

Odolnost elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům

Patrik Šara

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Patrik Šara
Osobní číslo: A13069
Studijní program: B3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Bezpečnostní technologie, systémy a management
Forma studia: prezenční

Téma práce: Odolnost elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům
Téma anglicky: Electronic Device Resistance against Electrostatic Discharges

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte problematiku elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům.
2. Zpracujte požadavky pro testování elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům pro vybrané druhy elektronických zařízení.
3. Navrhněte a sestavte pracoviště pro testování odolnosti elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům.
4. Realizujte testy a měření na vybraných elektronických zařízeních.
5. Vyhodnoťte výsledky měření.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ČSN EN 61000-4-2 ED.2. Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-2: Zkušební a měřicí technika Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti. Praha: Český normalizační institut, 2009. Třídící znak 333432.
2. SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky. 1. vyd. V Brně: Vysoké učení technické, 2001, 156 s. ISBN 80-214-1873-7.
3. LUKÁŠ, Luděk a kolektiv. Bezpečnostní technologie, systémy a management III. 1. vyd. Zlín: VeRBuM, 2013, 456 s. ISBN 978-80-87500-35-4.
4. CLAYTON, R. Paul. Introduction to electromagnetic compatibility. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006, XXI, 983 p. ISBN 9780471755005.
5. OTT, Henry W. Electromagnetic compatibility engineering. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2009, XXV, 843 p. ISBN 0470189304.
6. NEACSU, Oana-Maria, Marius Valerian PAULET and Alexandru SALCEANU. Analysis of current pulse generated by electrostatic discharge simulator. In: 2014 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE). IEEE, 2014, s. 484-487. DOI: 10.1109/ICEPE.2014.6969955. ISBN 978-1-4799-5849-8.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Hana Urbančoková

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

3. února 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

29. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu


Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 26.5.2017


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům. V úvodu práce je popsána základní problematika elektromagnetické kompatibility. Dále je v teoretické části práce rozebrána problematika elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům včetně požadavků pro testování vybraných elektronických zařízení a jsou popsány základní modely elektrostatických událostí všedního života. Praktická část práce prezentuje realizované zkoušky elektromagnetické odolnosti na vybraných elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům na testovacím pracovišti pro zkoušky elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům.

Klíčová slova: elektromagnetická kompatibility, elektromagnetická odolnost, ESD simulátor, elektrostatický výboj, poplachové systémy

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with problematics of electromagnetic resistance of electronic devices against electrostatic discharges. At the beginning of the thesis the basic problematics of electromagnetic compatibility are described. Furthermore, theoretical part of the thesis deals with problematics of electromagnetic resistance of electronic devices against electrostatic discharges including requirements for testing of selected electronic devices and describes the basic models of electrostatic events of everyday life. Practical part of the thesis presents the realized electromagnetic immunity tests on selected electronic devices against electrostatic discharges at the test site for electromagnetic resistance tests against electrostatic discharges.

Keywords: Electromagnetic compatibility, Electromagnetic susceptibility, ESD simulator, electrostatic discharge, alarm systems

Chtěl bych poděkovat mé vedoucí bakalářské práce Ing. Haně Urbančokové za pomoc a cenné rady při tvorbě bakalářské práce a za její čas a trpělivost při konzultacích bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě podporovala po dobu celého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	10
1.1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ PROBLEMATIKY ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	10
1.1.1 Elektromagnetické rušení.....	11
1.1.2 Elektromagnetická odolnost.....	11
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY	11
1.3 DĚLENÍ SYSTÉMŮ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY.....	13
1.3.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů	13
1.3.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů	13
1.3.3 Základní řetězec EMC.....	13
1.4 ZDROJE ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENÍ.....	15
1.5 PŘENOSOVÉ PROSTŘEDÍ A ELEKTROMAGNETICKÉ VAZBY	17
2 ELEKTROSTATICKÝ VÝBOJ	19
2.1 SIMULÁTOR ELEKTROSTATICKÝCH VÝBOJŮ	19
2.2 ZKUŠEBNÍ PRACOVÍŠTĚ PRO ZKOUŠKY ODOLNOSTI.....	21
2.3 ZKOUŠKY ODOLNOSTI VŮČI ELEKTROSTATICKÝM VÝBOJŮM	22
2.3.1 Kontaktní elektrostatický výboj	23
2.3.2 Elektrostatický výboj vzduchovou mezerou	24
2.3.3 Nepřímý elektrostatický výboj na vazební desku	25
2.4 VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	25
2.5 ZKOUŠKY ODOLNOSTI ESD U INFORMAČNÍCH TECHNIKY	26
2.6 ZKOUŠKY ODOLNOSTI ESD U POPLACHOVÝCH SYSTÉMŮ	27
3 MODEL Y ESD UDÁLOSTÍ	29
3.1 MODEL LIDSKÉHO TĚLA	29
3.2 MODEL ČLOVĚK-KOV	31
3.3 MODEL NABITÉHO ZAŘÍZENÍ.....	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
4 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI	35
4.1 POPIS MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ A ZKUŠEBNÍHO PRACOVÍŠTĚ.....	35
4.1.1 ESD simulátor ONYX 16.....	35
4.1.2 Zkušební pracoviště	36
4.2 ZKOUŠKY ODOLNOSTI U ZAŘÍZENÍ INFORMAČNÍ TECHNIKY	37
4.2.1 GPS navigace LTLM TW – 808	37
4.2.2 Mobilní telefon Samsung Galaxy S3 mini	39
4.3 ZKOUŠKY ODOLNOSTI ESD U ZAŘÍZENÍ POPLACHOVÝCH SYSTÉMŮ	43
4.3.1 Ústředna JA – 82K	43
4.3.2 Klávesnice JA – 81E	44
4.3.3 PIR detektor JS – 20.....	45
4.3.4 Bezdrátový modul AC – 82.....	46
4.3.5 Ústředna paradox Magellan MG5050-868.....	47
4.3.6 Klávesnice K636	49

4.3.7	Duální detektor Paradox 525DM	49
5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	52
5.1	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PRO ZAŘÍZENÍ INFORMAČNÍ TECHNIKY	52
5.1.1	Výsledky testů pro GPS navigaci LTLM TW – 808.....	52
5.1.2	Výsledky testů pro mobilní telefon Samsung Galaxy S3 mini	53
5.2	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ PRO ZAŘÍZENÍ POPLACHOVÝCH SYSTÉMŮ.....	55
5.2.1	Výsledky testů pro ústřednu JA – 82K	55
5.2.2	Výsledky testů pro klávesnici JA – 81E	56
5.2.3	Výsledky testů pro PIR detektor JS – 20	56
5.2.4	Výsledky testů pro bezdrátový modul AC – 82	57
5.2.5	Výsledky testů pro ústřednu paradox Magellan MG5050-868	57
5.2.6	Výsledky testů pro klávesnici K636	58
5.2.7	Výsledky testů pro duální detektor Paradox 525DM.....	58
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67

ÚVOD

Práce popisuje a analyzuje problematiku elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům. Dané téma bylo zvoleno zejména proto, že se v dnešní době využívá celá řada elektronických součástí, například integrované obvody, citlivých vůči poškození elektrostatickým výbojem. A jelikož vývoj či trend dnešní doby je všechny tyto součástky zmenšovat a zrychlovat, dochází tím k větší citlivosti zařízení vůči elektrostatickým výbojům, které by mohli mít až destruktivní následek na elektronické zařízení.

Cílem práce je analyzovat problematiku elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům, zpracovat požadavky norem pro testování elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům pro vybrané druhy elektronických zařízení a následně provést zkoušky odolnosti na vybraných elektronických zařízeních.

Teoretická část práce je rozdělena do několika kapitol. V první kapitole je popsáno základní dělení problematiky elektromagnetické kompatibility a základní řetězec elektromagnetické kompatibility. Následující kapitola řeší problematiku elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům, kdy je popsáno, jak vzniká elektrostatický výboj a jakým způsobem se provádí testy vůči elektrostatickým výbojům a dále jsou popsány požadavky pro testování elektromagnetické odolnosti pro vybraná elektronická zařízení. V poslední kapitole teoretické části je popsáno základní dělení elektrostatických událostí všedního života do tří modelů.

V praktické části je představeno měřící zařízení a zkušební pracoviště, na kterých se provádí testy elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům. Dále jsou představeny a popsány elektronická zařízení, na kterých se vykonávaly testy elektromagnetické odolnosti. Z realizovaných testů jsou poté vyhodnoceny výsledky měření.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

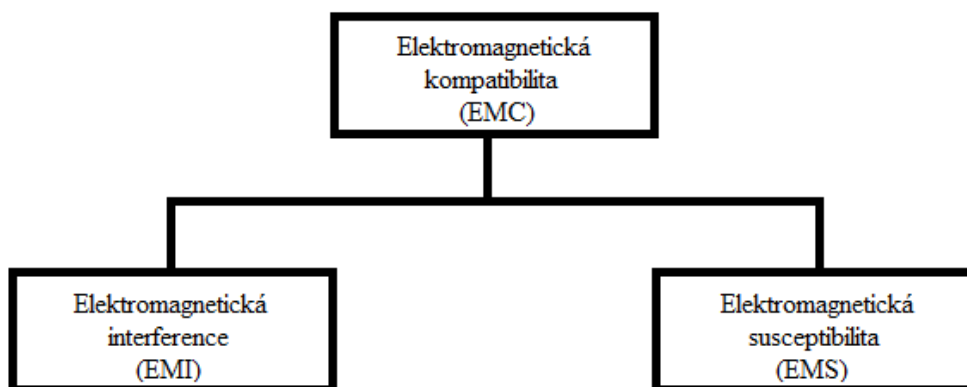
Elektromagnetická kompatibilita jako vědní obor vznikla v šedesátých letech 20. století v USA, kdy byla předmětem zájmu především ve vojenském a kosmickém průmyslu. Širší zájem o elektromagnetickou kompatibilitu vzrostl o 10 až 15 let později díky prudkému rozvoji elektroniky a to především mikroprocesorové a telekomunikační techniky. Díky tomuto rozvoji dnes elektromagnetická kompatibilita proniká do všech oblastí každodenního života.

Již v roce 1968 jeden ze zakladatelů elektromagnetické kompatibility jako samostatného vědeckého oboru H.M. Schlike řekl: „*Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý. Bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností*“ [1].

Elektromagnetická kompatibilita (EMC - Electromagnetic compability) je schopnost zařízení, systému či přístroje správně fungovat v prostředí, v kterém působí zdroje elektromagnetického signálu (umělého či přírodního charakteru). Kromě toho zařízení, systém či přístroj nesmí svou elektromagnetickou činností ovlivňovat své okolí, což znamená, že by nemělo vyzařovat elektromagnetické signály, tedy rušení, které by ovlivnilo správnou funkčnost ostatních zařízení [1].

1.1 Základní dělení problematiky elektromagnetické kompatibility

Celá problematika EMC se dá rozdělit do dvou základních skupin (Obr. 1). První skupinou je elektromagnetické rušení a druhou je elektromagnetická odolnost.



Obr. 1 Základní dělení EMC, Modifikováno autorem z: [2]

1.1.1 Elektromagnetické rušení

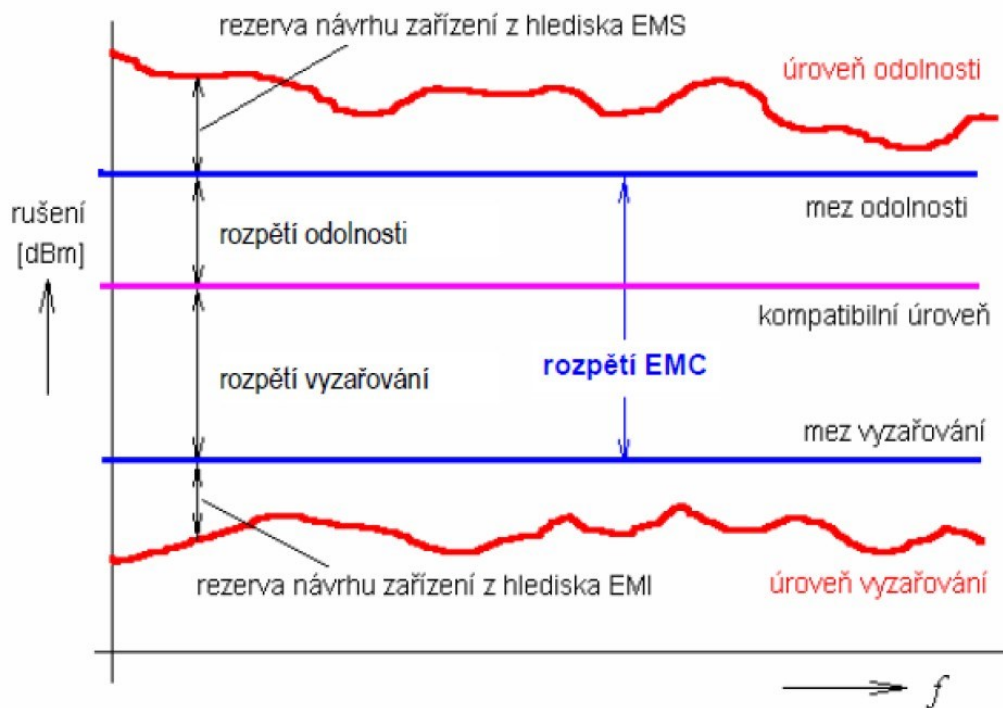
Elektromagnetické rušení (EMI – Electromagnetic interference) je proces, v rámci kterého se signál generovaný zdrojem elektromagnetického rušení prostřednictvím přenosových cest přenáší do rušených systémů. Problematika EMI se zabývá především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů, identifikací parazitních přenosových cest a zavedením technických opatření na straně zdrojů a přenosových cest. EMI se tedy zabývá příčinami rušení a jejich odstraňováním [1].

