tak pro odolnost) a testovacích metod EMC pro všechna technická zařízení pracující v určitých typech elektromagnetických prostředí [2].

- prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu: EN 50081-1,
- průmyslové prostředí: EN 50082-2,
- průmyslové prostředí: EN 50081-2 odolnost (elektrostatický výboj, rychlé přechodné jevy napětí, vysokofrekvenční rušení polem).

#### 4.3.3 Předmětové normy (*Products standards*)

Tyto normy určují různé elektromagnetické požadavky a testovací metody pro jednotlivé výrobky. Předmětové normy výrobků musí být v souladu se základními a kmenovými normami. Vztahují se například na následující skupiny výrobků: průmyslová zařízení, televizory, dopravní zařízení, spotřebiče pro domácnost, kancelářské stroje a přístroje, přenosné nářadí, lékařská zařízení, měřicí a testovací zařízení. Existuje-li pro daný výrobek výrobková norma, má potom vždy přednost před normou všeobecnou.

Všechny normy, které jsou uvedeny, mohou mít buď závazný, nebo doporučující charakter. **Závazné normy** (*Mandatory standards*) jsou určeny zákonem. Jejich nedodržení odporuje zákonům a je trestné. Nelze vyrábět ani produkovat zařízení, které těmto normám odporují. V Evropské unii na tento problém zareagovala především Směrnice Rady Evropské unie č. 89/336/EEC z roku



1989. V ní je přesně stanoveno, jaké uvedené zásady musí být přesně a důsledně dodržovány.

*Doporučené normy (Voluntary Standards)* jsou projevem určité dohody a mají jen doporučující charakter. Vznikají obvykle jako výsledek společné práce výrobců a normalizačních organizací. Je třeba si uvědomit, že přestože jde „jen“ o doporučené normy, jejich vliv může být prakticky stejný jako u závazných norem. Doporučené normy jsou často brány jako prodejní specifikace a jejich nesplnění se bere v úvahu při pojišťovacích či náhradových řízeních [2].

## 5. ZKUŠEBNÍ POSTUP PRO OVĚŘOVÁNÍ EMC ZAŘÍZENÍ INFORMAČNÍ TECHNIKY (ITE)

### 5.1 OVĚŘOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENÍ (EMI) [8],[12]

Cílem zkoušek je ověřit, zda úroveň vyzařování příslušného rušivého signálu zkoušeného výrobku není větší než mez vyzařování, určená pro dané prostředí. Při vykonávání zkoušky pracuje zkoušené zařízení v různých provozních režimech, ve kterých lze předpokládat nejvyšší vyzařování rušivého signálu. Přitom ale musí být pamatováno nato, že měření může být ovlivňováno rušivými signály z jiných zdrojů (pozadí). Norma EN 55022 uvádí meze rušivých svorkových napětí a meze rušivého výkonu pro spojitě rušení i pro nespojitě rušení. Norma určuje postupy měření v pásmu 9 kHz až 400 GHz ale upřesňuje meze v pásmu 0,15 MHz až 1 GHz pro zařízení informační techniky.

Zařízení informační techniky (ITE) může být definováno jako jaké-koliv zařízení, mezi jehož prvotní funkce patří ukládání, zobrazování, vyhledávání zpracování nebo řízení datových zpráv a může být vybaveno porty pro přenos informací. Do této kategorie spadají např. zařízení pro zpracování dat, kancelářské stroje, obchodní a telekomunikační zařízení. Zařízení ITE se obecně rozdělují do dvou kategorií, které se značí jako třídy *A ITE* a *B ITE*.

**Zařízení třídy A:** - je ITE, které vyhovuje mezím rušení pro třídu A.

V některých zemích může být omezen jejich prodej nebo použití. V návodu použití musí být u zařízeních třída A přidáno k použití upozornění.

**Zařízení třídy B:** - je ITE, které je určeno především pro použití ve vnitřním prostředí. Toto zařízení zahrnuje:

- zařízení bez pevného místa použití např. přenosná zařízení napájená z vestavěných baterií,
- telekomunikační koncová zařízení napájená z telekomunikační sítě,
- osobní počítače a pomocná přípojná zařízení.

Pro vf rušení jsou udávány dva druhy mezí: *Meze rušivého napětí na síťových svorkách* a *Meze pro rušení šířené zářením*, jsou uvedeny v Tab. 2 a Tab. 3.

Kmitočtový rozsah [MHz]	Meze [dB (μV)]	
	Kvazivrcholové (QP)	Střední (AV)
0,15 až 0,50	66 až 56	56 až 46
0,50 až 5	56	46
5 až 30	60	50

Poznámka : Pro kmitočty kterou jsou na rozhraní platí nižší hodnoty.

Tab. 2 - Meze pro rušení šířené vedením na síťových svorkách třídy B ITE

Kmitočtový rozsah [MHz]	Kvazivrcholové meze [dB (μV/m)]
30 až 230	30
230 až 1000	37

Poznámka : Pro kmitočty kterou jsou na rozhraní platí nižší hodnoty.

Tab. 3 - Meze rušení šířené zářením pro zařízení třídy B ITE

### Funkce jednotlivých detektorů

Standardní přístroj pro měření rušení musí obsahovat detektory kvazivrcholové (QP) a střední hodnoty (AV). Tímto se liší od ostatních přístrojů, které se běžně používají ve vf. technice. Pokud je měřen smíšený signál (širokopásmová a úzko-pásmová složka rušení), QP detektor je citlivější na širokopásmové rušení, naproti tomu AV detektor je vhodnější pro měření úzko-pásmového rušení.

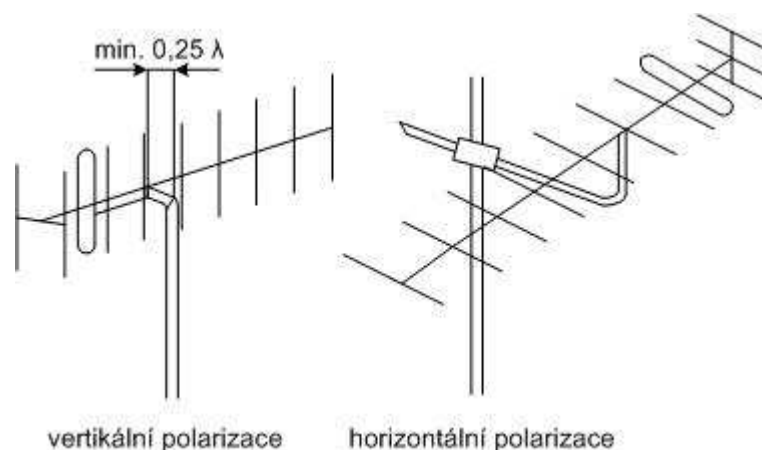
### Metody a způsoby měření šířeného vedením na napájecích svorkách:

Měření se musí provést přijímači s detektory AV a QP hodnoty, které mohou být také součástí jednoho přijímače. Doporučuje se provádět měření ve stíněném prostoru. Při měření se vyžaduje umělá síť (AMN), která poskytuje dostatečnou impedanci na vysokých kmitočtech a zajistí oddělení zkoušeného obvodu od okolního šumu na napájecích přívozech. Rušení které se šíří vedením musí být změřeno mezi fázovým vodičem a referenční zemí a mezi neutrálním vodičem a referenční zemí. Při průběhu měření nemusí být možné zaznamenat měření z důvodu rušení které je způsobené vazbou s poli rozhlasového/televizního vysílání.

### Metody a způsoby měření rušení šířeného zářením:

Měření se musí provádět měřicím přístrojem s kvazivrcholovým detektorem v kmitočtovém rozsahu 30MHz až 1000MHz. Anténa musí být symetrický dipól. Měření se provádí pomocí antény, která je umístěna ve vodorovné vzdálenosti od testovaného zařízení. Kvůli zjištění maximálních údajů měřicího přístroje na každém kmitočtu, musí být anténa nastavitelná v rozmezí 1 až 4 metrů nad zemí. V průběhu měření se musí měnit úhel natočení antény k testovanému zařízení. Polarizace antény (horizontální a vertikální) se během měření musí měnit aby se zjistily maximální údaje intenzity pole.

*Logaritmicko-periodická* anténa, viz Obr. 7 se používá v pásmu 200 MHz až 1 GHz. Jedná se o typickou měřicí anténu, která je složena z rezonančních unipólů, jejich kmitočty jsou mezi sebou ve stejném poměru.



Obr. 7 - Logaritmicko-periodická anténa

## 5.2 OVĚŘOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI (EMS) [4],[12]

Elektromagnetická odolnost (susceptibilita) EMS tvoří jednu ze základních oblastí problematiky EMC. Jelikož nelze nikdy odstranit všechny potenciální zdroje rušení, je nutno zajistit, aby technická zařízení fungovala i za jejich přítomnosti. Technické zařízení musí odolávat všem druhům rušení, které se mohou v danou chvíli vyskytnout. U elektronických systémů rozlišujeme *interní* a *externí* elektromagnetickou odolnost. **Interní** elektromagnetická odolnost je odolnost

systemu (zařízení) vůči rušivým zdrojům, které se nacházejí uvnitř vlastního systému. Naopak *externí* elektromagnetická odolnost pak představuje odolnost systému vůči vnějším zdrojům elektromagnetického rušení. Definice elektronického systému však závisí na tom, z jakého pohledu se na něj pohlíží. Z obecného hlediska se nejčastěji setkáváme se třemi druhy systémů.

