

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

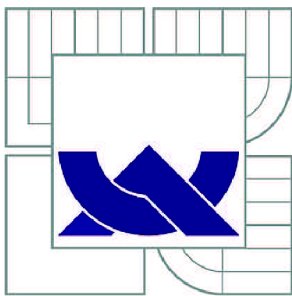
ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

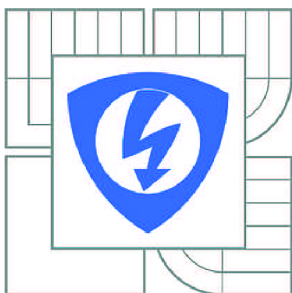
MARTIN ŠIMONÍK

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

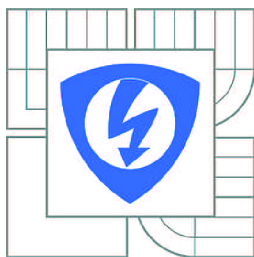
MARTIN ŠIMONÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARIE HAVLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Martin Šimoník

ID: 119627

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Elektromagnetická kompatibilita

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vypracujte přehled základních pojmů a členění oboru elektromagnetická kompatibilita.
2. Zpracujte přehledový seznam legislativních předpisů a požadavků norem IEC EN týkajících se elektromagnetické kompatibility, vyhodnocovacích kritérií a obecné metodiky zkoušek elektrických přístrojů a zařízení.
3. Popište přístrojové vybavení zkušebny EMC na externím pracovišti BD SENSORS a sestavte zkušební postup pro ověřování EMC zařízení tlakoměrné techniky podle aktuální normy.
4. Na základě souhlasu externího pracoviště sestavte protokol o zkouškách EMC pro vybrané výrobky a výsledky zkoušek zhodnoťte a diskutujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

SVAČINA J.: Základy elektromagnetické kompatibility, seriál článků.

VACULÍKOVÁ, P., VACULÍK, E. a kolektiv: Elektromagnetická kompatibilita technických systémů Grada Publishing,

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 27.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce: Pavel Vaněk

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou elektromagnetické kompatibility jak po její technické tak z části i biologické stránce. V práci jsou popsány základní pojmy EMC a také rozebrány jednotlivé legislativní požadavky a předpisy EMC. Součástí této bakalářské práce je také návrh zkušebního postupu pro ověření EMC tlakoměrné techniky ve firmě BD SENSORS a jeho následná realizace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektromagnetická kompatibility, zkušební postup, EMC, EMI, EMS, tlakoměrná technika, DMP 331, DMD 331

ABSTRACT

This bachelor is focused on a problem field of electronic compabiliti as the technical side as same as biological side of it. This Thesis describes the basic concepts of EMC and also analyzis each legislative requirements and regulations of EMC. One part of this thesis include designing a test procedur for verifcation of EMC pressure measurement technology of BD SENSORS company and realization of it.

KEYWORDS

Elektromagnetic kompatibility, testing metod, EMC, EMI, EMS, pressure measurment technology, DMP 331, DMD 331

ŠIMONÍK, M. *Elektromagnetická kompatibilita*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav Automatizace, 2013. 64 s., 32 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Elektromagnetická kompatibilita 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(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 27.5.2013

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	vi
Seznam tabulek	viii
Úvod	1
1 Základní POJMY A Členění EMC	2
1.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů [1],[4]	2
1.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů [1].....	4
1.2.1 Základní řetězec	4
1.2.2 Elektromagnetická interference (EMI)[1]	5
1.2.3 Elektromagnetická susceptibilita (EMS)[1].....	5
1.3 Základní pojmy EMC [1],[3],[5]	6
2 ZDROJE RUŠENÍ [1],[2]	9
2.1 Průmyslové zdroje rušení.....	10
2.2 Zdroje napěťového rušení	10
2.2.1 Přírodní zdroje rušení.....	10
2.2.2 Umělé zdroje rušení	11
2.3 Zdroje kontinuálního rušení	12
2.4 Zvláštní zdroje rušení.....	12
3 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY a PŘEDPISY V EMC	13
3.1 Normalizační komise a organizace [2], [4].....	13
3.2 Vývoj legislativy a institucí v ČR [1],[2]	14
3.3 Druhy civilních norem [1],[2],[4].....	15
3.3.1 Základní normy (Basic standards)	15
3.3.2 Kmenové normy (Generic standards).....	15
3.3.3 Předmětové normy (Products standards)	15
4 OVĚŘOVÁNÍ EMC TLAKOMĚRNÉ TECHNIKY [3]	17
4.1 Zkušební postupy a typy zkoušek EMI.....	17
4.2 Obecné zkušební postupy a vyhodnocení EMS.....	18
4.3 Zkoušky tlakoměrné techniky dle ČSN EN 61 000.....	19

4.3.1	Zkušební přístroj BEST-EMC (Shaffner) [12]	19
4.3.2	Zkoušky prováděné přístrojem BEST EMC, ESD (Shaffner)	21
5	Realizace zkoušek EMC TLA Koměrné techniky a sestavení zkušebního protokolu	27
5.1	Technické parametry zkoušených zařízení	27
5.2	Princip měření pro jednotlivá zkoušená zařízení	29
5.3	Zkouška odolnosti Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole	30
5.4	Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli	34
5.5	Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým jevům / skupině impulzů	38
5.6	Zkouška odolnosti proti rázovým impulzům	41
5.7	Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji	43
6	Zhodnocení výsledků	46
7	Závěr	47
	Literatura	48
	Přílohy	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Základní řetězec EMC	4
Obr. 2: Základní členění problematiky EMC	5
Obr. 3: Definiční úrovně a mezí vyzařování a odolnosti	7
Obr. 4: Schematické znázornění EMC a vývoje nákladů	8
Obr. 5: Rozdělení interferenčních zdrojů podle jednotlivých kritérií	9
Obr. 6: Proudový impulz při výboji blesku a jeho parametry	11
Obr. 7: Simulátor rušení BEST-EMC (Schaffner) se sondou pro elektrostatický výboj (ESD)	20
Obr. 8: Tvary vybíjecího hrotu generátoru	23
Obr. 9: Laboratoř elektromagnetické kompatibility ve firmě BD SENSORS	27
Obr. 10: Diferenční snímač tlaku DMD 331 firmy BD SENSORS	28
Obr. 11: Snímač tlaku DMP 331 firmy BD SENSORS	29
Obr. 12: Umístění snímače ve stínící komoře	30
Obr. 13: Zkouška odolnosti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem pro snímač DMD 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-3	32
Obr. 14: Zkouška odolnosti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem pro snímač DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-3	33
Obr. 15: Zkouška odolnosti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem pro snímač DMP 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-3	34
Obr. 16: Zkouška odolnosti proti rušení šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčním polem snímače DMD 331 SN.: 0380575 dle normy ČSN EN 61000-4-6	35
Obr. 17: Zkouška odolnosti proti rušení šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčním polem snímače DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-6	37
Obr. 18: Zkouška odolnosti proti rušení šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčním polem snímače DMP 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-6	37
Obr. 19: Stíněná měřicí komora ve firmě BD SENSORS	49
Obr. 20: Blokové schéma zapojení pro měření zkoušky odolnosti vysokofrekvenčního elektromagnetického pole	49
Obr. 21: Ukázka průběhu měření zkoušky odolnosti vysokofrekvenčního elektromagnetického pole	50

Obr. 22: Ukázka nastavení parametrů na displeji simulátoru rušení BEST EMC SCHAFFNER pro zkoušku odolnosti proti rychlým elektrickým přechodovým jevům / skupině impulzů	50
Obr. 23: Průběh a nastavení parametrů pro zkoušku odolnosti proti rázovým impulzům na simulátoru rušení BEST EMC SCHAFFNER	51
Obr. 24: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji na snímači DMP 331 (kontaktní výboj).....	51
Obr. 25: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji na snímači DMP 331 (vzduchový výboj)	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Nejvyšší povolené hodnoty indukovaných proudů, absorbovaných výkonů a hustoty podle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví ČR č. 480/2000 Sb.	3
Tab. 2: Zkušební úrovně pro elektrostatický výboj (ESD)	22
Tab. 3: Zkušební úrovně podle normy ČSN EN 61000-4-4	24
Tab. 4: Zkušební úrovně poklesů a krátkých přerušení změn napětí	25
Tab. 5: Zkušební úrovně pomalých změn napětí	25
Tab. 6: Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům / skupině impulzů snímače DMD 331 SN.: 0380575 dle normy ČSN EN 61000-4-4	39
Tab. 7: Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům / skupině impulzů snímače DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-4	40
Tab. 8: Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům / skupině impulzů snímače DMP 331 SN.: 1639264 dle normy 61000-4-4	40
Tab. 9: Zkouška odolnosti proti rázovým impulzům diferenčního snímače tlaku DMD 331 dle normy ČSN EN 61000-4-5	41
Tab. 10: Zkouška odolnosti proti rázovým impulzům snímače DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-5	42
Tab. 11: Zkouška odolnosti proti rázovým impulzům snímače DMP 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-5	43
Tab. 12: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji pro diferenční snímač tlaku DMD 331 SN.: 0380575 dle normy ČSN EN 61000-4-2	44
Tab. 13: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji pro snímač tlaku DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-2	45
Tab. 14: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji pro snímač tlaku DMP 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-2	45

ÚVOD

Elektromagnetická kompatibilita je obor zabývající se zabezpečením spolehlivosti jednotlivých elektrických a elektronických zařízení. Zkoumá především vazby mezi jednotlivými prvky nebo systémy, které musí být definovány tak, aby se tyto systémy mezi sebou vzájemně negativně neovlivňovaly. Tento obor také zkoumá, jaké rušení dané zařízení vytváří a zároveň jakému rušení toto zařízení odolá. Výsledkem by mělo být to, aby se různá zařízení vzájemně negativně neovlivňovala a zároveň byla odolná vůči rušením přicházejícím z vnějšího prostředí.

Vznik Elektromagnetické kompatibility jako samostatné vědy byl v šedesátých letech 20. století v nejvyspělejší zemi té doby – USA. Hlavním důvodem byl rozvoj vojenské a kosmické techniky, kde bylo zapotřebí zabezpečit bezchybný chod elektronických zařízení. Poměrně dlouho dobu byl obor elektromagnetické kompatibility méně atraktivní a zajímala se o něj jen malá skupina odborníků. Změna nastala až s následným rozvojem elektrotechniky a to především mikroprocesorové, která začala pomalu pronikat i do všedního života obyčejných lidí.

Elektromagnetická kompatibilita získala svůj název z anglického „Electromagnetic Compatibility“, z něhož pochází i mezinárodně uznaná zkratka EMC. Můžeme ji chápat jako obor, která se snaží zabezpečit bezporuchovou činnost elektronického zařízení (prvku, obvodu) pracujícího ve svém prostředí, aniž by toto zařízení negativním způsobem ovlivňovalo zařízení jiná a naopak provoz okolních zařízení nenarušil správný chod daného zařízení.

Cílem mé bakalářské práce je seznámit se s problematikou Elektromagnetické kompatibility. Tato práce se zaměřuje především na přehled základních pojmů a členění oboru Elektromagnetické kompatibility dále pak na přehled legislativních požadavků a předpisů norem týkajících se elektromagnetické kompatibility. V poslední části se zabývá sestavením zkušebního postupu pro ověření EMC tlakoměrné techniky vyráběné firmou BD SENSORS a následného provedení zkoušek EMC spojené se sestavením zkušebního protokolu.

1 ZÁKLADNÍ POJMY A ČLENĚNÍ EMC

Obor EMC můžeme rozdělit podle dvou hlavních kritérií. První kritérium můžeme označit jako systémové. Z tohoto hlediska lze elektromagnetickou kompatibilitu rozdělit na dvě oblasti: EMC biologických a EMC technických systémů.

1.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů [1],[4]

EMC biologických systémů studuje celkové elektromagnetické pozadí okolního životního prostředí a povolené úrovně užitečných a rušivých elektromagnetických signálů přičemž se snaží zohlednit jejich vlivy na živé organismy [1]. Účinky EMC na biologické systémy závisí především na době vystavení elektromagnetickému poli, jeho charakteru a také na vlastnostech daného živého organismu. Nežádoucí vlivy, které na lidský organismus působí, dělíme v dnešní době na přímé působení elektromagnetického pole (např. v zaměstnání) a na dlouhodobé působení elektrizovaného životního prostředí (doma). Každý živý organismus reaguje na elektromagnetické pole jinak, jelikož u každého organismu jsou adaptační a regenerační schopnosti zcela rozdílné. Proto i v dnešní době je velmi obtížné dojít na základě statistických údajů k nějakým uceleným závěrům.

První souvislosti vlivu elektromagnetického záření na živé organismy byly realizovány až v první polovině 20. století hlavně díky velkému rozvoji elektrotechnických oborů. První vědecké práce se datují po 2. světové válce v souvislosti s využitím mikrovlnného záření. Už tehdy začalo být zřejmé, že se nejedná jen o úzkou skupinu vědeckých disciplín, ale že bude spojovat daleko více vědeckých oborů (např. elektrotechniku, fyziku, biochemii, medicínu a spoustu dalších.) Díky tomu začali pomalu vznikat první bezpečnostní standarty, které se poté dále vyvíjeli a vlastně stále vyvíjejí.

V oblasti vysokofrekvenčních a mikrovlnných polí jsou nejvíce objasněny tepelné účinky, které se projeví ohřevem tkání, které byly dlouhodobě vystavené příliš vysokým úrovním polí. U takových polí pohlížíme na elektromagnetické pole jako na postupnou elektromagnetickou vlnu, která se po dopadu na tkáň odrazí a pronikne do ní. Tkáně jsou dobrými vodiči, díky tomu elektrické pole nepronikne do hloubky a proud je veden pouze v malé hloubce pod povrchem. Díky tomu můžeme účinky elektromagnetického pole na biologickou tkáň rozdělit do dvou základních skupin:

- Ohřev tkáně absorpcí vysokofrekvenčního elektromagnetického záření,
- Působení elektrických proudů nashromážděných v těle proměnným elektrickým a magnetickým polem

Touto problematikou se v ČR zabývá Vyhláška ministerstva zdravotnictví č. 480/2000 Sb., která od 1. 1. 2001 udává požadavky pro pobyt a práci v elektromagnetickém poli v rozsahu kmitočtů 0 až 300 Hz viz *Tab. 1*. Vyhláška stanovuje, aby doba vystavení osob elektrickým nebo magnetickým polem a

elektromagnetickým zářením v rozsahu kmitočtů nepřekročila stanovené meze nejvyšší hodnoty proudové hustoty indukované v lidském těle, měrného výkonu absorbovaného v těle ani hustotu zářivého toku. Mimo jiné také vyhláška vymezuje velikost ozáření u tzv. „pracovníků“ a u tzv. „ostatních“ osob. Pro posouzení expozice elektrickým nebo magnetickým polem se vesměs používají tyto veličiny:

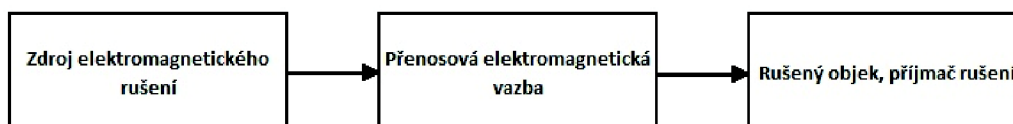
- Měrný absorbovaný výkon (SAR),
- Měrná absorbovaná energie (SA),
- Proudová hustota indukovaná v těle (J),
- Husto zářivého toku elektromagnetické vlny dopadající na tělo nebo jeho část (S)

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

	SAR [W/kg]	SA [J/kg]	S [$W \cdot m^{-2}$]	J [A/m^2]
Platí pro frekvence od 10^5 do 10^{10}	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
ostatní	0.08	0.002	10	0.002

1.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů [1]

Elektromagnetickou kompatibilitu můžeme analyzovat ze dvou základních faktorů. První faktor je o *zkoumání emise rušení* a druhý pak o *zjišťování odolnosti zařízení proti rušení* přičemž, ale musíme zohlednit, že rozbor nežádoucích vlivů sledovaných v rámci EMC předpokládá, že jakékoliv zařízení (el. přístroj) nebo systém, nebo jeho libovolná část může být zároveň i zdrojem rušení tedy vysílačem, tak i přijímačem rušení (ovlivňovaným objektem). Pro zkoumání EMC našeho zařízení tedy můžeme vycházet ze základního řetězce EMC viz. **Obr. 1**. Ve většině případů prošetřujeme všechny jeho složky.