1.1.2 Elektromagnetická odolnost

Elektromagnetická odolnost (EMS – Electromagnetic susceptibility) vyjadřuje schopnost zařízení či systému pracovat bez poruch nebo s přesně stanoveným přípustným vlivem v prostředí, kde se nachází elektromagnetické rušení. EMS se tedy zabývá technickými opatřeními, jež u přijímače rušení zvyšují elektromagnetickou odolnost, což znamená, že se věnuje především odstraňováním důsledků rušení, bez toho, aby odstraňovala jejich příčiny [1].

1.2 Základní pojmy

Pro každé elektrotechnické zařízení, které je zároveň zdrojem i přijímačem elektromagnetického rušení, definuje Mezinárodní elektrotechnický slovník ČSN IEC 50 ve své kapitole 161 – Elektromagnetická kompatibilita některé ze základních pojmů, zobrazených na Obr. 2 [1].



Obr. 2 Obecné schéma definující úrovně, meze vyzařování a odolnosti [3]

Elektromagnetické rušení – jedná se o elektromagnetický jev, který může ovlivnit správnou činnost přístroje, zařízení či systému.

Úroveň odolnosti – maximální úroveň elektromagnetického rušení působícího na daný přístroj, zařízení či systém, při níž nedojde k zhoršení provozu daného prvku.

Mez odolnosti – nejnížší předepsaná úroveň odolnosti daného přístroje, zařízení či systému.

Rezerva návrhu zařízení z pohledu odolnosti – rozdíl mezi úrovní a mezí odolnosti daného přístroje, zařízení či systému.

Rozpětí odolnosti – rozdíl mezi mezní odolností přístroje, zařízení či systému a kompatibilní úrovní.

Úroveň vyzařování – úroveň elektromagnetické rušení vyzařovaného konkrétním přístrojem, zařízením či systémem, měřené předepsaným způsobem.

Mez vyzařování – nejvyšší předepsaná úroveň vyzařování daného přístroje, zařízení či systému.

Rezerva návrhu zařízení z pohledu vyzařování – rozdíl mezi úrovní a mezí vyzařování daného přístroje, zařízení či systému.

Rozpětí vyzařování – rozdíl mezi mezní úrovní vyzařování daného přístroje, zařízení či systému a kompatibilní úrovní.

Kompatibilní úroveň – maximální předepsaná úroveň elektromagnetického rušení, při které se předpokládá, že přístroj, zařízení či systém bude omezován v určitých podmínkách.

Rozpětí EMC – rozdíl mezi odolností a vyzařováním daného přístroje, zařízení či systému [1].

1.3 Dělení systémů elektromagnetické kompatibility

Otázky ohledně EMC lze rozdělit do dvou kategorií a to do elektromagnetické kompatibility biologických systémů a elektromagnetické kompatibility technických systémů [1].

1.3.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

EMC biologických systémů se zabývá přípustnými úrovněmi rušivých i užitečných elektromagnetických signálů (umělých a přírodních), které mohou mít vliv na živé organismy. Problematikou EMC biologických systémů se zabývají výzkumná lékařská pracoviště, jež mají za úkol zjistit vliv elektromagnetických polí na lidský organismus. Přestože jsou tyto vlivy pozorovány už delší dobu, zatím nebyly uvedeny jednoznačné výsledky výzkumu, jelikož biologické účinky elektromagnetického pole závisí na jeho charakteru, době působení a vlastnostech daného organismu, jako například adaptační, kompenzační a regenerační schopnosti člověka [1].

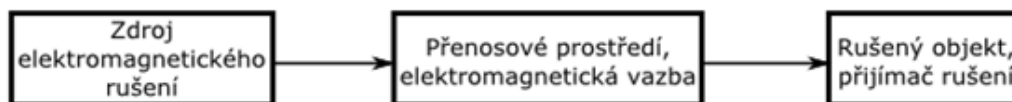
1.3.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

EMC technických systémů zkoumá vzájemné působení a koexistenci technických prostředků, zejména elektrotechnických a elektronických přístrojů a zařízení. Z původní disciplíny, která se zabývala pouze ochranou proti rušení rádiového příjmu, se v současné době elektromagnetická kompatibilita stala širokým vědním oborem, který má další podobory a oblasti [1].

1.3.3 Základní řetězec EMC

Při zkoumání EMC pro dané zařízení nebo systém ať už biologicky či technický se vždy vychází z tzv. základního řetězce EMC (Obr. 3). Tento řetězec se skládá ze tří složek,

kteře jsou na sebe vzájemně vázány, a v obecném případě je nutné vyšetřovat všechny tři jeho složky [1].



Obr. 3 Základní řetězec EMC, Modifikováno autorem z: [4]

První oblastí jsou zdroje elektromagnetického rušení. V této oblasti se zkoumají otázky vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity. Zdroje rušivých signálů se dělí do dvou kategorií a to do tzv. přírodních či přirozených zdrojů (slunce, atmosférické poruchy, kosmos, blesky atd.) a zdrojů umělých, tedy zdrojů vytvořených lidskou činností (motory, spínače, elektronické sdělovací prostředky, svářečky, číslicové systémy, nukleární výbuchy atd.)

Druhou oblastí je přenosové prostředí a elektromagnetická vazba. Zde se zkoumá, jak se ze zdroje rušení dostávají elektromagnetické signály do daného objektu, tedy přijímače rušení. Příkladem přenosového prostředí je vzdušný prostor, napájecí nebo datové vedení, či parazitní elektromagnetická vazba.

Poslední oblast je problematika přijímače rušení, jenž se zabývá klasifikací typů a podrobnou specifikací rušivých účinků na základě technologických a konstrukčních parametrů daného zařízení, z kterých se určí jejich elektromagnetická odolnost.

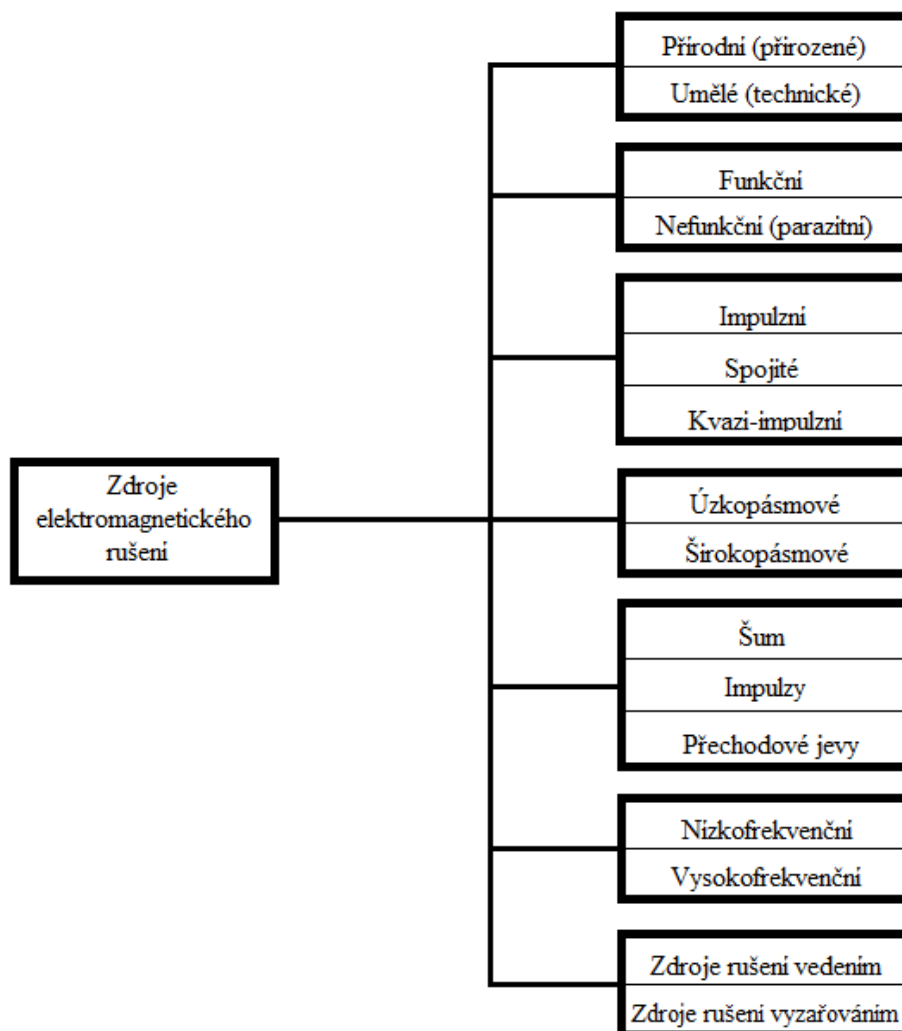
Ve skutečnosti je řetězec EMC složitější, protože každý systém či zařízení, nebo jeho část, může být zdrojem elektromagnetického rušení, ale zároveň i přijímačem elektromagnetického rušení. Přesto lze v praxi systém, který je méně citlivý na rušení a generuje vyšší úroveň rušení označit jako zdroj elektromagnetického rušení a naopak systém, jenž je citlivější a generuje menší elektromagnetické rušení za přijímač rušení. Rovněž se nikdy nejedná o působení jediného zdroje elektromagnetického rušení na daný přijímač rušení, ale vždy se řeší vzájemné vztahy více systémů, které na sebe působí.

Z řetězce EMC se vždy snažíme odstranit jednu jeho část, protože tím dojde k odstranění problému s EMC. V praxi to znamená, že se vybere nejvhodnější oblast řetězce

a ta se následně upraví tak, aby byla výsledná elektromagnetická kompatibilita zařízení, systému či přístroje co nejpříjemnější [1].

1.4 Zdroje elektromagnetického rušení

Zdrojem elektromagnetického rušení může být každé elektrotechnické zařízení, ale z praktických důvodů vyčleňujeme vybranou skupinu systémů. Do této skupiny patří takové zdroje elektromagnetického rušení, u nichž generování rušivých signálů převažuje nad jejich příjmem. Tuto skupinu nazýváme interferenčními zdroji neboli zdroji elektromagnetického rušení. Rozdělení zdrojů rušení je znázorněno na následujícím obrázku (Obr. 4) [1].



Obr. 4 Rozdělení zdrojů rušení, Modifikováno autorem z: [5]

Přírodní zdroje se musí brát jako fakt, jelikož jejich vzniku nelze zabránit. Umělé zdroje vznikají lidskou elektrotechnickou činností a z lidského pohledu jsou nejvíce sledovanou skupinou, kvůli zamezení jejich rušení.

Funkční zdroje jsou takové systémy, které při své základní funkci systému vypouští do okolí elektromagnetické rušení a zároveň ovlivňují jiný systém. Nefunkční zdroje jsou systémy, které nevykonávají žádnou základní funkci, ale přesto do okolí vypouštějí takzvané parazitní rušení.

Zdroje rušení lze také dělit pomocí časového průběhu rušivého signálu. Impulzní rušení má charakter časové posloupnosti jednotlivých dějů, spojitě rušení má opačný charakter a působí nepřetržitě na přijímač rušení. Kvazi-impulzní rušení je kombinací impulzního a spojitěho rušení. S časovým průběhem rušivého signálu je spojeno i spektrum daného signálu a dělí se na úzkopásmové rušení a širokopásmové rušení.

Umělé rušivé signály můžeme rozdělit do tří základních skupin. Šum představuje rušivé signály, které ovlivňují tvar užitečného signálu. Impulzy, jsou rušivé signály impulzního charakteru, například když se sepne spínací obvod a poslední skupinou jsou přechodové jevy, což jsou náhodné jednorázové rušivé signály, které vznikají při výkyvu v energetické síti.

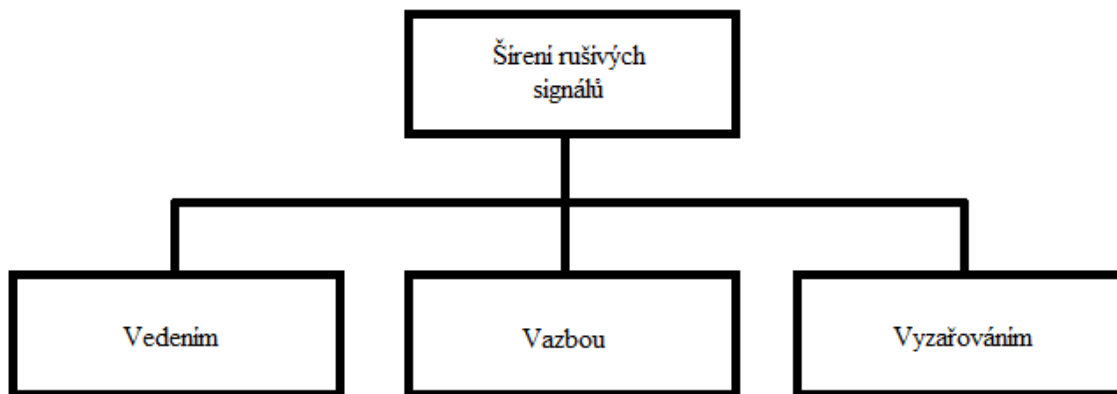
Nízkofrekvenční rušení se může projevit dvojím způsobem. A to buď energetickým nízkofrekvenčním rušením, jež působí na napájecí energetickou soustavu a způsobuje zkreslení napájecího napětí nebo akustickým nízkofrekvenčním rušením, které působí na přenosové informační systémy. Vysokofrekvenční rušení nazýváme také rádiovým rušením a spadají sem skoro všechny interferenční zdroje.

Obecně se z každého zdroje rušení šíří rušivý signál jak po vedení tak i formou vyzařování, ale vždy jeden převažuje a proto se zdroje rušení dělí i podle tohoto kritéria.

Z přehledu rozdělení interferenčních zdrojů je očividné, že není možné provést přesnou klasifikaci jednotlivých rušivých signálů, jelikož působení různých zdrojů rušivého signálu se navzájem prolíná. Navíc celou situaci komplikují velmi složité vztahy ve sdělovací, přenosové, informační a řídicí technice [1].