První typ charakterizují *rozlehlé* (dálkové) *systemy*, jejichž podsystémy jsou od sebe navzájem geograficky vzdálené. Tyto podsystémy mohou při svém provozu vnášet do signálových cest celého systému různé rušivé signály, jejichž působení je testováno v rámci zkoušek *vnitřní* (interní) *elektromagnetické odolnosti* systému. Rušivé vlivy vznikající v energetické síti či vlivy atmosférické elektřiny pak tvoří *vnější* (externí) *odolnost* rozlehlých systémů. Příkladem rozlehlého systému jsou např. ústředny, přenosová a koncová zařízení nebo systémy dálkového zpracování dat.

Druhým typem jsou *lokální systemy*, jejichž podsystémy jsou umístěny v rámci určité lokace, budově či místnosti. Jedná se např. o informační systémy podniků, řídicí štáby nebo výpočetní centra. Zdroji rušení zde mohou být kromě signálových a napájecích rozvodů i jednotlivé elektrické subsystémy nacházející se v daném místě. (osvětlení, výtahy nebo přístroje).

Třetím typem elektronických systémů jsou *systemy přístrojového typu*. Tyto systémy jsou realizovány jako individuální kompaktní celky. Jde hlavně o přístroje spotřební elektroniky, terminály, měřicí přístroje nebo elektronické počítače.

U každého takového zařízení zkoumáme vždy jak vnitřní, tak i vnější elektromagnetickou odolnost. Jelikož existuje mnoho různých zdrojů vnějšího rušení, uvažujeme při zkoumání externí elektromagnetické odolnosti jen o těch, které by mohli být v danou chvíli nejnebezpečnější. *Interní elektromagnetická odolnost* elektronických systémů závisí na vlastnostech a skladbě jednotlivých subsystémů jako např.:

- volba obvodového řešení a aktivních a pasivních elektronických prvků,
- volba typu napájení, vzájemné rozložení napájecích a signálových bloků přístroje,

- volba stykových prvků na rozhraních,
- návrh desek plošných spojů, uspořádání spojů a jejich kabeláže,
- návrh vnitřního stínění a zemnění.

Z obecného hlediska platí pro posouzení *celkové elektromagnetické odolnosti* tři systémová pravidla:

- interní elektromagnetická odolnost elektronického systému je závislá na interní odolnosti jeho subsystémů,
- výsledná interní elektromagnetická odolnost elektronického systému je dána elektromagnetickou odolností jeho „nejslabšího článku“ tj. subsystému s nejnižší elektromagnetickou odolností,
- celková externí elektromagnetická odolnost elektronického systému může být v mnoha případech závislá na jeho interní elektromagnetické odolnosti, neboť může docházet ke skládání rušivých vlivů efektu [4].

### 5.2.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti [4],[12]

Při zjišťování elektromagnetické odolnosti technického systému je třeba znát kritérium jeho elektromagnetické odolnosti, tj. meze narušení jeho funkcí. Překročení této meze odolnosti systému může být obecně definováno kvantitativně nebo kvalitativně. Přitom dosažení této meze je vždy funkcí jednoho nebo několika rušivých vlivů.

**Kvantitativní mez odolnosti:** - je definována jako dosažení určité hodnoty zvolené veličiny. Své uplatnění nachází zejména v etapě vývoje zařízení, kdy zjišťujeme velikost a tvar rušivých signálů ve vybraných bodech zapojení. Analyticky poté určíme takovou hodnotu sledované veličiny, která by ještě neměla vyvolat žádnou nežádoucí změnu. Tato určená hodnota je poté vydávána za kritérium elektromagnetické odolnosti pro všechna zařízení podobného typu.

U **kvalitativní meze odolnosti** se častěji užívá systémového přístupu. Ten je založen na určení kvalitativního kritéria elektromagnetické odolnosti, jakožto zhodnocení změny provozního stavu či ovlivnění funkce daného zařízení. Povolené funkční poruchy jsou stanoveny v normě EN 50082. Funkční poruchou chápeme změnu provozní způsobilosti po skončené zkoušce odolnosti.

Definují se tři základní funkční kritéria:

- **Funkční kritérium A** - Zařízení musí *během* zkoušky pracovat dle svého určení. Není žádoucí zhoršení činnosti ani ztráta jeho funkce.
- **Funkční kritérium B** - *Po skončení* zkoušky musí zařízení pracovat dle svého určení. Při průběhu zkoušky je možné zaznamenat zhoršení činnosti zařízení, nesmí však být změněn jeho provozní stav ani data v paměti. Po ukončení zkoušky není povoleno žádné zhoršení činnosti ani ztráta jeho funkce.
- **Funkční kritérium C** - Je *tolerována dočasná ztráta funkce zařízení* v tom případě, že se po skončení zkoušky tato funkce obnoví sama. Funkce může být obnovena zásahem operátora (dle návodu) nebo činností řídicího systému.

Z logiky věci je tedy patrné, že funkční (kvalitativní) testování odolnosti posuzuje pokračující funkčnost zařízení po již ukončené zkoušce. Z obecného hlediska nejsou předchozí definice dostatečně specifikované. Pro každé zařízení je nutné upřesnit charakter jednotlivých poruch.

### 5.2.2 Metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti [4],[12]

Základem každé zkoušky elektromagnetické odolnosti elektronického zařízení je vytvoření vhodného elektromagnetického prostředí, nejlépe pak toho, v němž bude zařízení pracovat. Splnit tuto podmínku je však obtížné, protože se provozní elektromagnetické prostředí v čase mění a nebylo by možné dospět k seriózním závěrům. Z tohoto důvodu se ke zkouškám odolnosti využívá uměle vytvořené elektromagnetické prostředí, které je přesněno určeno několika hledisky:

- obvodového, prostorového a blokového uspořádání měřícího pracoviště,
- kvalitativní a kvantitativní parametry simulátorů rušení,
- provozní stav zkoušeného systému či přístroje.

Požadavky na odolnost konkrétního elektrotechnického zařízení se určují podle následujících skutečností:

- rušivé vlivy, které mohou v daných podmínkách ovlivnit funkci zařízení,
- možné brány vstupu rušivých signálů,
- kategorie požadované odolnosti zařízení,

- přípustné rušivé účinky.

Obecným rozbořem konkrétní situace určíme, které rušivé vlivy zkoumané zařízení nejvíce ovlivňují. Jelikož jsou různá měření časově i finančně náročná, spokojíme se v běžných podmínkách s určením dominantního vlivu rušení, který může rozhodujícím způsobem ovlivnit činnost zkoušeného zařízení.

#### **Základní druhy rušivých signálů:**

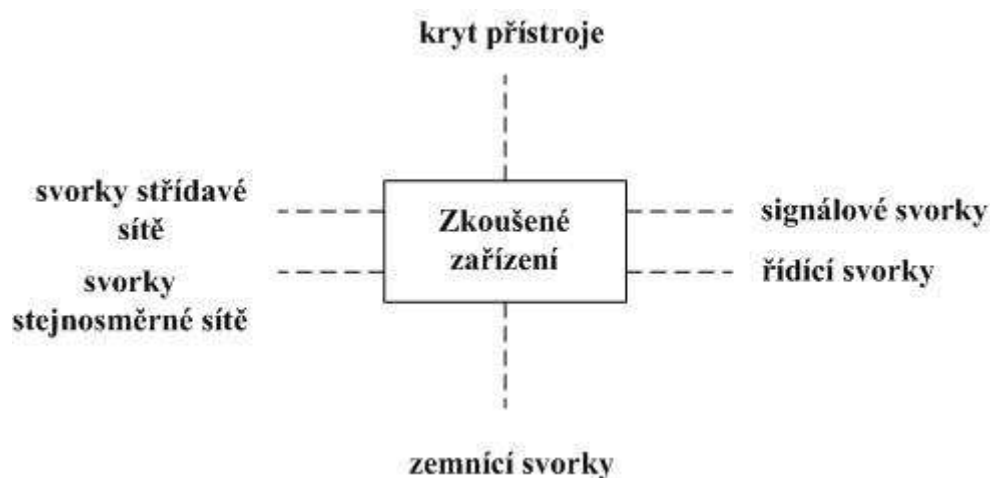
Jsou odvozeny z elektromagnetických jevů, jež se vyskytují v prostředí, v němž dané zařízení pracuje.

- nízkofrekvenční rušení,
- vysokofrekvenční rušení a přechodné jevy,
- magnetické rušení,
- elektrostatické výboje,
- rušení elektromagnetickým polem.

Pro realizaci zkoušek elektromagnetické odolnosti je velmi důležité určit možné vstupy rušení do zkoušeného zařízení. Podle mezinárodních norem se pod pojmem vstup rozumí konkrétní rozhraní daného zařízení s vnějším elektromagnetickým prostředím [1]. Jak je z *Obr. 8* patrné předpokládá se užití vícenásobných vstupů. Kromě obvyklých svorek je za vstup považován i kryt zařízení, jelikož skrze něj může procházet elektromagnetické pole. Pro zkoušky odolnosti na vstupech platí tyto pravidla:

- zkoušky se musí provádět pro každý vstup zařízení,
- zkoušky se provádějí se jen na dostupných vstupech,
- zkoušky se provádějí vždy v libovolném pořadí vstupů, avšak samostatně.





