



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Pracoviště pro testování elektromagnetické kompatibility

Bakalářská práce

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
Autor práce: **Aleš Jerie**
Vedoucí práce: Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechatronics, Informatics
and Interdisciplinary Studies ■

The workplace for electromagnetic compatibility tests

Bachelor thesis

Study programme: B2612 – Electrical Engineering and Informatics
Study branch: 2612R011 – Electronic Information and Control Systems
Author: **Aleš Jerie**
Supervisor: Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.





Zadání bakalářské práce

Pracoviště pro testování elektromagnetické kompatibility

Jméno a příjmení: **Aleš Jerie**
Osobní číslo: M16000079
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektronické informační a řídicí systémy
Zadávající katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Popište pojem EMC, rozdělení a význam pro dnešní dobu.
2. Určete normy, dle kterých je třeba testovat EMC (EMI i EMS).
3. Navrhněte a realizujte pracoviště pro testování EMS (odolnost proti EFT/BURST, power fail) a ESD.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

- [1] Svačina J.: Elektromagnetická kompatibilita. Skripta FEKT VUT Brno, 2002.
- [2] Vaculíková P., Vaculík E.: Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů. Grada Publishing, Praha 1998, ISBN 8071695688.
- [3] Kaňuch J., Kováč D., Kováčová I.: EMC z hlediska teorie a aplikace, BEN 2011, ISBN 978-80-7300-317-3.

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Slavík, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant práce: Ing. Miroslav Novák, Ph.D.
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání práce: 10. října 2018

Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2019

L. S.

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci 10. října 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

24. 4. 2019

Aleš Jerie

Abstrakt

Tato práce obsahuje problematiku testování elektromagnetické kompatibility, přehled českých norem a popis vybudované laboratoře. V první části je uvedena teorie o EMC. Další kapitola je věnována českým normám, které jsou převzaté z evropských norem, pro testování elektromagnetického rušení a elektromagnetické odolnosti. V další části je popsáno úspěšné vybudování laboratoře pro testování odolnosti proti elektrostatickému výboji (ESD), rychlým přechodovým jevům (EFT/B), rázovému impulzu, krátkodobým poklesům napětí, krátkým přerušením napětí a pomalým změnám napětí. Tyto testy vycházejí ze skupiny norem ČSN EN 61000-4. Ke konci práce jsou popsána zařízení v této laboratoři. Mezi tato zařízení patří simulátor elektrostatického výboje, generátor rychlých přechodových jevů a rázových impulzů, variak, kapacitní vazební kleště a vazební a oddělovací síť.

Klíčová slova: EMC, elektromagnetická kompatibility, rušení, odolnost, norma, elektrostatický výboj, rychlé přechodové jevy, rázový impulz, pokles napětí, přerušení napětí, změny napětí, kvalita napájení

Abstract

This thesis deals with electromagnetic compatibility, review of Czech standards and laboratory specification. First part describes EMC theory. Next chapter deals with Czech standards of electromagnetic interference and electromagnetic susceptibility which were taken over from European standards. Main part focuses on successful build of laboratory which is capable testing resistance against electrostatic discharge (ESD), electrical fast transients (EFT/Burst), surge, voltage dips, short voltage interruptions and voltage variations. These tests come from group of standards called ČSN EN 61000-4. Finally the thesis lists all the devices used in the laboratory. These devices are ESD simulator, multifunctional generator of electrical fast transients, variac, capacitive coupling clamp and coupling - decoupling network (CDN).

Keywords: EMC, electromagnetic compatibility, interference, susceptibility, standard, electrostatic discharge, electrical fast transient, burst, surge, voltage dips, short interruptions, voltage variations, power quality

Poděkování

Rád bych poděkoval rodině a přítelkyni za podporu při studiu a zpracování této práce. Déle bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Lubomíru Slavíkovi Ph.D. za konzultace a rady při vytváření této práce.

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam zkratk	10
Úvod	11
1 Elektromagnetická kompatibilita	12
1.1 Základní dělení EMC	12
1.1.1 Elektromagnetická susceptibilita	13
1.1.2 Elektromagnetická interference	13
1.1.3 Základní pojmy EMC	14
1.2 Rušivé signály	15
1.2.1 Rozdělení rušivých signálů	15
1.2.2 Typy a zdroje rušivých signálů	15
1.3 Vazební mechanismy	17
1.3.1 Galvanická vazba	17
1.3.2 Kapacitní vazba	19
1.3.3 Induktivní vazba	20
1.3.4 Vazba vyzařováním	20
2 Normy o EMC	22
2.1 Instituce zabývající se normami o EMC	22
2.2 Dělení norem	22
2.3 Přehled norem	23
2.3.1 Všeobecné normy (EMC Standards)	23
2.3.2 Normy elektromagnetického rušení (Emission standards)	24
2.3.3 Normy odolnosti proti rušení (Immunity standards)	24
2.4 Normalizované metody pro testy EMS podle ČSN EN 61000-4	25
2.4.1 ČSN EN 61000-4-1 Přehled zkoušek odolnosti. Základní norma EMC	25
2.4.2 ČSN EN 61000-4-2 Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti	25
2.4.3 ČSN EN 61000-4-3 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti	27
2.4.4 ČSN EN 61000-4-4 Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti	27
2.4.5 ČSN EN 61000-4-5 Rázový impulz – Zkouška odolnosti	28

2.4.6	ČSN EN 61000-4-6 Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli	28
2.4.7	ČSN EN 61000-4-8 Magnetické pole síťového kmitočtu - Zkouška odolnosti	29
2.4.8	ČSN EN 61000-4-11 Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušování a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti	29
3	Realizace pracoviště	31
3.1	Laboratorní stůl	31
3.2	Potřebné doplňky laboratorního stolu	31
3.3	Přístroje v laboratoři	33
3.3.1	Simulátor elektrostatického výboje	33
3.3.2	Multifunkční generátor rušení	34
3.3.3	Variak	34
3.3.4	Kapacitní vazební kleště	35
3.3.5	Vazební a oddělovací síť	36
4	Testování průtokoměru EESA	37
4.1	Testy ESD	37
4.2	Testy EFT/Burst	38
4.3	Testy rázového impulzu (surge)	40
4.4	Testy kvality napájení	42
	Závěr	44
	Použitá literatura	45

Seznam obrázků

1.1	Základní řetězec EMC	12
1.2	BiLog anténa Teseq [3]	13
1.3	Obrázek k vysvětlení základních pojmů [1]	14
1.4	Časový průběh proudu při výboji blesku	17
1.5	Typy elektromagnetických vazeb	18
1.6	Feritový filtr na napájecím kabelu	18
1.7	Příklad kabelového vedení	21
2.1	ESD simulátor s oblým hrotem	26
3.1	Pracoviště pro testování EMS na TUL	32
3.2	Simulátor elektrostatického výboje[12]	33
3.3	Multifunkční generátor rušení[13]	34
3.4	Variak ze zadní strany	35
3.5	Kapacitní vazební kleště[15]	36
3.6	Vazební a oddělovací síť	36
4.1	Příklad chyby zařízení	37
4.2	Testování průtokoměru EESA výbojem vzduchem	38
4.3	Testování průtokoměru EESA výbojem na svislou vazební desku	38
4.4	Testování odolnosti zařízení vůči EFT/B	39
4.5	Část protokolu z testování EFT/B	39
4.6	Změřený impulz EFT/B 1 kV	40
4.7	Měření náběžné hrany Surge 500 V	41
4.8	Měření trvání Surge 500 V	41
4.9	Měření poklesu na 40 % po dobu 10 period	42
4.10	Měření poklesu na 70 % po dobu 25 period	43
4.11	Měření výpadku jedné poloviny periody	43

Seznam zkratek

TUL	Technická univerzita v Liberci
FM	Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií Technické univerzity v Liberci
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
EUT	Equipment under test (Zkoušené zařízení)
DUT	Device under test (Zkoušené zařízení)
PWM	Pulse width modulation (Pulzně šířková modulace)
LEMP	Lightning electromagnetic pulse (Elektromagnetický pulz při bouři)
ESD	Electrostatic discharge (Lokální elektrostatický výboj)
EFT	Electrical fast transient (Rychlé přechodové jevy)
IEC	International Electrotechnical Commission (Mezinárodní elektrotechnická komise)
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (Výbor pro radiovou interferenci)
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
CEN	Comité Européen de Normalisation (Evropská komise pro normalizaci)
CENELEC	Comité Européen de Normalisation en Electrotechnique (Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice)
ČNI	Český normalizační institut
VCP	Vertical Coupling Plane (Svislá vazební deska)
CDN	Coupling-Decoupling Network (Vazební a oddělovací obvod)
PVC	Polyvinylchlorid (plast pro výrobu podlahových krytin a dalších výrobků)
PC	Personal Computer (Osobní počítač)
USB	Universal Serial Bus (Univerzální sériová sběrnice)
GTEM	Gigahertz Transverse Electro-Magnetic (Odstíněná měřicí komora)

Úvod

V této bakalářské práci se zabývám problematikou testování elektromagnetické kompatibility. Cílem bylo seznámit se s metodami testování EMC, standardizací testování a následně navrhnout a vytvořit pracoviště, které by mohlo sloužit pro testování EMC. Důležitost elektromagnetické kompatibility v dnešní době stále roste, protože se stále zvyšují taktovací frekvence. Napětí jsou stále nižší a konstrukce zařízení stále menší. Z těchto důvodů je elektromagnetická odolnost těchto zařízení stále nižší. Hlavním cílem práce bylo vytvořit pracoviště pro testování elektromagnetické odolnosti proti elektrostatickému výboji, rychlým přechodovým jevům, rázovému impulzu a nestabilitou napájení z rozvodné sítě. Elektrostatický výboj vzniká například nabitím oblečení ze syntetických materiálů. Vznik rychlých přechodových jevů je v praxi způsoben například spínáním stykačů. Rázový impulz vzniká v důsledku přechodových jevů v síti nebo v atmosféře. Poklesy v rozvodné síti vznikají velkým zatížením sítě.

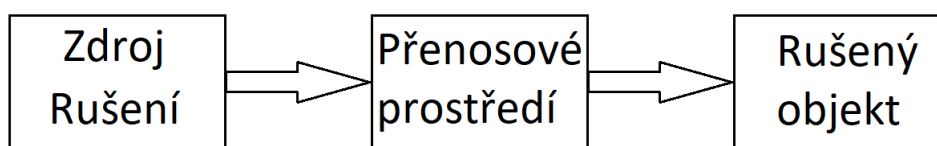
1 Elektromagnetická kompatibilita

Elektromagnetická kompatibilita je vyžadována od každého elektrického zařízení. Pokud je zařízení elektromagneticky kompatibilní, tak odolává působení ostatních přístrojů a zároveň neovlivňuje jiný objekt včetně sebe samého.[1]

1.1 Základní dělení EMC

Elektromagnetická kompatibilita se skládá ze dvou částí, kterými jsou elektromagnetická susceptibilita a elektromagnetická interference.

Při zkoumání výsledků EMC se využívá takzvaný základní řetězec EMC. Tento řetězec se skládá ze tří částí. První částí je zdroj rušení, další částí řetězce je přenosové médium, kterým je obvykle vzduch nebo vodič. Poslední částí je vlastní rušený objekt.[1]



Obrázek 1.1: Základní řetězec EMC

Zdroj rušení může být přírodní nebo umělý. Přírodním zdrojem bývá úder blesku, vesmírné záření nebo třeba sluneční aktivita. Umělé rušení je rušení, které vzniklo díky lidské činnosti. Například vysílače elektromagnetických vln, elektrické pohony, distribuce elektrické energie, spínané zdroje atd.

Přenosové prostředí je tvořeno vzdušným prostorem, kabely, stíněním, ocelovými konstrukcemi atd. Zabývá se nejen prostředím, ale i vazbami mezi zdrojem rušení a rušeným objektem.

Rušený objekt je každé elektrické zařízení. V této části zkoumáme vliv různých rušivých signálů na testované zařízení.

Problematika šíření rušení je značně složitější než znázorňuje obrázek 1.1. Určitá část zařízení může být zdrojem rušení pro další část stejného zařízení. Tato vlastnost může způsobit kompletní nefunkčnost zařízení.