Obr. 1: Základní řetězec EMC

1.2.1 Základní řetězec

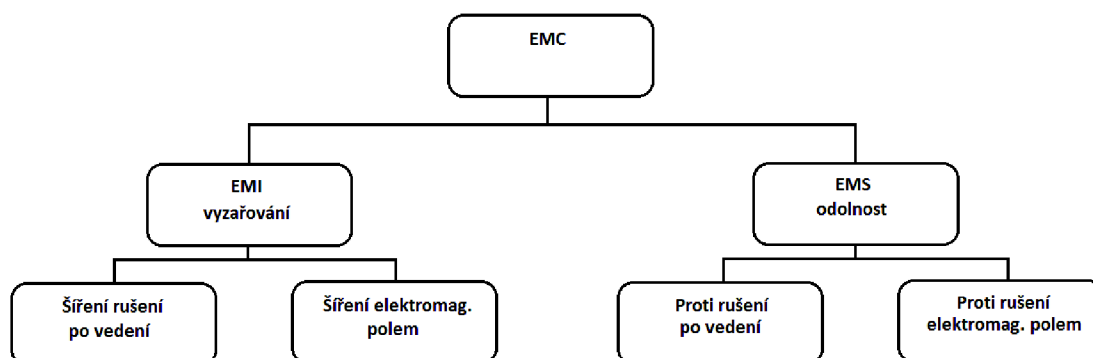
První blok z **Obr. 1** zdroje elektromagnetického rušení se zaměřuje na otázky vzniku tohoto rušení, jeho charakteru a intenzity. Zahrnuje přírodní (přírozené) zdroje a umělé neboli interferenční zdroje. Mezi přírozené zdroje rušení můžeme zařadit například elektrické procesy v atmosféře nebo změny elektrického a magnetického pole vyzařované ve vesmíru kosmickými tělesy. Umělé interferenční zdroje pak představují zdroje, které vznikly přičiněním člověka jeho technickou činností. Můžeme sem zařadit především technická a elektrická zařízení např. – elektrické generátory, transformátory, motory na elektrický proud, počítače a vlastně veškeré elektrické přístroje a spotřebiče.

Další blok základního řetězce zkoumá elektromagnetické vazby a prostředí, ve kterém může dojít ke vzniku nežádoucích vazeb. Elektromagnetická vazba je vazba, díky které může dojít k šíření energie ze zdroje rušení až k přijímači rušení. Zkoumají se zde hlavně podmínky šíření a mechanismy elektromagnetických vazeb.

Posledním blokem základního řetězce jsou pak přijímače rušení. Zde se snažíme dopodrobna specifikovat rušivé účinky na základě konstrukčních a technologických parametrů a z toho pro nás vyplývající elektromagnetickou odolnost vůči danému rušení.

Odborníci na EMC pak ovšem musí počítat s tím, že v každém okamžiku na daném místě působí ne jeden zdroj rušení, ale hned několik, a že působí hned na několik

přijímačů pomocí mnoha různých typů vazeb. Díky tomu se musí dát mnohem větší pozornost těm zdrojům rušení, které jsou v daný moment v dané konfiguraci nejdominantnější. Analýza EMC se dělí do dvou základních skupin, jak je znázorněno na *Obr. 2*.



Obr. 2: Základní členění problematiky EMC

1.2.2 Elektromagnetická interference (EMI)[1]

EMI nám zjišťuje úroveň vyzářované z testovaných zařízení.

Rušivá elektromagnetická energie se nejčastěji šíří pomocí galvanické vazby, např. v telekomunikačním vedení nebo u napájecího vedení nízkého napětí. Tato energie pak pomocí vytvořené vazby ovlivňuje správný chod ostatních elektrických zařízení. Dalším nežádoucím způsobem, kterým se může parazitní elektromagnetická energie šířit je vyzářením do okolního prostoru. V takovém případě mluvíme o tzv. rušivém elektromagnetickém poli, které působí negativně na okolní prostředí, v kterém se například vyskytují jiná elektronická zařízení[1].

1.2.3 Elektromagnetická susceptibilita (EMS)[1]

Elektromagnetická susceptibilita neboli imunita či odolnost vyjadřuje schopnost zařízení pracovat bez ovlivnění (poruch) nebo minimálně s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje dané elektromagnetické rušení. EMS se tedy zabývá především technickými prostředky, které u testovaného objektu (přijímače rušení) zvýší jeho odolnost vůči vlivům rušivého signálu. EMS se tedy zabývá více odstraněním důsledků elektromagnetického rušení než odstraněním jeho příčin. V dnešní době se nám už kromě měření elektromagnetické odolnosti rozvíjí také oblast testování této odolnosti pomocí tzv. simulátorů rušení. Testování elektromagnetické odolnosti se dnes provádí již během vývoje elektrotechnických přístrojů.

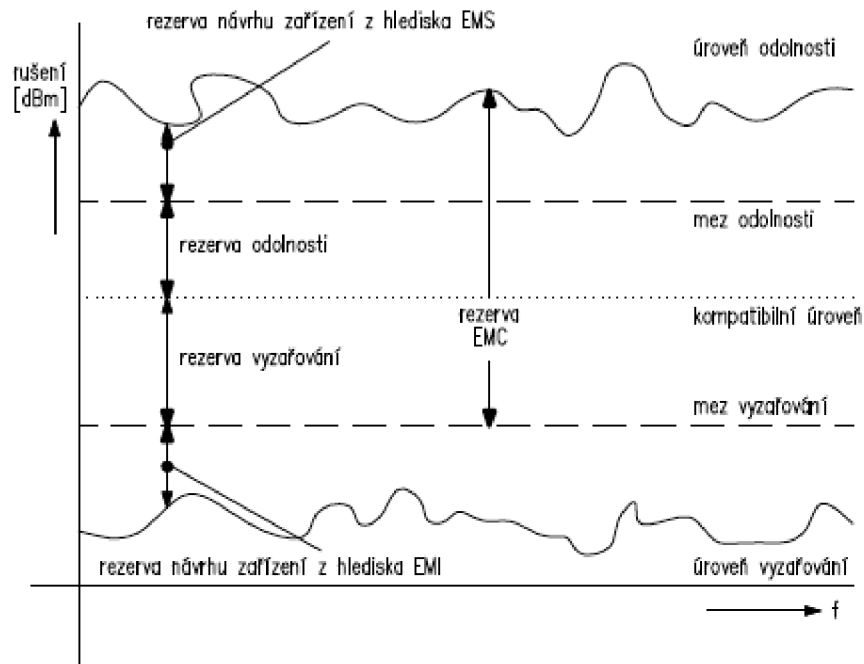
1.3 Základní pojmy EMC [1],[3],[5]

Pro obor EMC platí, že každé elektrotechnické zařízení je zároveň zdrojem tak i přijímačem elektromagnetického rušení. Pro každé takové zařízení pak obecná norma ČSN-IEC 1000-1-1 definuje některé základní pojmy, jejichž základní vztah je vysvětlen na *Obr. 3*. Stejně jako i v jiných odvětvích i zde potom musíme rozlišovat, jestli jsou některé rušivé účinky funkčními parametry ovlivňujícího systému nebo jeho rušivými produkty.

V ČR vychází základní pojmy pro obor EMC především z anglických zkratk a pojmů pro tento obor celosvětově užívaných. Takové zkratky postupně v České republice zdomácněly a tím se z nich staly pojmy patřící do české odborné terminologie. Jedná se tak hlavně o tzv. „dohodnuté termíny“ pracovně často užívané a všem odborně zasvěceným oboru EMC známé. V následujících bodech jsou tyto pojmy EMC shrnuty se svým krátkým popisem.

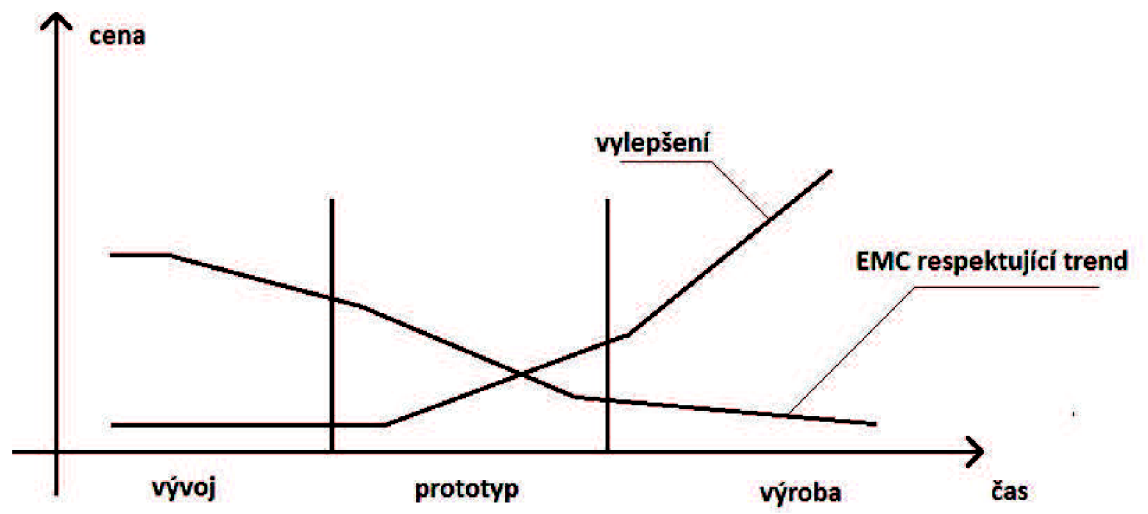
- Elektromagnetická kompatibilita – schopnost zařízení nebo systému správně fungovat i v prostředí elektromagnetického rušení a naopak svou elektromagnetickou činností negativně neovlivňovat své okolí,
- Elektromagnetická interference – elektromagnetické rušení, které může mít za následek zhoršení provozu zařízení nebo systému,
- Elektromagnetická citlivost na rušení – neschopnost přístroje nebo systému správně fungovat v prostředí ovlivněného elektromagnetickým rušením
- Elektromagnetická emise – děj, při kterém elektromagnetická energie emituje ze zdroje,
- Elektromagnetická susceptibilita (odolnost proti rušení) – schopnost přístroje nebo systému odolávat elektromagnetickému rušení,
- Rušivé napětí – napětí, vyvolané rušením mezi dvěma body dvou oddělených vodičů, za předepsaných podmínek,
- Úroveň rušení – rušení produkované zkoušeným zařízením a měřené daným postupem
- Elektromagnetická kompatibilní úroveň – předepsaná úroveň elektromagnetického rušení stanovená jako referenční úroveň pro stanovení mezi emise a odolnosti
- Úroveň odolnosti – maximální úroveň rušení, které působí na zkoumané zařízení bez ovlivnění správného chodu zařízení,
- Mez odolnosti – nejnižší předepsaná úroveň odolnosti,
- Rezerva odolnosti – rozdíl mezi mezní odolností přístroje nebo systému a kompatibilní úrovní,
- Rezerva rušení – rozdíl mezi kompatibilní úrovní a mezní rušením,
- Rezerva EMC – odstup meze rušení a meze odolnosti,

- Zkoušené zařízení – zařízení vystavené zkouškám vyhovění EMC,
- Spojité rušení – vysokofrekvenční rušení trvající déle než 200 ms,
- Nespojité rušení – vysokofrekvenční rušení pro spočitatelné mžikové poruchy trvající méně než 200 ms,
- Impulsní rušení – rušení, které se projeví jako posloupnost jednotlivých impulsů nebo přechodových dějů.



Obr. 3: Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti

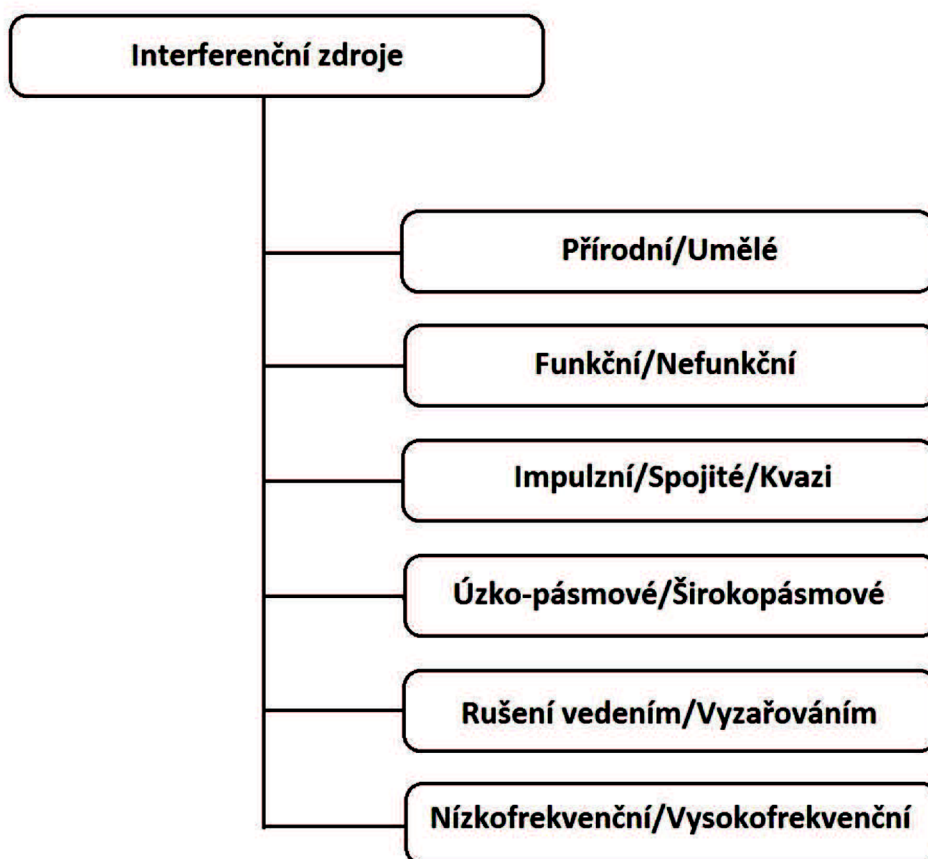
Při vývoji je také nutno brát ohled na požadované EMC aspekty a to především u komplexních systémů. Výrobci zařízení tak musí pamatovat, že dodatečná řešení jsou vždy spojena s vysokými náklady. Z toho nám vyplývá, že dodržování zásad EMC úzce souvisí s kvalitou a spolehlivostí výrobků. Tato situace je pak znázorněna na **Obr. 4**. Jestliže výrobce tyto zásady při vývoji, projektování a konstrukci produktu podcení, může pak docházet k jeho velké poruchovosti, provozní nespolehlivosti a tím i k neprodejnosti výrobku. Dále také neznalost zásad EMC může způsobit za určitých podmínek a okolností výrazné hospodářské škody, havárii daného technického zařízení nebo dokonce ohrozit život lidí přicházejících s produktem do kontaktu.



Obr. 4: Schematické znázornění EMC a vývoje nákladů

2 ZDROJE RUŠENÍ [1],[2]

Všechny elektrotechnické systémy mohou být považovány jak za zdroj, tak i za přijímač elektromagnetického rušení. V praxi se ovšem vyčleňuje jen určitá skupina těchto systémů, u kterých převažuje ve větší míře proces generování rušivých signálů nad jejich nežádoucím příjmem. Skupina takovýchto systému se pracovníčně nazývá interferenční zdroje nebo také zdroje elektromagnetického rušení. Z každého takové zdroje rušení se šíří rušivá energie buď vyzářováním anebo vedením. Rozdělení interferenčních zdrojů rušení je znázorněno na *obr. 5* [1].