Obr. 8 - Základní typy rušivých signálů vstupující do zkoušeného zařízení.

### 5.3 SIMULÁTOR SEAWARD MACE [7]

V této části bakalářské práce jsou popsány základní parametry přístroje SEAWARD MACE. Jsou zde uvedeny funkce kterými je přístroj vybaven, a všechna omezení, která se týkají jeho nastavení.

#### **Představení přístroje Mace:**

Simulátor Seaward Mace viz. Obr. 9, je síťový simulátor rušení, který je řízen mikroprocesorem. Jde o výhodný přístroj pro předběžné testování shody. Testy se zde programují pomocí alfanumerického bodového maticového displeje. Obsluhu a řízení zařízení zajišťuje membránová klávesnice. Mace slouží k simulaci poklesů napětí, elektrostatických vybíjení, rychlých přechodových dějů a skupin impulsů. Jeho součástí je také sonda pro elektrostatický výboj ESD. Simulátor rušení je konstruován tak, aby mohl být používán na laboratorním stole nebo v podobném prostředí. Mace musí být používán pouze s uzemněným napájecím zdrojem, od kterého se napájení přivádí jedním společným kabelem. Pokud není simulátor řádně uzemněn, jsou výsledky textů neplatné a může dojít k porušení zařízení. Stručný popis přístroje je uveden v Tab. 4.



Obr. 9 - Simulátor rušení Seaward Mace

**Popis přístroje SEWARD Mace:**

Pol.	Díl	Popis
1.	Síťový vypínač	Zapíná a vypíná přístroj
2.	Scope Trigger	Spouštěcí signál pro osciloskop, kterým se sledují rychlé skupiny přechodového napětí
3.	Testovací klávesy	Nastavení požadovaného testovacího režimu
4.	LCD	Zobrazuje testovací podmínky
5.	Klávesnice	Vkládání údajů
6.	Start	Startuje testy
7.	Standby	Připojuje napájení k testovanému zařízení
8.	Stop	Zastavuje test a umožňuje nastavit jiný test. Byl-li odstartován test ESD, nelze jej zastavit.
9.	Síťová zásuvka	Zásuvka pro připojení testovaného zařízení
10.	Zásuvka ESD	Sonda ESD se zapojuje do jedné z těchto zásuvek podle požadované polarity
11.	Zemní svorky 4 mm	Zemní svorka pro měděnou zemnicí desku, používanou u testů ESD

Tab. 4 - Popis přístroje Seaward Mace

### **Použití:**

Testy přístroje Mace musí být prováděny podle norem EMC s ohledem na typ testovaného zařízení. Přístrojem lze provádět tyto zkoušky odolnosti:

- ČSN EN 61000-4-2 - elektrostatický výboj,
- ČSN EN 61000-4-4 - rychlé elektrické přechodové jevy/skupina impulsů,
- ČSN EN 61000-4-11 - krátkodobé poklesy, krátká přerušování a pomalé změny napětí.

### **Technické parametry přístroje:**

#### **Odolnost proti poklesům napětí ČSN EN 61000-4-11:**

- pokles napětí 30 %, 60 % a 100 %  $\pm$  10 %,
- trvání poklesu napětí 10 ms, 20 ms, 100 ms, 500 ms, 1 s  $\pm$  5 %,
- minimální zátěž 100 W,
- tři poklesy napětí v intervalech 10 s.

#### **Odolnost proti rychlým přechodovým jevům/skupině impulsů ČSN EN 61000-4-4:**

- výstupní napětí 0,5 kV, 1 kV, 2 kV, 4 kV  $\pm$  10 %,
- kladná nebo záporná napětí,
- rychlost opakování 2,5 kHz nebo 5 kHz,
- délka skupiny 15 ms  $\pm$  10 %,
- zpoždění skupiny 300 ms  $\pm$  10 %,
- výstupní impedance generátoru 50  $\Omega$ ,
- vazba 33 nF pro přímé zavádění impulsů,
- síťový od vazbovací člunek 100  $\mu$ H + 22 nF,
- připojení k libovolné kombinaci živého, nulového a zemního vodiče,
- doba testování od 0 do 6 minut v krocích 0,1 s.

#### **Odolnost proti elektrostatickému výboji – ESD ČSN EN 61000-4-2:**

- použití sondy ESD pro výboj ve vzduchu,
- výstupní napětí 0,5 kV, 1 kV, 2 kV, 4 kV, 8 kV  $\pm$  5 %,
- kondenzátor 150 pF pro uložení náboje,
- vybíjecí odpor 330  $\Omega$ ,

- nabíjecí odpor  $60\text{ M}\Omega$ ,
- kladná a záporná polarita.

**Provozní podmínky zařízení:**

Prostředí:

- pracovní teplota  $0^{\circ}\text{C}$  až  $40^{\circ}\text{C}$ ,
- skladovací teplota  $-10^{\circ}\text{C}$  až  $70^{\circ}\text{C}$ ,
- relativní vlhkost vzduchu max. 80 % do  $31^{\circ}\text{C}$ , max. 50 % do  $40^{\circ}\text{C}$ ,
- přístroj je určen pro použití v laboratořích.

Rozměry a hmotnost: 450 x 360 x 150 mm, 16 kg.

## 6. PŘEHLED ZKOUŠEK EMS PROVÁDĚNÉ SIMULÁTOREM SEAWARD MACE

### 6.1 ELEKTROSTATICKÝ VÝBOJ – ZKOUŠKA ODOLNOSTI (ČSN 61000-4-2) [1],[9]

Zkouška elektrostatickým výbojem zahrnuje zařízení, která se mohou dostat do vlivů výbojů statické elektřiny. *Lokální výboje statické elektřiny* (ESD) představují nebezpečné rušivé signály, které se objevují obecně tam, kde jsou vhodné podmínky pro jejich vznik. Jde například o nízkou relativní vlhkost, použití podlahových krytin s nízkou vodivostí, obleky z vinylu atd.. Při zkoušce elektromagnetické odolnosti se k simulaci elektrostatických výbojů využívá simulátoru ESD na jehož konci je umístěna sonda s výměnným vybíjecím hrotem.

#### Zkušební úrovně:

Rozsah zkušebních úrovní pro ESD je znázorněn v *Tab. 5*. Metoda kontaktního výboje se užívá častěji. Tam kde nelze kontaktní výboj použít, musí být použit vzduchový výboj.

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	zvláštní	x	Zvláštní

x – je otevřená úroveň. Musí být stanovena ve specifikaci konkrétního zařízení.

*Tab. 5 - Zkušební úrovně pro elektrostatický výboj*

Při zkoušce *kontaktním výbojem* se hrot vybíjecí elektrody pevně přiloží na zkoušené zařízení. Při zkoušce *vzduchovým výbojem* se vybíjecí sonda svým hrotem přibližuje ke zkoušenému zařízení, výboj se uskuteční přeskokem jiskry do zkoušené zařízení.

### **Zkušební generátor a jeho vlastnosti:**

- generátor ESD - obsahuje nabíjecí odpor, kondenzátor 150 pF a vybíjecí odpor 330  $\Omega$ ,
- výstupní napětí – je v obou polaritách 8 kV a pro kontaktní výboj 15 kV pro vzduchový výboj.

### **Provedení zkoušky:**

Zkoušení se musí provádět přímým a nepřímým působením výbojů na zkoušené zařízení. Zkušební plán by měl obsahovat následující specifikace:

- provozní podmínky zkoušeného zařízení,
  - umístění na stole nebo stojící na podlaze,
  - místa provedených výbojů,
  - u místa provedení rozlišení kontaktní/vzduchový výboj,
  - používané zkušební úrovně,
  - počet výbojů u každého místa,
- určit, zda se budou provádět také zkoušky po instalaci.

### **Přímé působení výbojů na zkoušené zařízení:**

Toto působení musí být prováděno jen do těch míst a povrchů, která jsou přístupna obsluze pro běžné používání. Jedná se např. o ovládací panely či klávesnice, tlačítka, diody různé mřížky a kryty konektorů apod. Zkušební napětí musí být zvyšováno od nejmenší hodnoty až do vybrané zkušební úrovně. Konečná zkušební úroveň by neměla překročit hodnotu uvedenou ve specifikaci pro dané zařízení. Zkouška se musí provádět jednotlivými výboji, kdy je na vybraných místech provedeno nejméně deset jednotlivých výbojů. Doba mezi jednotlivými jdoucími výboji by měla být alespoň 1 s. Generátor elektrostatického výboje musí být držen kolmo k povrchu prováděného výboje. Tento postup nám zlepšuje reprodukovatelnost výsledků.