1.1.1 Elektromagnetická susceptibilita

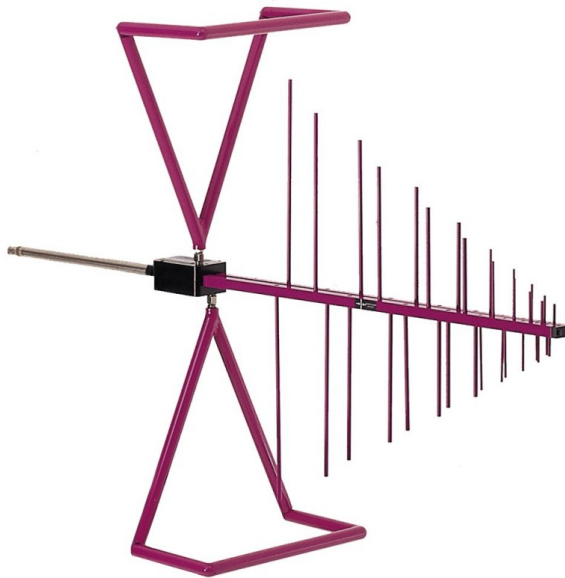
Elektromagnetická susceptibilita je schopnost zařízení pracovat správně v prostředí, ve kterém působí různé elektromagnetické signály, proto se také někdy nazývá elektromagnetickou odolností. Tyto signály mohou být přírodní nebo umělé. Následné abnormální stavy se v praxi simulují různými metodami, které jsou přesně definovány v normách věnovaných elektromagnetické kompatibilitě. Zařízení je vystavováno různým stavům, které by teoreticky mohly nastat, a sleduje se reakce zařízení na tento stav.

1.1.2 Elektromagnetická interference

Elektromagnetická interference je míra elektromagnetického rušení, které může dané zařízení vyzařovat, aby vlastní činností nenarušovalo činnost dalších zařízení. V této části se měří intenzita elektrického nebo magnetického pole.

Způsoby testování EMI

Měření elektromagnetického rušení je prováděno pomocí antén. Antény mohou být různých konstrukcí. Standardně se pro měření ve frekvenčním rozsahu 30 Mhz až 1 Ghz používají bikonické antény (30 Mhz-300 Mhz) a log-per antény (200 MHz-2 Ghz). Tyto 2 druhy antén velmi dobře pokrývají celé frekvenční pásmo. Případně lze použít méně přesnou anténu BiLog, která umožňuje pokrýt celé frekvenční pásmo. Vzdálenost antény od testovaného zařízení je přesně daná normou. Tato vzdálenost je standardně 1, 3, 10 nebo 30 m. Vzdálenost od země by měla být proměnná, protože při měření vždy hledáme ten nejhorší možný stav, který může nastat.[2]

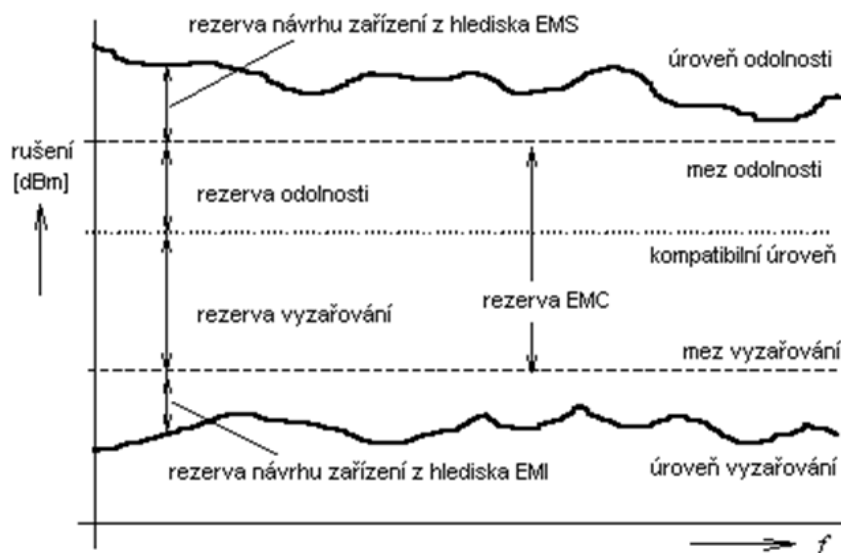


Obrázek 1.2: BiLog anténa Teseq [3]

1.1.3 Základní pojmy EMC

Veškeré pojmy zmíněné v této části jsou definovány v normě ČSN-IEC 1000-1-1.

- **Úroveň vyzařování** je množství vyzařovaného rušení zařízení udávané v dBm v závislosti na frekvenci, které je měřené předepsaným způsobem.
- **Mez vyzařování** vyjadřuje maximální povolenou úroveň vyzařování danou normami.
- **Rezerva návrhu z hlediska EMI** je rozdíl mezi úrovní vyzařování a mezí vyzařování.
- **Úroveň odolnosti** je maximální úroveň rušení, při kterém ještě nedochází ke změně funkčnosti zařízení.
- **Mez odolnosti** je křivka určující minimální požadovanou hodnotu úrovně odolnosti.
- **Rezerva návrhu z hlediska EMS** je rozdíl mezi úrovní odolnosti a mezí odolnosti.
- **Rezerva EMC** je rozdíl mezi mezí odolnosti a mezí vyzařování.
- **Kompatibilní úroveň** je úroveň definována normou, při které by zařízení ještě mohlo správně pracovat
- **Rezerva vyzařování** je rozdíl mezi Kompatibilní úrovní a mezí vyzařování.
- **Rezerva odolnosti** je rozdíl mezi Kompatibilní úrovní a mezí odolnosti.



Obrázek 1.3: Obrázek k vysvětlení základních pojmů [1]

1.2 Rušivé signály

1.2.1 Rozdělení rušivých signálů

Přirozené zdroje rušení jsou neovlivnitelné. Vznikají bez lidského přičinění a z tohoto důvodu nelze zabránit jejich vzniku. Zbývá pouze předcházet jejich následkům.

Zdroje rušení se dělí na **funkční** a **parazitní**. Funkční zdroje rušení při svém provozu musí nutně vyzařovat rušení (např. vysílače). Pro parazitní zdroje je rušení parazitním jevem a toto záření není nutné k provozu.

Zdroje lze dělit podle časového průběhu rušivého signálu. Rušivé signály tedy dělíme na **spojité**, které působí nepřetržitě. Opakem spojitých signálů jsou **impulzní** signály, které jsou tvořeny řadou impulzů. Další kategorií jsou **kvazi-impulzní**, které vznikají kombinací spojitých a impulzních signálů. Ve skutečnosti se do zařízení dostává velké množství různých druhů rušivých signálů, které se různě sčítají a odčítají. Dalším problémem je rozhodnout jak dlouhou dobu působení signálu sledujeme, proto je většinou velmi náročné rozhodnout zda jde o spojitě či impulzní rušení. Z těchto důvodů byla charakteristika těchto poruch určena normou (ČSN EN 55014). Tato norma definuje **mžikovou poruchu** jako poruchu kratší než 200 ms a čas mezi další mžikovou poruchou alespoň 200 ms. Pokud je čas mezi poruchami nižší, nebo je porucha delší než 200 ms, tak se signál považuje za spojitý. Dalším důležitým intervalem je četnost mžikových poruch, která se měří v normou stanoveném čase 2 s. Pokud v tomto čase nastane více než 2 mžikové poruchy, tak se signál považuje za spojitý.

Dalším parametrem, který nás u signálu zajímá, je šířka obsazení frekvenčního pásma. Podle tohoto parametru se rušivé signály dělí na **úzkopásmové**, které lze relativně snadno odstranit použitím vhodného filtru, a **širokopásmové**, které produkuje většina průmyslových systémů. Úzkopásmové rušení je obvykle produktem užitečných signálů, tedy různých rozhlasových a televizních vysílačů atd.

S ohledem na frekvenci můžeme signály rozdělit na **nízkofrekvenční** a **vysokofrekvenční**. Nízkofrekvenční signály jsou signály s frekvencí nižší než 10 kHz. Zdrojem tohoto rušení jsou energetické systémy, radary atd. Rušení vzniká v podstatě připojením každé nelineární zátěže do rozvodné soustavy. Tímto nelineárním zatížením vzniká deformace sinusového průběhu napětí, která vadí některým zařízením, jako jsou například sdělovací systémy. **Vysokofrekvenční** rušení se podle Radiokomunikačního řádu nachází v pásmu od 10 kHz do 400 Mhz. Zdrojem těchto rušení je téměř každé zařízení.

Rušivý signál se může šířit po vedení nebo vzduchem. V praxi se signál obvykle šíří oběma způsoby, ale jeden ze způsobů převažuje. Z této skutečnosti vychází další dělení na **zdroje rušení šířených vedením** a **zdroje rušení šířených vyzařováním**.^[1]

1.2.2 Typy a zdroje rušivých signálů

Důležitou oblast zastávají rušivé signály harmonické složky síťové frekvence 50 Hz. Častým zdrojem tohoto rušení jsou polovodičové frekvenční měniče velkých výkonů.

Tyto měniče vytváří rušení až do frekvencí 30 Mhz. Mimo průmysl tuto oblast velmi zarušují spínané zdroje, které jsou dnes součástí téměř každého zařízení. Rušivá napětí v rozvodné síti mohou mít řadu různých podob. Typické jsou rušení jako **vysokofrekvenční impulzy, přepětí a podpětí, harmonické složky** (změna sinusového tvaru), nebo například **výpadky napájení**, kdy vypadne třeba i celá perioda napájení. Tato rušení se mohou samozřejmě různě kombinovat.

Vysokonapěťové pulzy vznikají při činnosti stykačů v síti nízkého napětí. Tyto pulzy mají velkou strmost a velké napětí. Náběžná hrana takového pulzu je jen několik nanosekund a napětí je v jednotkách kV. Pro skupinu takovýchto pulzů se používá anglické označení **burst**.

Velkým zdrojem rušení jsou **diodové usměrňovače a hlavně tyristorové řízení**. Největší rušení vytvářejí zařízení s velkým výkonem, jako například tramvaje a lokomotivy. Při připojení bez filtračních prvků by bylo rušení tak velké, že by mohlo způsobit plošný výpadek sítě.

Rušení se v síti vyskytuje i díky motorům s kartáči. V tomto případě vzniká rušení při jiskření na kartáčích rotoru. Vysoké napětí, které vzniká lze odstranit zapojením kondenzátoru přímo mezi kartáče motoru.

Dalším velkým příspěvkem v rušení sítě jsou **spínané zdroje**. Tyto zdroje vyzařují široké spektrum rušení, které se mění v závislosti na odebíraném proudu, protože regulace je tvořena pomocí PWM.

Silným zdrojem rušení je rozvod vysokého napětí a velmi vysokého napětí. V těchto rozvodech vznikají korónové a kapacitní výboje. Druhé zmíněné vytvářejí rušení až 1 GHz.

Přepětí v elektrické rozvodné síti může vzniknout přírodně (např. úder blesku) nebo uměle (např. spínání stykače). Odolnost zařízení proti přepětí se snižuje, protože integrované obvody jsou stále menší a složitější. Tyto součástky dokáže zničit napětí pouze několik jednotek voltů. Dnešní výpočetní výkon se stále zvyšuje i díky taktovací frekvenci. Cenou za takto zvyšující výpočetní výkon je nižší odolnost proti rušení.