Obr. 5: Rozdělení interferenčních zdrojů podle jednotlivých kritérií

Z pohledu zamezení rušení jsou důležité především umělé *interferenční zdroje rušení*, tj. zdroje, které svou technickou činností vytvořil člověk. *Přírodní zdroje* rušivých signálů musíme respektovat, nelze jim bohužel zabránit. Můžeme se jim pouze snažit vyvarovat. Jestliže jsou zdroje rušení základní funkcí jednoho systému (např. sdělovací signály), a přitom ovlivňují základní funkci jiného systému, nazýváme je *funkčními*. Zdroje, které při svém chodu produkují parazitní rušivá napětí a pole pak

nazýváme jako *nefunkční*. Další rozdělení interferenčních zdrojů můžeme brát podle časového průběhu rušivého signálu. *Impulsní rušení* je rušení, které má charakter časové posloupnosti jednotlivých impulsů nebo přechodných jevů. Jeho opakem je *spojité rušení*, které nemůže být považováno za posloupnost oddělených jevů a působí nepřetržitě na rušené zařízení. Kombinací těchto dvou rušení vzniká rušení *kvazi-impulsní* [1].

Úzko-pásmové rušení je tvořeno zejména televizními a radiovými signály z vysílačů, naopak *široko-pásmové* rušení ve většině průmyslových rušivých signálů. Nízkofrekvenční rušení se projevuje ve dvou charakter. Jedná se o energetické nízkofrekvenční rušení (do 2 kHz), které způsobuje zkreslení napájecího napětí v energetických sítích. Zdrojem tohoto rušení je vlastně každá nelineární zátěž v napájecí síti, která způsobí deformaci odebíraného proudu. Akustické nízkofrekvenční rušení (do 10kHz) ruší a negativně ovlivňuje přenosové a komunikační systémy (např. telefony, měřicí systémy, informační soustavy, atd.). Takovéto rušení vyvolávají prakticky všechny energetické zdroje. Mezi *vysokofrekvenční rušení* nebo také radiové rušení (od 10 kHz do 400GHz) patří prakticky všechny rušivé zdroje, jelikož rušivé signály zasahují obvykle vždy do těchto kmitočtových oblastí.

2.1 Průmyslové zdroje rušení

Mezi nejdůležitější složky periodických rušivých signálů patří bezesporu harmonické složky kmitočtu napájecí sítě 50 Hz, které jsou často produkovány již samotnými silnoproudými generátory při samotné výrobě elektrické energie [1]. Vyšší harmonické složky, které takto vznikly, pak vyvolávají na nelineárních impedancích sítě (např. transformátory s nelineární magnetickou charakteristikou) vznik dalších harmonických složek. Mezi zdroje tohoto rušení pak patří především řízené polovodičové měniče velkých výkonů, které vytváří v napájecích sítích harmonické kmitočty až do 30 Mhz.

Další 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.

K dalším typům rušení dochází na usměrňovačích diodového typu, zejména pak u tyristorového řízení průmyslových zařízení, při kterých v každé pulce periody napájecího napětí dochází ke spínání velkých proudů. Další zdroje rušení v energetické síti pak jsou vysílače systému hromadného dálkového ovládní (HDO).

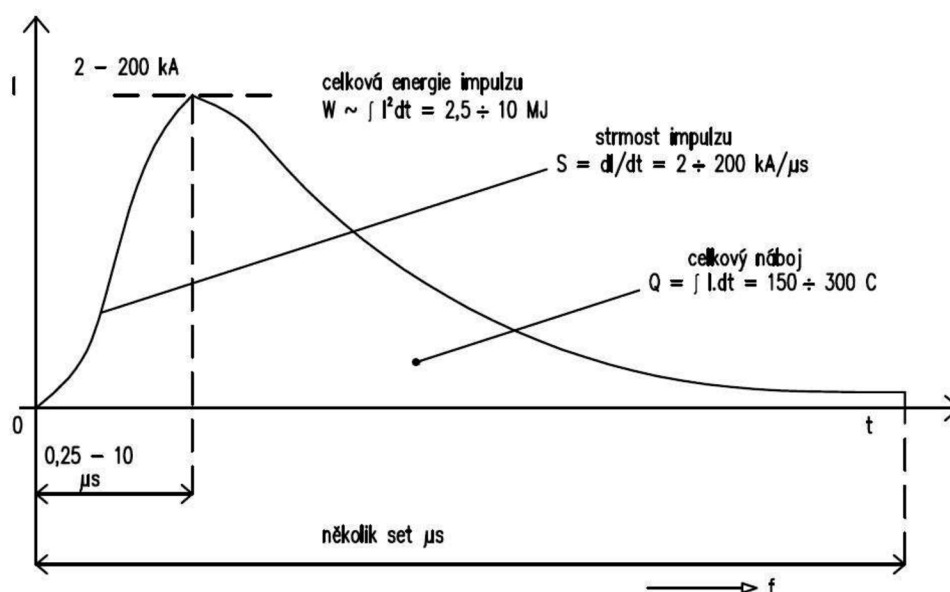
2.2 Zdroje napěťového rušení

Tyto zdroje můžeme podle původu rozdělit na dvě skupiny. Jsou to zdroje přírodní a zdroje umělé – vznikající technickou činností člověka.

2.2.1 Přírodní zdroje rušení

Mezi nejpodstatnější zdroje přírodního rušení patří bezesporu výboj blesku. Jedná se o nejsilnější přírodní elektrický náboj, který ohrožuje a může poškodit elektrická a elektronická zařízení a to až do vzdálenosti 4 km od jeho ložiska. Vybíjení atmosférické

elektřiny blesky způsobuje vznik elektromagnetického impulsu (LEMP – Lightning Electromagnetic Pulse), který má v zasažených zařízeních destruktční účinky. U bleskového výboje se velikost vyrovnávacích proudů pohybuje řádově v tisících ampérech (až do 300 tisíc ampérů) Produkovaná úroveň rušení při tomto výboji, pak dosahuje až 140 dB μ V (v pásmu 2 – 30 kHz). Pak už úroveň klesá, až do 100 Mhz (viz. **Obr. 6**). Mezi důležité parametry uváděné při zjišťování bouřkové aktivity patří tzv. intenzita bouřkové činnosti neboli četnost výbojů blesku na 1 km² za rok. Na území České republiky se četnost výbojů blesku pohybuje okolo 2 až 8 výbojů na 1 km² za rok, v stropech a tropech se tato hodnota může vyšplhat na 30 až 70 výbojů na 1 km² za rok.



Obr. 6: Proudový impuls při výboji blesku a jeho parametry

2.2.2 Umělé zdroje rušení

Mezi tyto zdroje rušení patří prakticky všechna spínací zařízení. Výsledná velikost přepětí pak závisí na mnoha různých parametrech, jako jsou velikost spínacího proudu a napětí, na kvalitě spínacích prvků, na impedančních poměrech v energetické síti a na rychlosti spínacího procesu. V posledních letech nabývá na významnosti elektrostatický výboj (ESD – Electrostatic Discharge). I když tyto zdroje rušení mají relativně nízkou energii (10mJ) je jejich napěťová úroveň rušení (až 15 kV) velmi nebezpečná pro integrované obvody pracující s nepatrnými proudy a vysokými pracovními odpory (např. obvody CMOS).

Ke vzniku elektrostatického výboje dochází při kumulaci těchto skutečností:

- Nevhodné oblečení pracovníků – oděvy z umělých vláken,
- Nevhodný povrch pracovních pomůcek a celkového pracovního vybavení (stolů, židlí, podlah) – např. umělé hmoty s vysokým izolačním odporem,
- Nízká vlhkost vzduchu v dané místnosti

Při tření pracovního oděvu (šatů a bot) o izolační povrch vznikne elektrostatický náboj o vysokém elektrickém napětí. Náboj se pak vybije při kontaktu s povrchem elektrického či elektronického zařízení. Tento výboj může zásadně ovlivnit (i zničit) správný chod daného zařízení.

2.3 Zdroje kontinuálního rušení

Mimo obávanější průmyslové a přepěťové rušení ohrožují správný chod systémů i rušivé signály, které působí obvykle nepřetržitě nebo s minimálním přerušením. K těmto zdrojům rušení se řadí především televizní a rozhlasové vysílače, radarové stanice nebo i taktovací signály elektronických obvodů. Signály z těchto zdrojů jsou buď parazitně injektovány do kabelových a jiných vedení nebo se šíří pouze vyzařováním [1]. V poslední době můžeme k těmto zdrojům rušení zařadit i nežádoucí vyzařování systémů neveřejných radiokomunikačních služeb. Zdrojem rušení je v tomto případě záměrné překračování povoleného vysokofrekvenčního vyzařovaného výkonu přidáním koncového výkonového zesilovače do anténního přívodu stanice. Jako další zdroje elektromagnetického spojitého rušení lze uvést systémy společných televizních a rozhlasových signálů, u kterých se k rozvodu signálu užívá stejného kmitočtového pásma, jakých se užívá v jiných odvětvích (např. meteorologii), což má za následek časté komplikace.

2.4 Zvláštní zdroje rušení

K těmto zdrojům rušení lze zařadit rušení vznikající při výbuchu jaderné bomby. Při tomto výbuchu vznikne velmi silné elektrické pole, i když pouze na krátkou dobu. Takto vzniklý impulz se nazývá **nukleární elektromagnetický impulz** (NEMP – Nuclear Electromagnetic Pulse). Vznikne uvolněním gama záření, které vyrazí elektrony z molekul vzduchu. Tyto elektrony jsou pak urychlovány v radiálním směru a tím se oddělují od neionizovaných molekul vzduchu. Tím potom v několika málo nanosekundách vznikne silné elektrické pole a následkem časově se rychle měnícího transportu náboje je vyzářen krátký elektromagnetický impulz, což velmi ovlivňuje veškerá slaboproudá i silnoproudá zařízení, která mohou být následně zcela zničena [1].

K dalším zvláštním zdrojům rušení patří rušení pronikající na zemský povrch z kosmu. Souhrnně tato rušení nazýváme **rušení mimozemského původu**. Patří sem především Slunce, které při zvýšeném výskytu slunečních skvrn a erupcí ve fotosféře protuberancí v chromosféře a koróně, produkuje tzv. „sluneční vítr“ nukleárních částic. Ty v zemské atmosféře při srážkách s ionty a molekulami vytvářejí geomagnetické bouře způsobující elektromagnetické rušení nepříznivě ovlivňující přenos informací [2]. Podobný princip pak funguje i u kosmického záření, které tvoří pozadí v širokém pásmu velmi vysokých kmitočtů.

3 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY A PŘEDPISY V EMC

V oblasti EMC nabývá normalizace stále více na významu, jelikož práce na pracovištích EMC vyžaduje znalost veškerých dokumentů a nařízení. Obecně lze říci, že technické normy jsou dokumenty poskytující pravidla a pokyny, které nám zajišťují shodu materiálu či výrobku k danému účelu. Dnes slouží normy jako vhodné doporučení, nikoliv jako příkazy nebo nařízení.

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

- Normy jsou nezbytnou podmínkou pro oběh zboží a služeb,
- Udávají míru bezpečnosti,
- Slouží k porovnání úrovně výrobku nebo služby,
- Účinný nástroj konkurenčního boje firem
- U veřejných zakázek jsou normy povinné

EMC normy tak lze z tohoto pohledu rozdělit do tří základních skupin

1. Normy elektromagnetické odolnosti
2. Normy rušivého záření
3. Normy pro odrušovací prostředky

Stále více moderní je v oblasti legislativy dosažení kompatibility mezi jednotlivými státy. Pro tento účel vydala Rada Evropské unie v roce 1989 směrnici č. 89/336/EEC s názvem „Směrnice o sbližování zákonů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility“ [1]. Směrnice byla schválena a přeložena v každém státě Evropské unie. Poté vstoupila v platnost jako zákon platný od 1. 1. 1996. Od tohoto data musí každý prodejce na evropském trhu tuto směrnici dodržovat. Tvorbu technických norem má pod svým působením zahrnuta Mezinárodní elektrotechnická komise IEC.

3.1 Normalizační komise a organizace [2], [4]

Mezinárodní elektrotechnická komise IEC (International Electrotechnical Commission) je světová organizace, která byla založena v roce 1904 ve Spojených státech amerických (USA). Zabývá se především vytvářením mezinárodních norem pro elektrotechnické, elektronické a jim příbuzné obory. Jejich normy mají pomoci průmyslu vládním orgánům a široké veřejnosti. Mají také napomáhat k lepší bezpečnosti při používání elektrotechnických a elektronických zařízení a dnes se již také snaží v rámci možností chránit životní prostředí. V IEC pak můžeme najít dalších asi dvě stě komisí a subkomisí a přes sedm set pracovních skupin. Jednotlivé komise se pak snaží

vypracovávat technické dokumenty různého druhu a ty poté předkládají národním členům IEC hlasování s cílem schválení normy jako normy mezinárodní. Přibližně se na celém světě podílí na této práci asi deset tisíc odborníků.

Oborem Elektromagnetické kompatibility se v IEC zabývá komise TC 77. Mezi její hlavní činnost pak patří příprava základních dokumentů určených pro odborné technické pracovníky. Dokumenty vydané touto komisí pak upřesňují emise rušení, odolnost testovací techniky proti rušení, elektromagnetické prostředí a podmínky pro provádění zkoušek EMC. IEC je zařazena do celosvětového normalizačního procesu, který je řízen a koordinován Mezinárodní organizací pro normalizaci *ISO (International Standard Organization)*. V rámci IEC se problematikou EMC zabývá zvláštní mezinárodní komise CISPR (*Comité International Special des Perturbations Radioelectriques*). Tato komise byla založena v 60. letech jako ochrana rádiového a televizního vysílání. Dnes se tato komise zaměřuje především na rušení od přístrojů informační techniky. Sjednocování Evropy a tvorba jejího společného trhu sebou přinesli sjednocení a harmonizaci různých předpisů a norem. Toto vše vedlo k založení evropských norem (*EN*).

Zaváděním technických norem pro oblast EMC v rámci Evropské unie se zabývá Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC (*Comité Européen de Normalisation en Electrotechnique*) Normy se tak 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 prakticky beze změn předkládá požadavky IEC na vypracování nových norem. Mezi členy CENELEC patří národní normalizační orgány Belgie, Dánska, Finska, Francie, Irsko, Island, Itálie, Lucembursko, Německo, Nizozemsko, Norsko, Portugalsko, Rakousko, Řecko, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko a Velká Británie. Normy vydávané těmito komisemi jsou celoevropsky harmonizované. Mezinárodní telekomunikační unie ITU (*International Telecommunications Union*) a její výbory se zabývají problematikou EMC v oblasti radiokomunikačních a telekomunikačních systémů.

3.2 Vývoj legislativy a institucí v ČR [1],[2]

Začátky normalizace v České republice souvisí se vznikem ČSR v roce 1918. Hned o rok později v roce 1919, byla založena první instituce s celostátní organizací. Nazývala se Elektrotechnický svaz československý (ESČ). Tento svaz vydal první československé normy pod názvem Předpisy a normy ESČ. Dal tím základ tvorby pro budoucí národní normy v oblasti elektrotechnické.

Již v roce 1922 byla založena Československá společnost normalizační (ČSN). Šlo o organizaci neziskovou, do které přispívali odborníci z vysokých škol, technických a výzkumných ústavů a také průmyslových podniků. Normy, které tato společnost vydala, nebyly závazné a sloužili spíše jako forma dohody. Roku 1951 zanikla činnost jak ČSN tak také činnost ESČ a stát převzal kontrolu nad normalizací. Výkonným orgánem pro tuto činnost se stal Úřad pro normalizaci, který fungoval až do rozpadu ČSFR roku 1992. Za tuto dobu se staly vydané normy povinnými a měli celostátní platnost.

V dnešní době se na území České republiky zabývá tvorbou technických norem ČNI (Český normalizační institut) v Praze. Jedná se o státní příspěvkovou organizaci

řízenou Ministerstvem průmyslu a obchodu. Patří od ní technická normalizační komise TNK 47, která 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 nesou své tradiční označení ČSN.

3.3 Druhy civilních norem [1],[2],[4]

3.3.1 Základní normy (Basic standards)

Základní normy definují problém EMC a stanovují všeobecné podmínky a pravidla pro metody testování elektromagnetické kompatibility libovolného výrobku. Nestanoví ovšem meze rušení nebo odolnosti ani vyhodnocování a vyhodnocovací kritéria[4]. Např.:

- Normy pro nízkofrekvenční rušení řady ČSN EN 61000-2 a ČSN EN 61000-3,
- Normy pro elektromagnetickou odolnost řady ČSN EN 61000-4.