### **Nepřímé působení výboje:**

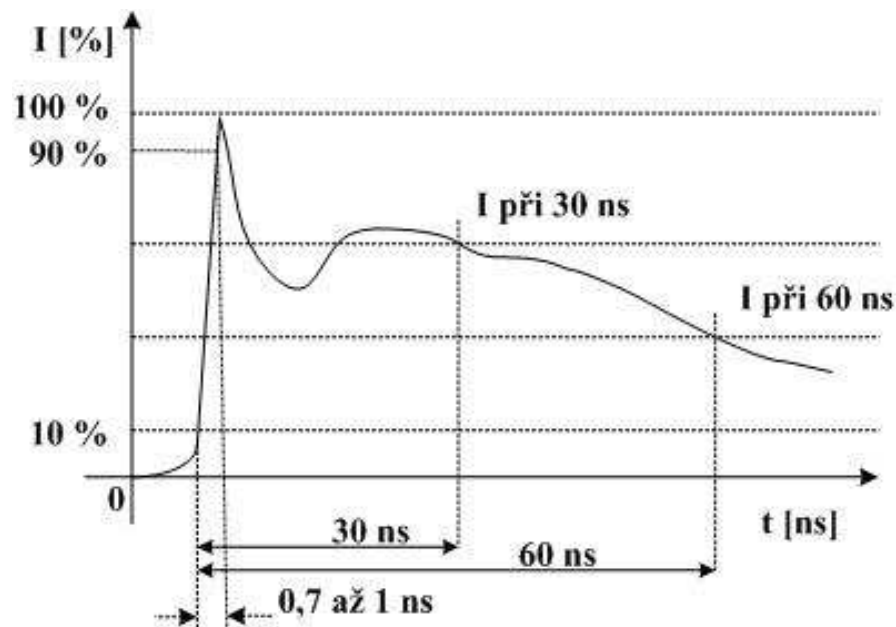
Výboje do zařízení, které leží v blízkosti zkoušeného zařízení musí se simuluje prováděním výbojů do vazební desky v režimu kontaktního výboje.

*Vodorovná vazební deska:* - Provádí se min. deset výbojů do vodorovné vazební desky v místech na každé straně zkoušeného zařízení. Generátor elektrostatického

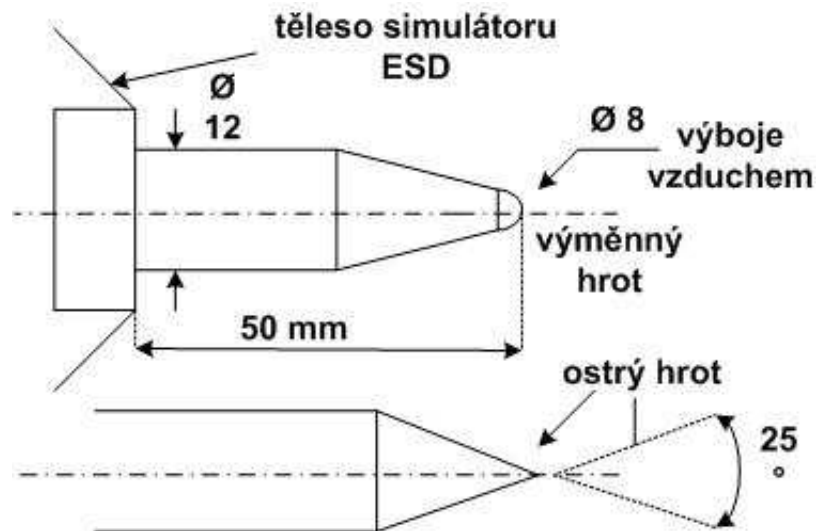
výboje musí být umístěn 0,1 m od zkoušeného zařízení s vybíjecí elektrodou , která se dotýká vazební desky.

*Svislá vazební deska:* - Provádí se min. deset výbojů do středu jedné svislé hrany vazební desky. Vazební deska o rozměrech 0,5 m × 0,5 m, musí být umístěna rovnoběžně ve vzdálenosti 0,1 m od zkoušeného zařízení.

Typický tvar vlny výstupního proudu generátoru elektrostatického výboje a tvary vybíjecích hrotů generátorů je zobrazen na *Obr. 10* a *Obr. 11*.



*Obr. 10 - Typický tvar vlny výstupního proudu generátoru ESD*



Obr. 11 - Tvary vybíjecích hrotů generátoru

## 6.2 RYCHLÉ ELEKTRICKÉ PŘECHODNÉ JEVY/SKUPINY IMPULZŮ (ČSN 61000-4-4) [10]

Tato zkouška obsahuje velký počet rychlých přechodových jevů, které jsou zavedeny do vstupů/výstupů napájení, signálů a země elektrického zařízení. Pro tuto zkoušku je typická krátká doba náběhu, veliká amplituda nebo vysoký opakovací kmitočet. Zkouška prokazuje odolnost elektrického zařízení, které je vystaveno rušení způsobeného spínacími přechodnými jevy (odskočení kontaktů relé atd.). Norma zavádí tzv. zkušební úrovně, které jsou použitelné na napájecí, zemní, ovládací vstupy/výstupy.

**Přechodový jev:** - je jev, který se mění mezi dvěma následnými stabilními stavy během krátkého časového intervalu.

**Skupina impulsů:** - posloupnost omezeného počtu jednotlivých impulsů s omezeným trváním.

### **Zkušební úrovně:**

Zkušební úrovně pro zkoušku rychlými přechodovými ději jsou uvedeny v Tab. 6. Norma udává čtyři zkušební úrovně a jednu otevřenou úroveň, která musí být ve specifikaci konkrétního zařízení.



Zkušební napětí naprázdno ( $\pm 10\%$ ) a opakovací kmitočety impulsů ( $\pm 20\%$ )				
Úroveň	Vstup: napájení, ochranná zem (PE)		Vstup: I/O (vstupní a výstupní signály, data, ovládání)	
	Napětí (vrcholová hodnota)	Opakovací kmitočty	Napětí (vrcholová hodnota)	Opakovací kmitočty
	[kV]	[kHz]	[kV]	[kHz]
1.	0,5	5	0,25	5
2.	1	5	0,5	5
3.	2	5	1	5
4.	4	2,5	2	5
x	zvláštní	zvláštní	zvláštní	zvláštní

x – je otevřená úroveň. Musí být stanovena ve specifikaci konkrétního zařízení.

Tab. 6 - Zkušební úrovně podle normy ČSN EN 61000-4-4

#### **Zkušební generátor a jeho parametry:**

- výstupní napětí naprázdno - 0,25 kV až 4kV,
- dynamická impedance -  $50 \Omega \pm 20\%$ ,
- polarita – kladná/záporná,
- vztah k síťovému napájení – nesynchronní.

#### **Provedení zkoušky:**

Zkušební plán by měl obsahovat následující specifikace:

- typ prováděné zkoušky,
- zkušební úrovně,
- polaritu zkušebního napětí (kladná i záporná),
- délka zkoušky ( nesmí být menší než 1 minuta),
- vstupy zkoušeného zařízení,
- interní nebo externí buzení,
- počet aplikací zkoušeného zařízení,
- provozní podmínky zkoušeného zařízení,
- posloupnost aplikací zkušebního napětí na vstupy v pomocných zařízeních.

### 6.3 KRÁTKODOBÉ POKLESY NAPĚTÍ, KRÁTKÁ PŘERUŠENÍ A POMALÉ ZMĚNY NAPĚTÍ (ČSN 61000-4-11) [11],[12]

Poklesy napětí a krátká přerušení nejčastěji vznikají poruchami v síti. Jde zejména o zkraty v instalacích nebo při náhlých velkých změnách zatížení. V praxi je možné se setkat i se dvěma nebo více po sobě jdoucími krátkodobými poklesy nebo přerušeními. Pomalé změny napětí jsou důsledkem spojitě proměnných zátěží, které jsou připojeny do sítě.

**Krátkodobý pokles napětí:** - pokles napětí v určitém bodě el. soustavy, po které následuje obnovení během krátkého časového intervalu.

**Krátké přerušení:** - výpadek napájecího napětí po dobu nepřekračující 1 minutu.

**Pomalé změny napětí:** - postupná změna napájecího napětí k vyšším nebo nižším hodnotám než je jmenovité napětí.

#### Zkušební úrovně:

Základem pro určení zkušebních úrovní napětí se používá tzv. jmenovité napětí zařízení ( $U_T$ ). Při zkoušce se používají následující úrovně zkušebních napětí (v %  $U_T$ ): 0 %, 40 %, 70 % a 80 %. Zkušební úroveň 0 % značí úplné přerušení napájecího napětí. V praxi se za úplné přerušení považuje zkušební úroveň od 0 % do 20 % jmenovitého napětí. Preferované zkušební úrovně a doby trvání pro krátkodobé poklesy napětí krátkých přerušení a pomalých změn napětí jsou znázorněny v *Tab. 7* a *Tab. 8*. Příklad krátkodobých poklesů napětí je zobrazen na *Obr. 12*. Na obrázku *Obr. 13* je zobrazen příklad pomalých změn napájecího napětí.