Výboj blesku (LEMP)

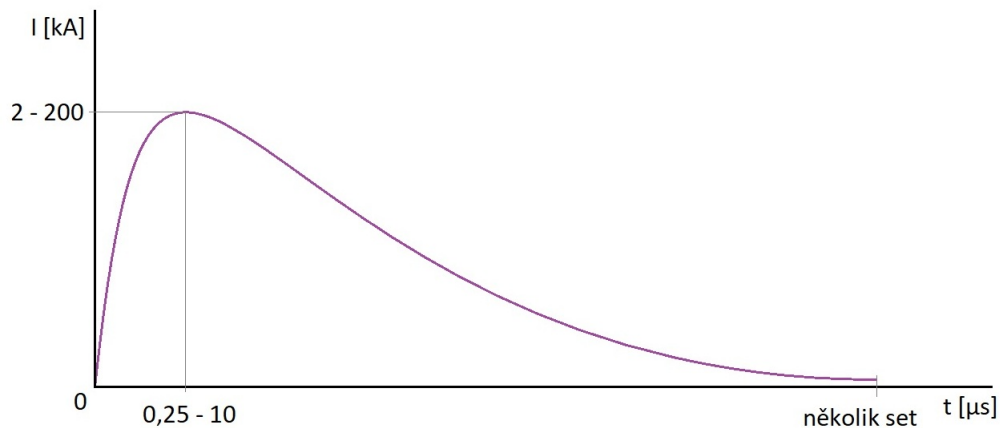
Důsledky úderu blesku působí na elektrická zařízení do vzdálenosti asi 4 km. Tento výboj může být pro mnoho zařízení destruktivní. Proud tekoucí atmosférou může být až 200 kA a rušení způsobené tímto výbojem je až 140 dB μ V v pásmu 2 až 30 kHz. Impulzy vznikající bleskem se vyznačují velmi strmou náběžnou hranou a pomalejším poklesem.[1]

Umělé zdroje přepětí

Umělé zdroje přepětí jsou prakticky všechna zařízení, která něco spínají.

Kvůli snížené odolnosti dnešních zařízení se stává důležitým zdrojem přepětí **lokální elektrostatický výboj (ESD)**. Tento výboj vzniká vybitím náboje, který vzniká třením. Každý zažil situaci, že při svlékání svetry člověku vstávají vlasy, nebo například vybití náboje o kliku u dveří nebo zábradlí. Elektrostatický výboj

dosahuje napětí až 15 kV, ale energie tohoto výboje je velmi malá (10–20 mJ). Ideální obranou proti tomuto výboji je vysoká vlhkost vzduchu, nepoužívání syntetických tkanin a podlah s vysokým izolačním odporem (umělá hmota). Případně lze využívat antistatických materiálů. Tento výboj má velmi rychlý průběh. Náběžná hrana je asi 1 ns a celý průběh trvá jen několik desítek nanosekund.



Obrázek 1.4: Časový průběh proudu při výboji blesku

Zdroje spojitého rušení

Těmito zdroji jsou hlavně rozhlasové a televizní vysílání. Dále je to bezdrátový přenos dat (např. standard Wi-Fi), mobilní sítě, GPS atd.

Speciální zdroje rušení

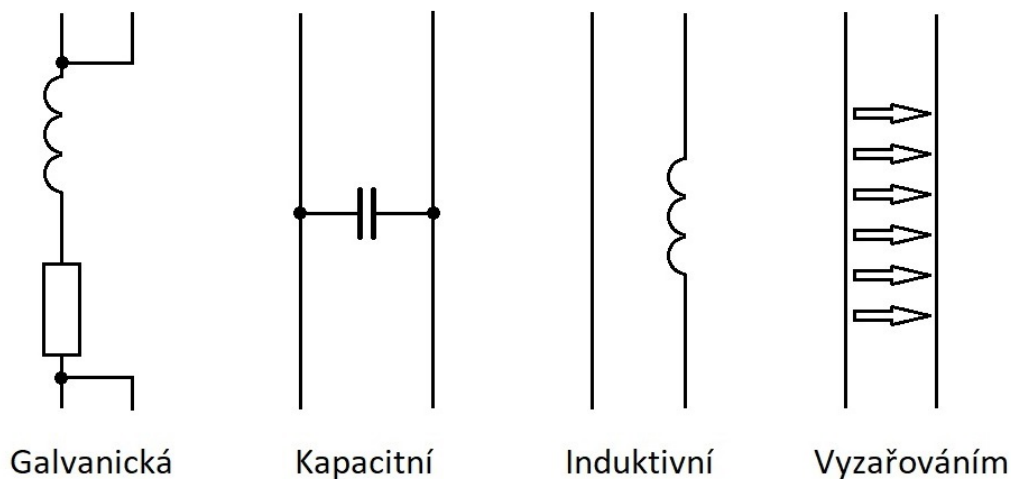
Speciálním zdrojem rušení je například **nukleární elektromagnetický impulz**, který vzniká při výbuchu jaderné hlavice. Tento impulz je mnohem ničivější než výboj blesku. Dosah nukleárního impulzu je až 1000 km a náběžná hrana je asi 50x kratší než při výboji blesku.[1]

1.3 Vazební mechanismy

Tato část práce vypovídá o vazebních mechanismech, které se mohou objevit v přenosovém prostředí, tedy mezi zdrojem rušení a přijímačem rušení. Z fyzikálního hlediska můžeme vazby rozdělit na galvanickou, kapacitní, induktivní a vazbu vyzařováním.

1.3.1 Galvanická vazba

Galvanická vazba je vazba, kdy jsou zařízení přímo spojeny přes impedanci. Tato impedance je nejčastěji tvořena sériovým RL obvodem. Tato impedance se nachází například na společném napájecím vodiči obou zařízení. V oblasti nižších kmitočtů



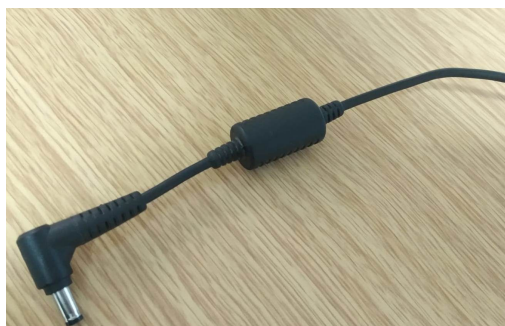
Obrázek 1.5: Typy elektromagnetických vazeb

(zhruba do 1 Mhz) má větší vliv odporová část impedance. Imaginární část impedance má vliv při vysoké frekvenci. Tato část může navíc rezonovat s kapacitami v obvodech a následně způsobovat velké rušení.

Zemní smyčka

Zemní smyčka vzniká uzemněním systémů v různých místech. Mezi těmito zemními body vzniká zemní napětí, které je způsobeno náhodnými zemními proudy. Toto napětí následně vyvolá rušivé napětí v zařízení.

Zemní smyčku nelze zcela odstranit. Její negativní vlastnosti lze utlumit zvýšením impedance smyčky. Například můžeme do smyčky sériově vložit kondenzátor, který utlumí nízké frekvence. Smyčku můžeme přerušit oddělovacím transformátorem, který je ale velký a finančně nákladný. Nejpoužívanějším způsobem je použití feritového filtru, který pohlcuje frekvence nad 1 Mhz. Dalšími možnostmi jsou optičen nebo přenos dat pomocí optického kabelu.



Obrázek 1.6: Feritový filtr na napájecím kabelu

Zásady návrhu pro zamezení galvanických vazeb

- Dostatečně dimenzovat společné zemnění zařízení
- Spojovat zemnění zařízení přímou cestou ke společnému zemnění
- Neslučovat společný vodič signálových signálů
- Vytvářet pro každý blok vlastní napájení (neslučovat)
- Různé technologie (např. digitální technika, operační zesilovače, reléová logika) opatřit vlastními napájecími zdroji
- Galvanicky oddělit logické a výkonové obvody (např. optočlen, relé)

1.3.2 Kapacitní vazba

Kapacitní vazba je dána parazitními kapacitami mezi vodiči, konstrukčními prvky a ostatními částmi obvodu. Kapacita je větší při větší ploše vodivých ploch, z tohoto důvodu nastává problém při paralelním vedení vodičů a vodivých drah na desce plošného spoje. V praxi nastává velké množství různých kapacitních vazeb, ale problematické jsou především 3 z nich.

Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů

Tato vazba vzniká na galvanicky oddělených obvodech, které mají vodivé části obvodu blízko u sebe. První z obvodů uvažujme jako rušící. Tento obvod má 2 napájecí vodiče. Vodič vedoucí od zdroje ke spotřebiči ruší přes kapacitní vazbu oba vodiče rušeného zařízení. Vodič rušícího obvodu, který vede od spotřebiče ke zdroji, opět ruší oba vodiče rušeného zařízení. V prostoru nám tedy vznikají 4 kondenzátory, přes které se přenáší rušení. Tyto vazby lze omezit zakroucením obou párů vodičů (rušeného i rušícího zařízení). Pokud není tato varianta možná, tak zakroučíme alespoň vodiče rušeného zařízení. Toto zakroucení má smysl i u omezení induktivní vazby. Další možností omezení této vazby je zvětšení vzdálenosti mezi těmito obvody, ale tato varianta dost často není možná. Kdybychom vytvořili vodivé stínění kolem rušícího vedení a připojili ho ke vztažnému potenciálu a totéž vytvořili na rušeném obvodu, tak se kapacitní vazba mezi těmito obvody velmi omezí. Aby bylo toto stínění účinné, je dobré mít co nejvyšší kapacitu mezi vodiči rušeného obvodu.[1]

Kapacitní vazba mezi systémy se společným vodičem

Tento druh kapacitní vazby vzniká například ve vícežilovém kabelu nebo v číslicových obvodech. Toto rušení je větší, když je v obvodech vyšší frekvence. Právě u číslicových systémů je tento problém dost značný, protože používané frekvence jsou velmi vysoké.

Metody snížení této vazby jsou obdobné jako u kapacitní vazby galvanicky oddělených obvodů. Tedy je vhodné co nejvíce zkrátit paralelní vedení vodivých drah a zároveň tyto dráhy umístit co nejdál od sebe, aby vznikla co nejnižší kapacita mezi

rušícím a rušeným vodičem. Naopak kapacitu mezi rušeným vodičem a společným vodičem se snažíme vytvořit co nejvyšší. Toho lze docílit přiblížením nebo zkroucením těchto vodičů. Nižší vazba je i v případě pokud je impedance mezi rušeným vodičem a společným vodičem co nejnižší. Vytvářet systémy s tak nízkou frekvencí, aby stačila na funkci zařízení. Vytvořit stínění připojené ke společnému potenciálu mezi rušeným a rušícím vodičem.

Kapacitní vazba vůči zemi

Tato vazba je způsobena kapacitou mezi zemí a částí zařízení (například vodiči). Kvůli různým zemním potenciálům vzniká mezi těmito body rušivý proud, který je touto vazbou přenášen do rušeného zařízení.

Odstranit tuto vazbu lze použitím stínění kolem vodičů, které se připojí k zemnímu potenciálu. Toto stínění by mělo dokonale odstínit rušení, ale v praxi toto rušení zcela neodstraní, protože stínění nebude dokonale vodivé. Vysoké frekvence rušení budou méně potlačeny.

1.3.3 Induktivní vazba

Při průchodu proudu, vzniká kolem vodiče magnetické pole. Průběh intenzity tohoto pole odpovídá průběhu proudu, který protéká vodičem. Pokud se vodič nachází v proměnném magnetickém poli, tak dochází k elektromagnetické indukci. Velikost indukovaného napětí je dána Faradayovým zákonem.

$$U_r = -\frac{d\Phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -S \frac{\Delta B}{\Delta t} = -\mu_0 \cdot S \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Tato vazba je nebezpečná obzvlášť při vysokých frekvencích a velkých hodnotách proudu. Tyto vlastnosti má výboj blesku nebo elektrostatický výboj (ESD). Indukované rušení je často příliš vysoké.

Pro utlumení induktivní vazby je vhodné snížit délku souběžných vodičů na minimum, vzdálit vodiče co nejdál od sebe. Způsobem omezení vazby je i zmenšení proudové smyčky. Další způsoby jsou podobné způsobům omezení kapacitní vazby. Lze vytvořit závit nakrátko, zkroutit vodiče, natočit vazební smyčky o 90°, nebo stíněním obvodu přijímače. Tyto způsoby lze samozřejmě různě kombinovat pro co nejlepší možný výsledek (například zakroutit a vícenásobně stínit).