1.5 Přenosové prostředí a elektromagnetické vazby

Elektromagnetické rušení se může šířit třemi způsoby (viz. Obr. 5).



Obr. 5 Způsoby šíření rušivých elektromagnetických signálů, Modifikováno autorem z: [6]

Prvním z těchto způsobů je vedením, které z pravidla převládá v průmyslových aplikacích a veličiny, které způsobují rušení, jsou napětí, proud a výkon.

Dalším způsobem je přenos vazbou, který je realizován třemi variantami:

- Galvanická vazba – rušení vzniká při propojení zařízení společnými vodiči;
- Kapacitní vazba – rušení je způsobeno parazitními kapacitami, které jsou mezi vodiči, jednotlivými částmi obvodu či samotnou konstrukcí zařízení;
- Induktivní vazba – rušení vzniká mezi dvěma či více obvody, kde aspoň v jednom protéká elektrický proud a indukuje mezi nimi napětí.

Posledním způsobem, kterým se elektromagnetické rušení může šířit, je elektromagnetické vyzařování. Jedná se o přenos elektromagnetických signálů na velké vzdálenosti pomocí elektromagnetického pole [1][7].

DÍLČÍ ZÁVĚR

V současné době je elektromagnetická kompatibilita jako vědní obor velice rozsáhlou disciplínou, jelikož stále dochází k rozvoji elektroniky. Principem elektromagnetické kompatibility je, že elektrické zařízení musí být schopno správně pracovat v rušivém prostředí a zároveň nesmí ovlivňovat činnost ostatních zařízení ve svém okolí. Problematika EMC se tedy dělí na dvě hlavní oblasti a to na elektromagnetické rušení, což je proces,

při kterém se rušivý signál dostává do elektrických zařízení a úkolem této problematiky je zjistit příčiny rušení a jejich redukování či úplné odstranění. Druhou oblastí je elektromagnetická odolnost, která naopak řeší schopnost elektrického zařízení správně pracovat v rušivém prostředí, tedy neodstraňuje příčiny rušení, ale zavádí opatření proti důsledkům rušení, tedy elektromagnetickou odolnost.

Při zkoumání EMC pro jednotlivá zařízení se vychází z tzv. základního řetězce EMC, což je řetězec, který se skládá ze tří složek, které jsou na sebe vzájemně vázány. První složkou jsou zdroje elektromagnetického rušení, kde se zkoumá vznik rušení, jeho charakter a intenzita. Druhou složkou řetězce jsou přenosová prostředí, kde se zjišťuje, jak se elektromagnetické rušení dostává k elektrickému zařízení. Poslední složkou řetězce je problematika přijímače rušení, tedy problematika elektrického zařízení a jeho elektromagnetické odolnosti. Z tohoto řetězce se pak v praxi vybere nejvhodnější část a ta se upraví tak, aby byla výsledná elektromagnetická kompatibilita elektrického zařízení co nejpříjemnější.

2 ELEKTROSTATICKÝ VÝBOJ

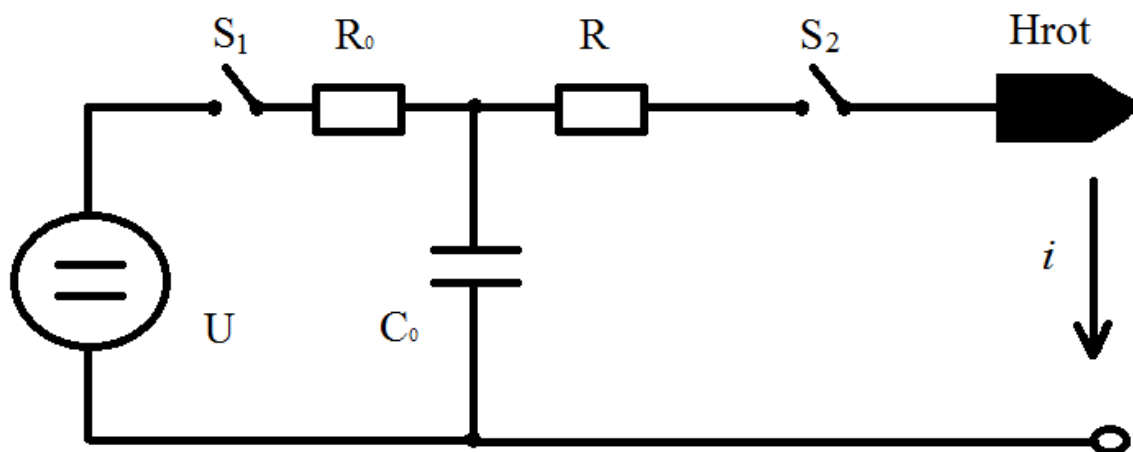
Statická elektřina je známá z každodenního života, jako například statická elektřina oblečení, vlasů nebo jako jiskření při doteku kovových předmětů. V dnešní době se statická elektřina používá pro mnoho užitečných funkcí například v elektrostatických kopírkách, odlučovačích vzduchu a vzduchových filtrech. Nicméně, nekontrolovatelné elektrostatické výboje se staly nebezpečím pro elektrotechnický průmysl. Od počátku EMC v roce 1960, bylo zjištěno, že mnoho integrovaných obvodů, tranzistorů nebo jednotlivých pasivních součástek jako jsou rezistory, kondenzátory a krystaly jsou náchylné na poškození elektrostatickým výbojem. Jelikož je v dnešní době trendem všechny tyto součástky zmenšovat, zrychlovat a ovládat pomocí menších napětí, tak jejich náchylnost na elektrostatické výboje roste [8].

Elektrostatický výboj (ESD – Electrostatic discharge) představuje nebezpečný rušivý signál, který vzniká mezi tělesy s opačným elektrostatickým potenciálem, mezi kterými se přenáší elektrostatický náboj. Elektrostatický náboj se z jednoho tělesa do druhého dostává pomocí přiblížení těchto těles nebo jejich přímým dotekem. V podstatě ve velmi krátkém časovém úseku přeskočí náboj mezi tělesy, při kterém vzniknou velmi vysoké proudy a napětí, které tělesem prochází, což může mít za následek i zničení daného tělesa například mikročipu. Pro určení velikosti a polaritý náboje, který mezi tělesy vzniká, se používá takzvaná triboelektrická řada, v které jsou seřazeny materiály dle polaritý [7][9].

ESD se nejčastěji vyskytuje v obytných prostorách, jako jsou byty či kanceláře nebo všude tam, kde jsou ideální podmínky pro vznik ESD jako nízká vlhkost vzduchu a umělé podlahové krytiny. Při jednotlivých ESD impulzech může dosahovat napěťová hodnota jednotlivých impulzů až k 15 kV (někdy i více) a šířka rušivého spektra dosahuje až do 1 GHz. Avšak energetická hodnota jednotlivých impulzů dosahuje maximálně 10 mJ [1].

2.1 Simulátor elektrostatických výbojů

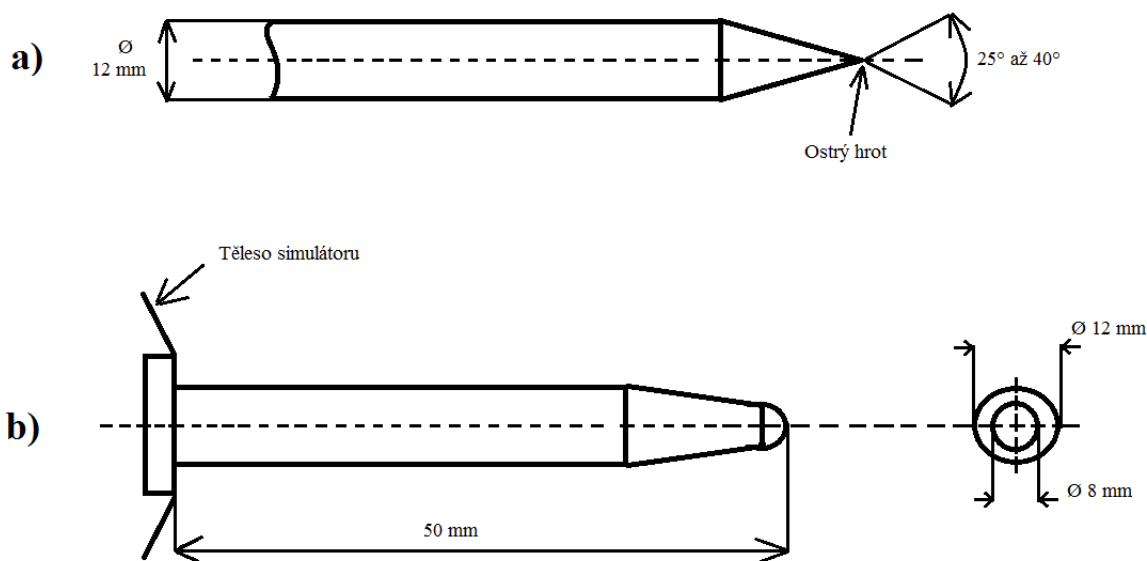
Simulátor ESD je zařízení pomocí kterého se provádí zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům. Koncová část simulátoru ESD má nejčastěji tvar takzvané pistole s výměnným hrotem. Simulátor je připojený k uzemňující desce, a pokud nemá baterii, tak je připojen i k zdroji napětí (230V/50Hz). Zjednodušené schéma ESD simulátoru je zobrazené na Obr. 6 [1].



Obr. 6 Vnitřní zapojení simulátoru ESD, Modifikováno autorem z: [10]

Na Obr. 6 napětí U představuje zdroj napětí, S_1 spínač pro nabíjení, R_0 napájecí rezistor, kapacita C_0 kondenzátor pro akumulaci a distribuci náboje, R vybíjecí odpor a S_2 spínač pro vybíjení. Dále je uveden výměnný vybíjecí hrot a uzemnění. Norma předepisuje jednotné hodnoty kondenzátoru C_0 na 150 pF a hodnotu vybíjecího odporu R na hodnotu 330 Ω .

Výměnné vybíjecí hroty generátoru jsou dvojího typu. Prvním typem je hrot na kontaktní elektrostatický výboj a druhým hrot pro elektrostatický výboj vzduchovou mezerou (Obr. 7) [10].

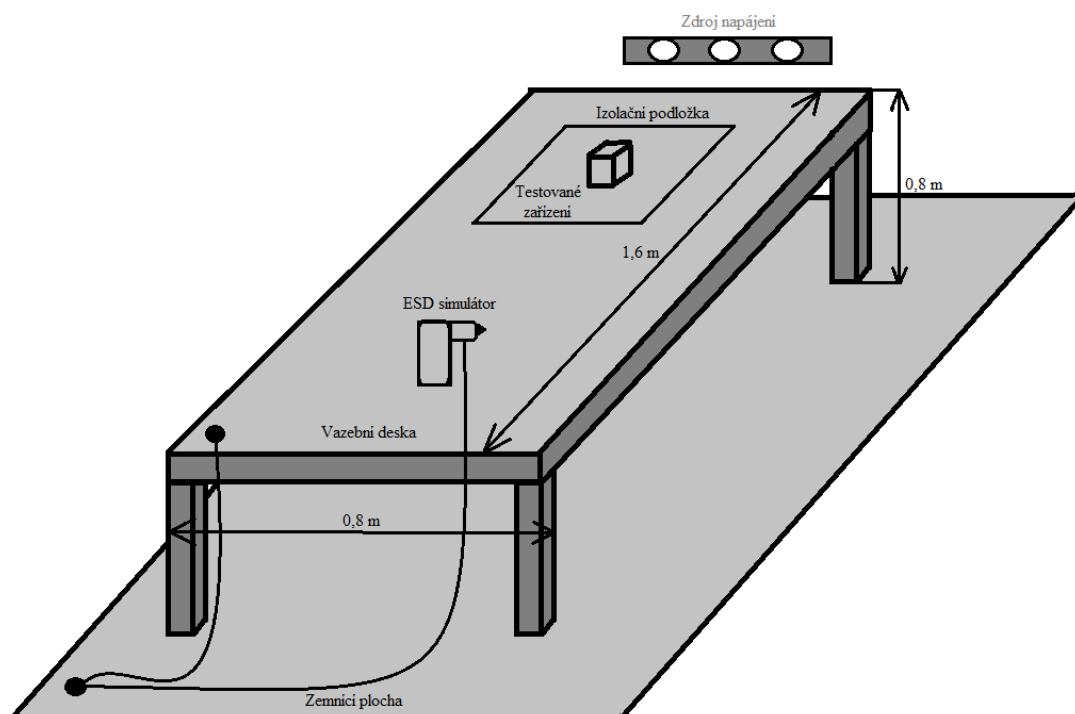


Obr. 7 Výměnné vybíjecí hroty ESD simulátoru, Modifikováno autorem z: [10]

- a) Hrot pro kontaktní výboj
- b) Hrot pro výboj vzduchovou mezerou

2.2 Zkušební pracoviště pro zkoušky odolnosti

Zkoušky elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům se provádí na speciálně normou upraveném pracovišti.



Obr. 8 Zkušební pracoviště pro zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům,
Modifikováno autorem z: [10]

Zkušební pracoviště se skládá z referenční zemnicí plochy, která se nachází na zemi laboratoře. Tato zemnicí plocha by měla být z mědi nebo hliníku a její tloušťka by měla být alespoň 0,25 mm, mohou být použity i jiné kovy, avšak jejich minimální tloušťka by měla být alespoň 0,65 mm. Referenční zemnicí plocha musí přesahovat testované zařízení nejméně o 0,5 m na všech stranách a testované zařízení musí být vzdáleno od stěn laboratoře minimálně 0,8 m. Referenční zemnicí plocha je připojena k ochrannému zemnicímu systému. Dále je k ochrannému zemnicímu systému připojen ESD simulátor a vazební deska, která se nachází na dřevěném stole. Žádné další propojení se zemí není povoleno. Samotný stůl je 0,8 m vysoký a jeho plocha má předepsané rozměry 1,6 m x 0,8 m. Na stole se také

nachází izolační podložka, na kterou se pokládá testovací zařízení, podložka by měla mít tloušťku alespoň 0,05 mm [10].