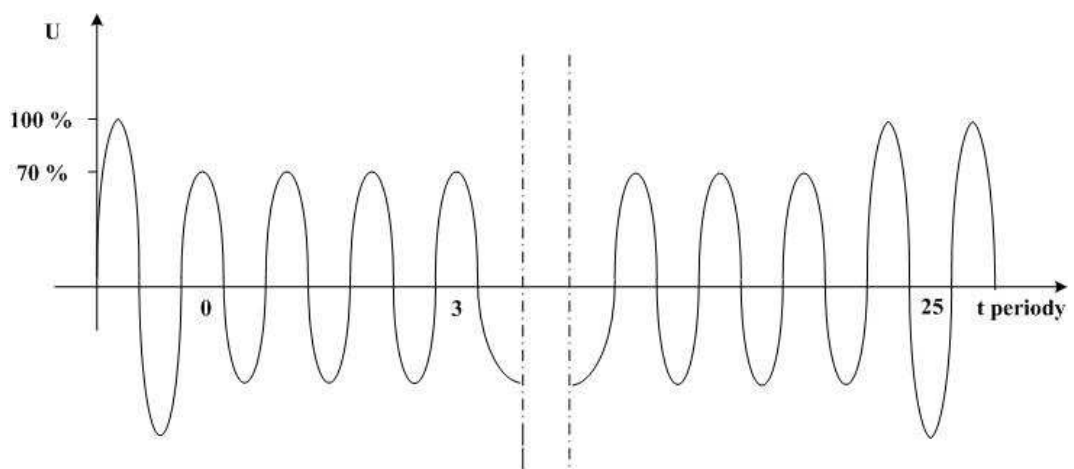
Zkušební úroveň, $U_t$ [%]	Pokles napětí, $U_t$ [%]	Doba trvání [počet period]
0	100	0,5 <sup>1</sup>
40	60	1
70	30	5
		10
		25
		50

<sup>1</sup> Pro 0,5 periody musí být zkouška provedena jak v kladné tak i záporné periodě „ $U_t$ “ je jmenovité napětí zkoušeného zařízení

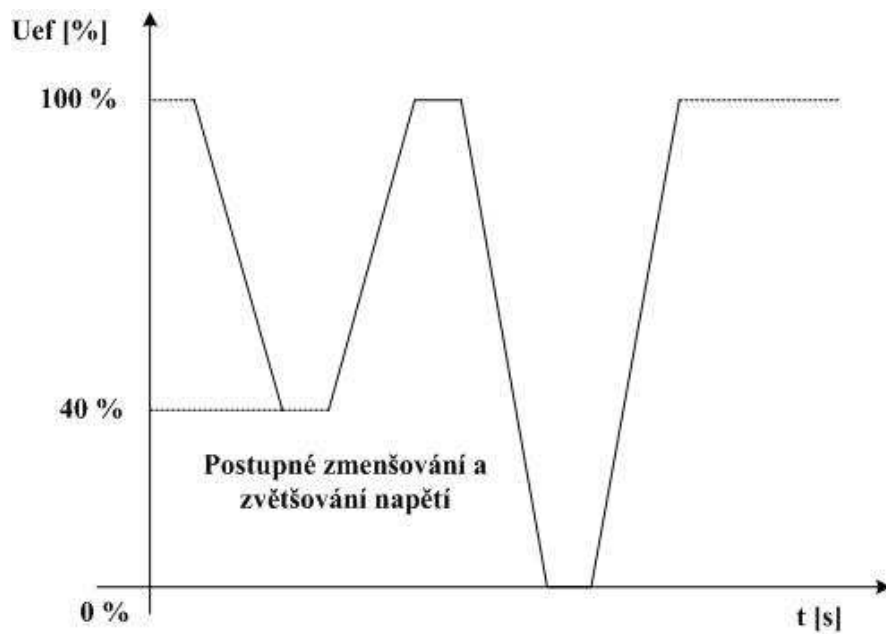
*Tab. 7 - Zkušební úrovně poklesů a krátkých přerušení změn napětí*

Zkušební úroveň, % $U_t$	Doba klesání napětí	Doba redukováného napětí	Doba stoupání napětí
40	2 s $\pm$ 20 %	1 s $\pm$ 20 %	2 s $\pm$ 20 %
0	2 s $\pm$ 20 %	1 s $\pm$ 20 %	2 s $\pm$ 20 %

Tab. 8 - Zkušební úrovně pomalých změn napětí



Obr. 12 - Krátkodobý pokles napětí napětí na 70 % po dobu 25 period, skokově se změnil při průchodu nulou.



Obr. 13 - Pomalé změny napětí

### **Zkušební generátor a jeho parametry:**

- Výstupní napětí - podle úrovní v tabulkách 7.1 a 7.2 s tolerancí  $\pm 5\%$ .
- Schopnost generování proudu - 16A, efektivní hodnota, v každé fázi.
- Schopnost vybuzení špičkového zapínacího proudu - 500A pro síťové napětí 220 – 240 V.
- Doba stoupání a poklesu napětí během náhlé změny mezi 1 $\mu$ s a 5  $\mu$ s.
- Fázový posuv - 0° el. až 360° el.
- Výstupné impedance – rezistivní.
- Kmitočet zkušebního napětí -  $\pm 2\%$ .

### **Provedení zkoušky:**

Doporučuje , aby zkušební plán zkoušky obsahoval tyto položky:

- označení zkoušeného zařízení;
- vstup napájení zkoušeného zařízení;
- informaci o připojených kabelech a periferních zařízeních;
- výkonový vstup zkoušeného zařízení,
- provozní režimy zkoušeného zařízení,
- popis zkušební sestavy.

## **6.4 LABORATORNÍ REFERENČNÍ PODMÍNKY**

U všech těchto popsanych zkoušek musí být brány v potaz laboratorní a referenční podmínky. Pro zmenšení vlivu parametrů prostředí na výsledky zkoušek musí být zkoušky prováděny při klimatických a elektromagnetických podmínkách, které udává norma. Tyto hodnoty jsou uvedeny níže.

Zkouška musí být provedena za standardních klimatických podmínek:

- okolní teplota 15°C až 35°C,
- relativní vlhkost 30% až 75%,
- atmosférický tlak 86kPa až 106kPa.

V laboratoři musí být dodrženy elektromagnetické podmínky pro správný provoz zkoušeného zařízení.

## 7. REALIZACE ZKOUŠEK EMI

Za zkoušené zařízení byl po dohodě s vedoucí bakalářské práce vybrán laptop Toshiba Satellite 210CS. Jde o starší typ laptopu, který byl zakoupen na internetu a prodejce k němu neposlal žádnou firemní ani technickou dokumentaci, tudíž nebylo možné zjistit bližší technické parametry tohoto zkoušeného laptopu. Zkoušky elektromagnetické interference byly na tomto laptopu provedeny ve *Strojírenském zkušebním ústavu v Brně (SZÚ)*. Zde se nachází Zkušebna elektrických zařízení, která je autorizována Českým institutem pro akreditaci k provádění ověřování a certifikací v oblasti elektromagnetické kompatibility. V této laboratoři byly za dohledu Bc. J. Štěpánka provedeny zkoušky rušivého napětí na síťových svorkách a zkoušky rušení šířeného zářením.

Zkoušené zařízení spadá podle normy ČSN 55022 do kategorie zařízení informační techniky (ITE). Mezi jeho prvotní funkce patří ukládání, zobrazování, vyhledávání zpracování nebo řízení datových zpráv a může být vybaveno porty pro přenos informací. Tato zařízení mají určené vstupní napětí, které nesmí přesahovat 600 V. Zařízení ITE se obecně rozdělují do dvou kategorií, které se značí jako třídy *A ITE* a *B ITE*. Naše zkoušené zařízení spadá do kategorie *B ITE* která je určena pro domácí použití a zahrnuje např. přenosná zařízení napájená z vestavěných baterií.





Obr. 14 - Testované zařízení , laptop Toshiba Satellite 210CS

## 7.1 ZKOUŠKA RUŠIVÉHO NAPĚTÍ NA SÍŤOVÝCH SVORKÁCH

### Provedení zkoušky:

- odpovídající norma ČSN EN 55022
- výrobek laptop Toshiba
- model satellite 210CS
- procesor (MHz) 133
- umístění vzorku: stíněná komora
- metoda zkoušky: horizontální referenční zemní rovina
- podmínky zkoušky: teplota okolí: 22,6 °C  
relativní vlhkost: 34 %

Měření rušivého napětí na síťových svorkách bylo realizováno dle platné normy ČSN 55022. Celé měřicí pracoviště bylo umístěno ve stíněné komoře zkušební elektrické laboratoře. Tento fakt je důležitý pro správné a reprodukovatelné výsledky měření elektromagnetického rušení.

V tabulkách *Tab. 9* a *Tab. 10* jsou uvedeny typy vodičů, druhy detektorů (kvazivrcholový a střední), použité zkušební frekvence a výsledky zkoušky.