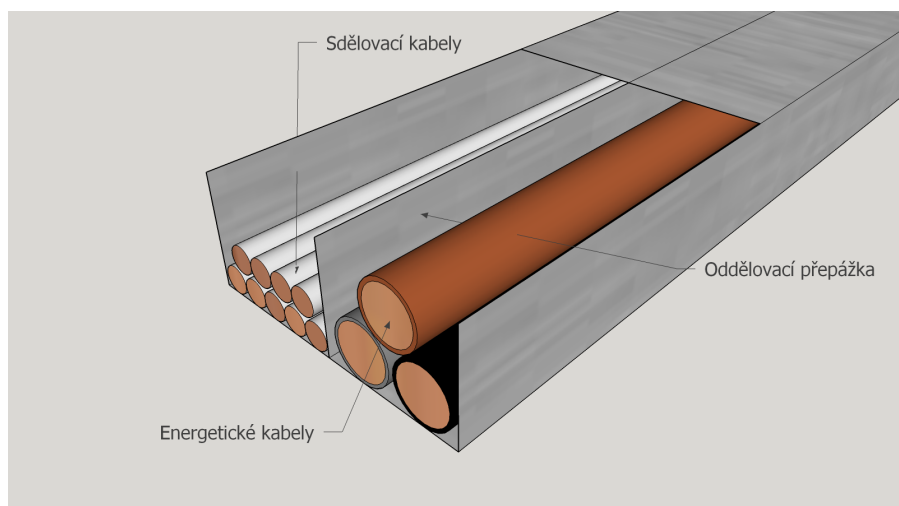
Z předchozích částí plyne problematika při návrhu kabelových vedení v budovách, kde jsou dlouhé úseky s paralelně vedenými vodiči. Z tohoto důvodu se kabely v budovách vedou žlaby, které tvoří stínění určitých skupin kabelů. Například kabely určené pro napájení se musí vést v jiných částech než sdělovací kabely.

1.3.4 Vazba vyzařováním

Vazba vyzařováním je vazba, která působí na dlouhé vzdálenosti. Obvyklým příkladem je vysílání rozličných druhů signálů. Vyzařování vysílačů je funkčním rušením,

a proto ho nelze odstranit už u zdroje rušení. Přenosovým médiem se šíří elektromagnetické pole, které působí rušení. Toto rušení se do zařízení přenáší anténou. Při působení elektromagnetické vlny se ve vodičích rušeného zařízení indukuje rušivé napětí, které může v některých případech zcela překrýt užitečný signál.

Omezení této vazby lze realizovat pomocí stínění. Část záření se ve stínění pohltí, část se od stínění odrazí a část projde skrz stínění. Jak budou tyto části velké, záleží na mnoha faktorech. Čím bude stínění tlustší, tím méně záření pronikne k zařízení. Velmi důležitým faktorem je zvolený materiál (jeho elektrická vodivost a relativní permeabilita). Nezáleží ale jen na stínění. Záleží také na frekvenci elektromagnetického záření, které chceme odstínit.



Obrázek 1.7: Příklad kabelového vedení

Při vytváření velkých stíněných zařízení, které zároveň pracují na velkých frekvencích, hrozí další typ vazby vyzařováním a to vlnododová vazba. V tomto případě je zdrojem rušení samotné rušené zařízení. V případě, že je nejdelší velikost stínícího krytu větší než dvojnásobek vlnové délky vyzařovaného rušení, tak se rušení odráží od stínění a zůstává v zařízení. Pro představu pro stínění o největším vnitřním rozměru 0,5 metru se šíří rušení o frekvencích vyšších než 300 MHz. Odstranění lze jednoduše provést zmenšením stínění nebo snížením pracovní frekvence zařízení. [1]

2 Normy o EMC

2.1 Instituce zabývající se normami o EMC

Hlavním mezinárodním zdrojem norem věnovaných EMC je Mezinárodní elektrotechnická komise **IEC**. Tato komise spadá pod Mezinárodní organizaci pro normalizaci **ISO**. Část IEC vytvářející normy pro EMC se nazývá výbor pro radiovou interferenci **CISPR**. Výbor CISPR je jednou z největších mezinárodních autorit v oblasti EMC. Tvůrcem norem je tedy část IEC zvaná CISPR. Od této komise se poté normy přebírají a vznikají evropské normy se zkratkou **EN**, české normy **ČSN** a mezinárodní normy **ISO**. Evropské normy tvoří dvě komise Evropské Unie a to **CEN** (Evropská komise pro normalizaci) a **CENELEC** (Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice). V České republice je vytvářením, přebíráním a překládáním norem pověřen Český normalizační institut **ČNI**.^{[1][4][5]}

Například norma ČSN EN 61000-4-6 je česká norma, která vznikla převzetím z evropské normy se stejným číslem. Tato konkrétní norma je shodná s IEC 1000-4-6.

2.2 Dělení norem

Základní normy (Basic standards)

Tyto normy určují základní podmínky pro dosažení Elektromagnetické kompatibility. Tyto normy neobsahují žádné konkrétní mezní hodnoty, ani žádné způsoby vyhodnocování.

Kmenové normy (Generic standards)

V těchto normách nalezneme testovací metody a požadované naměřené hodnoty pro všechna technická zařízení.

Předmětové normy (Product standards)

Předmětové normy určují přesné požadavky a testovací metody, které se mají na zařízení použít. Tyto normy musí být v souladu se základními a kmenovými normami.

Vzhledem k tomuto dělení jsou nejdůležitější normy kmenové. Do kmenových norem patří důležitá skupina norem s označením ČSN EN 61000-4-X. Předmětové normy obsahují hodně detailů a následně odkazují na kmenové normy.

Dále lze normy dělit na **závazné** a **doporučující**. Závazné normy je nutné dodržet. Pokud zařízení nesplní tyto normy, tak jej nelze prodávat. Oproti tomu doporučující normy mají pouze doporučující charakter. S těmito normami získává výrobce pouze doporučení.[1][6]

Vojenské normy EMC (Military standards)

Tyto normy jsou prvními normami o EMC, které vznikly. Z těchto norem obvykle vznikly normy civilní. Vojenská zařízení jsou vrcholem techniky, a proto jsou normy v této oblasti velmi přísné. Hlavně susceptibilita takových zařízení je na velmi vysoké úrovni, aby zařízení odolalo případným pokusům o Elektromagnetický útok. Vojenské normy používají pro vyhodnocování měření špičkových hodnot (peak detection). Oproti tomu normy v civilní oblasti využívají kvazi – špičkové hodnoty (quasi – peak detection). Dalším rozdílem je rozsah měřených frekvencí. Měření pro vojenské účely probíhá v širším frekvenčním rozsahu.

Kromě předchozího dělení lze normy dělit také na všeobecné normy, normy elektromagnetického rušení a normy odolnosti proti rušení. Toto dělení nemůže být zcela přesné, protože některé normy se zabývají odolností i vyzářováním.

2.3 Přehled norem

2.3.1 Všeobecné normy (EMC Standards)

Tato kapitola obsahuje seznam Kmenových norem pro EMC.

- ČSN EN 61000-6-1 Kmenové normy - Odolnost - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu
- ČSN EN 61000-6-2 Kmenové normy - Odolnost pro průmyslové prostředí
- ČSN EN 61000-6-3 Kmenové normy - Emise - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu
- ČSN EN 61000-6-4 Kmenové normy - Emise - Průmyslové prostředí
- ČSN EN 61000-6-5 Kmenové normy - Odolnost pro zařízení používané v elektrárnách a rozvodnách
- ČSN EN 61000-6-7 Kmenové normy - Požadavky na odolnost pro zařízení určené k provádění funkcí v systémech vztahujících se k bezpečnosti (funkční bezpečnost) na průmyslových stanovištích

Tyto normy se zabývají všeobecnými požadavky EMC. Tyto požadavky musí splňovat každé zařízení. Normy stanovují mezní hodnoty ve frekvenčním rozsahu 0 až 400 GHz a vhodné zkušební metody.

Tyto normy se aplikují pouze v případě, kdy neexistuje výrobová norma, nebo norma pro určitou skupinu výrobků.[1][5]

2.3.2 Normy elektromagnetického rušení (Emission standards)

Tyto normy mají základ v normách CISPR 11 až 23. Normy CISPR jsou přebrány do Evropských norem 55000. Normy z této skupiny mají přednost před normami ČSN EN 61000-6-3 a ČSN EN 61000-6-4. Poslední 2 číslice norem označují normu CISPR, která je předlohou určité normy. V těchto normách jsou uvedeny měřicí metody a limity, které zařízení nesmí překročit. V některých normách je poměrně velká skupina zařízení rozdělena do tříd a skupin.

- ČSN EN 55011 Průmyslová, vědecká a zdravotnická zařízení - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření
- ČSN EN 55012 Vozidla, čluny a spalovací motory - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření pro ochranu přijímačů, které jsou mimo tato zařízení
- ČSN EN 55032 Elektromagnetická kompatibilita multimediálních zařízení - Požadavky na emisi
- ČSN EN 55014 -1 Elektromagnetická kompatibilita – Požadavky na spotřebiče pro domácnost, elektrické nářadí a podobné přístroje – Část 1: Emise
- ČSN EN 55015 Meze a metody měření charakteristik vysokofrekvenčního rušení způsobeného elektrickými svítilnami a podobným zařízením
- ČSN EN 55020 Rozhlasové a televizní přijímače a přidružená zařízení - Charakteristiky odolnosti - Meze a metody měření
- ČSN EN 50561-1 Zařízení pro komunikaci po vedení používaná v instalacích nízkého napětí - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření - Část 1: Zařízení pro domácí použití
- ČSN EN 50561-3 Zařízení pro komunikaci po vedení používaná v instalacích nízkého napětí - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření - Část 3: Zařízení pracující nad 30 MHz

2.3.3 Normy odolnosti proti rušení (Immunity standards)

V těchto normách nalezneme měřicí metody a hodnoty měření pro měření odolnosti.

- ČSN EN 55014-2 Elektromagnetická kompatibilita – Požadavky na spotřebiče pro domácnost, elektrické nářadí a podobné přístroje – Část 2: Odolnost – Norma skupiny výrobků

- ČSN EN 55024 Zařízení informační techniky – Charakteristiky odolnosti – Meze a metody měření
- ČSN EN 55103-2 Elektromagnetická kompatibilita – Norma skupiny výrobků audio, video, audiovizuální přístroje a řídicí přístroje zábavního osvětlení pro profesionální užití – Část 2: Odolnost

Mezi důležité normy v oblasti elektromagnetické odolnosti patří řada norem **ČSN EN 61000-4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 4: Zkušební a měřicí technika**. Tyto normy mají charakter základních norem, ale obsahují podrobný popis různých typů zkoušek. Této řadě norem je věnována kapitola 3.4.

2.4 Normalizované metody pro testy EMS podle ČSN EN 61000-4

Tato část se zabývá přesnými popisy zkoušek odolnosti proti rušení, které se používají na testování zařízení. Postupy pro toto měření vycházejí z norem řady ČSN EN 61000-4 Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 4: Zkušební a měřicí technika. Tato kapitola obsahuje vybrané typy zkoušek, které jsou důležité, protože na ně často odkazují předmětové normy. Také věnuji velkou pozornost požadovaným testům (ESD, EFT/Burst, SURGE). Normy z této řady jsou obvykle závazné a některé zařízení mají problém tyto normy splnit. Největší problémy mívají produkty u norem 61000-4-3 a 61000-4-6. [7]

2.4.1 ČSN EN 61000-4-1 Přehled zkoušek odolnosti. Základní norma EMC

V první normě z této kategorie se nachází přehled jednotlivých zkoušek. Tato norma obsahuje krátký popis jednotlivých zkoušek. Dále obsahuje doporučení jaké zkoušky kdy použít a jaká je předpokládaná úroveň rušení v určitém prostředí a jaký je předpokládaný stupeň odolnosti.

2.4.2 ČSN EN 61000-4-2 Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti

Druhá z norem se zabývá elektrostatickým výbojem (ESD). Obsahuje metody měření a způsoby vyhodnocování výsledků. Zkouška ESD probíhá tak, že se na jakémkoliv místě na zařízení, které je přístupné obsluze, aplikuje elektrostatický výboj. Obvykle je tímto místem klávesnice a ovládací prvky, kovové části krytu, které nejsou připojené k zemi, nebo například větrací otvory a signalizační diody. Tyto pozice jsou zahrnuty v protokolu o zkoušce a jsou voleny individuálně.