3.3.2 Kmenové normy (Generic standards)

Kmenové normy určují minimální soubor požadavků (jak pro vyzařování, tak pro odolnost) a testovacích metod EMC pro všechna technická zařízení pracující v určitých typech elektromagnetického prostředí[4].

- Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu: EN 50081-1,
- Prostory průmyslového prostředí: EN 50082-2,
- Průmyslové prostředí: EN 50081-2 odolnost (elektrostatický výboj, rychlé přechodné děje napětí, vysokofrekvenční rušení polem).

3.3.3 Předmětové normy (Products standards)

Předmětové normy specifikují různé elektromagnetické požadavky a testovací metody pro jednotlivé produkty. Předmětové normy produktů musí být v souladu se základními i kmenovými normami. Vztahují se například na tyto skupiny produktů: průmyslová zařízení, přenosné nářadí, dopravní zařízení, televizory, různé domácí spotřebiče, lékařská zařízení, měřicí a testovací zařízení. Existuje-li pro daný výrobek výrobová norma, má potom vždy přednost před normou všeobecnou.

Všechny normy, které jsou zde uvedeny, mohou mít buď závazný nebo doporučující charakter. **Závazné normy** (*Mandatory standards*) jsou určeny zákonem. Nedodržení těchto norem je v rozporu se zákonem a tím pádem je trestné. Nelze proto vyrábět zařízení, která těmto normám nevyhovují. V Evropské unie se tímto problémem zabývá především směrnice Rady Evropské unie č. 89/336/EEC z roku 1989. V této směrnici je přesně popsáno, jaké uvedené zásady musí být přesně a důkladně dodržovány.

Doporučené normy (*Voluntary standards*) mají na rozdíl od závazných norem

pouze doporučující charakter. Vznikají nejčastěji jako výsledek společné práce výrobců a normalizačních organizací. Zde je třeba si uvědomit, že přestože jde „jen“ o normy doporučené, jejich vliv může být někdy prakticky úplně stejný jako u norem závazných. Tyto normy jsou často brány jako prodejní specifikace a jejich nesplnění a jejich nesplnění se bere v úvahu například při pojišťovacích nebo náhradových řízeních[4].

4 OVĚŘOVÁNÍ EMC TLAKOMĚRNÉ TECHNIKY [3]

Zkoušky, jimiž se ověřuje elektromagnetická kompatibilita výrobků, musí být prováděny v reprodukovatelných standardních podmínkách. Z definice elektromagnetické kompatibility vyplývá, že je třeba ověřovat jak úroveň vyzařování elektromagnetických rušivých signálů, tak i úroveň odolnosti proti tomuto rušení. Podle tohoto pak rozdělujeme zkoušky EMC na zkoušky vyzařování a zkoušky odolnosti.

Vlastnosti konkrétního výrobku jsou pak posuzovány podle toho, do jakého prostředí je výrobek určen. Rozlišují se hlavně tyto prostory:

- Prostory obytné, obchodní administrativní a jiné prostory - zásobované ze stejné veřejné rozvodné sítě nízkého napětí a vystavené tak stejným rušivým vlivům,
- Prostory průmyslové – zásobované z vlastní (vnitropodnikové) rozvodné sítě oddělené od prostor obytných. Předpokládá se přítomnost výkonnějších rušivých zdrojů a tedy vyšší úroveň rušení – kladeny menší nároky na omezení vyzařování, ale velmi velké nároky na odolnost
- Prostory speciální – buď extrémně nízká požadovaná úroveň rušivých signálů (provozy s vysoce citlivými elektronickými zařízeními) nebo naopak s extrémně vysokými úrovněmi rušení (rozvodny velmi vysokého napětí)

4.1 Zkušební postupy a typy zkoušek EMI

Cílem těchto zkoušek je ověřit, zda úroveň vyzařování příslušného rušivého signálu u zkoušeného zařízení nepřesahuje mez stanovenou pro dané prostředí. Během zkoušky pracuje zkoušené zařízení v různých pracovních režimech, a to hlavně takových, kde je možné předpokládat největší vyzařování rušivého signálu. Přitom je potřeba zajistit, aby měření nebylo ovlivňováno rušivými signály z jiných zdrojů rušení.

V oblasti nízkofrekvenčního rušení, tj. zhoršování kvality síťového napájení, je zkoušený výrobek napájen ze zdroje čistě sinusového průběhu napětí s malou výstupní impedancí a s nastavitelnou hodnotou napětí v plném rozsahu přípustného tolerančního pásma. Provádějí se zejména tyto zkoušky:

- Měření vyšších harmonických vstupního síťového proudu,
- Měření kolísání napětí způsobeného kolísáním efektivní hodnoty vstupního proudu, popř. měření blikání při opakovaných rychlých změnách proudu,
- Měření poklesu napětí způsobených proudovými rázy.

Kromě zkoušek nízkofrekvenčního vyzařování jednotlivých zařízení (výrobků) se vyhodnocuje také vliv nízkofrekvenčního rušení kompletního elektrotechnického systému na kvalitu napájecí sítě přímo v provozu. Pak lze vyhodnocovat vyšší

harmonické a meziharmonické síťového napětí, kolísání a blikání napětí, poklesy a výpadky napětí, přepětí a nesymetrie trojfázového napěťového systému.

Ve vysokofrekvenční oblasti rušení je třeba zajistit, aby při zkoušce nebyl přítomen žádný rušivý signál z jiného zdroje přicházející jak po vedení, tak elektromagnetickým polem. Provádějí se zejména tyto zkoušky:

- Měření vyzařování vysokofrekvenčního rušivého signálu po vedení,
- Měření vyzařování vysokofrekvenčního rušivého signálu elektromagnetickým polem.

4.2 Obecné zkušební postupy a vyhodnocení EMS

U zkoušek odolnosti je cílem ověřit, zda odolnost zkoušeného výrobku je větší než mez odolnosti stanovená pro dané prostředí. Odolnost se při to m stanovuje podle vymezených funkčních kritérií:

- A kritérium – zařízení vykazuje nepřetržitě (i v průběhu zkoušky) normální činnost v rozsahu daném mezemi stanovenými výrobcem,
- B kritérium – zařízení vykazuje normální činnost po ukončení zkoušky, v průběhu zkoušky je přípustné zhoršení nebo ztráta funkce, které se ovšem po ukončení zkoušky samy obnoví,
- C kritérium – zařízení vykazuje dočasnou ztrátu funkce, která vyžaduje zásah obsluhy nebo opětovné nastavení.

Z hlediska odolnosti se za nevyhovující považuje, pokud se v důsledku zkoušky výrobek stane nezpůsobilým nebo nebezpečným (zhoršení nebo ztráta funkce, která není obnovitelná vlivem poškození zařízení, softwaru nebo ztráty dat).

Zkoušky odolnosti se u EMC provádějí tak, že je dané zařízení vystaveno působení přesně definovaných uměle vytvořených rušivých signálů. V oblasti nízkofrekvenčního rušení jsou to zejména:

- Zkoušky simulovanými síťovými poruchami – výpadky poklesy a kolísání napětí,
- Zkoušky magnetickým polem síťového kmitočtu.

V oblasti vysokofrekvenčního rušení pak:

- Zkoušky uměle vytvořeným vf rušivým signálem přicházejícím po výkonových i signálových vedeních,
- Zkoušky uměle vytvořeným vf rušivým elektromagnetickým polem

V oblasti impulzního rušení se komplex skutečných rušivých vlivů nahrazuje při zkouškách odolnosti uměle vytvořenými přesně definovanými impulzními poruchami:

- Zkouška rázovým impulzem napětí nebo proudu (VCS – Voltage/Current Surge) na výkonových a signálových svorkách výrobku,
- Zkouška skupinami rychlých přechodových jevů (FTB – Fast Transient

Burst) opět na výkonových a signálových svorkách,

- Zkouška elektrostatickým výbojem (ESD – ElectroStatic Discharge) na krytu výrobku nebo v jeho bezprostřední blízkosti.

4.3 Zkoušky tlakoměrné techniky dle ČSN EN 61 000

Na tlakoměrné technice firmy BD SENSORS se provádí tyto zkoušky:

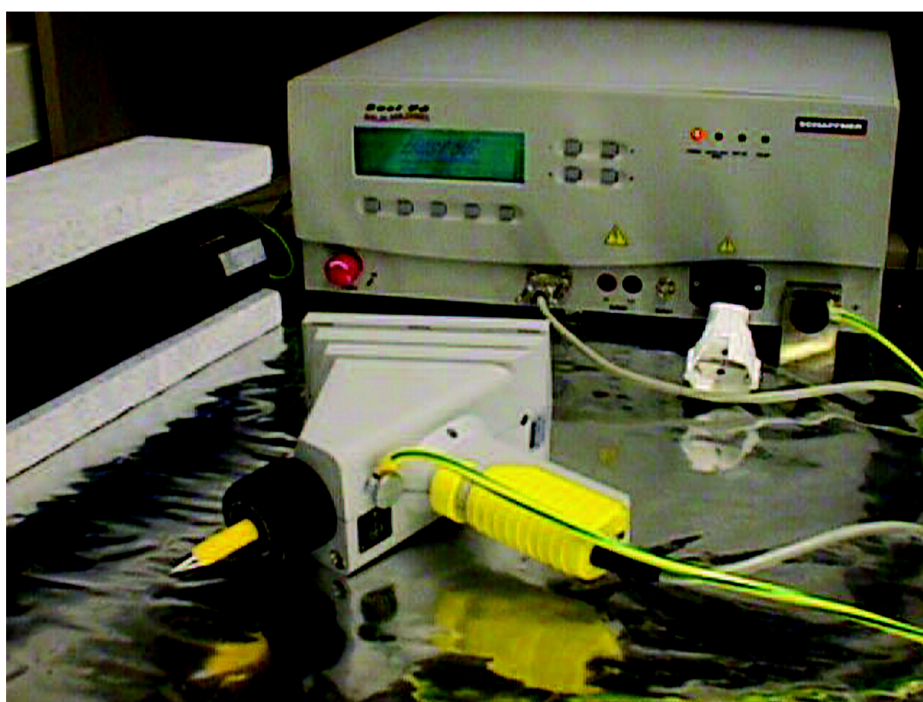
- Zkouška elektrostatickým výbojem (ESD) dle normy ČSN EN 61 000-4-2, parametry zkoušky pak jsou pro kontaktní výboj $\pm 4\text{kV}$ a pro vzduchový výboj $\pm 8\text{kV}$. Zkoušené zařízení pak vyhovuje funkčnímu kritériu B.[6]
- Zkoušky uměle vytvořeným vf rušivým elektromagnetickým polem dle normy ČSN EN 61 000-4-3, parametry zkoušky jsou: Kmitočtové pásmo 80 – 1000 MHz, Intenzita pole 10V/m, Amplitudová modulace 80% (při sinusové vlně 1kHz). Zařízení pak vyhovuje funkčnímu kritériu A.[7]
- Zkouška skupinami rychlých přechodových jevů (FTB) dle normy ČSN EN 61 00-4-4, parametry zkoušky jsou: Napětí $\pm 2\text{kV}$ přímá vazba do vstupních a výstupních svorek DC napájení, Napětí $\pm 1\text{kV}$ přímá vazba do vstupních a výstupních svorek signálů + CLAMP, Počet pulsů 7, Perioda skupiny 300ms, Opakovací kmitočet 5kHz. Zařízení pak vyhovuje funkčnímu kritériu B[8]
- Zkouška rázovým impulzem napětí nebo proudu (VCS) dle normy ČSN EN 61 000-4-5, parametry zkoušky pak jsou Zkušební napětí, $\pm 1\text{kV}$ - přímá vazba do vstupních a výstupních svorek DC napájení (vodič proti vodiči i vodič proti zemi u všech přístrojů včetně sond, $\pm 1\text{kV}$ – přímá vazba do vstupních a výstupních svorek signálů (vodič proti zemi u všech přístrojů s varistory mimo sond), $\pm 2\text{kV}$ – přímá vazba do vstupních a výstupních svorek signálů (vodič proti zemi u všech sond), Rozvodná síť nízkého napětí – mezi vodiči 2 Ω , vodič proti zemi 12 Ω , mezi ostatními vedeními a zemí 42 Ω . Zařízení pak vyhovuje funkčnímu kritériu B.[9]
- Zkoušky uměle vytvořeným vf rušivým signálem přicházejícím po výkonových i signálových cestách dle normy ČSN EN 61 000-4-6. Parametry zkoušky jsou: Kmitočtové pásmo 0,15 – 80 Mhz, Zkušební napětí 10Vef, Amplitudová modulace 80% (při sinusové vlně 1kHz). Zařízení pak vyhovuje funkčnímu kritériu A.[10]

4.3.1 Zkušební přístroj BEST-EMC (Shaffner) [12]

Tato část semestrální práce se věnuje popisu simulátoru BEST-EMC.

Simulátor BEST-EMC viz. *Obr. 7*, je síťový simulátor rušení, který je řízen mikroprocesorem. Jedná se o velmi výhodný set, jelikož zahrnuje i sondu pro elektrostatický výboj ESD. Je konstruován tak aby mohl být použit např. na laboratorním stole nebo v podobném prostředí. Obsluha zařízení je díky integrovanému displeji, který zobrazuje např. aktuálně nastavené parametry, status probíhajícího testu a

status celkového systému. Přístroj samozřejmě umožňuje i volbu jazyka. Výhodné také je, že zkušební parametry pro kmenové normy jsou před-programovány a lze je jednoduše vyvolat pouhým stisknutím tlačítka. Další uživatelské parametry mohou být do přístroje uloženy a poté používány stejným způsobem jako parametry pro kmenové normy. V případě neužívání mohou být tyto parametry opět smazány. Testy na tomto simulátoru mohou být také ovládány a kontrolovány skrz PC díky softwaru, který je k danému přístroji dodáván a je kompatibilní s operačními systémy Windows. Lze si tak vytvořit vlastní zkušební sekvence, které si uživatel může uložit a užívat je tak pro další měření. Tento systém je dokonce navržen tak, že může být rozšířen na testování zařízení pro trojfázovou soustavu. Simulátor navíc dokáže generovat testovací report v anglickém, francouzském, německém a španělském jazyce. Součástí přístroje jsou i základní normy týkající se EMC a návod jak nejjednodušeji dosáhnout certifikace CE v tomto oboru.



Obr. 7: Simulátor rušení BEST-EMC (Schaffner) se sondu pro elektrostatický výboj (ESD)

Použití:

Testy přístroje BEST-EMC musí být prováděny podle příslušných norem EMC s ohledem na typ testovaného zařízení. Tímto přístrojem lze provádět následující zkoušky odolnosti:

- ČSN EN 61000-4-2 – elektrostatický výboj (ESD),
- ČSN EN 61000-4-4 – rychlé elektrické přechodové jevy (FTB)
- ČSN EN 61000-4-6 – zkouška rázovým impulzem proudu nebo napětí (VCS)

Technické parametry přístroje:

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

- Pokles napětí 40%, 70%,
- Trvání poklesu 10ms – 5s.

Odolnost proti rychlým přechodovým jevům/skupině impulsů (FTB) ČSN EN 61000-4-4:

- Výstupní napětí 200 – 4400 V,
- Kladná nebo záporná napětí,
- Frekvence impulsů 1-100kHz,
- Perioda přechodových jevů 100ms – 99s,
- Připojení k libovolné kombinaci živého, nulového a zemního vodiče.

Odolnost proti rázovému impulzu napětí nebo proudu (VCS) ČSN EN 61000-4-5:

- Výstupní napětí 200 – 4400V,
- Impedance 2/12Ω,
- Kladná nebo záporná napětí,
- Opakování pulsu minimálně 10s, maximálně 600s

Odolnost proti elektrostatickému výboji (ESD) ČSN EN 61000-4-2:

- Použití sondy ESD pro kontaktní i vzduchový výboj,
- Vybíjecí napětí 16.5kV (vzduch), 9kV(kontakt),
- Kondenzátor 150pF pro uložení náboje,
- Vybíjecí odpor 330Ω,
- Kladná i záporná polarita
- Doba nárůstu pulzu 0.7 – 1ns.