Frekvence MHz	L1			
	QP		AV	
	dB ( $\mu$ V)	MEZ dB ( $\mu$ V) (Pozadí <sup>1</sup> )	dB ( $\mu$ V)	MEZ dB ( $\mu$ V) (Pozadí <sup>1</sup> )
0,16	12,1	8,2	5,8	-7,1
0,24	1,90	-1,8	-2,2	-7,0
0,69	31,2	-1,9	27,4	-7,1
0,96	29,5	-1,8	25,4	-6,9
1,37	30,1	-2,1	29,0	-7,0
1,92	29,8	-2,1	27,5	-7,0
3,29	28,0	-1,9	17,0	-6,9
5,35	34,9	-2,0	26,8	-7,0
8,61	31,0	-2,1	22,4	-7,0
21,4	27,5	-2,0	13,0	-7,1
28,4	32,0	-1,8	20,3	-7,0

<sup>1</sup> Měřeno bez připojení zkoušeného zařízení pro zjištění hodnoty rušení okolí

*Tab. 9 - Rušivé svorkové napětí - dB ( $\mu$ V) na fázovém vodiči L1*

Frekvence MHz	QP		AV	
	dB ( $\mu$ V) (Pozadí <sup>1</sup> )	MEZ dB ( $\mu$ V)	dB ( $\mu$ V)	MEZ dB ( $\mu$ V) (Pozadí <sup>1</sup> )
0,16	11,5	-2,2	6,0	-7,1
0,24	1,10	-2,1	-3,8	-6,9
0,69	31,4	-2,3	27,8	-7,0
0,96	29,8	-2,0	25,1	-7,1
1,37	31,2	-2,1	28,0	-7,2
1,92	30,0	-2,1	27,1	-7,1
3,29	27,2	-2,0	19,0	-7,0
5,35	35,0	-1,9	29,0	-7,0
8,61	31,0	-2,0	20,1	-6,9
21,4	28,0	-2,1	13,0	-7,1
28,4	33,2	-1,6	23,0	-6,5

<sup>1</sup> Měřeno bez připojení zkoušeného zařízení pro zjištění hodnoty rušení okolí

*Tab. 10 - Rušivé svorkové napětí - dB ( $\mu$ V) na N*

**Použité měřicí přístroje:**

- Rhode&Schwarz EMI TESTER 9 kHz – 30 MHz, seriové číslo 837960/004,
- Rhode&Schwarz Umělá síť 9 kHz – 30 MHz, seriové číslo 839497/003.

### Vyhodnocení výsledků zkoušky:

Z výsledků uvedených v tabulkách výše je možné stanovit, že testovaný laptop Toshiba Satellite 210CS během zkoušky rušivého napětí na síťových svorkách, ani po jejím skončení nepřekročil normou udávané meze rušivého napětí. Celkově je tedy možné konstatovat, že zkoušené zařízení zkoušce rušivého napětí na síťových svorkách vyhovělo.

## 7.2 ZKOUŠKA RUŠENÍ ŠÍŘENÉHO ZÁŘENÍM

### Provedení zkoušky:

- odpovídající norma      ČSN EN 55022
- výrobek                      laptop Toshiba
- model                         satellite 210CS
- procesor (MHz)              133
- umístění vzorku:            zkušebna elektrických zařízení
- metoda zkoušky:            horizontální a vertikální polarizace
- podmínky zkoušky:        teplota okolí: 22,6 °C  
relativní vlhkost: 34 %

Frekvence MHz	QP Horizontální		QP Vertikální	
	dB (μV) (Pozadí <sup>1</sup> )	MEZ dB (μV)	dB (μV)	MEZ dB (μV) (Pozadí <sup>1</sup> )
30,0	10,7	5,1	15,0	10,7
51,5	11,0	5,4	14,0	10,8
63,0	10,7	5,2	13,5	11,0
110	11,0	5,1	22,1	10,9
160	10,8	5,3	19,5	10,9
235	11,0	5,2	16,5	11,0
394	10,9	5,1	22,5	10,8
423	11,0	5,2	19,0	11,0
540	10,9	5,1	21,8	10,7
673	10,8	5,1	20,5	10,8
720	10,7	5,2	15,6	10,7

<sup>1</sup> Měřeno bez připojení zkoušeného zařízení pro zjištění hodnoty rušení okolí

Tab. 11 - Rušení šířeného záření – horizontální poloha a vertikální polarizace



Zkouška rušení šířeného zářením byla realizována pouze pro kvazivrcholovou hodnotu dle platné normy ČSN 55022. Měření probíhalo ve zkušebně elektrických zařízení, která poskytovala dostatečný prostor, který je nutný pro správné a reprodukovatelné výsledky rušení šířené zářením.

### **Použité měřicí přístroje:**

- Rhode&Schwarz EMI TEST RECEIVER 20-1000 MHz, ESVS 30, seriové číslo 842 807/006,
- Rhode&Schwarz DIPOL do 80 MHz, HUF Z1,
- Rhode&Schwarz HL 023 Logaritmicke-periodická anténa, 80-1300 MHz.

### **Vyhodnocení výsledků zkoušky:**

Z Tab. 11, která je uvedena výše, lze konstatovat, že námi testovaný laptop Toshiba Satellite 210CS během zkoušky rušením šířeného zářením, ani po jejím skončení nepřekročil normou udávané meze rušivého napětí. Celkově je tedy možné konstatovat, že zkoušené zařízení zkoušce rušení šířeného zářením vyhovělo.



*Obr. 15 - Měřicí přístroje pro měření zkoušek EMI.*

## 8. REALIZACE ZKOUŠEK EMS

### 8.1 REALIZACE ZKOUŠEK ODOLNOSTI V SZÚ

Zkoušky elektromagnetické odolnosti byly v rámci studentské praxe provedeny na vybraném zařízení (laptop Toshiba Satellite 210CS) ve *Strojírenském zkušebním ústavu v Brně*. Jednalo se o zkoušky proti rychlým přechodovým jevům/skupině impulsů a krátkodobým poklesům napětí/krátkým přerušením. Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji nemohla být oproti předchozímu plánu provedena z důvodu nutné kalibrace ESD generátoru. Zkoušky byly provedeny ve zkušebně elektrických zařízení za dohledu Bc. J. Štěpánka, který se jako zaměstnanec SZÚ touto problematikou zabývá.

#### 8.1.1 Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům/skupině impulsů

##### Provedení zkoušky:

- odpovídající norma            ČSN EN 61000-4-4
- výrobek                            laptop Toshiba satellite 210CS
- zkušební napětí                0,5 kV, 1 kV, 2 kV,
- polarita napětí:                pozitivní a negativní
- trvání zkoušky:                10 minut
- podmínky zkoušky:            teplota okolí: 22,6 °C  
relativní vlhkost: 34 %

Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Opakovací kmitočet [kHz]	Polarita impulsů	Výsledek zkoušky
1	0,5	5	pozitivní	A
1	0,5	5	negativní	A
2	1	5	pozitivní	A
2	1	5	negativní	A
3	2	5	pozitivní	A
3	2	5	negativní	A

Tab. 12 - Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým jevům(měřeno v SZÚ)

**Použité měřicí přístroje:**

UCS 500 M4 EM FEST – simulátor rušení

**Vyhodnocení výsledků zkoušky:**

Zkoušené zařízení laptop Toshiba Satellite 210CS vykazoval v průběhu zkoušky normální činnost dle své specifikace. Po celou dobu zkoušky a taky po jejím ukončení nedošlo ke zhoršení činnosti, či ztrátě jeho funkce. Testované zařízení zkoušce odolnosti proti rychlým přechodovým jevům / skupině impulsů vyhovělo.



*Obr. 16 - Zkouška odolnosti proti skupině rychlých přechodových jevů/skupině impulsů*

### 8.1.2 Zkouška odolnosti Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí

#### **Provedení zkoušky:**

- odpovídající norma ČSN EN 61000-4-11
- výrobek laptop Toshiba satellite 210CS
- zkušební úroveň 0 %, 40 %, 70 %
- počet period 0,5, 1, 5,
- trvání zkoušky: 5 minut
- podmínky zkoušky: teplota okolí: 22,6 °C  
relativní vlhkost: 34 %

Zkušební úroveň [ $U_t$ %]	Pokles napětí [ $U_t$ %]	Doba trvání [počet period]	Výsledek zkoušky
0	100	0,5	A
40	60	1	A
70	30	5	A

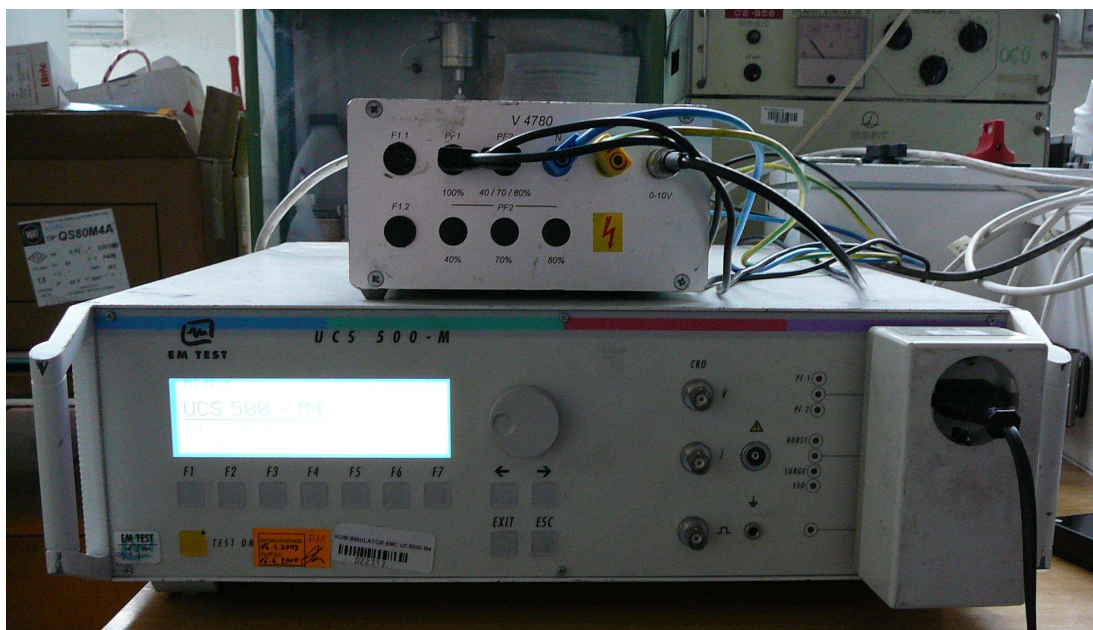
*Tab. 13 - Zkouška odolnosti Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí*

#### **Použité měřicí přístroje:**

- Varikapový zdroj type V4780 S2,
- UCS 500 M4 – simulátor rušení.