2.3 Zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům

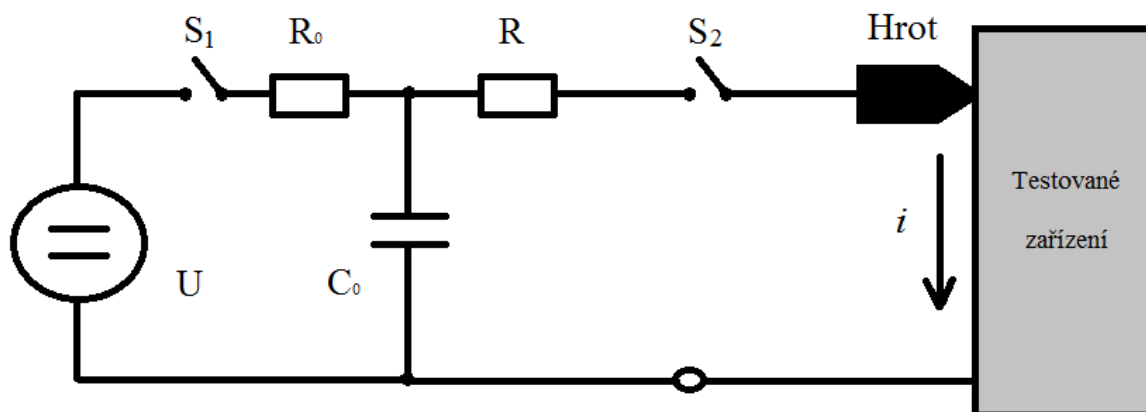
Zkoušky elektromagnetické odolnosti se provádí pomocí simulátoru elektrostatických výbojů. Norma ČSN EN 61000-4-2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-2: Zkušební a měřicí technika – Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti předepisuje jednotné parametry pro zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům a také rozlišuje tři způsoby zkušebních výbojů a to kontaktní elektrostatický výboj, elektrostatický výboj vzduchovou mezerou a nepřímý výboj na svislou vodivou desku. Kontaktní výboj a výboj vzduchovou mezerou se provádí jen do takových míst a povrchů elektronické zařízení, která jsou volně přístupná obsluze daného zařízení při všedním užívání. Jde tedy například o místa na ovládacích panelech, klávesnicích či jiných ovládacích prvcích, dále všechna místa na kovových částech skříně zařízení, které jsou izolované od zemnění a v poslední řadě všechny indikační prvky jako například LED diody či kryty konektorů. Při zkoušce odolnosti daného zařízení se do každého z těchto míst provede 10 elektrostatických výbojů v obou polaritách, tedy v kladné i záporné polaritě. Těchto míst by mělo být u testovacího zařízení minimálně 5 a interval mezi každým elektrostatickým výbojem by měl být minimálně 1 sekunda [1][10].

Zkoušky odolnosti se provádí podle pěti zkušebních úrovní, které jsou popsány v normě ČSN EN 61000-4-2 a jsou jimi:

- 1. úroveň – dobře chráněné prostředí – běžné prostředí s nízkou úrovní rušení, v kterém mohou pracovat i velmi citlivé přístroje,
- 2. úroveň – chráněné prostředí – prostředí s mírnou úrovní rušení (domácnosti, kanceláře),
- 3. úroveň – typické průmyslové prostředí – prostředí s vysokou úrovní rušení,
- 4. úroveň – nepříznivé průmyslové prostředí – prostředí s velmi vysokou úrovní rušení (elektrárny, těžký průmysl),
- 5. úroveň (X) – mimořádné situace, které se analyzují na požadavek výrobce [10].

2.3.1 Kontaktní elektrostatický výboj

Kontaktní způsob testování elektrostatického výboje je preferovanou metodou, protože se vyznačuje vyšší reprodukovatelností, jelikož se výboj z ESD simulátoru přivádí přímo na daný prvek elektronického zařízení (Obr. 9).



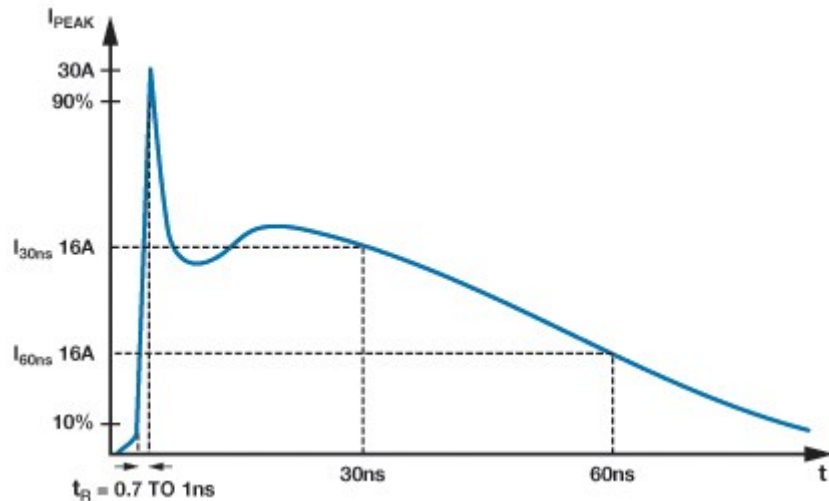
Obr. 9 Schéma kontaktního elektrostatického výboje, Modifikováno autorem z: [1]

Napěťové hodnoty při testování kontaktním způsobem jsou zobrazeny v tabulce 1, kdy každá úroveň představuje deset jednotlivých výbojů při určeném zkušebním napětí. V mimořádných případech určených výrobcem daného zařízení se provádí i speciální úrovně měření, které mohou být pod, mezi i nad ostatními úrovněmi. Při testování kontaktním způsobem se vybere jedna z úrovní a ta se následně testuje, pokud není jinak uvedeno výrobcem daného zařízení [6].

Tab. 1 Zkušební úrovně a napěťové hodnoty kontaktního výboje [10]

Úroveň	Zkušební napětí [kV]
1	2
2	4
3	6
4	8
X	Speciální

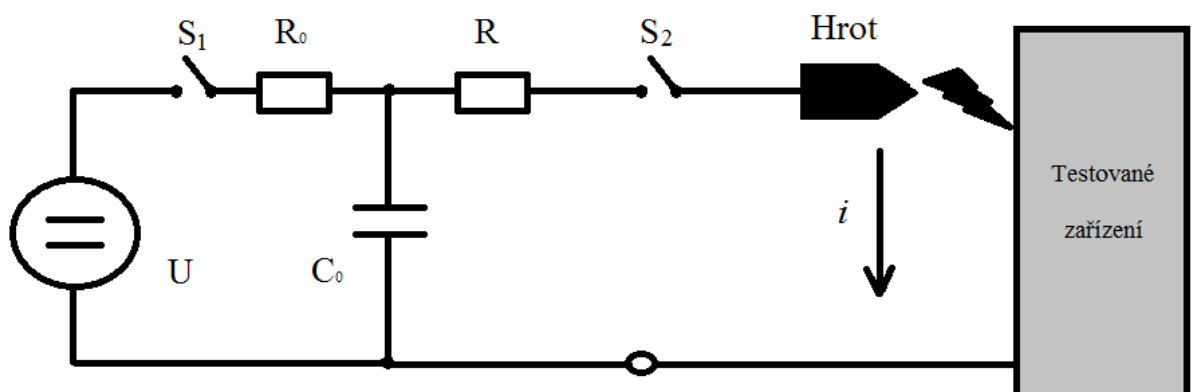
Ideální teoretická charakteristika kontaktního elektrostatického výboje znázorňující tvar vybíjecího proudu při zkušebním napětí 8 kV je zakreslena na Obr. 10.



Obr. 10 Charakteristika kontaktního elektrostatického výboje [11]

2.3.2 Elektrostatický výboj vzduchovou mezerou

Při této metodě se ESD simulátor se svým hrotem přibližuje k testovanému zařízení až průrazné napětí ve zmenšující se mezeře mezi testovaným zařízením a hrotem ESD simulátoru klesne pod napětí kondenzátoru C_0 , který se vybije přeskokem elektrostatického výboje do testovaného zařízení. Po vybití se ESD simulátor oddálí, znovu nabije a provede se další impulz. Tato metoda je oproti kontaktnímu výboji ovlivňovaná nahodilými faktory, jako je například rychlost, kterou se hrot přibližuje k testovanému zařízení, na konstrukci testovaného zařízení i tlaku, teplotě či vlhkosti vzduchu. Z toho vyplývá, že výsledky měření jsou nereprodukovatelné. Metodika testování zobrazena na Obr. 11 [1].



Obr. 11 Schéma elektrostatického výboje vzduchovou mezerou, Modifikováno autorem z: [1]

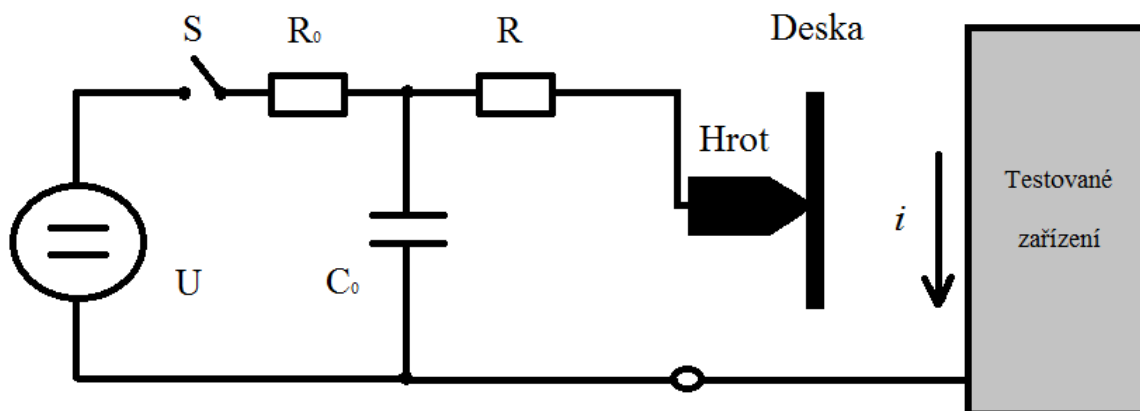
Napěťové hodnoty pro testování výboje vzduchovou mezerou jsou zobrazeny v tabulce 2. Při testování vzduchovou mezerou se test vztahuje na všechny úrovně až po výrobcem stanovenou speciální úroveň [6].

Tab. 2 Zkušební úrovně a napěťové hodnoty výboje vzduchovou mezerou [10]

Úroveň	Zkušební napětí [kV]
1	2
2	4
3	8
4	15
X	Speciální

2.3.3 Nepřímý elektrostatický výboj na vazební desku

Dvě předchozí metody byly založeny na principu toho, že elektrostatické výboje byly prováděny přímo na povrchu testovacího zařízení. U této metody je elektrostatický výboj přiváděn na vazební desku, která v praxi představuje blízké kovové předměty. ESD simulátor se v této metodě vybíjí kontaktním výbojem do vazební desky v normou stanovené blízkosti 10 cm od testovacího zařízení (Obr. 12) [1].



Obr. 12 Schéma nepřímého elektrostatického výboje na vazební desku, Modifikováno autorem z: [1]

2.4 Vyhodnocování výsledků

Výsledky zkoušek odolnosti vůči elektrostatickým výbojům se klasifikují do čtyř tříd výsledků zkoušky. Na výsledky se dívá z hlediska ztráty funkce testovaného zařízení nebo

zhoršení jeho provozu, vzhledem k požadavkům na úroveň funkčnosti výrobcem, žadatelem testu nebo kupcem. Třídění testů je následující:

- A. Normální funkce, která je v mezích stanovených výrobcem, žadatelem testu nebo kupcem;
- B. Dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu testovaného zařízení, které se po provedení zkoušky samo bez zásahu operátora vrátí do původního stavu;
- C. Dočasná ztráta funkce nebo zhoršení provozu testovacího zařízení, které se vrátí po provedení zkoušky do původního stavu po zásahu operátora;
- D. Ztráta funkčnosti nebo zhoršení provozu testovaného zařízení, jehož funkce není obnovitelná z důvodu poškození hardwaru, softwaru nebo došlo k ztrátě dat [10].

2.5 Zkoušky odolnosti ESD u informačních techniky

Základní zkušební postup pro testování elektrostatického výboje je popsán v kmenové normě ČSN EN 61000-4-2 a upřesnění k testování pro informační techniku je popsáno v normě ČSN EN 55024 ed.2 Zařízení informační techniky – Charakteristiky odolnosti – Meze a metody měření.

Elektrostatické výboje se přivádí pouze do míst a povrchů testovacího zařízení, u kterých lze očekávat, že při běžném provozu dojde k doteku uživatelem včetně míst, které jsou dostupné podle uživatelského manuálu (čištění, výměna spotřebního materiálu při zapnutém testovacím zařízení). Počet zkušebních míst závisí na daném testovacím zařízení a při jejich volbě se dbá na požadavky základní kmenové normy ČSN EN 61000-4-2.

Elektrostatické výboje se provádí dvěma způsoby. Kontaktní výboje se provádí do vodivých povrchů a vazebních desek, kdy je testované zařízení vystaveno alespoň 100 výbojům při každé polaritě do minimálně čtyř zkušebních míst. U stolních zařízení je jedno ze zkušebních míst střed přední hrany zkušební vazební desky, kde se aplikuje 25 výbojů každé polarity a do ostatních zkušebních míst se také provede 25 výbojů každé polarity. Pokud se na testovaném zařízení nenachází zkušební místa, do kterých lze přivést kontaktní výboje, tak se do vazební desky přivede 25 výbojů každé polarity v každém směru testovaného zařízení a to ve vzdálenosti 10 cm od testovaného zařízení. Vzduchové výboje se pak provádí do štěrbin, otvorů a izolačních povrchů, tedy do těch částí testovacího zařízení, kam není možné provést zkoušku kontaktním výbojem, příkladem jsou otvory na okrajích tlačítek

nebo v krytech klávesnic. Hodnoty pro jednotlivé výboje vycházejí z kmenové normy ČSN EN 61000-4-2 [13].