4.3.2 Zkoušky prováděné přístrojem BEST EMC, ESD (Shaffner)

Elektrostatický výboj (ESD) – zkouška odolnosti (ČSN 61000-4-2) [1],[6]

Zkouška ESD zahrnuje zařízení, která se mohou dostat do vlivů výboje statické elektřiny. Tyto výboje představují nebezpečné rušivé signály, které se objevují obecně tam, kde jsou vhodné podmínky pro jejich vznik. Jedná se například o nízkou relativní vlhkost, použití podlahových krytin s nízkou vodivostí, oblečení ze syntetických látek atd. Při této zkoušce EMS 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. 2**. Metoda kontaktního výboje se používá častěji, ovšem tam kde je zkoumaný objekt uzavřen například

v plastovém pouzdře nebo z nějakých jiných důvodů nelze použít kontaktní výboj, musí být použit výboj vzduchový.

Tab. 2: Zkušební úrovně pro elektrostatický výboj (ESD)

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 pro specifické zařízení			

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 zkoušeného zařízení.

Zkušební generátor a jeho vlastnosti:

- Generátor ESD obsahují nabíjecí kondenzátor 150pF a vybíjecí odpor 330Ω,
- Vybíjecí 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,
- Použité zkušební úrovně,
- Počet výbojů u každého místa,
- Určit zda se budou provádět zkoušky po instalaci zařízení do místa jeho určení.

Přímé působení výbojů na zkoušené zařízení:

Toto působení musí být prováděno jen do těch míst a povrchů, která jsou přístupná obsluze pro běžné používání. Zkušební napětí musí být zvyšováno od nejmenší hodnoty až do vybrané zkušební úrovně. Ta ovšem nesmí překročit hodnotu uvedenou ve specifikaci pro dané zařízení. Na vybraných místech musí být provedeno nejméně deset jednotlivých výbojů. Doba mezi těmito výboji by měla být alespoň 1s. Generátor

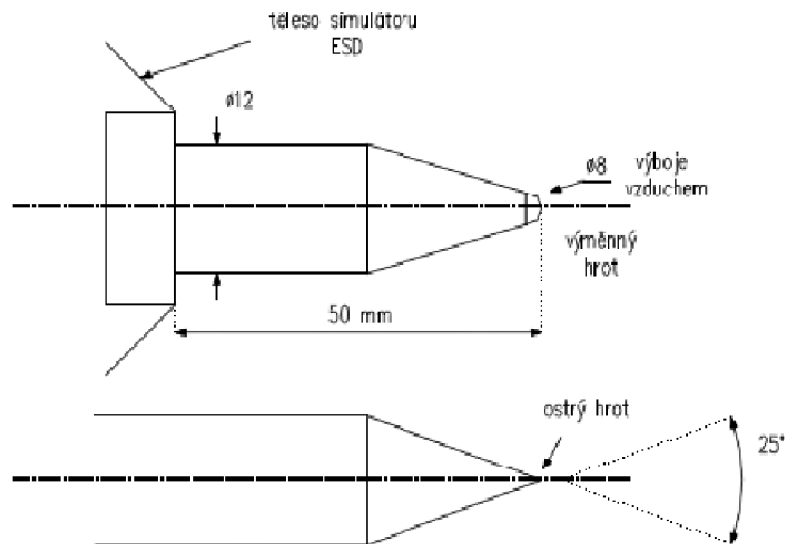
elektrostatického výboje musí být držen kolmo k povrchu prováděného výboje. Dodržení těchto zásad zlepšuje reprodukovatelnost výsledků.

Nepřímé působení výboje:

Toto působení simuluje výboje do zařízení, které leží v blízkosti zkoušeného zařízení. Provádí se výboji do vazební desky v režimu kontaktního výboje. *Vodorovná vazební deska:* - Provádí se minimálně deset výbojů do vodorovné vazební desky v místech na každé straně zkoušeného zařízení, přičemž generátor elektrostatického výboje musí být umístěn 0.1m od zkoušeného zařízení s vybíjecí elektrodou, která se dotýká vazební desky.

Svislá vazební deska: - Provádí se minimálně deset výbojů do středu jedné svislé hrany vazební desky. Vazební deska o rozměrech 0.5 x 0.5m. musí být umístěna rovnoběžně ve vzdálenosti 0.1 m od zkoušeného zařízení.

Rozměry a tvary vybíjecích hrotů pro kontaktní a vzduchový výboj jsou na **Obr. 8**.



Obr. 8: Tvary vybíjecího hrotu generátoru

Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny impulzů (ČSN 61000-4-4) [1],[8]

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 přechodovými jevy (odskočení kontaktů relé atd.) Norma zavádí tzv. zkušební úrovně, které jsou použitelné na napájecí, zemní, ovládací vstupy/výstupy. Zkušební úrovně pro zkoušku rychlými přechodovými jevy jsou uvedeny v **Tab. 3**.

Tab. 3: Zkušební úrovně podle normy ČSN EN 61000-4-4

Zkušební napětí naprázdno ($\pm 10\%$) a opakovací kmitočet impulsů ($\pm 20\%$)				
Úroveň	Vstup: napájení, ochranná zem (PE)		Vstup: I/O (vstupní a výstupní signály, data, ovládání)	
	Napětí (vrcholová hodnota)	Opakovací kmitočet	Napětí (vrcholová hodnota)	Opakovací kmitočet
	[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				

Zkušební generátor a jeho parametry:

- Výstupní napětí naprázdno - 0.25kV až 4kV
- Dynamická impedance - $50 \Omega \pm 20\%$
- Polarita - záporná/kladná
- 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.

Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí (ČSN 61000-4-11) [1],[11]

Poklesy napětí a krátká přerušení nejčastěji vznikají poruchami v síti. Jde zejména zkratky 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 minuta.

Pomalé změny napětí: - postupná změna na pájecího 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 zkušebního 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. 4** a **Tab. 5**.

Tab. 4: Zkušební úrovně poklesů a krátkých přerušení změn napětí

Zkušební úroveň U_t [%]	Pokles napětí U_t [%]	Doba trvání [počet period]
0	100	0.5 ¹
40	60	1
70	30	5
		10
		25
		50
1 Pro 0.5 periody musí být zkouška provedena jak v kladné tak i záporné periodě U_t je jmenovité napětí zkoušeného zařízení		

Tab. 5: Zkušební úrovně pomalých změn napětí

Zkušební úroveň $\% U_t$	Doba klesání napětí	Doba redukovaného napětí	Doba stoupaní 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 %

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 náhle změny mezi 1 μ s a 5 μ s.
- Fázový posuv – 0°el. až 360° el.
- Výstupní impedance – rezistivní.
- Kmitočet zkušební napětí - ± 2 %.

Provedení zkoušky:

Doporučuje se, 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;

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:

- 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 chod zkoušeného zařízení.

5 REALIZACE ZKOUŠEK EMC TLAKOMĚRNÉ TECHNIKY A SESTAVENÍ ZKUŠEBNÍHO PROTOKOLU

Za zkoušená zařízení byly po dohodě s firmou BD SENSORS vybrány tři její produkty. Jedná se o diferenční snímač tlaku DMD 331 a dva absolutní snímače tlaku typu DMP 331. Veškerá měření elektromagnetické kompatibility byla prováděna za dohledu mého konzultanta a vedoucího elektromagnetické laboratoře pana Pavla Vaňka ve vlastní laboratoři firmy BD SENSORS (viz. *Obr. 9*).



Obr. 9: Laboratoř elektromagnetické kompatibility ve firmě BD SENSORS

5.1 Technické parametry zkoušených zařízení

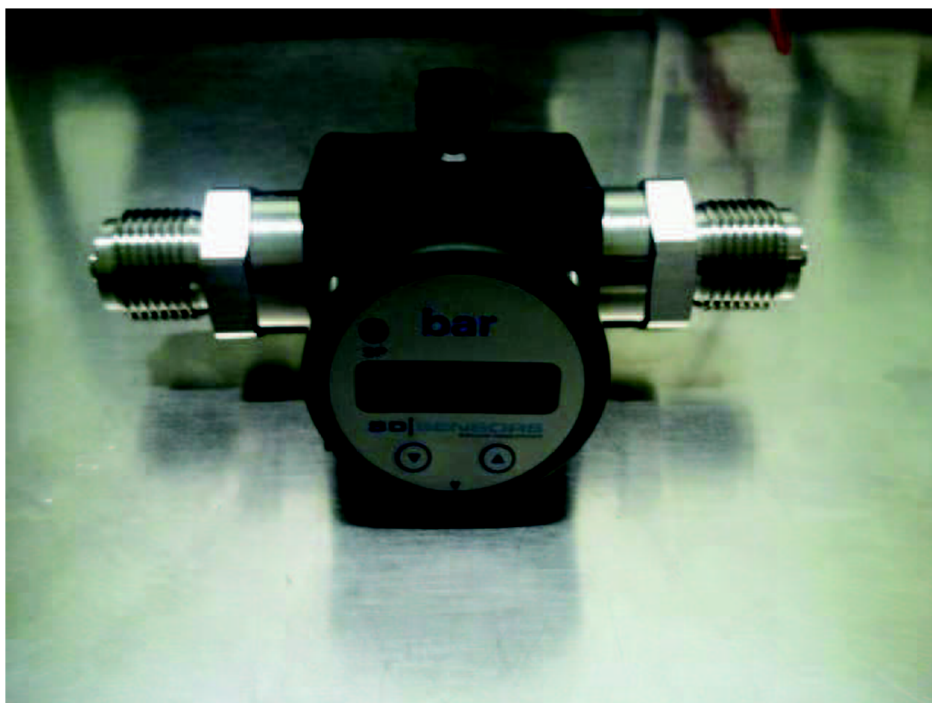
Diferenční snímač tlaku DMD 331:

DMD 331 (*Obr. 10*) je diferenční snímač tlaku pro průmyslové aplikace. Jeho základem je piezoresistivní senzor z nerezové oceli. Kompaktní konstrukce snímače

DMD 331 umožňuje jeho využití i v zařízeních a stojích s omezeným prostorem. Snímač tlaku DMD 331 převádí rozdíl tlaku mezi pozitivním a negativním vstupem na analogový výstupní signál. Doporučeným měřicím médiem pro tento snímač je voda.

Technické parametry snímače DMD 331:

- Rozsah tlaku: od 0...20 mbar do 0...16 bar
- Výstupní signály: 2vodič: 4...20 mA, 3vodič: 0...10 V
- Napájení: 12...36 V
- Přesnost: dle IEC 60770 $\leq \pm 0,5 \% \text{ FSO}$
- Doba odezvy: $< 5 \text{ ms}$
- Elektromagnetická slučitelnost: vyzařování a odolnost dle normy EN 61326



Obr. 10: Diferenční snímač tlaku DMD 331 firmy BD SENSORS

Snímač tlaku DMP 331:

Snímač tlaku DMP 331 (*Obr. 11*) je univerzálně použitelný snímač tlaku prakticky ve všech oblastech průmyslu, pokud je měřené médium slučitelné s nerezovou ocelí 1.4404, respektive s nerezovou ocelí 1.4435. Modulární konstrukce tohoto přístroje umožňuje kombinovat nerezové senzory a elektronické moduly s rozmanitým elektrickým a mechanickým připojením. Díky tomu existuje široká škála variant, které splňují téměř všechny požadavky vznikající při průmyslových aplikacích. Hlavní oblastí použití tohoto přístroje je stavba průmyslových strojů, technika životního prostředí (voda, odpadní voda, recyklace) a energetický průmysl.

Technické parametry snímače DMP 331:

- Rozsah: od 0...100 mbar do 0...40 bar
- Výstupní signály: 2vodič: 4...20 mA, 3vodič: 0...20 mA / 0...10V
- Napájení: 12...36 V
- Přesnost: dle IEC pro jmenovitý tlak $< 0,40 \text{ bar} \leq \pm 0,5 \% \text{ FSO}$, pro jmenovitý tlak $\geq 0,40 \text{ bar}$ 0,35 % FSO
- Doba odezvy: 2vodič: $\leq 10 \text{ ms}$, 3vodič: $\leq 3 \text{ ms}$
- Elektromagnetická slučitelnost: vyzařování (EMI) a odolnost (EMS) dle normy EN 61326



Obr. 11: Snímač tlaku DMP 331 firmy BD SENSORS

5.2 Princip měření pro jednotlivá zkoušená zařízení

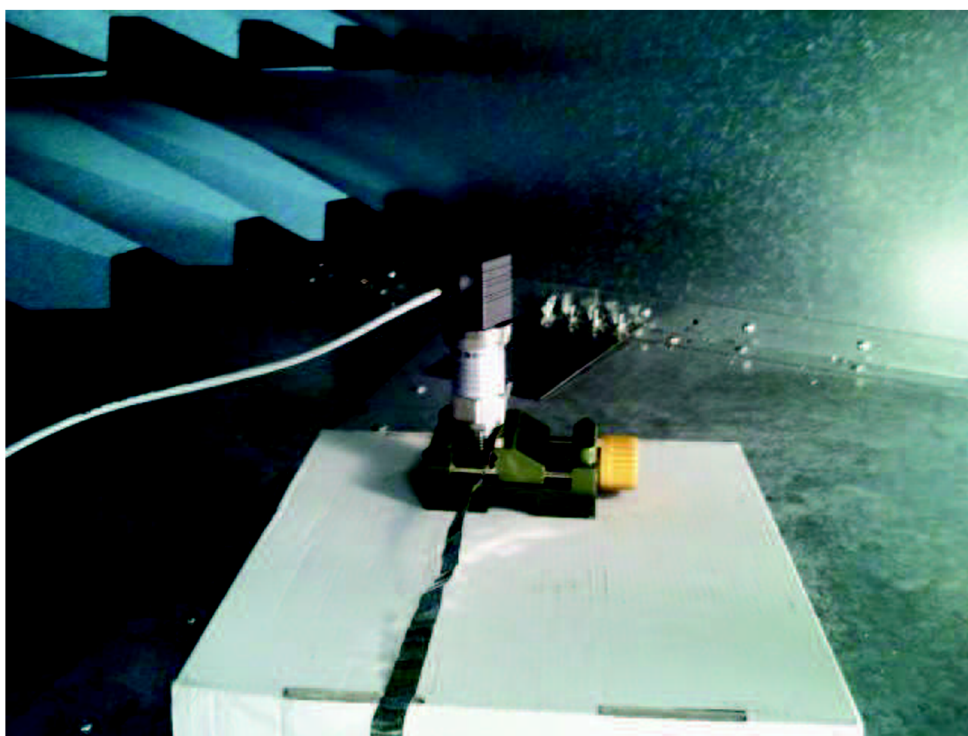
Pro diferenční snímač DMD 331 byla výsledná chyba [% FSO] (chyba měřícího rozsahu) počítána jako rozdíl aktuální hodnoty zobrazované na displeji snímače [bar] od referenční hodnoty, která byla z displeje snímače odečtena před jednotlivými zkouškami. Následně vydělený měřícím rozsahem snímače a vynásobena 100%. Vyhodnocení funkčního kritéria jednotlivých měření pak probíhalo na základě toho, jestli naměřená chyba pro jednotlivé zkoušky EMC spadala do chybového pásma zkoušeného snímače (viz. Technické parametry zkoušených zařízení).

Pro snímače DMP 331 byla výsledná chyba [% FSO] (chyba měřicího rozsahu) počítána jako rozdíl výstupního proudu snímače po testu od referenční hodnoty výstupního proudu získané před testem zkoušeného zařízení. Následně stejně jako u diferenčního snímače DMD 331 vydělena měřicím rozsahem snímače a vynásobena 100%. Vyhodnocení funkčního kritéria jednotlivých měření probíhala stejně jako u diferenčního snímače DMD 331. Chybu E [% FSO] vypočítáme podle následujícího vzorce:

$$E = \frac{\text{Naměřená hodnota} - \text{referenční hodnota}}{\text{měřicí rozsah přístroje}} \times 100$$

5.3 Zkouška odolnosti Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole

Zkoušená zařízení byla umístěná ve stínící komoře značky SCHAFFNER ve své montážní poloze viz *Obr. 12* (Senzorem dolů).