#### **Vyhodnocení výsledků zkoušky:**

Zkoušené zařízení bylo testováno poklesem napětí 30 %, 60 %, 100 % s dobou trvání 0,5, 1 a 5 periody. Laptop Toshiba Satellite 210CS vykazoval v průběhu zkoušky normální činnost dle své specifikace. Po dobu trvání, ani po jejím skončení nedošlo ke zhoršení funkce, či ztrátě jeho funkce. Testované zařízení zkoušce odolnosti krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí vyhovělo.



Obr. 17 - Zkouška odolnosti Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí.

### 8.1.3 Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji

Tato zkouška nebyla bohužel oproti původnímu plánu realizována, a to z důvodu nutné kalibrace ESD generátoru ve Strojním zkušebním ústavu.

## 8.2 REALIZACE ZKOUŠEK EMS VE ŠKOLNÍ LABORATOŘI

Měřicí pracoviště bylo sestaveno v laboratoři Ústavu automatizace a měřicí techniky. Vychází se přitom z již hotové diplomové práce Ing. Radka Kováře. Uvedené pracoviště je sestavené z laboratorního stolu 0,8 m vysokého, na kterém je umístěná vodorovná vazební deska (1,6 m x 0,8 m) a izolační podložka. Referenční zemní rovina je umístěna pod laboratorním stolem. Vodorovná vazební deska je s referenční zemní rovinou spojena kabelem, na jehož koncích jsou umístěny odpory 470 k $\Omega$ . Zkoušené zařízení a kabely musí být izolovány od vazební desky izolační podložkou tloušťky 0,5mm. Při zkoušení zařízení se simulátor rušení nacházel spolu se sondou na laboratorním stole vedle testovaného zařízení. Obrázek zkušebního měřicího pracoviště je spolu se stíněnou komorou ze SZÚ umístěn v příloze této práce Obr. 18 Obr. 19.

### 8.2.1 Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji

#### Provedení zkoušky:

- odpovídající norma ČSN EN 61000-4-2
- výrobek laptop Toshiba satellite 210CS
- umístění vzorku: na stole
- zkušební místa: DSTN displej, tlačítka klávesnice, kryt přístroje
- metoda zkoušky: kontaktní výboj, vzduchový výboj
- zkušební napětí: 0,5 kV, 1 kV, 2 kV, 4 kV, 8 kV
- polarita napětí: pozitivní a negativní
- počet výbojů: 10 výbojů do každého vybraného místa
- podmínky zkoušky: teplota okolí: 25,3 °C  
relativní vlhkost: 39 %

#### Použité měřicí přístroje:

Seaward Mace – simulátor rušení

SEAWARD MACE					
Kontaktní výboj			Vzduchový výboj		
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek zkoušky	Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek zkoušky
-	0,5	A	-	0,5	A
-	1	A	-	1	A
1	2	A	1	2	A
2	4	A	2	4	A
-	-	-	3	8	A

Tab. 14 - Zkouška ESD pozitivní výboj - přímé působení

SEAWARD MACE					
Kontaktní výboj			Vzduchový výboj		
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek zkoušky	Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek zkoušky
-	0,5	A	-	0,5	A
-	1	A	-	1	A
1	2	A	1	2	A
2	4	A	2	4	A
-	-	-	3	8	A

Tab. 15 - Zkouška ESD negativní výboj - přímé působení

SEAWARD MACE		
Pozitivní polarita		
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek zkoušky
-	0,5	A
-	1	A
1	2	A
2	4	A

Tab. 16 - Zkouška ESD pozitivní výboj - nepřímé působení

SEAWARD MACE		
Negativní polarita		
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Výsledek zkoušky
-	0,5	A
-	1	A
1	2	A
2	4	A

Tab. 17 - Zkouška ESD negativní výboj - nepřímé působení

### **Vyhodnocení výsledků zkoušky:**

Z výsledků uvedených v tabulkách můžeme konstatovat, že zkoušené zařízení laptop Toshiba Satellite 210CS, vykazoval v průběhu zkoušky normální činnost dle své specifikace. Na základě hodnot uvedených v tabulkách výše, splňuje zkoušené zařízení normální funkce v mezích stanovených výrobcem. Po celou dobu trvání zkoušky a ani po jejím ukončení nedošlo ke zhoršení činnosti, či ztrátě jeho funkce. Zkoušené zařízení zkoušce odolnosti elektrostatickým výbojem vyhovělo.

### **8.2.2 Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům/skupině impulsů**

#### **Provedení zkoušky:**

- odpovídající norma ČSN EN 61000-4-4
- výrobek laptop Toshiba satellite 210CS
- zkušební napětí 0,5 kV, 1 kV,
- polarita napětí: pozitivní a negativní

- trvání zkoušky: 5 minut
- podmínky zkoušky: teplota okolí: 25,3 °C , relativní vlhkost 39 %

**Použité měřicí přístroje:**

Seaward Mace – simulátor rušení

SEAWARD MACE				
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Opakovací kmitočet [kHz]	Polarita impulsů	Výsledek zkoušky
1	0,5	5	pozitivní	A
1	0,5	5	negativní	A
2	1	5	pozitivní	A
2	1	5	negativní	A

*Tab. 18 - Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým jevům (měřeno ve škole)*

**Výsledek zkoušky:**

Simulátorem rušení byly ve školních podmínkách změřeny dvě zkušební úrovně napětí (0,5 kV a 1 kV). Došlo k ověření výsledků zkoušky získaných v SZÚ. Na základě těchto výsledků lze tedy konstatovat, že laptop Toshiba Satellite 210 CS splňuje zkoušené zařízení normální funkce v mezích stanovených výrobcem. Po dobu trvání zkoušky ani po jejím ukončení nedošlo k žádné změně či ztrátě funkce.



## 9. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Cílem bakalářské práce bylo ověřit zkoušky elektromagnetické odolnosti na testovaném zařízení Toshiba Satellite 210CS. Zkoušky odolnosti byly provedeny nezávisle na sobě na dvou různých testovacích sestavách a pracovištích. Jednalo se o školní zkoušky provedené v laboratoři ÚAMT, a zkoušky ve Strojním zkušebním ústavu v Brně. Testované zařízení bylo podrobeno zkouškám odolnosti proti elektrostatickému výboji (ČSN EN 61000-4-2), rychlým přechodovým jevům (ČSN EN 61000-4-4) a krátkodobým poklesům napětí (ČSN EN 61000-4-11). Nad rámec zadání bylo testované zařízení podrobeno i zkouškám elektromagnetické interference (EMI) dle platné normy (ČSN EN 55022).

K tomu, aby bylo možno testované zařízení považovat za elektromagneticky odolné, bylo nutné provést všechny typy zkoušek dle platných norem. Uvedené zařízení bylo testováno na odolnost proti elektrostatickému výboji, rychlým přechodovým jevům a krátkodobým poklesům napětí. Ve všech těchto testech odolnosti laptop Toshiba Satellite 210CS obstál. V průběhu zkoušek a ani po jejich skončení nedošlo k zhoršení sledovaných primárních uživatelských funkcí. Testované zařízení vyhovělo provedeným zkouškám a splnilo požadavky funkčního kritéria A kladené na kategorii výrobků informační techniky.

## 10. ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se zabýval problematikou elektromagnetické kompatibility a testování elektromagnetické odolnosti u výrobků informační techniky. Cílem mé práce bylo vytvoření souhrnného přehledu základních pojmů a postupů pro ověřování EMC zařízení informační techniky. Celá práce se rozděluje do tří hlavních částí.

První část se týká přehledu základních pojmů a členění oboru elektromagnetická kompatibilita (EMC). Popisuje vztahy mezi uvedenými úrovněmi a mezemi rušení a taky popisuje jednotlivé části základního řetězce EMC. Samotný obor EMC se rozděluje na elektromagnetickou kompatibilitu technických a biologických systémů.

Druhá oblast se zabývá základy legislativy EMC. Tvoření norem pro oblast EMC vychází ze Směrnice č. 89/336/EEC. Kromě stručného obsahu uvedené Směrnice je součástí druhé části bakalářské práce rovněž přehled normalizačních organizací zabývajících se problematikou EMC jakož i přehled skupin norem EMC. Předložená práce uvádí členění norem na základní normy, všeobecné normy a předmětové normy.

V praktické části bakalářské práce je uveden výsledný návrh zkušebního postupu a realizace zkoušek, který vychází z platných norem a legislativních předpisů týkajících se EMC zařízení informační techniky.

Přínosem bakalářské práce je vypracování zkušebního postupu pro ověření vlastností testovaného zařízení z hlediska elektromagnetické kompatibility.