2.6 Zkoušky odolnosti ESD u poplachových systémů

Při zkouškách vůči ESD u poplachových systémů elektrostatické výboje působí na jednotlivé části zařízení, které jsou obsluze zařízení dostupná nebo působí na vazební desky ve vzdálenosti 10 cm od daného zařízení. Základní zkušební postup je popsán v kmenové normě ČSN EN 61000-4-2, upřesnění k dané zkoušce pro poplachové systémy se nachází v předpisu ČSN EN 50130-4 ed.2 Poplachové systémy - Část 4: Elektromagnetická kompatibilita – Norma skupiny výrobků: Požadavky na odolnost komponentů požárních systémů, poplachových zabezpečovacích a tísňových systémů a systémů CCTV, kontroly vstupu a přivolání pomoci. Zařízení se testují ve zkušebních laboratořích a pro zařízení, která se montují na stěny či stropy platí, že se svým montážním povrchem umísťují 10 cm od zemnicí referenční desky.

Na vodivé povrchy testovacích zařízení se provádějí kontaktní výboje a na izolované povrchy testovacích zařízení se provádějí vzdušné výboje. Opět jako v kmenové normě se provádí deset přímých elektrostatických výbojů pro každé zkušební napětí do každého vodivého místa zařízení, které je normálně přístupné obsluze daného zařízení. A také musí být provedeno deset nepřímých elektrostatických výbojů do vazební desky v každém jednotlivém směru testovacího zařízení.

Hodnoty pro jednotlivé výboje jsou uvedeny v tabulce 3. Kritériem úspěšně splněné zkoušky pro poplachové systémy je, že u testovacího zařízení nesmí dojít k žádnému poškození, chybné funkci nebo jakékoliv změně stavu zařízení [12].

Tab. 3 Úrovně pro jednotlivé typy výbojů [12]

	Kontaktní výboj	Vzduchový výboj
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Zkušební napětí [kV]
1	-	2
2	-	4
3	6	8

DÍLČÍ ZÁVĚR

Již na počátku 70. let bylo zjištěno, že mnoho polovodičových součástek a obvodů je citlivých na poškození elektrostatickým výbojem a jelikož je trendem dnešní doby tyto součástky stále zmenšovat, zrychlovat a ovládat pomocí stále menších napětí, tak jejich náchylnost na elektrostatické výboje roste.

Elektrostatický výboj představuje rušivý signál, který vzniká mezi tělesy s různým elektrickým potenciálem, mezi kterými se přenáší elektrický náboj a to buď při přiblížení, nebo přímém dotyku. Elektrostatický výboj se nejčastěji vyskytuje v obytných prostorech nebo všude tam kde jsou ideální podmínky pro jeho vznik, to je nízká vlhkost vzduchu a umělé podlahové krytiny.

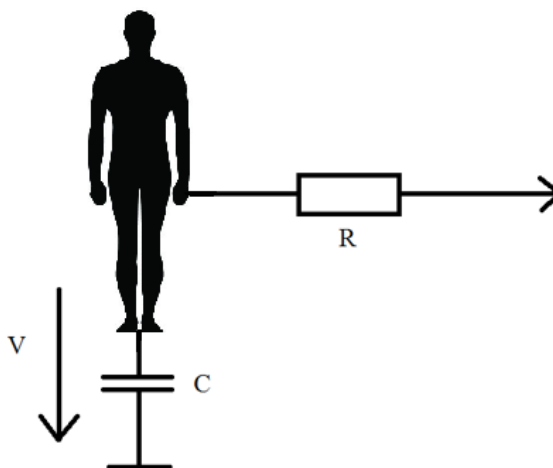
Zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům popisuje norma ČSN EN 61000-4-2 a zkoušky se provádí pomocí elektrostatického simulátoru, který má nejčastěji tvar pistole a má dva výměnné hroty. Tyto zkoušky se vykonávají třemi druhy zkušebních výbojů a to buď kontaktním elektrostatickým výbojem, výbojem vzduchovou mezerou a nepřímým výbojem na vazební desku. Výboje se provádí do takových míst, která jsou přístupná obsluze zařízení, jedná se například o místa na ovládacích panelech.

3 MODEL Y ESD UDÁLOSTÍ

V dnešní době jsou integrované obvody stále rychlejší, mají čím dál menší spotřebu, velikost a roste jejich integrace, což má za účinek větší náchylnost na poškození či až zničení integrovaného obvodu elektrostatickým výbojem. Samotné integrované obvody, obsahují obvody ochrany vůči ESD, aby však byla zajištěna jejich účinnost a spolehlivost podle norm, jsou vyžadovány ESD testy. Existují tři hlavní testovací modely ESD událostí. Prvním z těchto modelů je model lidského těla, který simuluje elektrostatický výboj při doteku člověka s elektronickým zařízením. Druhým modelem je model člověk-kov, který představuje elektrostaticky nabitého člověka, jenž se například náhodně dotkne elektronického zařízení a dojde k elektrostatickému výboji. Posledním modelem je model nabitého zařízení, kdy se nabitý integrovaný obvod položí na uzemněnou vodivou desku, přičemž dojde k elektrostatickému výboji [14][15].

3.1 Model lidského těla

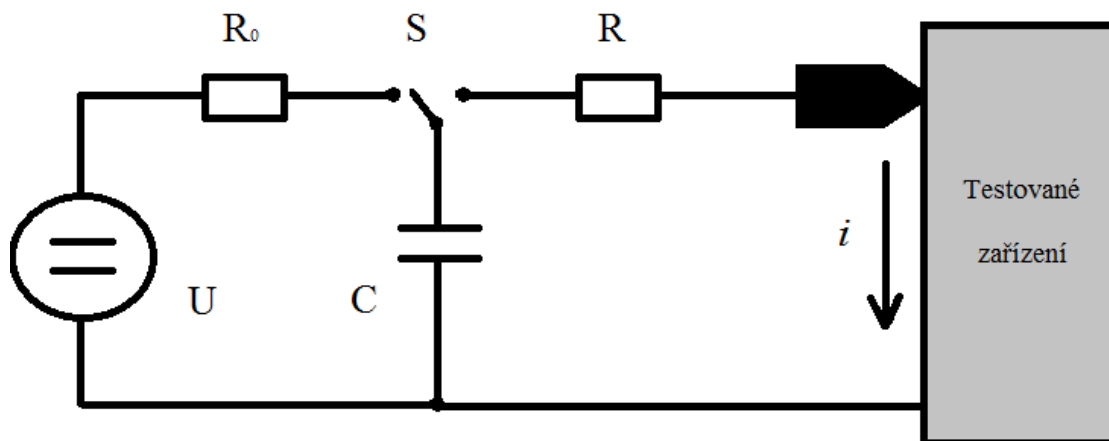
Model lidského těla (HBM – Human Body Model) – je nejběžněji používaný model, jelikož lidé jsou hlavním zdrojem elektrostatických výbojů, protože pro člověka je snadné vytvořit elektrostatický náboj (např. třením). Tento náboj pak může být převeden z člověka elektrostatickým výbojem na dané citlivé elektronické zařízení [8].



Obr. 13 HBM model, Modifikováno autorem z: [8]

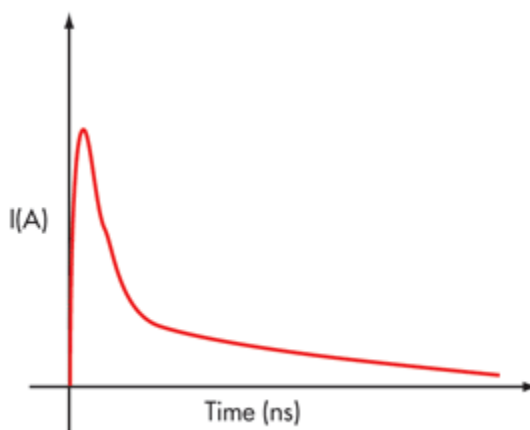
Podle Obr. 13 lze zjednodušeně říct, že mechanika tohoto modelu funguje tak, že lidské tělo se nabíjí pomocí napětí V (0-20 kV) do určité hodnoty kapacity C (50-250 pF),

záleží podle toho, s jakým tělesem přijde do styku a vybíjí se do elektronického zařízení přes odpor lidského těla R (500-10k Ω), kde hodnota daného odporu, záleží na tom, na kterém místě na těle dojde k elektrostatickému výboji [8].



Obr. 14 Obecné schéma pro testování HBM ESD, Modifikováno autorem z: [14]

Schéma na Obr. 14 znázorňuje obvod pro testování HBM ESD v kterém se pomocí napěťového zdroje U přes nabíjecí odpor R_0 o hodnotě 1 M Ω nabíjí kondenzátor C s hodnotou 100 pF (průměrná kapacita lidského těla). Poté co je kondenzátor nabit, se přepínač přepne do druhé polohy a kondenzátor se přes odpor R o hodnotě 1 500 Ω (průměrný odpor lidské ruky) vybije do testovaného zařízení. Vybíjecí proudová charakteristika je zobrazena na Obr. 15 [14].

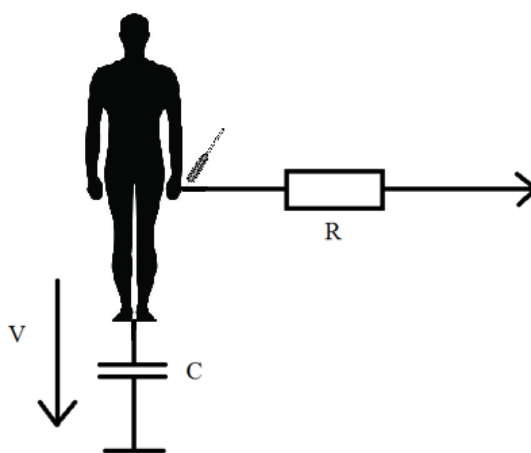


Obr. 15 Charakteristika HBM ESD výboje [15]

Tento model se nejčastěji používá pro výrobní prostředí, jelikož se testuje ESD odolnost pro jednotlivé prvky přístrojů, zařízení či systémů.

3.2 Model člověk-kov

Model člověk- kov (Human metal model HMM) – je model postavený na základě modelu HBM. HMM ESD v praxi vzniká tak, že elektrostaticky nabitá osoba, která má v ruce špičatý kovový předmět (např. šroubovák), se dotýká elektronického zařízení (Obr. 16) [8].

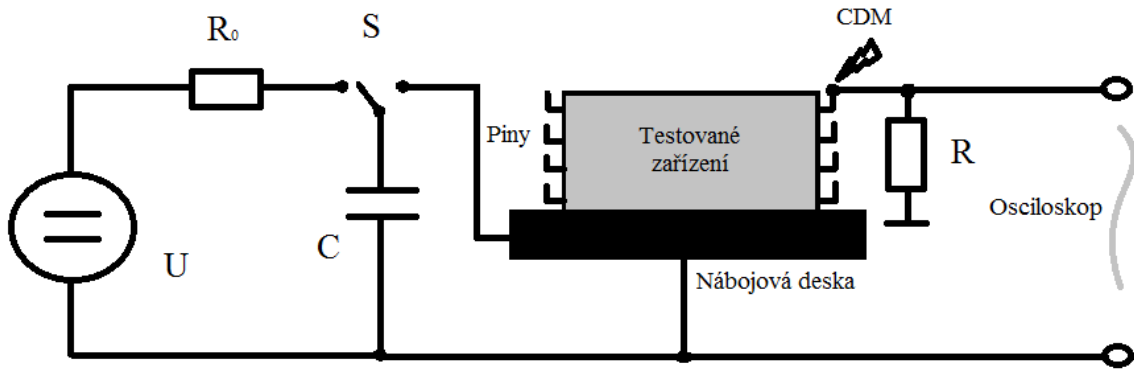


Obr. 16 HMM model, Modifikováno autorem z: [8]

Záměrem HMM modelu je definovat testovací metody na testování integrovaných obvodů pomocí evropské normy EN 61000-4-2 ed 2. ESD výboje se přivádí přímo na jednotlivé piny komponentů v integrovaných obvodech. Obecné schéma je totožné jako u HBM (Obr. 14), ale v modelu HMM obvod obsahuje kondenzátor C o hodnotě 150 pF a vybíjecí odpor R s hodnotou 330 Ω [8].

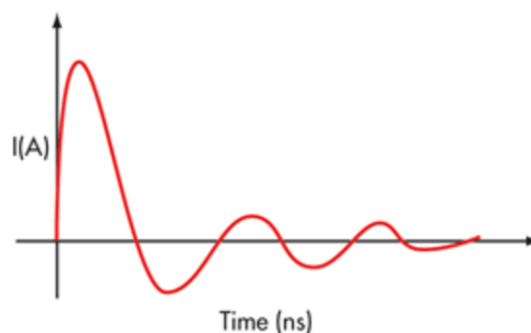
3.3 Model nabitého zařízení

Model nabitého zařízení (Charged device model – CDM) – je model, který simuluje poškození elektronického zařízení (integrovaného obvodu). Zařízení je přímo nabito nebo indukuje elektrostatický náboj ze svého okolí a elektrostatický výboj pak prochází přes jednotlivé vodivé části či piny integrovaného obvodu do uzemněné kovové desky [15].



Obr. 17 Zjednodušené schéma CMD modelu, Modifikováno autorem z: [14]

Schéma na Obr. 17 zobrazuje obvod kde se přes nabíjecí odpor R_0 nabije kondenzátor C , po nabití kondenzátoru se přepne přepínač do druhé polohy a nabije se nábojová deska. Poté co se zemnění dotkne pinu nabitého testovaného zařízení, tak přeskočí ESD z pinu testovaného zařízení do vnějšího zemnění. Odpor R u zemnění slouží k určení polaritu proudu a pomocí osciloskopu se vyhodnocuje vybíjecí charakteristika (Obr. 18) [15].