Obr. 12: Umístění snímače ve stínící komoře

Provedení zkoušky pro diferenční snímač tlaku DMD 331:

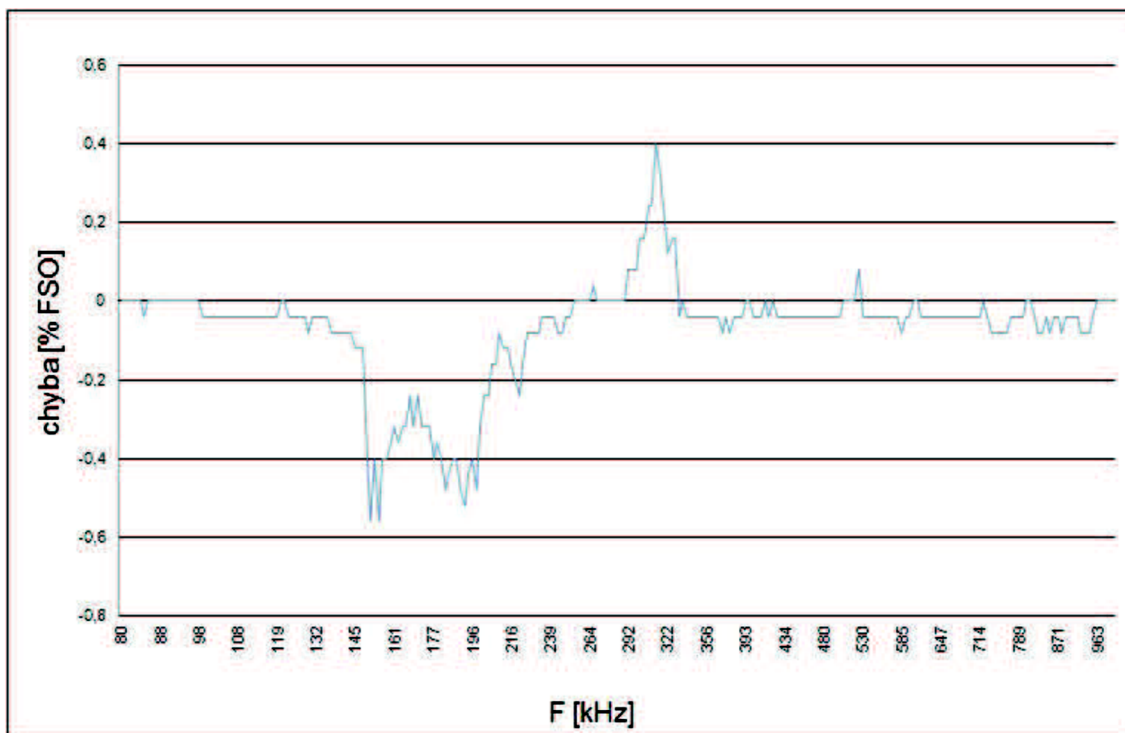
- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-3
- Zkoušené zařízení: Diferenční snímač tlaku DMD 331 firmy BD SENSORS

- Umístění vzorku: V stínící komoře značky SCHAFNER ve své montážní poloze
- Napájecí napětí: 24 VDC
- Kmitočtové pásmo: 80 – 1000 MHz
- Intenzita pole: 10 V/m
- Amplitudová modulace: 80 % (při sinusové vlně 1 KHz)
- Délka trvání zkoušky: 40 minut
- Podmínky zkoušky: Teplota: 22°C , Relativní vlhkost: 40%

Použité měřicí přístroje:

- Generátor signálu IFR 2023 SN.: 112282/447
- RF wattmetr IFR 6960B SN.: 696001/015
- RF snímač výkonu IFR 69142 SN.: 419719/006
- Výkonový zesilovač SHAFFNER SN.: VER 8-01
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tabulka naměřených dat pro tuto zkoušku odolnosti je z důvodu velkého rozsahu připojena v příloze. Naměřené hodnoty z této zkoušky jsou na ***Obr. 13***.



Obr. 13: Zkouška odolnosti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem pro snímač DMD 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-3

Vyhodnocení zkoušky:

Zkoušené zařízení prokazovalo během i po skončení zkoušky normální činnost. Naměřená chyba v % FSO spadá do chybového pásma snímače DMD $331 \pm 0,5 \%$. Diferenční snímač tlaku DMD 331 splňuje pro zkoušku odolnosti proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli funkční kritérium A v rozsahu zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se vztahují pouze ke zkoušenému zařízení.

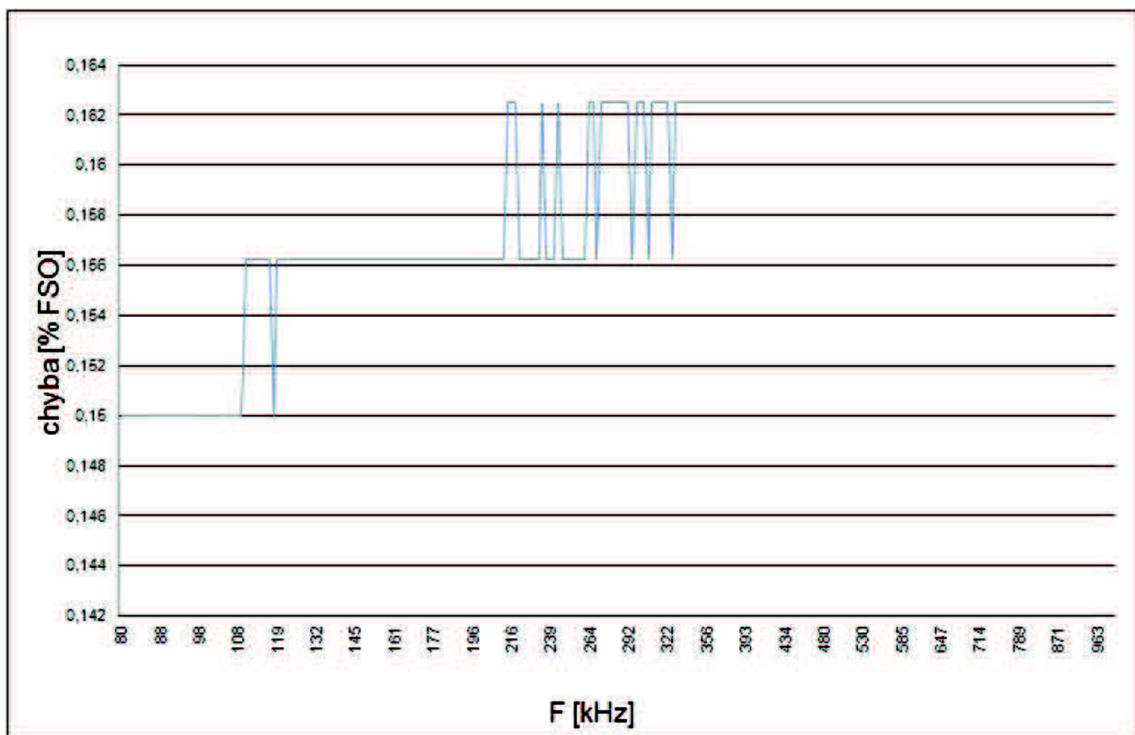
Provedení zkoušky pro snímače tlaku DMP 331:

- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-3
- Zkoušené zařízení: Snímače tlaku DMD 331 firmy BD SENSORS
- Umístění vzorku: V stínící komoře značky SCHAFNER ve své montážní poloze
- Napájecí napětí: 24 VDC
- Kmitočtové pásmo: 80 – 1000 MHz
- Intenzita pole: 10 V/m
- Amplitudová modulace: 80 % (při sinusové vlně 1 KHz)
- Délka trvání zkoušky: 80 minut
- Podmínky zkoušky: Teplota: 24.6°C , Relativní vlhkost: 51%

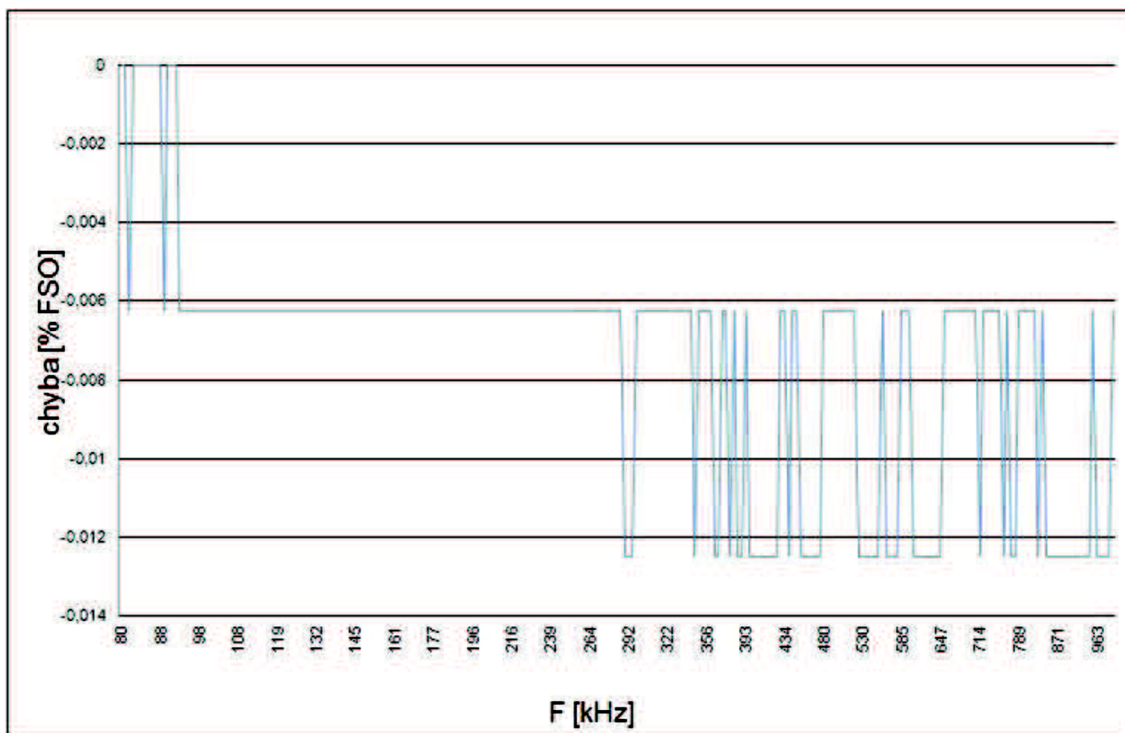
Použité měřicí přístroje:

- Generátor signálu IFR 2023 SN.: 112282/447
- RF wattmetr IFR 6960B SN.: 696001/015
- RF snímač výkonu IFR 69142 SN.: 419719/006
- Výkonový zesilovač SHAFFNER SN.: VER 8-01
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tabulka naměřených dat pro tuto zkoušku odolnosti je z důvodu velkého rozsahu připojena v příloze. Naměřené hodnoty z této zkoušky jsou na **Obr. 14 a 15**.



Obr. 14: Zkouška odolnosti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem pro snímač DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-3



Obr. 15: Zkouška odolnosti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem pro snímač DMP 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-3

Vyhodnocení zkoušky:

Zkoušená zařízení vykazovala během zkoušky normální činnost. Z grafů je patrné, že maximální naměřená chyba v % FSO spadá do chybového pásma zkoušeného zařízení $\pm 0,35$ % FSO. Snímače tlaku DMP 331 splňují pro zkoušku odolnosti proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli funkční kritérium A v rozsahu zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se vztahují pouze ke zkoušenému zařízení.

5.4 Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli

Provedení zkoušky pro diferenční snímač tlaku DMD 331:

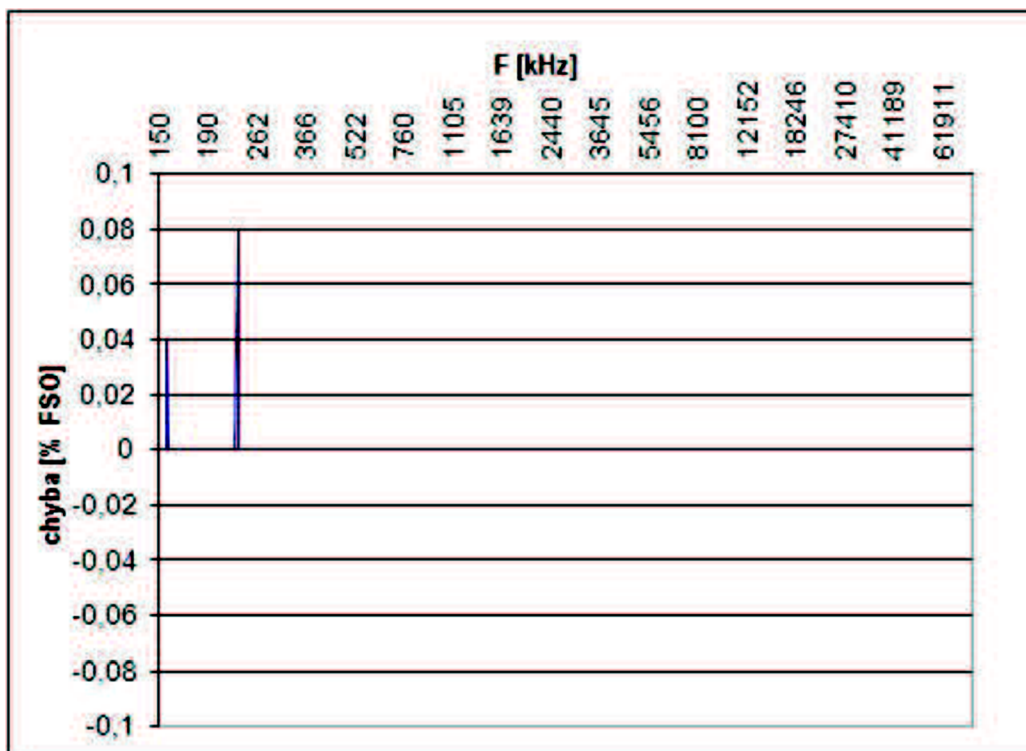
- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-6
- Zkoušené zařízení: Diferenční snímač tlaku DMD 331 firmy BD SENSORS
- Napájecí napětí: 24 VDC
- Kmitočtové pásmo: 0,15 – 80 MHz
- Zkušební úroveň napětí: 3 V
- Amplitudová modulace: 80 % (při sinusové vlně 1 KHz)
- Krok: 1 %

- Podmínky zkoušky: Teplota: 22.1 °C, Relativní vlhkost 41 %

Použité měřicí přístroje:

- RF generátor NSG 2070 SN.: 149
- Atenuátor SN.: 149
- CDN 801-6 M3 SN.: 13388
- CDN 801-6 S4 SN.: 12326
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tabulka naměřených dat pro tuto zkoušku odolnosti je z důvodu velkého rozsahu připojena v příloze. Naměřené hodnoty z této zkoušky jsou na **Obr. 16**.



Obr. 16: Zkouška odolnosti proti rušení šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčním polem snímače DMD 331 SN.: 0380575 dle normy ČSN EN 61000-4-6

Vyhodnocení zkoušky:

Zkoušené zařízení vykazovala během zkoušky i po ní normální činnost. Naměřená chyba spadala do chybového pásma přístroje $\pm 0,35$ % FSO. Snímače tlaku DMD 331 SN.: 0380575 splňuje pro zkoušku odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli funkční kritérium A v rozsahu naměřené zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se týkají jen zkoušeného zařízení.