Amplituda napětí tohoto výboje závisí na požadované úrovni odolnosti. Obvykle se toto napětí pohybuje od 2 do 8 kV. Pokud není možné aplikovat elektrostatický

výboj přímo na zařízení, tak se aplikuje výboj vzduchovou mezerou. Výboj vzduchovou mezerou může mít napětí až 15 kV.[8]

Norma zahrnuje ideální tvar impulzu. Například pro elektrostatický výboj o hodnotě napětí 4 kV je náběžná hrana proudu 0,8 ns, amplituda 15 A, hodnota proudu po 30 ns je 8 A a po 60 ns jsou to 4 A.[8]

Elektrostatický výboj se přímo do zařízení injektuje oblým hrotem, který končí polokoulí o průměru 8 mm. Pokud využijeme výboj vzduchem, tak se používá ostrý hrot (kužel). Vrcholový úhel musí být 25° až 40°. Tyto hroty jsou realizované jako výměnné.[8]

Při této zkoušce lze elektrostatický pulz aplikovat nepřímo do svislé vazební desky (VCP). Tato deska musí mít rozměry 0,5 x 0,5 m a musí být připojena vodičem s rezistory 470 k Ω , které se nacházejí na koncích vodiče.[8]

To, jaké výboje použijeme, závisí na zkoušeném zařízení. V této normě je popsáno, zda aplikovat přímý výboj, nepřímý výboj, nebo výboj s použitím vazební roviny. Případně jak tyto 3 verze kombinovat.[8]

Množství elektrostatických výbojů je také definováno v normě. Při nepřímém výboji a při použití vazební roviny se aplikuje alespoň 10 výbojů. Mezi těmito výboji se doporučuje doba alespoň 1 s, nebo delší. Delší doba mezi jednotlivými výboji je někdy nutná pro zjištění stavu zařízení. V případě přímé aplikace se jedná o větší množství výbojů. Toto množství závisí případ od případu. Například při synchronním časování zařízení je vyžadováno více než 10 výbojů.[8]



Obrázek 2.1: ESD simulátor s oblým hrotem

Vyhodnocování tohoto druhu testu je vyjádřeno 4 úrovněmi. Před začátkem zkoušky je určena požadovaná úroveň odolnosti a požadovaná hodnota zkoušeného napětí.[8]

- **Úroveň A** je nejlepší výsledek testu. Při této zkoušce se výboj nijak neprojevil na funkci zařízení.

- **Úroveň B** - Pokud zařízení dosáhlo tohoto hodnocení, tak se v průběhu testování restartovalo, vypnulo, nebo se snížil výkon zařízení, ale po ukončení zkoušky se zařízení opět zapnulo a vrátilo do správného funkčního režimu bez zásahu obsluhy.
- **Úroveň C** je podobná jako úroveň B. Jediným rozdílem je, že činnost zařízení musí obnovit obsluha.
- **Úroveň D** je nejhorší výsledek zkoušky. Zařízení je po vykonání zkoušky nefunkční, nebo se trvale snížil jeho výkon.

2.4.3 ČSN EN 61000-4-3 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti

Jedná se o zkoušky odolnosti vůči elektromagnetickému poli. Frekvenční rozsah vyzařovaného pole je od 80 do 1000 MHz. Pole je vyzařováno pomocí antén, které mohou být totožné s anténami pro měření vyzařování rušení. Jediný problém by mohl být maximální výkon antény. Intenzita elektromagnetických polí se pohybuje od 3 do 10 V/m (Případně více). Z tohoto důvodu se doporučuje provádět tuto zkoušku v odstíněné komoře, které zabrání vniku náhodných polí z okolí a zároveň chrání zařízení a osoby vně komory.[1][5]

2.4.4 ČSN EN 61000-4-4 Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti

Podle této normy se testuje odezva zařízení na EFT/BURST. Jedná se o skupinu impulzů, které vznikají kvůli rychlým přechodovým dějům (například spínáním stykačů).

Norma předepisuje vrcholové napětí impulzů od 0,5 do 4 kV a frekvenci jejich opakování 5 nebo 100 kHz. Tato frekvence by měla být uvedena v produktové normě. Nicméně opakovací frekvence 100 kHz je bližší realitě. Náběžná hrana by měla být 5 ns, doba poklesu impulzu na 50% amplitudy 50 ns. Impulzy se rychle opakují. Z frekvence opakování vyplývá doba trvání impulzu 200 μ s (pro 5 kHz) nebo 10 μ s (pro 100 kHz). Tyto impulzy tvoří skupiny impulzů. Skupina je dlouhá 0,75 nebo 15 ms (podle frekvence). Skupina tedy čítá 75 impulzů. Po skupině pulzů následuje poměrně dlouhá doba bez rušení 285 ms (pro 5 kHz) nebo 299,25 ms (pro 100 kHz).[9]

Tyto skupiny pulzů se navazbí na vodiče vedoucí do zařízení. Vazebními prostředky, které se používají, jsou vazební a oddělovací síť (CDN) nebo kapacitní vazební kleště. Při rušení napájecích částí je použita vazební a oddělovací síť a pro signálové a ovládací vstupy a výstupy zařízení se používá měření s kapacitními vazebními kleštěmi.

Vazební a oddělovací síť (viz obr. 3.6) je tvořena vazební a oddělovací částí. Vazební část slouží k přenosu rušení do vstupů zkoušeného zařízení, ale zároveň

nesmí být ovlivněn generátor. Oddělovací část brání šíření rušení do napájecí nebo datové sítě.

Kapacitní vazební kleště jsou tvořeny 2 rovnoběžnými deskami (viz obr. 3.5). Mezi těmito deskami je umístěn kabel, na který chceme navázat rušivý signál. Tyto kleště mají velkou výhodu oproti vazební a oddělovací síti, protože nemají žádné galvanické spojení s kteroukoliv částí EUT. Kleště jsou dlouhé jeden metr a široké 14 cm. Kabel se mezi deskami musí co nejvíce uzavřít, aby byla vazební kapacita co nejvyšší (bývá asi 50 - 200 pF).

Vyhodnocení výsledku zkoušky je totožné jako u testování podle normy ČSN EN 61000-4-2.

2.4.5 ČSN EN 61000-4-5 Rázový impulz – Zkouška odolnosti

Rázový impulz, který se anglicky označuje jako **surge**, vzniká spínacími přechodovými jevy v napájecí síti nebo přechodovými jevy v atmosféře. První ze způsobů může být zapříčiněn například různými síťovými poruchami nebo rezonančními obvody s tyristory a tranzistory. Rázové impulzy vzniklé v atmosféře jsou důsledkem přímého úderu blesku, nepřímého úderu blesku a průchodem zemního proudu blesku.

Zkušební napětí se aplikuje mezi vodiče nebo mezi vodič a uzemnění. Tyto pulzy jsou pomalejší než v normě 61000-4-4. Generátor vytváří rázový impulz, který má náběžnou dobu napětí naprázdno 1,2 μs a dobu trvání 50 μs . Průběh proudu nakrátko má náběžnou hranu 8 μs a dobu trvání 20 μs . Doba trvání je dána, jako doba kdy průběh napětí přesahuje polovinu maximální hodnoty napětí.[10]

V závislosti na způsobu aplikace se používají různé vazební prvky. Pro vazbu mezi napájecí vodiče se používá kondenzátor 18 μF a pro vazbu mezi napájecí vodič a uzemnění se používá sériová kombinace kondenzátoru 9 μF a rezistoru 10 Ω . Pro propojovací vodiče se používají jiné vazební prostředky. Tyto vazební prostředky jsou obsaženy ve vazební a oddělovací síti na obrázku 9.[10]

Vyhodnocení výsledku zkoušky je totožné jako u testování podle normy ČSN EN 61000-4-2.

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

Tato norma vychází z normy IEC 1000-4-6. Norma v podstatě měří anténní faktory kabelů. Pro vazbu se opět používá vazební a oddělovací síť. Do této sítě vysílá generátor rušivé signály o frekvenci 150 až 80000 kHz. Rušivý signál má podle požadované úrovně hodnoty od 1 do 10 V. Signál o této frekvenci a napětí je ale ještě před navazbením amplitudově modulován sinusovou vlnou o frekvenci 1 kHz do hloubky 80 %. V praxi vazba probíhá přes kabely připojené k EUT. Z tohoto důvodu se norma týká pouze zařízení, která mají alespoň jeden vodivý kabel (včetně zemního vedení). Při zkoušce podle této normy se ještě využívá feritových EM-kleští pro oddělení rušení. Obvykle je součástí těchto kleští proudová sonda pro měření velikosti rušení.[1]

Norma ČSN EN 61000-4-7 Všeobecná směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich je vynechána úmyslně.

2.4.7 ČSN EN 61000-4-8 Magnetické pole síťového kmitočtu - Zkouška odolnosti

Odolnost vůči magnetickému poli se měří pomocí cívek v okolí zařízení. Intenzity magnetických zkušebních polí se pohybují v rozpětí 1 až 100 A/m. Požadovaná intenzita magnetického pole je určena podle požadavků na zařízení. Například monitory a elektronové mikroskopy jsou velmi citlivé, a proto se testují nejnižší intenzitou 1 A/m což ve vakuu odpovídá magnetické indukci 1,26 μ T. Naopak těžký průmysl a rozvodné sítě se testují intenzitou 100 A/m.[1]

Vyhodnocování této zkoušky je opět realizováno zhodnocením funkčnosti zařízení.

Norma ČSN EN 61000-4-9 Pulsy magnetického pole - zkouška odolnosti a norma ČSN EN 61000-4-10 Tlumené kmity magnetického pole - Zkouška odolnosti jsou normy, které jsou velmi podobné normě ČSN EN 61000-4-8. Pro pulzní magnetické pole se vytváří intenzita magnetického pole až 1000 A/m. Pro tlumené kmity magnetického pole jsou zkušební intenzity srovnatelné s normou ČSN EN 61000-4-8.

2.4.8 ČSN EN 61000-4-11 Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti

V této normě jsou obsaženy způsoby testování odolnosti vůči poklesům a přerušením napájení a pomalé změny napětí. Tato norma se týká pouze zařízení, která jsou napájena z elektrické rozvodné sítě 50 Hz nebo 60 Hz a jejichž vstupní fázový proud nepřesahuje hodnotu 16 A. Veškeré poklesy mohou nastat při libovolném fázovém úhlu síťového napětí.[11]

Pro krátkodobé poklesy jsou určeny hodnoty poklesu na 40, 70 a 80 %. Trvání poklesu se pohybuje od doby 0,5 periody až po dobu 250 period. Zvolená hodnota a doba jsou určeny v závislosti na požadavcích na zařízení. Pro určitou třídu, které je určena v normě IEC 61000-2-4, je určeno více možností testování. Například doba trvání 250 period, ale pokles napětí jen na 80 % nebo trvání 10 period při 40 % napětí. Určitou možnost testování určuje norma IEC 61000-2-8.[11]

Doba trvání krátkých přerušení je standardně maximálně 250 period. Doba klesání a stoupání napětí musí být skoková (i pro krátkodobé poklesy), proto je praktická realizace tvořena přepínáním. Reálná náběžná a sestupná hrana by měla být mezi 1 μ s a 5 μ s.

Pomalé změny napětí se v praxi mohou vyskytnout změnou zatížení sítě. Tato část normy je nezávazná. Po začátku testu je napětí skokově sníženo na 70 %. Po dobu jedné periody zůstává napětí na 70 % a dalších 25 period lineárně roste zpět na jmenovitou hodnotu napětí.[11]

Veškeré mnou uvedené doby trvání jsou uvažovány s frekvencí 50 Hz. Pro frekvenci 60 Hz je doba trvání stejná a mění se tedy počet period o 20 % (z 25 period na 30 period). [11]

Testování kolísání napětí není součástí této normy. Kolísání napětí je uvedeno v normě ČSN EN 61000-4-14.

3 Realizace pracoviště

Stavba laboratoře obnášela velké množství práce, která není obsahem mého studijního oboru. Na prvním místě bylo třeba sehnat místnost, která by byla vhodná pro umístění laboratoře. Dále bylo potřeba umístit do této místnosti měřicí stůl spolu s referenčními zemními rovinami a různými izolačními vrstvami.

3.1 Laboratorní stůl

Pro tyto testy bylo nutné mít stůl, který by byl vysoký 0,8 m[8] a splňoval podmínku, že nebude obsahovat žádný kovový spojovací materiál. Stůl musel být kompletně elektricky nevodivý. Podařilo se mi pořídit stůl, který nebyl dostatečně vysoký ani velký, ale neobsahoval žádné vruty nebo hřebíky. Na tento stůl se následně umístily dřevěné desky, které stůl zvýšily do požadované výšky a zvětšily pracovní plochu stolu. Délka pracovní desky je tedy 2 metry a hloubka stolu je 1,25 m. Jedinou nevýhodou je, že deska je na stole jen položená, tedy při velkém zatížení okraje stolu je možné desku stolu převrhnout.