## 11. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SVAČINA, J. *Elektromagnetická kompatibilita*. Přednášky. Brno, Ústav UREL FEKT VUT, 2002.
- [2] VONDRÁK, M.: *Vybrané stati z elektromagnetické kompatibility*. Praha, Vydavatelství ČVUT, 2006.
- [3] HUDEC, J.: *Přepětí a elektromagnetická kompatibility*. Praha, 1999.
- [4] SVOBODA, J.: *Základy elektromagnetické kompatibility*. Praha, Vydavatelství ČVUT, 1994.
- [5] IEC 60050(161). *Mezinárodní elektrotechnický slovník*, Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibility.
- [6] ENDERS, A.: Grundlagenlabor Elektromagnetische Verträglichkeit Braunschweig, Technische Universität, [s.1] : [s.n.], 2004. 30 s. Dostupný z WWW: <<http://www.emv.ing.tu-bs.de/>>.
- [7] Technická dokumentace přístroje SEAWARD MACE: *Mains supply interference simulator operating instructions 204A910*.
- [8] ČSN EN 55022 : 2007. *Zařízení informační techniky – Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení – Meze a metody měření*.
- [9] ČSN EN 61000-4-2 : 2001. *Elektromagnetická kompatibility (EMC) - Část 4-2: Zkušební a měřicí technika - Elektrostatický výboj - zkouška odolnosti*.
- [10] ČSN EN 61000-4-4 : 2004. *Elektromagnetická kompatibility (EMC) - Část 4-4: Zkušební a měřicí technika - Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny impulsů - zkouška odolnosti*.
- [11] ČSN EN 61000-4-11 : 2004. *Elektromagnetická kompatibility (EMC) - Část 4-11: Zkušební a měřicí technika - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti*.
- [12] VACULÍKOVÁ, P., VACULÍK, E., a kolektiv: *Elektromagnetická kompatibility elektrotechnických systémů*. Praha, Grada Publishing 1998.

## 12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AMN	Artificial Mains Network (umělá síť)
AV	Střední hodnota
CENELEC	Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (Výbor pro rádiovou interferenci)
CMOS	Complementary metal oxide semiconductor (technologie výroby součástek)
ČSN	Česká státní norma
ČNI	Český normalizační institut
EMC	Electromagnetic compatibility (elektromagnetická kompatibilita)
EMI	Electromagnetic interference (elektromagnetické rušení)
EMS	Electromagnetic susceptibility (elektromagnetická citlivost)
EN	European norm (evropská norma)
ESD	Electrostatic discharge (elektrostatický výboj)
IEC	International electrotechnical commission (Mezinárodní elektrotechnická komise)
ISO	International Standard Organization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
ITE	Information technology equipment (zařízení informační techniky)
ITU	International Telecommunications Union (Mezinárodní telekomunikační unie)
LEMP	Lightning Electromagnetic Pulse (elektromagnetický impulz)
MACE	Mains supply interference simulator (simulátor rušení)
NEMP	Nuclear Electromagnetic Pulse (nukleární elektromagnetický impulz)
QP	Kvazivrcholová hodnota
SZÚ	Strojní zkušební ústav Brno

### 13. SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 - Základní řetězec EMC .....</i>	11
<i>Obr. 2 - Základní členění problematiky EMC.....</i>	12
<i>Obr. 3 - Definice úrovní a mezí vyzařování a odolností .....</i>	15
<i>Obr. 4 - Schematické znázornění EMC vývoje nákladů.....</i>	15
<i>Obr. 5 - Obecný rozbor rušivých signálů.....</i>	17
<i>Obr. 6 - Proudový impulz při úderu blesku a jeho parametry .....</i>	19
<i>Obr. 7 - Logaritmicko-periodická anténa .....</i>	28
<i>Obr. 8 - Základní typy rušivých signálů vstupující do zkoušeného zařízení. ....</i>	33
<i>Obr. 9 - Simulátor rušení Seaward Mace .....</i>	34
<i>Obr. 10 - Typický tvar vlny výstupního proudu generátoru ESD .....</i>	39
<i>Obr. 11 - Tvary vybíjecích hrotů generátoru .....</i>	40
<i>Obr. 12 - Krátkodobý pokles napětí napětí na 70 % po dobu 25 period, skokově se změní při průchodu nulou. ....</i>	43
<i>Obr. 13 - Pomalé změny napětí.....</i>	43
<i>Obr. 14 - Testované zařízení , laptop Toshiba Satellite 210CS .....</i>	46
<i>Obr. 15 - Měřicí přístroje pro měření zkoušek EMI. ....</i>	49
<i>Obr. 16 - Zkouška odolnosti proti skupině rychlých přechodových jevů/skupině impulsů .....</i>	51
<i>Obr. 17 - Zkouška odolnosti Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušování a pomalé změny napětí.....</i>	53
<i>Obr. 18 - Stíněná měřicí komora v SZÚ.....</i>	63
<i>Obr. 19 - Měřicí pracoviště ve školní laboratoři .....</i>	63

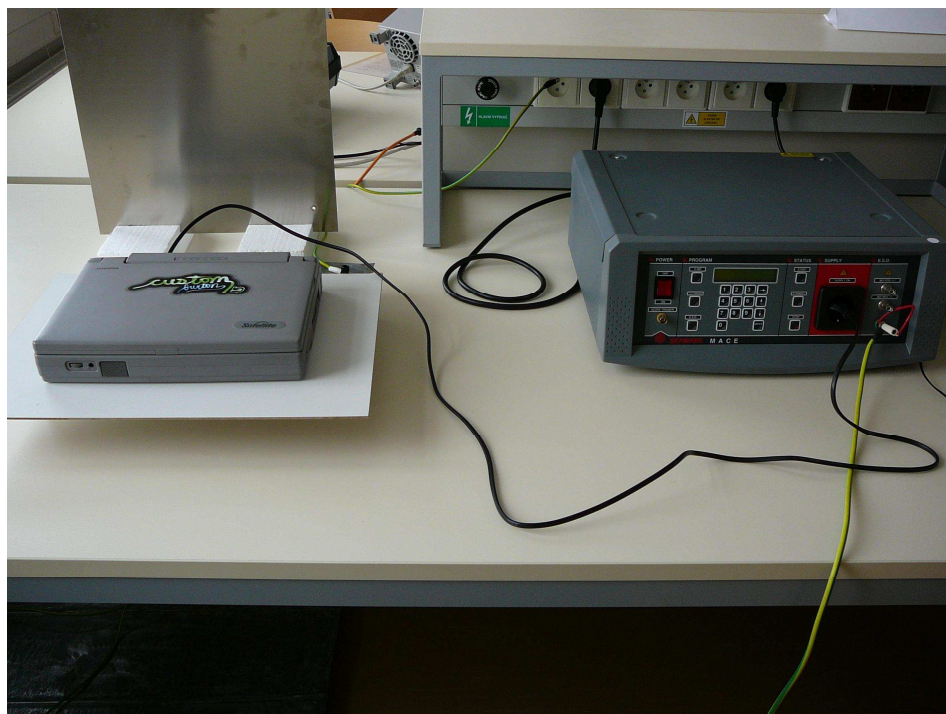
## 14. SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 - Nejvyšší povolené hodnoty indukovaných proudů, absorbovaných výkonů a hustoty ozáření podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 480/2000 Sb. ....</i>	10
<i>Tab. 2 - Meze pro rušení šířené vedením na síťových svorkách třídy B ITE .....</i>	27
<i>Tab. 3 - Meze rušení šířené zářením pro zařízení třídy B ITE.....</i>	27
<i>Tab. 4 - Popis přístroje Seaward Mace .....</i>	34
<i>Tab. 5 - Zkušební úrovně pro elektrostatický výboj .....</i>	37
<i>Tab. 6 - Zkušební úrovně podle normy ČSN EN 61000-4-4 .....</i>	41
<i>Tab. 7 - Zkušební úrovně poklesů a krátkých přerušení změn napětí .....</i>	42
<i>Tab. 8 - Zkušební úrovně pomalých změn napětí.....</i>	43
<i>Tab. 9 - Rušivé svorkové napětí - dB (<math>\mu</math>V) na fázovém vodiči L1 .....</i>	47
<i>Tab. 10 - Rušivé svorkové napětí - dB (<math>\mu</math>V) na N .....</i>	47
<i>Tab. 11 - Rušení šířeného záření – horizontální poloha a vertikální polarizace.....</i>	48
<i>Tab. 12 - Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým jevům(měřeno v SZÚ).....</i>	50
<i>Tab. 13 - Zkouška odolnosti Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí.....</i>	52
<i>Tab. 14 - Zkouška ESD pozitivní výboj - přímé působení.....</i>	54
<i>Tab. 15 - Zkouška ESD negativní výboj - přímé působení.....</i>	54
<i>Tab. 16 - Zkouška ESD pozitivní výboj - nepřímé působení .....</i>	55
<i>Tab. 17 - Zkouška ESD negativní výboj - nepřímé působení .....</i>	55
<i>Tab. 18 - Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým jevům (měřeno ve škole)..</i>	56

## 15. PŘÍLOHY



*Obr. 18 - Stíněná měřicí komora v SZÚ*



*Obr. 19 - Měřicí pracoviště ve školní laboratoři*