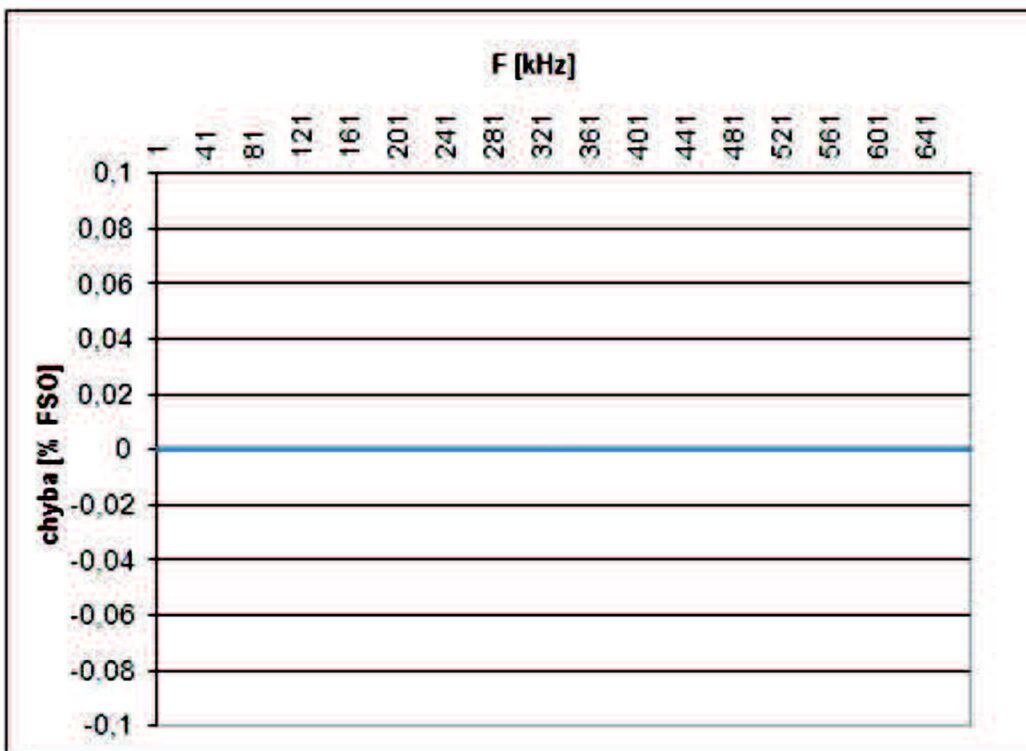
Provedení zkoušky pro snímače tlaku DMP 331:

- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-6
- Zkoušené zařízení: Snímače tlaku DMP 331 firmy BD SENSORS
- Napájecí napětí: 24 VDC
- Kmitočtové pásmo: 0,15 – 80 MHz
- Zkušební úroveň napětí: 3 V
- Amplitudová modulace: 80 % (při sinusové vlně 1 KHz)
- Krok: 1 %
- Podmínky zkoušky: Teplota: 24.2 °C, Relativní vlhkost: 53 %

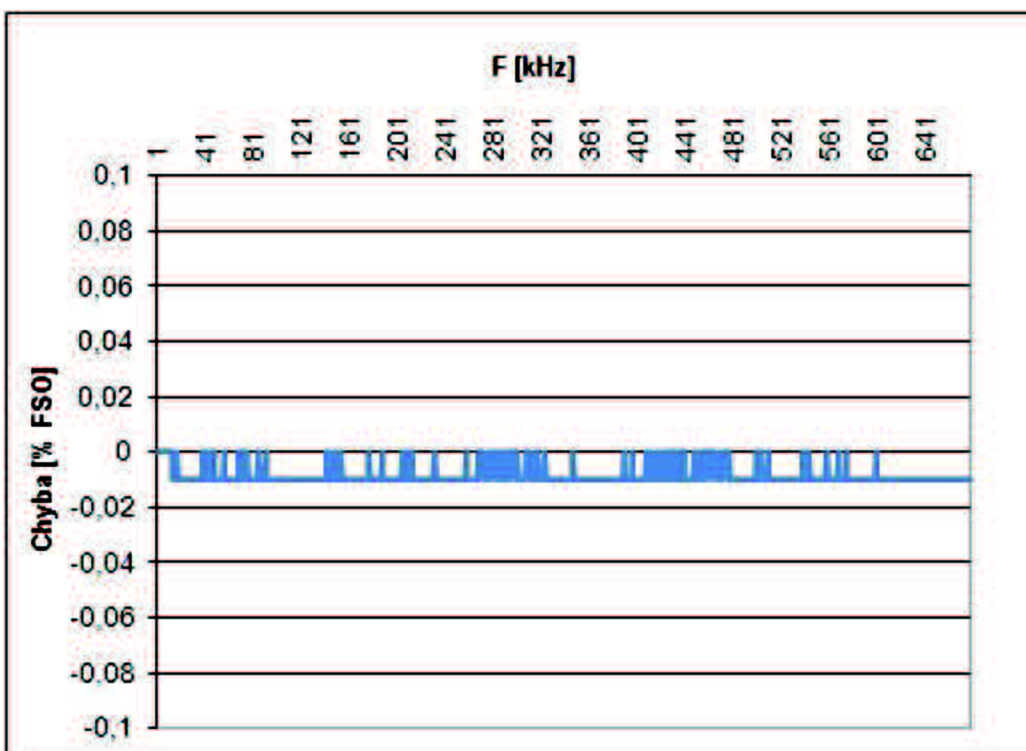
Použité měřicí přístroje:

- RF generátor NSG 2070 SN.: 149
- Atenuátor SN.: 149
- CDN 801-6 M3 SN.: 13388
- CDN 801-6 S4 SN.: 12326
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tabulky naměřených dat pro tuto zkoušku odolnosti jsou z důvodu velkého rozsahu připojeny v příloze. Naměřené hodnoty z této zkoušky jsou na ***Obr. 17 a 18***.



Obr. 17: Zkouška odolnosti proti rušení šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčním polem snímače DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-6



Obr. 18: Zkouška odolnosti proti rušení šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčním polem snímače DMP 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-6

Vyhodnocení zkoušky:

Zkoušená zařízení vykazovala během zkoušky i po ní normální činnost. Naměřená chyba spadala do chybového pásma přístroje $\pm 0,35$ % FSO. Oba snímače tlaku DMP 331 SN.: 1639263 a SN.: 1639264 splňují pro zkoušku odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli funkční kritérium A v rozsahu naměřené zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se týkají jen zkoušených zařízení.

5.5 Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým jevům / skupině impulzů

Provedení zkoušky pro diferenční snímač tlaku DMD 331:

- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-4
- Zkoušené zařízení: Diferenční snímač tlaku DMD 331 firmy BD SENSORS
- Napájecí napětí: 24 VDC
- Zkušební úroveň napětí: 1 kV
- Opakovací kmitočet: 5 kHz
- Počet pulzů: 75
- Perioda skupiny impulzů: 300 ms
- Doba trvání zkoušky: 30 minut
- Podmínky zkoušky: Teplota: 22 °C, Relativní vlhkost 40 %

Použité měřicí přístroje:

- BEST EMC SCHAFFNER SN.: 199837-013
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tab. 6: Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům / skupině impulzů snímače DMD 331 SN.: 0380575 dle normy ČSN EN 61000-4-4

DMD 331 SN.: 0380575				
Zkušební napětí U [kV]	Zapojení	P _{out} před testem [bar]	P _{out} po testu [bar]	Chyba [% FSO]
+1	Ub+	0,000	0,000	0,000
+1	Ub-	0,000	0,000	0,000
+1	PE	0,000	0,000	0,000
+1	Ub+,Ub-	0,000	0,000	0,000
+1	Ub+,Ub-,PE	0,000	0,000	0,000
-1	Ub+	0,000	0,000	0,000
-1	Ub-	0,000	0,000	0,000
-1	PE	0,000	0,000	0,000
-1	Ub+,Ub-	0,000	0,000	0,000
-1	Ub+,Ub-,PE	0,000	0,000	0,000

Vyhodnocení zkoušky:

Zkoušené zařízení vykazovalo během zkoušky i po ní normální činnost a naměřená chyba byla nulová, a tudíž spadala do chybového pásma snímače $\pm 0,5\%$ FSO. Snímač tlaku DMD 331 SN.: 0380575 splňuje pro zkoušku odolnosti proti rychlým přechodovým jevům / skupině impulzů funkční kritérium B v rozsahu zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se vztahují pouze ke zkoušenému zařízení.

Provedení zkoušky pro snímače tlaku DMP 331:

- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-4
- Zkoušené zařízení: Snímač tlaku DMP 331 firmy BD SENSORS
- Napájecí napětí: 24 VDC
- Zkušební úroveň napětí: 1 kV
- Opakovací kmitočet: 5 kHz
- Počet pulzů: 75
- Perioda skupiny impulzů: 300 ms
- Doba trvání zkoušky: 30 minut
- Podmínky zkoušky: Teplota: 25.5 °C, Relativní vlhkost 54 %

Použité měřicí přístroje:

- Simulátor rušení BEST EMC SCHAFFNER SN.: 199837-013
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tab. 7: Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům / skupině impulzů snímače DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-4

DMP 331 SN.: 1639263				
Zkušební napětí U [kV]	Zapojení	Výstupní proud před testem [mA]	Výstupní proud po testu [mA]	Chyba [% FSO]
+1	Ub ⁺	4,015	4,042	0,135
+1	Ub ⁻	4,042	4,037	-0,025
+1	PE	4,037	4,036	-0,005
+1	Ub ⁺ ,Ub ⁻	4,036	4,036	0,000
+1	Ub ⁺ ,Ub ⁻ ,PE	4,036	4,037	0,005
-1	Ub ⁺	4,037	4,037	0,000
-1	Ub ⁻	4,037	4,037	0,000
-1	PE	4,037	4,038	0,005
-1	Ub ⁺ ,Ub ⁻	4,038	4,037	-0,005
-1	Ub ⁺ ,Ub ⁻ ,PE	4,037	4,037	0,000

Tab. 8: Zkouška odolnosti proti rychlým přechodovým dějům / skupině impulzů snímače DMP 331 SN.: 1639264 dle normy 61000-4-4

DMP 331 SN.: 1639264				
Zkušební napětí U [kV]	Zapojení	I _{out} před testem [mA]	I _{out} po testu [mA]	Chyba [% FSO]
+1	Ub ⁺	4,012	4,012	0,000
+1	Ub ⁻	4,012	4,012	0,000
+1	PE	4,012	4,013	0,005
+1	Ub ⁺ ,Ub ⁻	4,013	4,015	0,010
+1	Ub ⁺ ,Ub ⁻ ,PE	4,015	4,013	-0,010
-1	Ub ⁺	4,015	4,012	-0,015
-1	Ub ⁻	4,012	4,012	0,000
-1	PE	4,012	4,012	0,000
-1	Ub ⁺ ,Ub ⁻	4,012	4,012	0,000
-1	Ub ⁺ ,Ub ⁻ ,PE	4,012	4,012	0,000

Vyhodnocení zkoušky pro snímače DMP 331:

Oba snímače DMP 331 vykazovali během zkoušky normální činnost. Naměřená chyba spadala do chybového pásma snímačů $\pm 0,35$ % FSO. Oba snímače tlaku DMP 331 SN.: 1639263 a SN.: 1639264 splňují pro zkoušku odolnosti proti rychlým přechodovým dějům funkční kritérium B v rozsahu naměřené zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se týkají jen zkoušených zařízení.

5.6 Zkouška odolnosti proti rázovým impulsům

Provedení zkoušky pro diferenční snímač tlaku DMD 331:

- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-5
- Zkoušené zařízení: Diferenční snímač tlaku DMD 331 firmy BD SENSORS
- Napájecí napětí: 24 VDC
- Zkušební úroveň napětí: ± 1 kV
- Počet pulzů: 10
- Čas zotavení: 10 s
- Doba trvání zkoušky: 10 minut
- Podmínky zkoušky: Teplota: 22 °C, Relativní vlhkost 42 %

Použité měřicí přístroje:

- BEST EMC SCHAFFNER SN.: 199837-013
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tab. 9: Zkouška odolnosti proti rázovým impulsům diferenčního snímače tlaku DMD 331 dle normy ČSN EN 61000-4-5

DMD 331 SN.: 0380575				
Zkušební napětí U [kV]	Zapojení	P _{out} před testem [bar]	P _{out} po testu [bar]	Chyba [% FSO]
+1	Ub ⁺ - Ub ⁻	0,000	0,000	0,000
-1	Ub ⁺ - Ub ⁻	0,000	0,000	0,000
+1	Ub ⁺ - PE	0,000	0,000	0,000
+1	Ub ⁻ - PE	0,000	0,000	0,000
-1	Ub ⁺ - PE	0,000	0,000	0,000
-1	Ub ⁻ - PE	0,000	0,000	0,000

Vyhodnocení zkoušky:

Zkoušené zařízení vykazovalo v průběhu zkoušky normální činnost. Z tabulky je vidět, že naměřená chyba v % FSO byla po celou dobu zkoušky nulová a tedy spadá do povoleného chybového pásma přístroje $\pm 0,5$ % FSO. Zkoušené zařízení tedy splňuje pro danou zkoušku odolnosti proti rázovým impulsům funkční kritérium B v rozsahu měřené zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se týkají jen zkoušeného zařízení.

Provedení zkoušky pro snímač tlaku DMP 331:

- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-5
- Zkoušené zařízení: Diferenční snímač tlaku DMD 331 firmy BD SENSORS
- Napájecí napětí: 24 VDC
- Zkušební úroveň napětí: ± 1 kV
- Počet pulzů: 10
- Čas zotavení: 10 s
- Doba trvání zkoušky: 10 minut
- Podmínky zkoušky: Teplota: 25.5 °C, Relativní vlhkost 55 %

Použité měřicí přístroje:

- BEST EMC SCHAFFNER SN.: 199837-013
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tab. 10: Zkouška odolnosti proti rázovým impulzům snímače DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-5

DMP 331 SN.: 1639263				
Zkušební napětí U [kV]	Zapojení	I _{out} před testem [mA]	I _{out} po testu [mA]	Chyba [% FSO]
+1	Ub ⁺ - Ub ⁻	4,008	4,011	0,015
-1	Ub ⁺ - Ub ⁻	4,011	4,011	0,000
+1	Ub ⁺ - PE	4,011	4,012	0,005
+1	Ub ⁻ - PE	4,012	4,012	0,000
-1	Ub ⁺ - PE	4,012	4,012	0,000
-1	Ub ⁻ - PE	4,012	4,012	0,000

Tab. 11: Zkouška odolnosti proti rázovým impulsům snímače DMP 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-5

DMP 331 SN.: 1639264				
Zkušební napětí U [kV]	Zapojení	I _{out} před testem [mA]	I _{out} po testu [mA]	Chyba [% FSO]
+1	Ub ⁺ - Ub ⁻	3,989	3,987	-0,010
-1	Ub ⁺ - Ub ⁻	3,987	3,987	0,000
+1	Ub [?] - PE	3,987	3,987	0,000
+1	Ub ⁻ - PE	3,987	3,987	0,000
-1	Ub ⁺ - PE	3,987	3,987	0,000
-1	Ub ⁻ - PE	3,987	3,987	0,000

Vyhodnocení zkoušky:

Oba snímače tlaku DMP 331 vykazovaly během i po ukončení zkoušky normální činnost. Z naměřených výsledků v tabulce je vidět, že naměřená chyba v % FSO spadá do povoleného chybového pásma $\pm 0,35$ % FSO. Obě tato zkoušená zařízení tedy splňují pro danou zkoušku odolnosti proti rázovým impulsům funkční kritérium B v rozsahu měřené zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se týkají jen zkoušených zařízení.

5.7 Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji

Provedení zkoušky pro diferenční snímač tlaku DMD 331:

- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-2
- Zkoušené zařízení: Diferenční snímač tlaku DMD 331 firmy BD SENSORS
- Umístění vzorku: Na Stole
- Zkušební místa: Tělo přístroje, display, plastový kryt přístroje
- Metoda zkoušky: kontaktní výboj a vzduchový výboj
- Počet výbojů: 10
- Zkušební napětí: 4 kV pro kontaktní výboj a 8 kV pro vzduchový
- Polarita napětí: pozitivní i negativní
- Podmínky zkoušky: Teplota: 23.5 °C, Relativní vlhkost: 46 %

Použité měřicí přístroje:

- BEST EMC SCHAFFNER SN.: 199837-013
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tab. 12: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji pro diferenční snímač tlaku DMD 331 SN.: 0380575 dle normy ČSN EN 61000-4-2

DMD 331SN.: 0380575				
Typ zkoušky	Zkušební napětí U [kV]	P _{out} před testem [bar]	P _{out} po testu [bar]	Chyba [% FSO]
Kontaktní výboj	+4	0	0	0
	-4	0	0	0
Vzduchový výboj	+8	0	0	0
	-8	0	0	0

Vyhodnocení zkoušky pro snímače DMP 331:

Snímač DMD 331 vykazoval během zkoušky normální činnost. Naměřená chyba (0% FSO) spadala do chybového pásma snímače $\pm 1,5$ % FSO. Snímač tlaku DMD 331 splňuje pro zkoušku odolnosti proti elektrostatickému výboji funkční kritérium B v rozsahu měřené zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se týkají jen zkoušeného zařízení.