Obr. 18 Vybíjecí charakteristika CMD modelu [15]

CDM model se používá pro simulaci situací, které se odehrávají ve výrobních prostředích, mezi tyto situace patří například dopravníkové pásy nebo různé zvedání či umístování komponentů [15].

DÍLČÍ ZÁVĚR

Pro testovací účely jsou ESD události ze všedního světa rozděleny do tří hlavních modelů, v kterých jsou testovány elektrické prvky či integrované obvody. Pod prvním modelem, tedy modelem lidského těla si lze představit elektrostaticky nabitého člověka,

který přijde do kontaktu s uzemněnou součástí a dojde k elektrostatickému výboji (např. výměna RAM paměti v PC). Druhým modelem je model člověk-kov, kdy elektrostaticky nabitý člověk pracuje s vodivým předmětem například šroubovákem, s nímž přijde do kontaktu s daným elektronickým zařízením a dojde k výboji. Posledním modelem je model nabitého zařízení, který představuje elektrické zařízení nebo integrovaný obvod, který přijde například při výrobním procesu do styku s uzemněnou deskou dopravníkového pásu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ÚVOD DO PRAKTICKÉ ČÁSTI

Úvodem do praktické části je seznámení se s měřícím zařízením a zkušebním pracovištěm, na kterém se vykonávají zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům. Testy byly vykonány v prostorách Vědecko-technického parku Informační a komunikační technologie Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

4.1 Popis měřícího zařízení a zkušebního pracoviště

V následujících podkapitolách je rozebrán ESD simulátor, který byl použit při testování elektromagnetické odolnosti vybraných elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům. A dále je popsáno použité zkušební pracoviště, na kterém byly vykonány testy elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům.

4.1.1 ESD simulátor ONYX 16

K vykonání zkoušek elektromagnetické odolnosti byl použit ESD simulátor ONYX 16 od společnosti Haefely Hipotronics (Obr. 19). Sestava obsahuje dva hroty, jeden pro výboje vzduchovou mezerou a druhý pro kontaktní výboje, dále je sestava vybavena akumulátory a nabíječkou, protože typ použitého ESD simulátoru není nabíjen přímo ze sítě. Samotný ESD simulátor je opatřen dotykovým displejem, na kterém se nastavují parametry pro vykonání zkoušky [16].

Specifikace zařízení:

- Napětí pro výboj vzduchovou mezerou: 1 – 16 kV
- Napětí pro kontaktní výboj: 1 – 16 kV
- Počítadlo výbojů: 1 – 9999
- Polarita výbojů: kladná a záporná
- Spotřeba energie: 17 VA
- Výdrž baterie: až 16 hodin
- Přednastavený RC článek: 150 pF / 330 Ω
- Rozměry simulátoru: 290 mm x 270 mm x 110 mm
- Hmotnost: 1,7 kg [16]



Obr. 19 ESD simulátor ONYX 16 s výměnnými hroty a akumulátorem

4.1.2 Zkušební pracoviště

Zkušební pracoviště (Obr. 20) se skládá ze zemnicí referenční desky, která se nachází na podlaze laboratoře. Zemnicí referenční deska je spojena ochranným zemnicím kabelem s vazební deskou, která se nachází na dřevěném stole. Rozměry zemnicí referenční desky a stolu byly popsány v kapitole 2.2.



Obr. 20 Zkušební pracoviště

4.2 Zkoušky odolnosti u zařízení informační techniky

Zkoušky odolnosti u informační techniky se vykonávají podle kmenové normy ČSN EN 61000-4-2 a jsou upřesněny normou ČSN EN 55024 ed.2.

4.2.1 GPS navigace LTLM TW – 808

Jedná se o GPS navigaci do automobilů, která může být využívána složkami komerční bezpečnosti, například při přepravě hotovosti a cenin.

Specifikace zařízení:

- Operační systém Windows CE 6.0
- Lithiovo-polymerová nevyjímatelná baterie
- LCD displej 4.3“
- Výstup pro sluchátka Jack 3,5 mm
- Napájecí / USB výstup
- Vstup pro vložení Micro SD karty

Přední plocha:



Obr. 21 Přední plocha GPS navigace

Místa, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickému výboji na přední ploše navigace:

1. Signalizační dioda, která ukazuje, zdali je zařízení zapnuto či se nabíjí
2. Dotyková pracovní plocha LCD displeje

Zadní plocha:

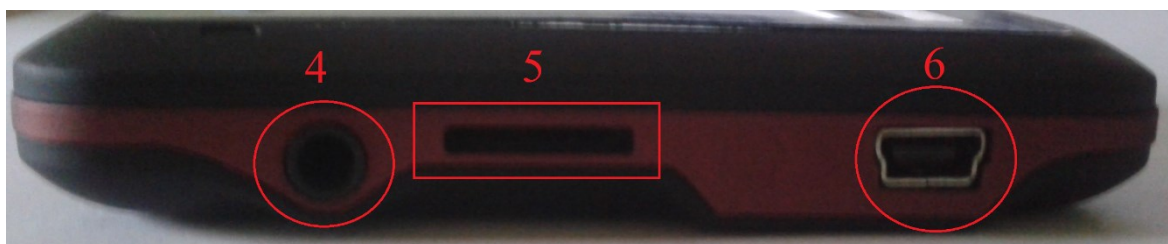


Obr. 22 Zadní plocha GPS navigace

Na zadní ploše navigace by mohlo dojít k elektrostatickému výboji skrz:

3. Reproduktor navigace

Levá strana:



Obr. 23 Levá strana GPS navigace

Místa, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickému výboji na levé straně navigace:

4. Výstup pro sluchátka
5. Vstup pro vložení Micro SD karty
6. USB výstup, napájení

Na pravé, dolní a horní straně zařízení se nenachází žádné části, přes které by mohlo dojít k elektrostatickému výboji, a proto byly vynechány. Souhrn částí zařízení, na kterých by mohlo dojít k elektrostatickému výboji je následující:

1. Signalizační dioda
2. LCD displej
3. Reproduktor
4. Výstup pro sluchátka
5. Vstup Micro SD karty
6. USB výstup

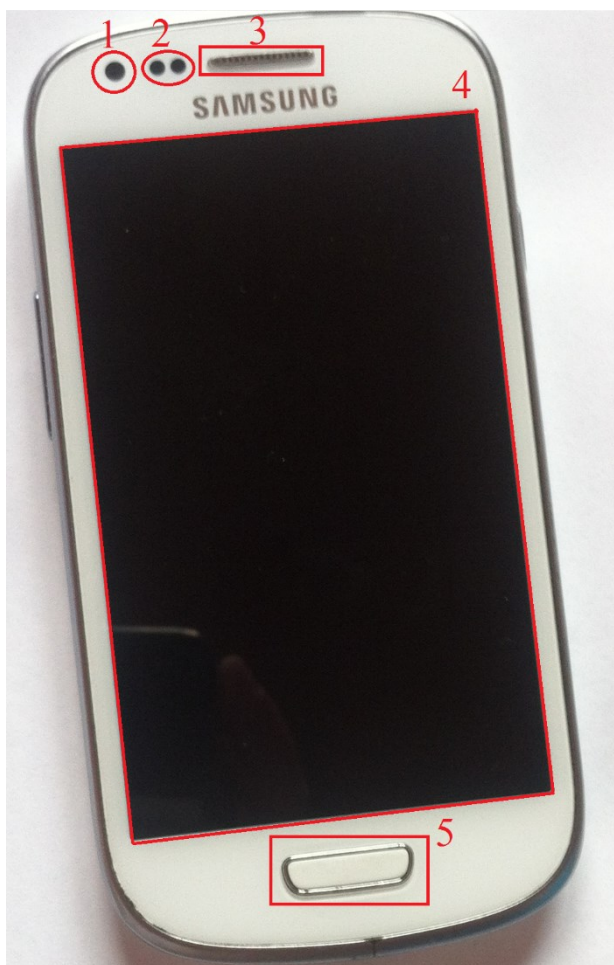
4.2.2 Mobilní telefon Samsung Galaxy S3 mini

Mobilní telefon, který také může být využíván složkami komerční bezpečnosti, jak při přepravě hotovosti a cenin tak i při výkonu ostatních aktivit složek komerční bezpečnosti.

Specifikace zařízení:

- Operační systém Android
- Lithiová baterie
- SAMOLED displej 4“
- Výstup pro sluchátka Jack 3,5 mm
- Fotoaparát 5 MPix
- Svítílna
- Napájecí / USB výstup
- Vstup pro vložení Micro SD karty

Přední plocha:



Obr. 24 Přední plocha mobilního telefonu

Místa, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickému výboji na přední ploše telefonu:

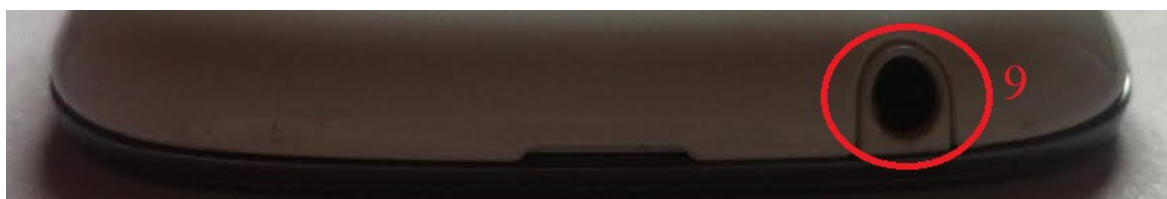
1. Přední kamera
2. Přední svítilna, blesk
3. Přední reproduktor
4. Displej
5. Systémové tlačítko

Zadní plocha:

Obr. 25 Zadní plocha mobilního telefonu

Místa, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickému výboji na zadní ploše telefonu:

6. Zadní reproduktor
7. Zadní kamera
8. Zadní svítilna, blesk

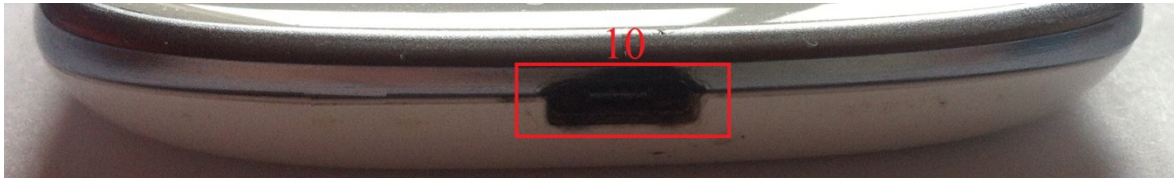
Horní strana:

Obr. 26 Horní strana mobilního telefonu

Na horní straně mobilního telefonu by mohlo dojít k elektrostatickému výboji skrz:

9. Výstup pro sluchátka – Jack 3,5 mm

Dolní strana:

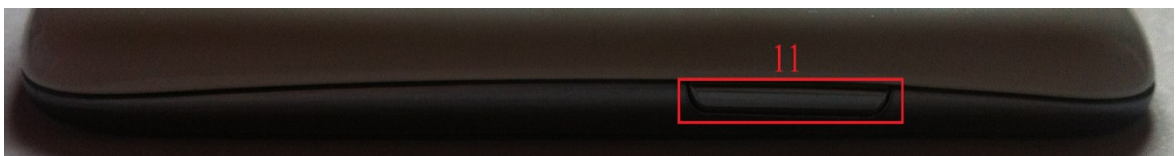


Obr. 27 Dolní strana mobilního telefonu

Na dolní straně mobilního telefonu by mohlo dojít k elektrostatickému výboji skrz:

10. USB výstup, napájení

Levá strana:



Obr. 28 Levá strana mobilního telefonu

Na levé straně mobilního telefonu by mohlo dojít k elektrostatickému výboji skrz:

11. Tlačítko pro ovládání zvuku

Pravá strana:



Obr. 29 Pravá strana mobilního telefonu

Na pravé straně mobilního telefonu by mohlo dojít k elektrostatickému výboji skrz:

12. Vypínací/zapínací tlačítko

Souhrn částí zařízení, na kterých by mohlo dojít k elektrostatickému výboji je následující:

1. Přední kamera
2. Přední svítilna, blesk
3. Přední reproduktor
4. Displej
5. Systémové tlačítko
6. Zadní reproduktor
7. Zadní kamera
8. Zadní svítilna, blesk
9. Výstup pro sluchátka – Jack 3,5 mm
10. USB výstup, napájení D
11. Tlačítko pro ovládání zvuku
12. Vypínací/zapínací tlačítko

4.3 Zkoušky odolnosti ESD u zařízení poplachových systémů

Základní postup pro zkoušky odolnosti je popsán v kmenové normě ČSN EN 61000-4-2 a upřesnění se nachází v normě ČSN EN 50130-4 ed.2.

4.3.1 Ústředna JA – 82K

Jedná se o hybridní ústřednu elektronického zabezpečovacího systému s kapacitou až 50 smyček. Ústředna má 2 podsystémy, 4 výstupy a může mít až 50 uživatelů, kteří se identifikují pomocí PIN kódů nebo RFID čipů [17].

Specifikace zařízení:

- Stupeň zabezpečení: 2
- Pracovní frekvence: 868 MHz
- Akumulátor: 12V / 2,2 Ah
- Napájení ústředny: 230 V / 50 Hz
- Paměť událostí: 255
- Určeno pro prostředí: II. vnitřní všeobecné [17]



Obr. 30 Ústředna JA – 82K

Ústředna JA – 82K a její části jsou umístěny v plastové skříni, což znamená, že při běžné manipulaci se uživatel nedostane až k samotné ústředně. Na plastové skříni ústředny by mohlo dojít k elektrostatickému výboji na uchycovacím šroubku, který je umístěn nad kontaktem tamperu.

4.3.2 Klávesnice JA – 81E

Jedná se o drátovou systémovou klávesnici, která slouží k ovládání a programování ústředny. Klávesnice obsahuje čtečku RFID karet a má vstup pro detektor otevřených dveří [17].