3.2 Potřebné doplňky laboratorního stolu

Na laboratorní stůl bylo nutné pořídit referenční zemní rovinu, která tvoří povrch stolu. Další nutností byla zemní rovina na podlaze. Tento plech byl vybrán tak, aby přesahoval průmět stolu do podlahy ve všech směrech alespoň 0,1 m. Tento zemní plech má velikost 3 x 1,5 m.

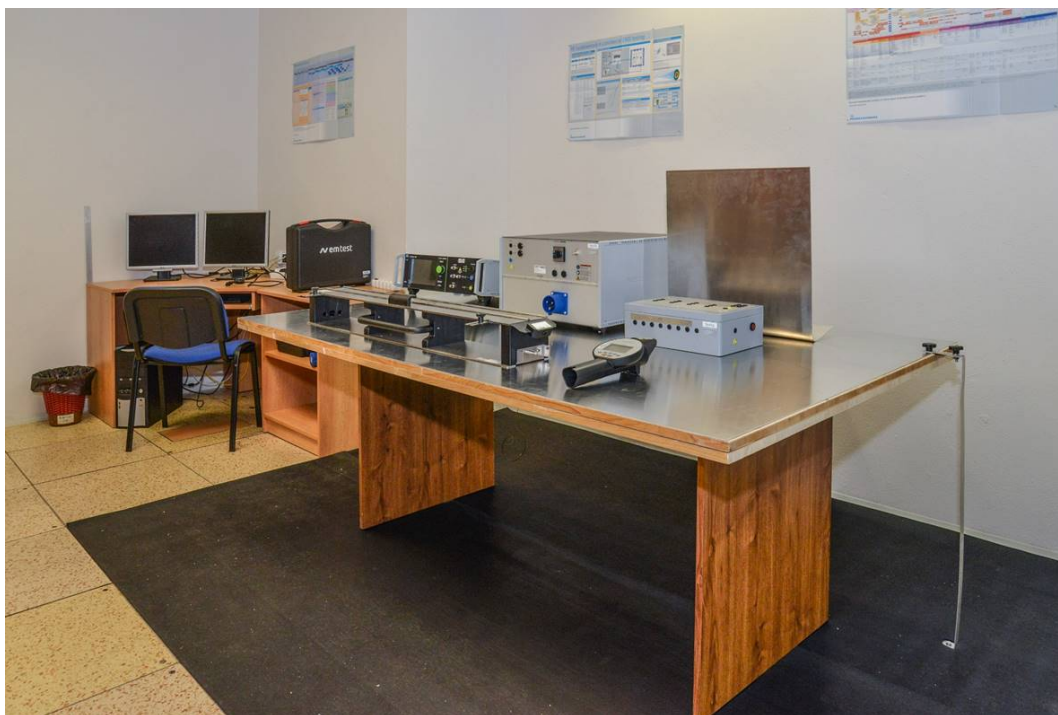
Referenční zemní rovina položená na zemi je kvůli bezpečnosti připojena k zemnímu ochrannému vodiči a celý plech je umístěn pod PVC podlahovým povrchem. Pro spojení zemních rovin na stole a na zemi se nabízelo více variant. Požadavkem bylo masivní spojení, aby nevznikla mezi těmito rovinami kapacita. Jelikož je nutné toto spojení v případě testování ESD odpojit, tak musel být tento spoj realizovatelný jako odpojitelný. Nabízela se varianta připojení kovovým páskem, nebo splétaným vodičem. Splétaný vodič se základně vyrábí do délky 0,5 m, takže bych musel spojit 2 kusy. Dalším problémem je vysoká cena splétaného vodiče. Z tohoto důvodu jsem zvolil pevný pásek. Tyto pásy jsou umístěny na obou bočních krajích stolu a jejich připojování je realizováno krátkými kousky pásku s otvory pro spojovací materiál, protože jinak by docházelo k únavě kovu neustálým ohýbáním a dříve nebo později by se vodič ulomil. Toto spojení bylo velmi levné a v budoucnu jej bude možné

nahradiť nějakým lepším způsobem.

Pro zkoušky ESD se zemní roviny spojují pomocí vodiče s rezistory umístěnými co nejbližší koncům vodiče. Rezistory musí mít podle normy[8] velikost 470 k Ω . Tyto rezistory jsou speciální, protože jsou dimenzovány na napětí 10 kV. Maximální napětí, které lze pomocí generátoru elektrostatického výboje vytvořit je 16,5 kV. V tomto hraničním teoretickém případě budou rezistory zatíženy 8,25 kV. Rezistory jsem připájal co nejbližší konektoru. Jako konektor jsem zvolil standardní banánek o průměru 4 mm. Na konci vodiče je přes rezistor samozřejmě přetažena teplem smršťovací bužírka. Jelikož se bude tento vodič často odpojovat, tak se bojím o jeho životnost, protože je k zemní referenční rovině připevněn napevno a nejslabším místem je vývod rezistoru, který není dimenzován na velké mechanické namáhání.

Různé zkoušky vyžadují různě tlustou izolační vrstvu mezi EUT a referenční zemní rovinou na stole. Zkoušky ESD vyžadují tenkou nevodivou podložku (1 mm), kterou jsem realizoval ze stejného materiálu jako je podlahová krytina. Pro testy EFT/Burst je nutné mít mezi EUT a zemní rovinou izolační vrstvu velkou 0,1 m. tato vrstva se běžně řeší nějakým druhem polystyrenu nebo dřeva. Má volba padla na extrudovaný polystyren Styrodur, který se používá ve stavebnictví jako teplotně izolační vrstva. Pro zvýšení pevnosti povrchu jsem na Styrodur umístil část podlahové krytiny z PVC.

Poslední nutnou podmínkou pro možnost zahájení testování ESD bylo vyrobit svislou vazební desku (VCP) o velikosti 0,5 x 0,5 m, která je potřebná pro testování odolnosti vůči nepřímým výbojům. Tato deska je také připojena vodičem se dvěma rezistory 470 k Ω k referenční zemní rovině na podlaze.



Obrázek 3.1: Pracoviště pro testování EMS na TUL

3.3 Přístroje v laboratoři

V laboratoři se nachází několik zařízení, která slouží pro testování elektromagnetické susceptibility. V této kapitole se těmito zařízeními věnuji.

3.3.1 Simulátor elektrostatického výboje

Dito ESD simulator od firmy EM Test je simulátor nižší třídy. Tento simulátor vytváří maximální napětí 16,5 kV. Pro testy dle normy 61000-4-2 je maximální požadovaná hodnota napětí 15 kV. Z tohoto důvodu je tento simulátor plně dostačující. Lepší generátory vytvářejí napětí až 30 kV. Takto vysoké napětí se používá pro speciální a vojenské aplikace. Někdy se pro tyto testy využívá norma ISO 10605, která je v mnoha ohledech podobná a lze podle ní testovat tímto simulátorem.

Součástí zařízení jsou 2 vybíjecí hroty. Špičatý hrot pro přímé výboje a oblý hrot pro nepřímé výboje. Simulátor je napájen akumulátorem LiFePO₄. K akumulátoru je k dispozici i nabíjecí adaptér s připojením do standardní elektrické rozvodné sítě. Dle dokumentace umožní kapacita akumulátoru více než 70000 výbojů při 16,5 kV[12]. Velmi důležitou součástí je vodič pro připojení k zemnímu potenciálu. Tento vodič musí být vždy připojen, aby uzavíral elektrický obvod. Při nehodě by se mohl obvod uzavřít přes osobu obsluhující zařízení a způsobit zranění.

Pro určené body se aplikuje alespoň 10 výbojů obou polarit. Testování začíná na nejnižším napětí dle normy (2 kV dle ČSN EN 61000-4-2). Výboje nesmí mít vyšší frekvenci opakování než 1 Hz. Při první změně funkce zařízení musí být test ukončen, aby nebylo zařízení poškozeno nebo více poškozeno.[8]

Po ukončení zkoušky je do paměti simulátoru uložen výsledek. Tento výsledek lze do PC přesunout pomocí optického výstupu.[12]



Obrázek 3.2: Simulátor elektrostatického výboje[12]

3.3.2 Multifunkční generátor rušení

Asi nejkomplexnějším zařízením pro testování EMS je generátor. Laboratoř obsahuje generátor NX5 Compact UCS 500N5, který je opět od firmy EM Test. Tento generátor má možnost generovat více různých rušivých signálů, kterými jsou EFT/B, surge, signály pro generování magnetického pole a signál pro variaci, který podle tohoto signálu generuje poklesy a výpadky napájení. Generátor obsahuje oddělovací síť pro zamezení šíření rušení do sítě a část pro vazbu na napájecí vodiče podle norem ČSN EN 61000-4-4 a 5.[13]

Zařízení má možnost generovat výsledný protokol včetně firmy, zařízení atd. Protokol o zkoušce lze přenést do PC na USB flash disku. Komunikace s PC může probíhat po ethernetu, USB a optickém vláknu. Počítač může být v této komunikaci nadřazeným prvkem a ovládání generátoru může být vzdálené. Nastavení a ovládání je realizováno především pomocí dotykového displeje.

Generátor obsahuje i bezpečnostní obvod, který v případě rozepnutí zabrání generátoru v zapnutí testu. Dalším obsaženým obvodem je signalizace. Tento obvod je vhodný pro zapojení signalizace zapnutého testu. Při testech je napájení vedeno skrz generátor z důvodu synchronizace. Do generátoru vedou 4 vodiče, protože variaci vytváří 2 fázová napětí, mezi kterými následně přepíná. Svorky jsou označeny PF1, PF2, N a PE. Výstupní svorky napájení jsou tvořeny 3 zdířkami označenými standardě L, N a PE. Další výstupní svorky generátoru jsou pro EFT/B a surge. svorka pro EFT/Burst je vpředu a je tvořena koaxiálním výstupem s impedancí 50 Ω . Pro surge jsou vzadu umístěny 2 zdířky HV a COM. Pro naše testování je důležitý také výstup 0 - 10 V pro variaci, který je umístěný na zadní straně přístroje.



Obrázek 3.3: Multifunkční generátor rušení[13]

3.3.3 Variaci

Největším a nejtěžším zařízením v laboratoři je variaci-NX 1-260-16 od firmy EM Test. Všechna zařízení jsou od stejné firmy kvůli lepší kompatibilitě. Variaci

slouží k testování odolnosti vůči poklesům a přerušení napájení. Řízení poklesů je realizováno signálem 0 - 10 V, který vytváří generátor NX5. Maximální proud variakem je 16 A.

Veškeré konektory, pojistky a vypínač jsou umístěny na zadní straně variaku. Napájení variaku je realizováno jednofázovou zástrčkou CEE. Výstup z variaku je realizován standardními banánky o průměru 4 mm. Výstupem jsou 4 vodiče, kterými jsou PF1, PF2, N a PE. Uvnitř variaku je fázový vodič rozdělen na PF1, který není nijak ovlivněn, a PF2, kde je hodnota výstupního napětí dána řídicím napětím z generátoru. Zajímavostí je, že jištění variaku musí být dimenzované na proud 39 A po dobu 3 s, protože při zapnutí se musí transformátor uvnitř variaku nabudít. Nastavení napětí PF2 uvnitř variaku je realizováno pomocí motoru na jezdcí autotransformátoru.[14]



Obrázek 3.4: Variak ze zadní strany

3.3.4 Kapacitní vazební kleště

Kleště CCI od společnosti EM test slouží k vazbě rušivého signálu EFT/Burst na signálové vodiče. Pokud by nebyla k dispozici vazební síť, která je součástí generátoru, tak slouží kleště i pro napájecí vodiče. Testováním EFT/B se zabývá norma ČSN EN 61000-4-4.