Provedení zkoušky pro snímač tlaku DMP 331:

- Prováděcí norma: ČSN EN 61000-4-2
- Zkoušené zařízení: Snímač tlaku DMP 331 firmy BD SENSORS
- Umístění vzorku: Na Stole
- Zkušební místa: Tělo přístroje, plastový kryt přístroje
- Metoda zkoušky: kontaktní výboj a vzduchový výboj
- Počet výbojů: 10
- Zkušební napětí: 4 kV pro kontaktní výboj a 8 kV pro vzduchový
- Polarita napětí: pozitivní i negativní
- Podmínky zkoušky: Teplota: 24,5 °C, Relativní vlhkost: 55 %

Použité měřicí přístroje:

- BEST EMC SCHAFFNER SN.: 199837-013
- Multimetr HP 34401A SN.: MY47002389
- Napájecí zdroj STATRON TYP 2229 SN.: 506007

Tab. 13: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji pro snímač tlaku DMP 331 SN.: 1639263 dle normy ČSN EN 61000-4-2

DMP 331SN.: 1639263				
Typ zkoušky	Zkušební napětí U [kV]	I_{out} před testem [mA]	I_{out} po testu [mA]	Chyba [% FSO]
Kontaktní výboj	+4	4,013	4,013	0,000
	-4	4,013	4,013	0,000
Vzduchový výboj	+8	4,013	4,013	0,000
	-8	4,013	4,013	0,000

Tab. 14: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji pro snímač tlaku DMP 331 SN.: 1639264 dle normy ČSN EN 61000-4-2

DMP 331SN.: 1639264				
Typ zkoušky	Zkušební napětí U [kV]	I_{out} před testem [mA]	I_{out} po testu [mA]	Chyba [% FSO]
Kontaktní výboj	+4	3,987	3,987	0,000
	-4	3,987	3,987	0,000
Vzduchový výboj	+8	3,987	3,987	0,000
	-8	3,987	3,987	0,000

Vyhodnocení zkoušky:

Oba snímače DMP 331 prokazovaly během zkoušky normální činnost. Jak je patrné z tabulek naměřená chyba v % FSO byla nulová pro oba dva snímače. Z naměřených výsledků tedy vyplývá, že daná zkoušená zařízení spadají do chybového pásma snímačů DMP 331 \pm 0,35 % FSO. Oba snímače tedy splňují pro zkoušku odolnosti proti elektrostatickému výboji ESD funkční kritérium B v rozsahu měřené zkoušky. Pozn.: Výsledky zkoušky se týkají jen zkoušených zařízení.

6 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Cílem této bakalářské práce bylo ověřit zkoušky elektromagnetické odolnosti na vybraných výrobcích tlakoměrné techniky firmy BD SENSORS. Jednalo se o diferenční snímač tlaku DMD 331 SN.: 0380575 a dva snímače tlaku DMP 331 SN.: 1639263 a DMP 331 SN.: 1639264. Zkoušky odolnosti byly provedeny ve vlastní laboratoři firmy BD SENSORS. Zkoušená zařízení byla podrobena zkouškám odolnosti proti vyzařovanému vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli dle normy ČSN EN 61000-4-3, zkoušce odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli dle normy ČSN EN 61000-4-6, rychlým přechodovým jevům / skupině impulzů dle normy ČSN EN 61000-4-4, rázovým impulzům dle normy ČSN EN 61000-4-5 a elektrostatickému výboji dle normy ČSN EN 61000-4-2.

Zkoušená zařízení byla testována dle platných norem. Ve všech výše uvedených zkouškách testovaná zařízení firmy BD SENSORS obstála. V průběhu zkoušek a i po jejich skončení nedošlo k zhoršení či ztrátě sledovaných primárních funkcí testovaných zařízení. Pro zkoušku odolnosti proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli dle normy ČSN EN 61000-4-3 a pro zkoušku odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli dle normy ČSN EN 61000-4-6 splňovala zkoušená zařízení funkční kritérium A. Pro zkoušky odolnosti proti rychlým přechodovým jevům / skupině impulzů dle normy ČSN EN 61000-4-4, rázovým impulzům dle normy ČSN EN 61000-4-5 a elektrostatickému výboji dle normy ČSN EN 61000-4-2 splňuje funkční kritérium B. Zkoušené výrobky firmy BD SENSORS lze z hlediska elektromagnetické odolnosti považovat za velmi odolné.

7 ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se zabýval problematikou elektromagnetické kompatibility a testování elektromagnetické odolnosti u výrobků tlakoměrné techniky firmy BD SENSORS. Cílem této práce bylo seznámit se se základními pojmy oboru EMC a postupy pro ověřování EMC.

První část práce se zabývá především problematikou základních pojmů a členěním oboru elektromagnetické kompatibility (EMC). Kde samotný obor EMC se dělí na EMC technických a biologických systémů.

Druhá část projektu pak popisuje základní legislativu v oblasti EMC. Tvorba norem v této oblasti vychází ze Směrnice č. 89/336/EEC. Mimo stručný obsah uvedené směrnice je součástí také přehled normalizačních orgánů zabývajících se problematikou elektromagnetické kompatibility, stejně jako přehled skupin norem pro obor EMC. Základní členění norem pro tento obor je na normy základní, všeobecné a předmětové normy

Třetí část této práce se zabývá zkušební sestavením postupu pro ověřování EMC tlakoměrné techniky ve firmě BD SENSORS. Popisuje především, které konkrétní normy firma pro své výrobky splňuje a jakých vyhodnocovacích kritérií tyto výrobky dosahují.

Poslední část práce zahrnuje vlastní měření zkoušek EMC tlakoměrné techniky, sestavení zkušebního protokolu a vlastní závěr a zhodnocení dosažených výsledků.

Přínosem této práce je seznámení se s oborem elektromagnetické kompatibility, především v oboru měřicí a zkušební techniky a ověření vlastností testovaných zařízení tlakoměrné techniky firmy BD SENSORS z hlediska EMC.

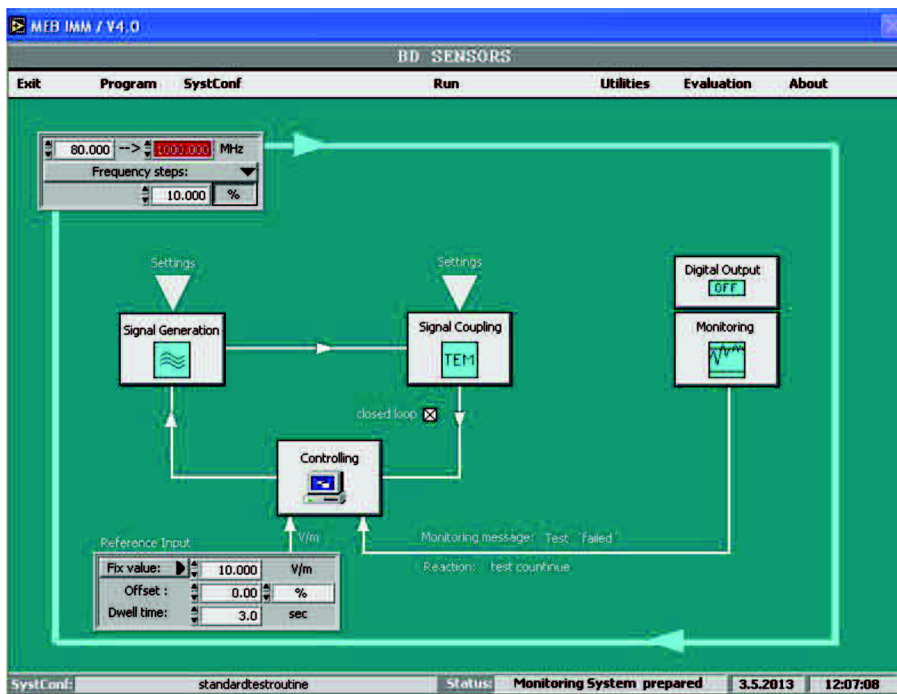
LITERATURA

- [1] SVAČINA, J.: *Elektromagnetická kompatibilita.: Analysis and Design*, Přednášky. Brno, Ústav UREL FEKT VUT, 2002.
- [2] SVOBODA, J.: *Základy elektromagnetické kompatibility*. Praha, Vydavatelství ČVUT, 1994.
- [3] VACULÍKOVÁ, P., VACULÍK, E., a kolektiv: *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů*. Praha, Grada Publishing 1998.
- [4] VONDRÁK, M. *Vybrané stati z elektromagnetické kompatibility*. Praha Vydavatelství ČVUT, 2006
- [5] IEC 60050(161). *Mezinárodní elektrotechnický slovník*, Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita.
- [6] ČSN EN 61000-4-2 : 2001. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-2: Zkušební a měřicí technika – Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti.
- [7] ČSN EN 61000-4-3 : 2006. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-3: Zkušební a měřicí technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – zkouška odolnosti.
- [8] ČSN EN 61000-4-4 : 2005. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-4: Zkušební a měřicí technika – Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – zkouška odolnosti.
- [9] ČSN EN 61000-4-5 : 2001. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Rázový impuls – zkouška odolnosti
- [10] ČSN EN 61000-4-6 : 1997. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli.
- [11] ČSN EN 61000-4-11 : 2004. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-11: Zkušební a měřicí technika – Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí – zkoušky odolnosti
- [12] Technická dokumentace přístroje BEST-EMC(Schaffner)

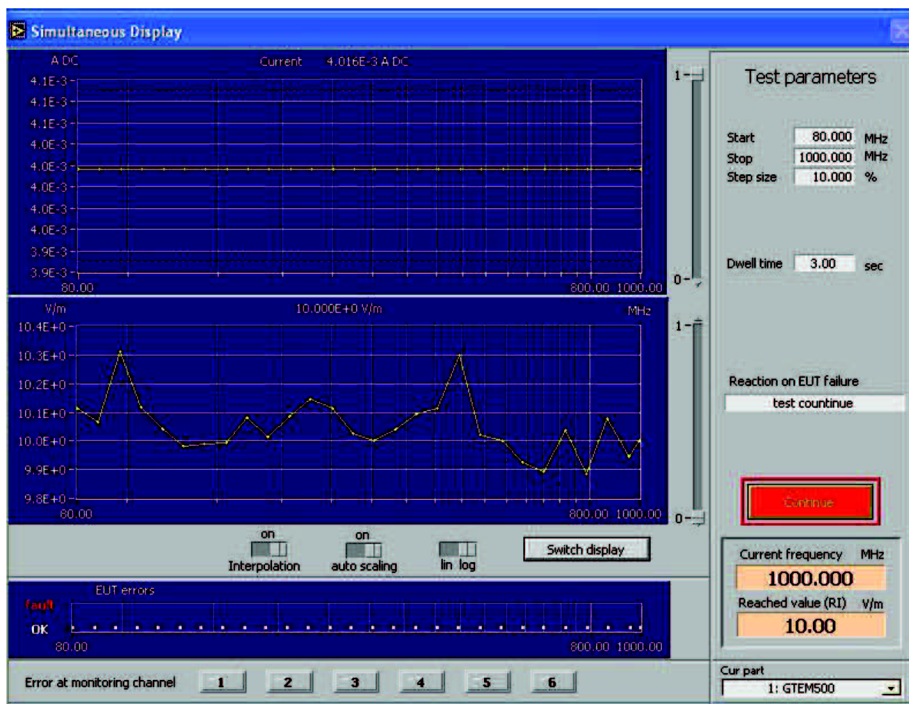
PŘÍLOHY



Obr. 19: Stíněná měřicí komora ve firmě BD SENSORS



Obr. 20: Blokové schéma zapojení pro měření zkoušky odolnosti vysokofrekvenční elektromagnetického pole



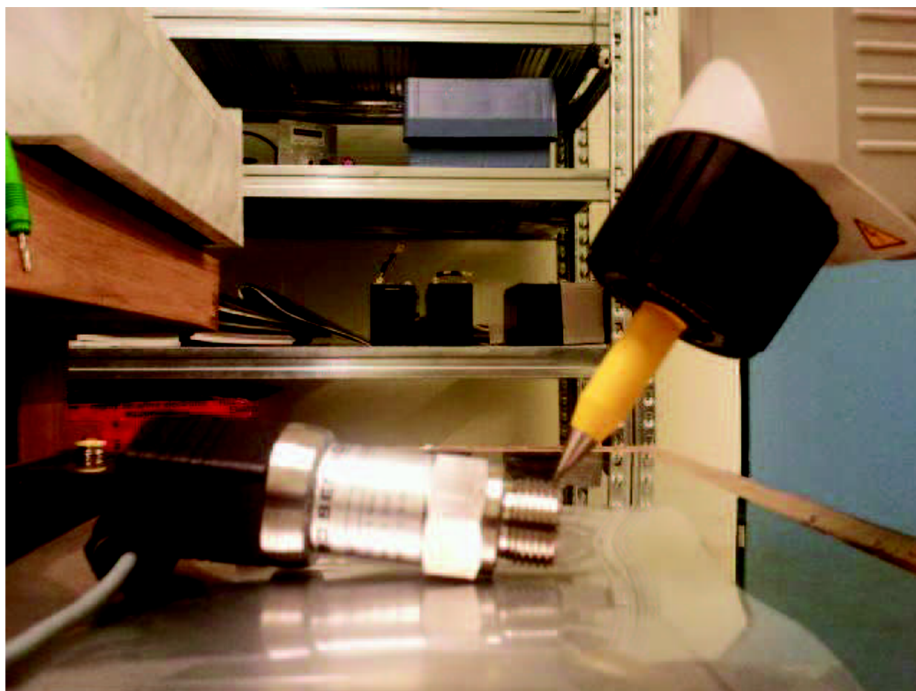
Obr. 21: Ukázka průběhu měření zkoušky odolnosti vysokofrekvenční elektromagnetického pole



Obr. 22: Ukázka nastavení parametrů na displeji simulátoru rušení BEST EMC SCHAFFNER pro zkoušku odolnosti proti rychlým elektrickým přechodovým jevům / skupině impulzů



Obr. 23: Průběh a nastavení parametrů pro zkoušku odolnosti proti rázovým impulzům na simulátoru rušení BEST EMC SCHAFNER



Obr. 24: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji na snímači DMP 331 (kontaktní výboj)



Obr. 25: Zkouška odolnosti proti elektrostatickému výboji na snímači DMP 331 (vzduchový výboj)

Další přílohy:

Tabulky naměřených a vypočtených hodnot pro zkoušky odolnosti proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli dle normy ČSN EN 61000-4-3 a zkoušce odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli dle normy ČSN EN 61000-4-6.

Obsah příloženého CD:

- Bakalarskaprace_Šimoník.pdf – elektronická verze bakalářské práce
- DMP_331_1639263_61000-4-3.xlsx – tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zkoušku odolnosti proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli dle normy ČSN EN 61000-4-3 pro snímač DMP 331 SN.: 1639263
- DMD_331_0380575_61000-4-3.xlsx – tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zkoušku odolnosti proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli dle normy ČSN EN 61000-4-3 pro snímač DMD 331 SN.: 0380575
- DMP_331_1639263_61000-4-6.xlsx – tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zkoušku odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli dle normy ČSN EN 61000-4-6 pro snímač DMP 331 SN.: 1639263
- DMP_331_1639264_61000-4-6.xlsx – tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zkoušku odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli dle normy ČSN EN 61000-4-6 pro

snímač DMP 331 SN.: 1639264

- DMD_331_0380575_61000-4-6.xlsx – tabulka naměřených a vypočtených hodnot pro zkoušku odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli dle normy ČSN EN 61000-4-6 pro snímač DMP 331 SN.: 0380575