Specifikace zařízení:

- Stupeň zabezpečení: 2
- Napájení: z ústředny

- Klidový odběr: do 100 mA
- Rozměry: 120 mm x 130 mm x 30 mm
- Určeno pro prostředí: II. vnitřní všeobecné [17]



Obr. 31 Klávesnice JA – 81E

Místa, u kterých by na klávesnici JA – 81E by mohlo dojít k elektrostatickému výboji:

1. Displej klávesnice
2. Levé uchycení
3. Pravé uchycení
4. Klávesy na klávesnici

4.3.3 PIR detektor JS – 20

Jedná se o detektor pohybu, který je určen k prostorové ochraně objektů [17].

Specifikace zařízení:

- Stupeň zabezpečení: 2
- Napájení: 12 V
- Klidový odběr: 10 mA
- Maximální odběr: 35 mA
- Úhel detekce, délka záběru: 120 ° / 12 m
- Určeno pro prostředí: II. vnitřní všeobecné [17]



Obr. 32 PIR detektor JS – 20

Na PIR detektoru JS – 20 se nenachází žádná místa, u kterých by se mohl vyskytnout elektrostatický výboj.

4.3.4 Bezdrátový modul AC – 82

Jedná se o dvoukanálový bezdrátový výstupní modul. U ústředny JA – 82K se používá jako výstup pro bezdrátové signály [17].

Specifikace zařízení:

- Stupeň zabezpečení: 2
- Napájení: 230 V / 50 Hz

- Komunikační pásmo: 868 MHz
- Minimální vzdálenost vysílače: 1 m
- Určeno pro prostředí: II. vnitřní všeobecné [17]



Obr. 33 Bezdrátový modul AC – 82

U bezdrátového modulu AC – 82 by mohlo dojít k elektrostatickému výboji na uchycovacím šroubku krytu.

4.3.5 Ústředna paradox Magellan MG5050-868

Jedná se o ústřednu elektronického zabezpečovacího systému s kapacitou 5 smyček. Ústředna má 2 podsystémy, 4 výstupy a může mít až 32 uživatelů [18].

Specifikace zařízení:

- Stupeň zabezpečení: 2

- Pracovní frekvence: 868 MHz
- Akumulátor: 12V / 7 Ah
- Napájení ústředny: 230 V / 50 Hz
- Paměť událostí: 256
- Určeno pro prostředí: II. vnitřní všeobecné [18]



Obr. 34 Ústředna paradox Magellan MG5050-868

Ústředna Magellan MG5050-868 a její části jsou umístěny v kovové skříni, což znamená, že při běžné manipulaci se uživatel nedostane k samotné ústředně. Na kovové skříni by mohlo dojít k elektrostatickému výboji na celé ploše krytu, jelikož je vyroben z vodivého materiálu.

4.3.6 Klávesnice K636

Klávesnice kompatibilní s ústřednou paradox Magellan, která dokáže indikovat až 10 zón a 1 podsystém [18].

Specifikace zařízení:

- Stupeň zabezpečení: 2
- Napájení: z ústředny 9 – 16 V
- Odběr: do 30 mA
- Rozměry: 149 mm x 79 mm x 25 mm
- Určeno pro prostředí: II. vnitřní všeobecné [18]



Obr. 35 Klávesnice K636

U klávesnice K636 by mohlo dojít k elektrostatickému výboji přes:

1. Jednotlivé klávesy klávesnice
2. Signalizační diodu zabezpečení
3. Signalizační dioda napájení

4.3.7 Duální detektor Paradox 525DM

Jedná se o duální PIR + MW detektor, kdy MW složka zároveň obsahuje i ochranu před zastíněním detektoru. Detektor je vhodný pro prostorovou ochranu objektů [18].

Specifikace zařízení:

- Stupeň zabezpečení: 2
- Napájení: 9 – 16 V

- Maximální odběr: 30 mA
- Úhel detekce, délka záběru PIR: 90 ° / 14 m
- Úhel detekce, délka záběru MW: 110 ° / 6-38 m
- Určeno pro prostředí: II. vnitřní všeobecné [18]



Obr. 36 Duální detektor Paradox 525DM

Na duálním detektoru Paradox 525DM se nenachází žádná místa, u kterých by se mohl vyskytnout elektrostatický výboj.

DÍLČÍ ZÁVĚR

V úvodu kapitoly bylo popsáno měřící zařízení ONYX 16, s kterým se vykonávaly zkoušky elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům a bylo blíže popsáno a zapojeno měřící pracoviště v prostorách laboratoře VTP-ICT.

Dále byly v kapitole popsány zařízení informační techniky, na nichž byly vykonány testy elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům podle kmenové normy

ČSN EN 61000-4-2 a upřesňující normy pro zařízení informační techniky ČSN EN 55024 ed.2. Prvním z těchto zařízení byla GPS navigace LTLM TW – 808 na které bylo určeno 6 bodů, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům. Druhým zařízením byl mobilní telefon Samsung Galaxy S3 mini u kterého bylo určeno 12 bodů, na kterých by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům.

Další částí kapitoly byl popis zařízení poplachových systémů, na nichž byly také vykonány testy elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům a to podle kmenové normy ČSN EN 61000-4-2 a upřesňující normy ČSN EN 50130-4 ed.2. Byly vybrány dvě sestavy od dvou výrobců. První sestavou byly zařízení od výrobce Jablotron a to ústředna JA – 82K, jež byla umístěna v umělohmotné skříni, na které se nachází jeden bod, u kterého by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům. Druhým zařízením sestavy byla klávesnice JA – 81E, na nichž se nachází 4 body, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům. Třetím zařízením sestavy byl PIR detektor JS – 20, jenž má kryt z umělé hmoty a na kterém se nenachází žádné body, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům. Posledním zařízením od výrobce Jablotron byl samostatný bezdrátový modul AC – 82m u kterého by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům na uchycovacím šroubku na krytu modulu. Druhou sestavou byly zařízení od výrobce Paradox. Ústředna paradox Magellan MG5050-868 byla umístěna v kovové skříni a je předpokládáno, že by na této kovové skříni mohlo dojít k elektrostatickým výbojům. Druhým zařízením této sestavy byla klávesnice K636 na které se nachází 3 body, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům. Třetím a posledním zařízením druhé sestavy je Duální detektor Paradox 525DM, jenž má kryt z umělé hmoty a na kterém se nenachází žádné místa, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům.

5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Výsledky měření se rozdělují do čtyř kategorií a to A, B, C a D, jež byly popsány v podkapitole 2.4.

5.1 Vyhodnocení výsledků pro zařízení informační techniky

Testy elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům byly vykonány podle kmenové normy ČSN EN 61000-4-2 a normy pro informační techniku ČSN EN 55024 ed.2. Testy pro zařízení informační techniky byly prováděny podle 2. úrovně – chráněné prostředí – prostředí s mírnou úrovní rušení (domácnosti a kanceláře).

5.1.1 Výsledky testů pro GPS navigaci LTLM TW – 808

U GPS navigace LTLM TW – 808 byly provedeny testy odolnosti vůči elektrostatickým výbojům a v následující tabulce je popsáno vyhodnocení těchto testů. Jednotlivé body, na kterých by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům, byly popsány v kapitole 4.2.1. Dotyková pracovní plocha LCD displeje a reproduktor GPS navigace nebyli v tabulce zahrnuti, jelikož v těchto místech nedošlo k elektrostatickým výbojům.

Tab. 4 Výsledky testů pro jednotlivé body GPS navigace LTLM TW – 808

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Signalizační LED dioda	Kontaktní	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
Signalizační LED dioda	Vzduchový	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
Výstup pro sluchátka	Kontaktní	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
Výstup pro sluchátka	Vzduchový	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
Vstup Micro SD karty	Kontaktní	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
Vstup Micro SD karty	Vzduchový	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
USB výstup	Kontaktní	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
USB výstup	Vzduchový	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B

Při výbojích do signalizační LED diody, výstupu pro sluchátka, vstupu pro Micro SD kartu a USB výstupu bylo zaznamenáno problikávání LCD displeje, tedy zařízení při zkoušce vykazovalo dočasnou ztrátu funkce, ale po ukončení se samo uvedlo do původního provozu.

Tab. 5 Výsledky testů pro výboje do vazební desky u navigace LTLM TW - 808

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Levá strana zařízení	Vazební deska	4 kV	25	+	A
		4 kV	25	-	A
Horní strana zařízení	Vazební deska	4 kV	25	+	A
		4 kV	25	-	A
Pravá strana zařízení	Vazební deska	4 kV	25	+	A
		4 kV	25	-	A
Dolní strana zařízení	Vazební deska	4 kV	25	+	A
		4 kV	25	-	A

Při výbojích do vazební desky nebyla zaznamenána žádná změna funkce na testovaném zařízení.

5.1.2 Výsledky testů pro mobilní telefon Samsung Galaxy S3 mini

Jednotlivé body, na kterých by mohlo dojít k elektrostatickým výbojům, byly popsány v kapitole 4.2.2. Na mobilním telefonu nedošlo k elektrostatickým výbojům na přední kameře, přední svítilně, displeji, systémovém tlačítku, zadní kameře, zadní svítilně, tlačítku pro ovládání zvuku a vypínacím/zapínacím tlačítku.

Tab. 6 Výsledky testů pro jednotlivé body mobilního telefonu Samsung Galaxy S3 mini

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Přední reproduktor	Kontaktní	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
Přední reproduktor	Vzduchový	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
Zadní reproduktor	Kontaktní	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
Zadní reproduktor	Vzduchový	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
Výstup pro sluchátka	Kontaktní	4 kV	25	+	D
		4 kV	25	-	D
Výstup pro sluchátka	Vzduchový	4 kV	25	+	D
		4 kV	25	-	D
USB výstup	Kontaktní	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B
USB výstup	Vzduchový	4 kV	25	+	B
		4 kV	25	-	B

Při výbojích do předního reproduktoru, zadního reproduktoru a do USB výstupu bylo zaznamenáno problikávání displeje mobilního telefonu. Při aplikaci výbojů do výstupu pro sluchátka docházelo k problikávání displeje, kdy byl při aplikaci osmého výboje nenávratně poškozen displej mobilního telefonu.

Tab. 7 Výsledky testů pro výboje do vazební desky u mobilního telefonu

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Levá strana zařízení	Vazební deska	4 kV	25	+	A
		4 kV	25	-	A
Horní strana zařízení	Vazební deska	4 kV	25	+	A
		4 kV	25	-	A
Pravá strana zařízení	Vazební deska	4 kV	25	+	A
		4 kV	25	-	A
Dolní strana zařízení	Vazební deska	4 kV	25	+	A
		4 kV	25	-	A

Při výbojích do vazební desky nebyla zaznamenána žádná změna funkce na testovaném zařízení.

5.2 Vyhodnocení výsledků měření pro zařízení poplachových systémů

Testy elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům byly vykonány podle kmenové normy ČSN EN 61000-4-2 a normy pro poplachové systémy ČSN EN 50130-4 ed.2. Testy pro zařízení poplachových systémů byly prováděny podle 3. úrovně – typické průmyslové prostředí – prostředí s vysokou úrovní rušení.

5.2.1 Výsledky testů pro ústřednu JA – 82K

Na uchycovacím šroubku skříně ústředny nedocházelo k žádným elektrostatickým výbojům. Tedy na skříně ústředny se nenachází žádné místo, kde by mohlo dojít k elektrostatickému výboji, jelikož skříň ústředny je z umělé hmoty.

Tab. 8 Výsledky testů pro ústřednu JA – 82K

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Levá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Horní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Pravá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Dolní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A

Byly vykonány výboje do vazební desky v každém směru zařízení, ale testované zařízení nebylo těmito výboji nijak ovlivněno.

5.2.2 Výsledky testů pro klávesnici JA – 81E

Na displeji, uchycení a jednotlivých klávesách se nevyskytovaly žádné elektrostatické výboje.

Tab. 9 Výsledky testů pro klávesnici JA – 81E

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Levá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Horní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Pravá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Dolní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A

Při vykonání testů pro klávesnici JA – 81E nedošlo k žádné změně funkce.

5.2.3 Výsledky testů pro PIR detektor JS – 20

Jelikož je kryt PIR detektoru celý z umělé hmoty tak se na PIR detektoru nenacházela žádná místa, u kterých by mohlo dojít k elektrostatickému výboji.

Tab. 10 Výsledky testů pro PIR detektor JS – 20

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Levá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Horní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Pravá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Dolní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A

Při výbojích do vazební desky, nebyl provoz PIR detektoru nijak ovlivněn a testované zařízení nevykazovalo žádnou změnu funkce.

5.2.4 Výsledky testů pro bezdrátový modul AC – 82

Na uchycovacím šroubku bezdrátového modulu nedocházelo k žádným elektrostatickým výbojům.

Tab. 11 Výsledky testů pro bezdrátový modul AC – 82

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Levá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	B
		6 kV	10	-	B
Horní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	B
		6 kV	10	-	B
Pravá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	B
		6 kV	10	-	B
Dolní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	B
		6 kV	10	-	B

Při výbojích do vazební desky, docházelo k aktivaci výstupu bezdrátového modulu, jenž představoval signalizační žárovku. Zařízení se po výboji vrátilo zpět do původního stavu.

5.2.5 Výsledky testů pro ústřednu paradox Magellan MG5050-868

Při testech bylo zjištěno, že kovový kryt skříně ústředny je pokryt nevodivým materiálem a proto nedocházelo po celé délce skříně ústředny k žádným elektrostatickým výbojům.

Tab. 12 Výsledky testů pro ústřednu paradox Magellan MG5050-868

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Levá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Horní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Pravá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Dolní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A

Při výbojích do vazební desky, nebyl provoz ústředny nijak ovlivněn a testované zařízení nevykazovalo žádnou změnu funkce.

5.2.6 Výsledky testů pro klávesnici K636

Na jednotlivých klávesách a signalizačních diodách nedocházelo k žádným elektrostatickým výbojům.

Tab. 13 Výsledky testů pro klávesnici K636

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Levá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Horní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Pravá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Dolní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A

Při výbojích do vazební desky testované zařízení nevykazovalo žádnou změnu funkce.

5.2.7 Výsledky testů pro duální detektor Paradox 525DM

Jelikož je kryt duálního detektoru Paradox 525DM celý z umělé hmoty tak nedocházelo k žádným elektrostatickým výbojům.

Tab. 14 Výsledky testů pro duální detektor Paradox 525DM

Místo aplikace výboje	Typ výboje	Zkušební napětí	Počet výbojů	Polarita	Výsledek zkoušky
Levá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Horní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Pravá strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A
Dolní strana zařízení	Vazební deska	6 kV	10	+	A
		6 kV	10	-	A

Při výbojích do vazební desky testované zařízení nevykazovalo žádnou změnu funkce.

DÍLČÍ ZÁVĚR

Byly provedeny testy elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům na vybraných zařízeních. Výsledky těchto testů se podle normy ČSN EN 61000-4-2 dělí do 4 kategorií a to kategorií A, B, C a D, jež byly popsány v podkapitole 2.4.

U prvního zařízení informační techniky, tedy GPS navigace LTLM TW-808 byly nalezeny 4 body (signalizační LED dioda, výstup pro sluchátka, vstup Micro SD karty a USB výstup), u kterých docházelo k elektrostatickým výbojům. Výboje do těchto míst spadaly pod kategorii B, jelikož docházelo k problikávání displeje zařízení, kdy se zařízení po dokončení zkoušky samo vrátilo do původní funkce. Výboje do vazební desky v každém směru zařízení neměly žádný vliv na zařízení. U druhého zařízení informační techniky, tedy mobilního telefonu Samsung Galaxy s3 mini docházelo k elektrostatickým výbojům na 4 místech (přední reproduktor, zadní reproduktor, výstup pro sluchátka a USB výstup), kdy na reproduktorech a USB výstupu docházelo k výbojům, které měly vliv na zařízení spadající do kategorie B. Na jednom z míst tedy na výstupu pro sluchátka docházelo k výbojům, které spadaly do kategorie D a které nenávratně poškodili displej mobilního telefonu. Účinky výbojů do vazební desky nebylo možné na displeji mobilního telefonu sledovat, jelikož displej už byl při těchto testech poškozen, ale k jiným viditelným problémům nedošlo (např. vypnutí telefonu).

U zařízení poplachových systémů nebyly nalezeny žádné body, u kterých docházelo k elektrostatickým výbojům, jelikož kryty zařízení poplachových systémů jsou vyráběny především z umělé hmoty. Podle požadavků normy ČSN EN 50130-4 ed.2 byly vykonány výboje do vazební desky v každém směru zařízení. Jediné zařízení, které bylo těmito výboji ovlivněno byl bezdrátový modul AC – 82 u kterého docházelo k aktivaci výstupu, jež představoval signalizační žárovku.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se v teoretické části nejprve zabývala problematikou elektromagnetické kompatibility a základním dělením této problematiky na elektromagnetické rušení a elektromagnetickou odolnost. Dále bylo v teoretické části popsáno, co je to elektrostatický výboj, jak vzniká a v jakých prostředích se nejčastěji vyskytuje. Byla popsána problematika elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení vůči elektrostatickým výbojům, na základě kmenové normy ČSN EN 61000-4-2, podle které byl popsán simulátor elektrostatických výbojů a příslušné zkušební pracoviště pro výkon zkoušek elektromagnetické odolnosti. Podle normy ČSN EN 61000-4-2 následně byly popsány druhy zkušebních elektrostatických výbojů a to kontaktní elektrostatický výboj, elektrostatický výboj vzduchovou mezerou a nepřímý elektrostatický výboj do vazební desky. Následně byly zpracovány požadavky pro testování elektromagnetické odolnosti vůči elektrostatickým výbojům pro vybraná testovaná zařízení, tedy zařízení informační techniky a poplachových systémů. Požadavky pro testování zařízení informační techniky byly dále upraveny podle normy ČSN EN 55024 ed.2 a zařízení poplachových systémů byly přizpůsobeny podle normy ČSN EN 50130-4 ed.2. Závěr teoretické části se pak věnoval třem základním modelům elektrostatických událostí všedního života.

Praktická část se v úvodu věnovala měřicímu zařízení, tedy simulátoru elektrostatických výbojů ONYX 16 od Haefely Hipotronics a zapojenému zkušebnímu pracovišti v prostorách Vědecko-technického parku Informační a komunikační technologie Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. V praktické části byly poté popsány vybrané elektronické zařízení a na každém z těchto zařízení byly stanoveny body, u kterých byl předpoklad, že by mohlo docházet k elektrostatickým výbojům. U zařízení informační techniky se jednalo o ovládací a indikační prvky, reproduktory a vstupy či výstupy daných zařízení. U zařízení poplachových systémů se jednalo o klávesy, indikační a uchycovací prvky. Následně byly realizovány testy na vybraných bodech a byly stanoveny výsledky testů pro každé zařízení. Zařízení informační techniky byly při testech vůči elektrostatickým výbojům méně odolné než zařízení poplachových systémů a to především proto, že funkční části zařízení poplachových systémů jsou umístěny v umělohmotných krytech. Jedno ze zařízení informační techniky, mobilní telefon Samsung Galaxy S3 mini, neprošel přes testy elektromagnetické odolnosti, jelikož při výbojích do výstupu pro sluchátka došlo k nenávratnému poškození displeje mobilního telefonu.

Na práci by se dalo navázat z hlediska ESD modelů, kde by se elektrostatické výboje aplikovali přímo na integrované obvody elektronických zařízení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky. Brno: Vysoké učení technické, 2001. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 80-214-1873-7.
- [2] Elektromagnetická kompatibilita technických systémů. *Encyklopedie EMC* [online]. Ústav Radioelektroniky Technická 3082/12 616 00 Brno, 2009 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/Obr_1_3.jpg
- [3] Elektromagnetická kompatibilita technických systémů. *Encyklopedie EMC* [online]. Ústav Radioelektroniky Technická 3082/12 616 00 Brno, 2009 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/Obr_1_4.jpg
- [4] Elektromagnetická kompatibilita technických systémů. *Encyklopedie EMC* [online]. Ústav Radioelektroniky Technická 3082/12 616 00 Brno, 2009 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/obr_01_01.png
- [5] Rušivé signály a jejich zdroje. *Encyklopedie EMC* [online]. Ústav Radioelektroniky Technická 3082/12 616 00 Brno, 2009 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/Obr_2_1.jpg
- [6] Elektromagnetická kompatibilita technických systémů. *Encyklopedie EMC* [online]. Ústav Radioelektroniky Technická 3082/12 616 00 Brno, 2009 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/Obr_1_3.jpg
- [7] VACULÍKOVÁ, Polina a Emil VACULÍK. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vf rušení: ČSN-ČSN EN-ČSN IEC-ČSN CISPR-ČSN ETS. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-716-9568-8.
- [8] OTT, Henry W. *Electromagnetic compatibility engineering*. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2009. ISBN 978-0-470-18930-6.
- [9] PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2006. ISBN 04-717-5500-1.
- [10] ČSN EN 61000-4-2 ED.2. Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-2: Zkušební a měřicí technika – Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti. Praha: Český normalizační institut, 2009. Třídící znak 333432.
- [11] Safeguard Your RS-485 Communication Networks from Harmful EMC Events. *Analog Dialogue* [online]. One Technology Way PO BOX 9106 Norwood,

- MA 02062, c1995-2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/safeguard-your-rs-485-communication-networks.html>
- [12] ČSN EN 50130-4 ed. 2: Alarm system. Part 4: Electromagnetic compatibility - Product family standard: Immunity requirements for components of fire, intruder, hold up, CCTV, access control and social alarm systems. The Czech Office for Standards, Metrology and Testing, Prague, 2012.
- [13] ČSN EN 55024 (33 4289) Zařízení informační techniky – Charakteristiky odolnosti – Meze a metody měření
- [14] AEC Documents. *Automotive Electronics Council* [online]. [cit. 2017-04-7]. Dostupné z: <http://www.aecouncil.com/AECDocuments.html>
- [15] What's The Difference Between HBM, CDM, And MM Test? *Electronic design* [online]. Penton, c2017 [cit. 2017-04-7]. Dostupné z: <http://electronicdesign.com/power/what-s-difference-between-hbm-cdm-and-mm-test>
- [16] ONYX 16 - ELECTROSTATIC DISCHARGE TEST SYSTEM (ESD). *HAEFELY HIPOTRONICS* [online]. Hubbell Incorporated, c2016 [cit. 2017-04-7]. Dostupné z: <http://www.haefely-hipotronics.com/products/product/onyx-16/>
- [17] Alarmy základní Jablotron. *Jabloshop.cz* [online]. Štěrboholská 560/73, Praha 10, 102 00: TELMO, c2017 [cit. 2017-04-7]. Dostupné z: <https://www.jabloshop.cz/alarmy-zakladni>
- [18] MAGELLAN. *PARADOX* [online]. Paradox, c2000-2017 [cit. 2017-04-7]. Dostupné z: <http://www.paradox.com/Products/default.asp?CATID=4>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EMC	Electromagnetic compability
EMI	Electromagnetic interference
EMS	Electromagnetic susceptibility
ESD	Electrostatic discharge
HBM	Human Body Model
HMM	Human Metal Model
CDM	Charged device model

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Základní dělení EMC, Modifikováno autorem z: [2]</i>	10
<i>Obr. 2 Obecné schéma definující úrovně, meze vyzařování a odolnosti [3]</i>	12
<i>Obr. 3 Základní řetězec EMC, Modifikováno autorem z: [4]</i>	14
<i>Obr. 4 Rozdělení zdrojů rušení, Modifikováno autorem z: [5]</i>	15
<i>Obr. 5 Způsoby šíření rušivých elektromagnetických signálů, Modifikováno autorem z: [6]</i>	17
<i>Obr. 6 Vnitřní zapojení simulátoru ESD, Modifikováno autorem z: [10]</i>	20
<i>Obr. 7 Výměnné vybíjecí hroty ESD simulátoru, Modifikováno autorem z: [10]</i>	20
<i>Obr. 8 Zkušební pracoviště pro zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům, Modifikováno autorem z: [10]</i>	21
<i>Obr. 9 Schéma kontaktního elektrostatického výboje, Modifikováno autorem z: [1]</i>	23
<i>Obr. 10 Charakteristika kontaktního elektrostatického výboje [11]</i>	24
<i>Obr. 11 Schéma elektrostatického výboje vzduchovou mezerou, Modifikováno autorem z: [1]</i>	24
<i>Obr. 12 Schéma nepřímého elektrostatického výboje na vazební desku, Modifikováno autorem z: [1]</i>	25
<i>Obr. 13 HBM model, Modifikováno autorem z: [8]</i>	29
<i>Obr. 14 Obecné schéma pro testování HBM ESD, Modifikováno autorem z: [14]</i>	30
<i>Obr. 15 Charakteristika HBM ESD výboje [15]</i>	30
<i>Obr. 16 HMM model, Modifikováno autorem z: [8]</i>	31
<i>Obr. 17 Zjednodušené schéma CMD modelu, Modifikováno autorem z: [14]</i>	32
<i>Obr. 18 Vybíjecí charakteristika CMD modelu [15]</i>	32
<i>Obr. 19 ESD simulátor ONYX 16 s výměnnými hroty a akumulátorem</i>	36
<i>Obr. 20 Zkušební pracoviště</i>	36
<i>Obr. 21 Přední plocha GPS navigace</i>	37
<i>Obr. 22 Zadní plocha GPS navigace</i>	38
<i>Obr. 23 Levá strana GPS navigace</i>	38
<i>Obr. 24 Přední plocha mobilního telefonu</i>	40
<i>Obr. 25 Zadní plocha mobilního telefonu</i>	41
<i>Obr. 26 Horní strana mobilního telefonu</i>	41
<i>Obr. 27 Dolní strana mobilního telefonu</i>	42
<i>Obr. 28 Levá strana mobilního telefonu</i>	42

<i>Obr. 29</i> Prává strana mobilního telefonu	42
<i>Obr. 30</i> Ústředna JA – 82K	44
<i>Obr. 31</i> Klávesnice JA – 81E	45
<i>Obr. 32</i> PIR detektor JS – 20	46
<i>Obr. 33</i> Bezdrátový modul AC – 82	47
<i>Obr. 34</i> Ústředna paradox Magellan MG5050-868	48
<i>Obr. 35</i> Klávesnice K636	49
<i>Obr. 36</i> Duální detektor Paradox 525DM	50

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Zkušební úrovně a napěťové hodnoty kontaktního výboje [10]</i>	23
<i>Tab. 2 Zkušební úrovně a napěťové hodnoty výboje vzduchovou mezerou [10]</i>	25
<i>Tab. 3 Úrovně pro jednotlivé typy výbojů [12]</i>	27
<i>Tab. 4 Výsledky testů pro jednotlivé body GPS navigace LTLM TW – 808</i>	52
<i>Tab. 5 Výsledky testů pro výboje do vazební desky u navigace LTLM TW - 808</i>	53
<i>Tab. 6 Výsledky testů pro jednotlivé body mobilního telefonu Samsung Galaxy S3 mini</i>	54
<i>Tab. 7 Výsledky testů pro výboje do vazební desky u mobilního telefonu</i>	54
<i>Tab. 8 Výsledky testů pro ústřednu JA – 82K</i>	55
<i>Tab. 9 Výsledky testů pro klávesnici JA – 81E</i>	56
<i>Tab. 10 Výsledky testů pro PIR detektor JS – 20</i>	56
<i>Tab. 11 Výsledky testů pro bezdrátový modul AC – 82</i>	57
<i>Tab. 12 Výsledky testů pro ústřednu paradox Magellan MG5050-868</i>	57
<i>Tab. 13 Výsledky testů pro klávesnici K636</i>	58
<i>Tab. 14 Výsledky testů pro duální detektor Paradox 525DM</i>	58