Kapacitní vazební kleště mají zdířku pro připojení rušivého signálu z generátoru NX5. Délka kleští je 1 m a maximální průměr kabelu je 40 mm. Tento kabel je nutné co nejvíce sevřít, aby byla vazební kapacita co nejvyšší. Pro ověření funkce a kalibraci je součástí kleští ohebná deska obsahující měděnou folii o tloušťce menší než 0,5 mm. Dále je dostupný adaptér z banánku na koaxiální SHV konektor. Tento adaptér slouží k připojení zatěžovacího rezistoru 50 nebo 1000 Ω . Cílem tohoto zapojení je možnost připojení osciloskopu přes tento rezistor, který sníží napětí. Napětí je poté měřitelné osciloskopem.[15]



Obrázek 3.5: Kapacitní vazební kleště[15]

3.3.5 Vazební a oddělovací síť

Vazební a oddělovací síť CNV 504N1 od firmy EM Test je určena pro vazbu rušivého signálu typu surge na datové a signálové vodiče. Rušivý signál se vytváří v generátoru NX5. Tímto testem odolnosti se zabývá norma ČSN EN 61000-4-5. Tato síť umožňuje maximální rušivé napětí 4 kV a průchodný proud až 1 A. Vazební kapacity sítě slouží pro vazbu na datové a signálové vodiče. Maximálně lze testovat až 4 vodiče. Podle propojení na krytu sítě si obsluha zvolí způsob vazby. Výběr je z vazby $0,5 \mu\text{F}$ sériově s rezistorem 40Ω nebo bleskojistka (90 V) sériově s rezistorem 40Ω . Tato síť umožňuje i vazbu tlumené sinusové vlny podle ČSN EN 61000-4-12.[16]



Obrázek 3.6: Vazební a oddělovací síť

4 Testování průtokoměru EESA

Pro první zkoušky jsem získal magnetoinduktivní průtokoměr MP400CM od firmy EESA. Sériové číslo tohoto průtokoměru je 2009/465909.

4.1 Testy ESD

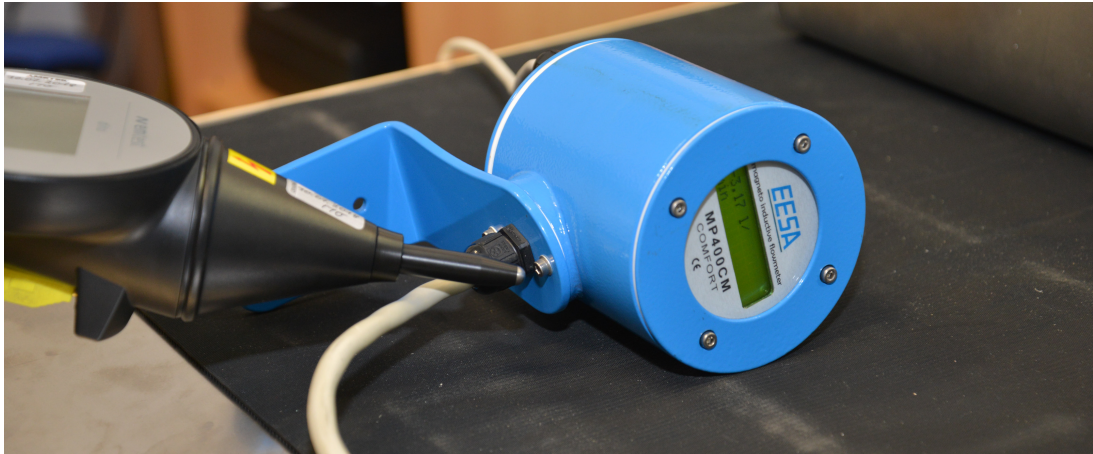
Nedohledával jsem, jaké konkrétní hodnoty by měl průtokoměr splňovat, a proto jsem zkoušel od nejnižších hodnot do selhání zařízení.

Pro přímý výboj zařízení odolalo výboji 2 kV. Tento výboj jsem aplikoval na 4 šrouby umístěné na čelní straně kolem displeje a na matky na zadní straně. Při kontaktním výboji 4 kV začal displej zobrazovat nesmysly.



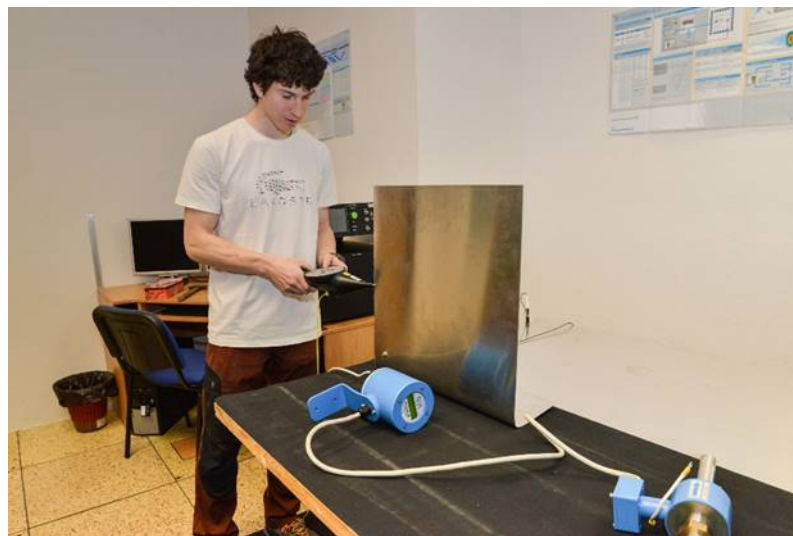
Obrázek 4.1: Příklad chyby zařízení

Při výboji vzduchem odolalo zařízení výboji 2 kV. Vyšší třídu již zařízení nesplnilo (4 kV).



Obrázek 4.2: Testování průtokoměru EESA výbojem vzduchem

Poslední testovaný způsob byl přímý impulz na vodorovnou vazební desku a svislou vazební desku. Při vazbě na svislou vazební desku odolalo zařízení výboji 4 kV. Toto napětí odpovídá třídě 2. Ovšem u jiných testů odolalo zařízení výbojům pouze třídy 1. Když zařízení přestalo správně pracovat, tak následně samo obnovilo správnou funkci (bez zásahu obsluhy).



Obrázek 4.3: Testování průtokoměru EESA výbojem na svislou vazební desku

4.2 Testy EFT/Burst

Pro testy rychlých přechodových jevů EFT/B byla použita vazební a oddělovací síť uvnitř multifunkčního generátoru NX5 a vazba byla prováděna na napájecí vodič průtokoměru. Pro napětí 500 a 1000 V byly testy splněny. Zařízení nesplnilo testy pro napětí 1,5 kV.



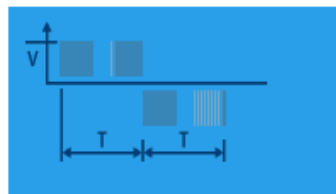
Obrázek 4.4: Testování odolnosti zařízení vůči EFT/B

Z tohoto měření jsem vygeneroval protokol o testování, který je uveden na následujícím obrázku.

Test

Procedure	
Test name	Quick start
Phenomenon	Burst
Test generator	compact NX5 (s/n P1611176997)

Parameters	
Parameters	Values
Voltage (V)	1500 V
Polarity (Pol)	Alternate
Repetition frequency (f)	5 kHz
Burst duration (td)	15 ms
Burst period (tr)	300 ms
Duration (T)	10 s
Coupling (Cpl)	L,N,PE,L+N,L+PE,N+PE,L+N+PE
Phase synchronization (Sync)	Off



List of events		
Time	Event	Information
11:52:46	User event	Test start
11:53:01	Parameter changed	Polarity Negative
11:53:03	User event	Test break : V = -1500 V, Cpl = L
11:53:03	Status changed	Test paused
		chyba
11:53:13	User event	Test resume : V = -1500 V, Cpl = L
11:53:21	Parameter changed	Coupling N
11:53:21	Parameter changed	Polarity Positive
11:53:32	Parameter changed	Polarity Negative

Obrázek 4.5: Část protokolu z testování EFT/B

Ohledně rychlých přechodových jevů jsem naměřil rušivý impuls. Pro toto měření jsem použil osciloskop Rigol DS1102CD (SN: DS1102000000481) Generoval jsem impuls 1 kV. Tento impuls má mít dle normy, při zatížení 50 Ω, maximální napětí s tolerancí ±20 %, šířka impulsu 50 ns s tolerancí -15 ns až +100 ns a doba náběhu $5 \pm 1,5$ ns.[9]



Obrázek 4.6: Změřený impuls EFT/B 1 kV

Tento impuls odpovídá normě, kromě parametru maximálního napětí. Tato nepřesnost je způsobena tím, že impedance osciloskopu je 1 MΩ. Normou požadovaná impedance je 50 Ω. Tvar impulsu je navíc ovlivněn parazitní kapacitou sondy a osciloskopu.

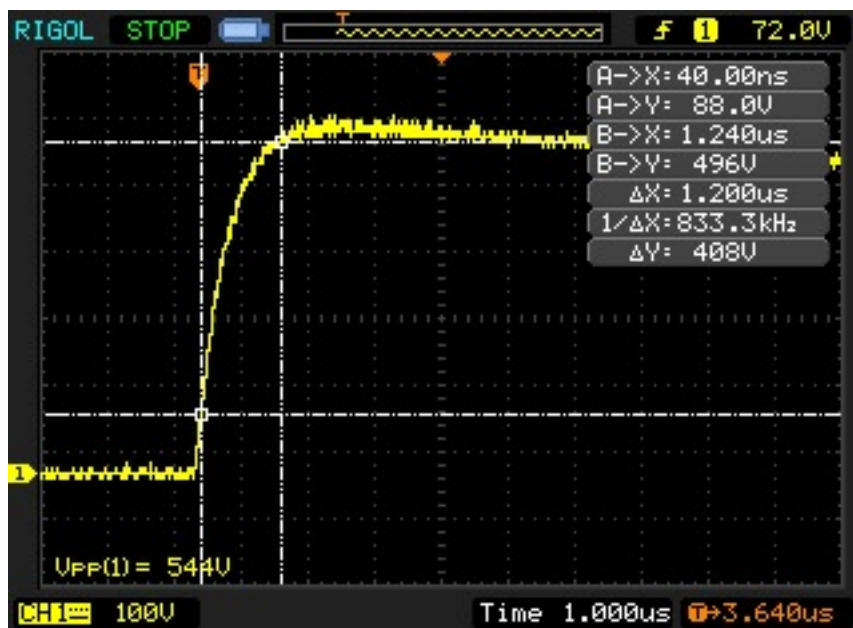
4.3 Testy rázového impulsu (surge)

Tyto testy jsem dělal ve 3 zkušebních úrovních a to 500, 1000 a 2000 V. Zařízení odolalo tomuto druhu rušení i při napětí 2000 V a splňuje tedy třídu odolnosti 3. Vyšší napětí jsem netestoval, protože bych mohl zařízení nenávratně poškodit. Špičkový proud do zařízení byl až 35 A (tuto hodnotu změřil generátor). Vzhled stolu je stejný jako na obr. 4.4. Z tohoto důvodu neuvádím další obrázek. Jediným rozdílem je červené podsvícení displeje generátoru.

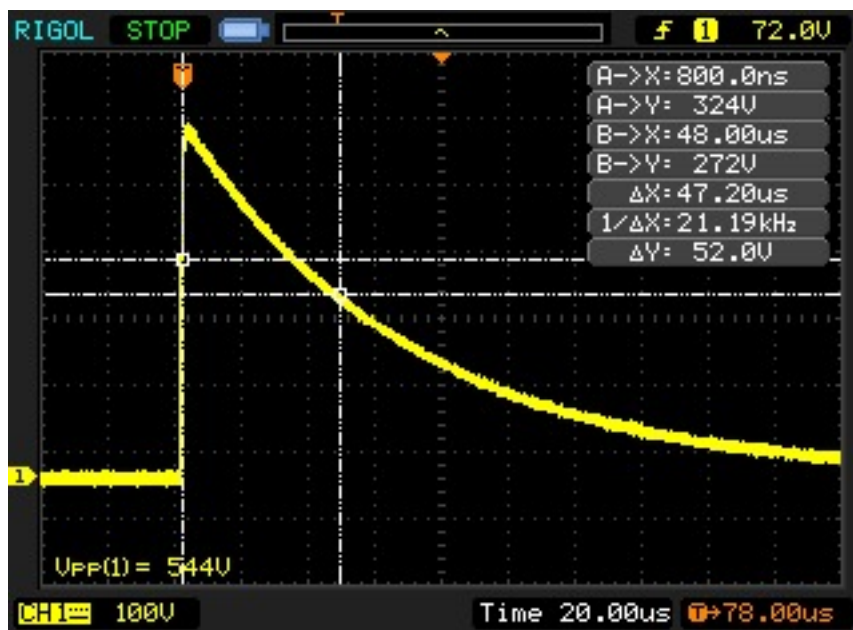
Pomocí sondy 1:100 jsem změřil výstupní rázový impuls z generátoru. Ideálně by měl mít impuls maximální napětí ± 10 %, náběžnou hranu $1,2 \mu\text{s} \pm 30 \%$ ($1,67 * 30-90 \%$ z maximálního napětí) a dobu trvání $50 \mu\text{s} \pm 20 \%$ (doba nad 50 % z maximálního napětí). [10] Námí generovaný impuls měl maximální napětí 500 V

Z měření vidíme, že maximální napětí bylo 544 V, což je v toleranci normy. Náběžná hrana nebyla měřena správně, ale doba bez vynásobení konstantou 1,67 od-

povídá požadavkům normy. Doba trvání rázového impulsu byla změřena 47,2 μs . Tato odchylka je 5,6 %. Tento impuls tedy normu ČSN EN 61000-4-5[10] splňuje.



Obrázek 4.7: Měření náběžné hrany Surge 500 V

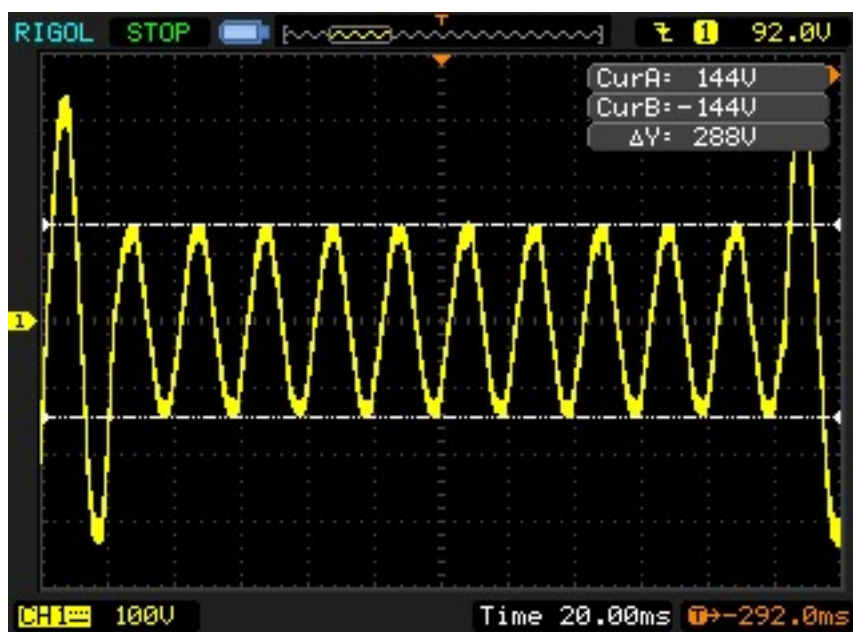


Obrázek 4.8: Měření trvání Surge 500 V

4.4 Testy kvality napájení

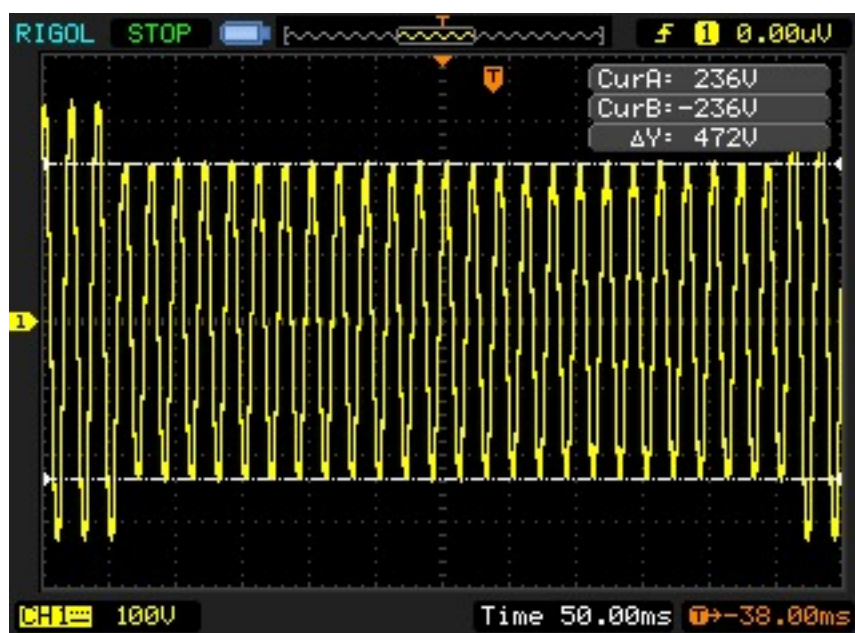
Zařízení bylo testováno dle normy ČSN EN 61000-4-11 na krátké poklesy napájení a krátké přerušování napájení. Zařízení v těchto testech uspělo. Neproběhl restart zařízení.

Následně jsem provedl měření poklesů napájení na osciloskopu. Měřil jsem pokles na 40 % po dobu 10 period, pokles na 70 % po dobu 25 period a výpadek jedné poloviny periody.

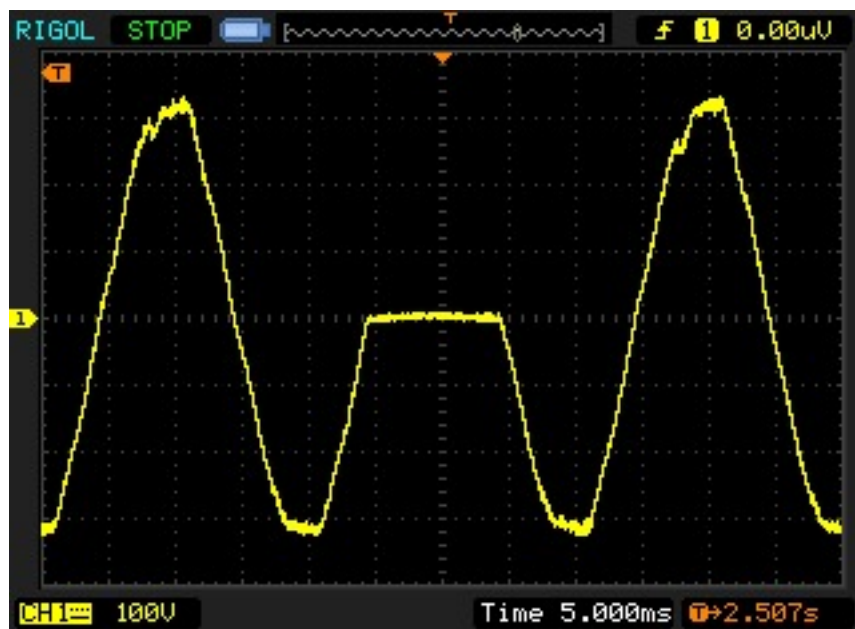


Obrázek 4.9: Měření poklesu na 40 % po dobu 10 period

Tyto výpadky vytváří generátor s variakem velmi přesně. Pokles vychází v prvním případě na 44 % a v druhém případě na 72,6 %. Měřil jsem výstup z generátoru zatížený pouze vstupem osciloskopu (1 M Ω). Z měření je patrné velmi přesné přepínání v průchodu napětí nulou.



Obrázek 4.10: Měření poklesu na 70 % po dobu 25 period



Obrázek 4.11: Měření výpadku jedné poloviny periody

Závěr

Závěrem této práce bych chtěl shrnout výsledky mojí práce. Elektromagnetická kompatibilita je v dnešním elektronickém světě velmi důležité téma. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že na Technické univerzitě v Liberci bude vytvořeno pracoviště pro testování elektromagnetické kompatibility (EMC). Prvním krokem, kterého jsem se aktivně zúčastnil, bylo vytvoření pracoviště pro testy elektromagnetické odolnosti (EMS). Asi největší dobu mi trvalo zorientovat se v normách věnovaných EMC. Výsledkem mojí práce je především realizace laboratoře pro testování odolnosti vůči elektrostatickému výboji, rychlým přechodovým jevům, rázovému impulzu, krátkodobým poklesům napětí, krátkým přerušením napětí a pomalým změnám napětí. Tyto metody jsou přesně definovány v českých normách, které jsou převzaté z evropských norem. Laboratoř obsahuje veškeré potřebné přístroje pro standardní testování EMS. Mezi tyto přístroje patří generátor, variak, kapacitní vazební kleště, vazební a oddělovací síť a simulátor pro testování elektrostatického výboje. Následně bylo vhodné vyzkoušet pracoviště na nějakém konkrétním zařízení. Tímto zařízením byl magnetoinдуктивní průtokoměr EESA MP400CM. Tento průtokoměr prošel všemi testy, které je možné v laboratoři realizovat. Průtokoměr nesplnil druhou třídu odolnosti vůči elektrostatickému výboji. V testech odolnosti proti rychlým přechodovým jevům (EFT/B) splnil průtokoměr třídu 2. Testům rázového impulzu (surge) odolal průtokoměr nad očekávání. Zařízení v tomto testu splnilo třetí třídu. Posledním testem byl test odolnosti proti poklesům a krátkým přerušením napájení. Tyto testy byly splněny bez problémů. Zadání práce bylo beze zbytku splněno. Dalším krokem bude vytvoření pracoviště testy elektromagnetické interference (EMI) a prostudování norem spojených s touto problematikou. Pro tento postup jsou vytvořeny dobré předpoklady – EMI přijímač je již ve výběrovém řízení a je v plánu i pořízení bezodrazové komory GTEM.

Použitá literatura

- [1] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility* [online]. Brno, 2002 [cit. 2019-01-13]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/3284087-Elektromagneticka-kompatibilita.html>. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.
- [2] *H TEST a.s., Seminář Testování elektromagnetické kompatibility a elektrické bezpečnosti při vývoji a výrobě*. Praha, 2018.
- [3] *Teseq BiLog Antenna* [online]. Roseville: The EMC Shop, 2009 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.theemcshop.com/biconilogs-/410-teseq-cbl-6141b-compact-x-wing-bilog-antenna-30-mhz-to-2-ghz.html>.
- [4] *Základy Systémové techniky budov: Přehled norem, používaných v oblasti systémové techniky vybavení budov* [online]. Ostrava: Technická univerzita Ostrava [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/STB/6.%5C%20Normy%5C%20v%5C%20STB.pdf>.
- [5] *Zkoušky EMC* [online]. Desná: ABEGU, 2015 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://www.abegu.cz/zkousky-emc.html>.
- [6] *Ochrana radiového příjmu před rušením* [online]. Hradec Králové: TECHNOR, 2005 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/elektrotechnika-elektrotechnicke-predpisy-33/ochrana-radioveho-prijmu-pred-rusenim-3342>.
- [7] DUFFY, Alister. *Electromagnetic Compatibility: EMC Pocket Guide*. Charlesworth Press, 2013. ISBN 978-1-61353-210-2.
- [8] *Elektromagnetická kompatibility (EMC) – Část 4-2: Zkušební a měřicí technika – Elektrostatický výboj – Zkouška odolnosti*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [9] *Elektromagnetická kompatibility (EMC) – Část 4-4: Zkušební a měřicí technika – Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti*. 3. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [10] *Elektromagnetická kompatibility (EMC) – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Rázový impulz – Zkouška odolnosti*. 3. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

- [11] *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-11: Zkušební a měřicí technika - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušování a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti*. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [12] *DITO ESD SIMULATOR: data sheet*. 2016.
- [13] *Manual For Operation compact NX5*. 1.12. vyd. Reinach, 2018.
- [14] *Operating manual Motor driven AC source*. 1.02. vyd. 2017.
- [15] *CCI CAPACITIVE COUPLING CLAMP: data sheet*. 2017.
- [16] *Operating manual CNV 50x Nx.x N-serie*. 1.05. vyd. 2017.
- [17] VÍDENKA, Rostislav. *Některé otázky předcertifikačních testů EMC*. Brno, 2009. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně.