

Odolnost zařízení vůči elektromagnetickým rušivým vlivům

Devices resistance against electromagnetic interference

Martin Vávra

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin VÁVRA**
Osobní číslo: **A10024**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Odolnost zařízení vůči elektromagnetickým rušivým vlivům**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou elektromagnetické kompatibility (EMC).
2. Prostudujte metody testování odolnosti proti elektromagnetickému rušení.
3. Vycházejte z platné legislativy a norem.
4. Proveďte průzkum trhu se zařízeními používanými pro testování EMC.
5. Jednotlivá zařízení porovnejte podle použití a podle ceny.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. EMC z hlediska teorie a aplikace. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006, 216 s. ISBN 80-7300-202-7.
2. VACULÍKOVÁ, Polina a Emil VACULÍK. Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vf rušení. 1. vyd. Praha: Grada, 1998, 487 s. ISBN 8071695688.
3. SVAČINA, Jiří. Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 2001, 156 s. ISBN 8021418737.
4. ČSN EN 61 000-4-4. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-4: Zkušební a měřicí technika – Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti. Praha: Český normalizační institut: [s.n.], 1.5.2005.
5. ČSN EN 61 000-4-5. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Rázový impulz – Zkouška odolnosti. Praha: Český normalizační institut: [s.n.], 1.7.2007.
6. ČSN EN 61 000-4-2. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-2: Zkušební a měřicí technika – Elektrostatický výboj – Zkouška odolnosti. Praha: Český normalizační institut: [s.n.], 1.11.2009.
7. ČSN EN 61 000-4-11. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-11: Zkušební a měřicí technika – Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušování a pomalé změny napětí – Zkoušky odolnosti. Praha: Český normalizační institut: [s.n.], 1.3.2005.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

25. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2013

Ve Zlíně dne 25. února 2013


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje problematice elektromagnetické kompatibility. V teoretické části práce je zpracováno měření elektromagnetické kompatibility podle norem České republiky. V praktické části jsou popsány přístroje pro měření v tomto vědním oboru. Konkrétně jsou popsány spektrální analyzátory a zkušební přijímače a rozdíly mezi nimi. Zmíněny jsou také generátory zkušebních signálů. Popsány jsou jejich klady a zápory a následně je provedeno porovnání podle určených kritérií.

Klíčová slova: EMC, testování odolnosti, normalizace, měření odolnosti.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the electromagnetic compatibility issues. The theoretical part of the work focuses on the measurement of electromagnetic compatibility according to Czech standard. The practical part focuses on measuring devices in the EMC field. Spectrum analyzers, test receivers and the differences between them are described. The test signal generators are also mentioned. Discussed are their pros and cons and comparison according specific criteria is performed.

Keywords: EMC, testing of resistance, normalization, resistance measurement

Úvodem bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Lubomírovi Macků, Ph.D. za jeho postřehy, rady a vědomosti poskytnuté při psaní bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za finanční a psychickou oporu po dobu studia.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním 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 bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk 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 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 – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování 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 bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem 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 bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	11
1.1 DĚLENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	11
1.1.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů	11
1.1.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů	12
1.2 ELEKTROMAGNETICKÁ INTERFERENCE.....	14
1.3 ELEKTROMAGNETICKÁ SUSCEPTIBILITA	14
1.4 RUŠIVÉ SIGNÁLY	15
1.4.1 Zdroje rušivých signálů	17
1.5 PŘENOSOVÉ VAZBY	18
1.5.1 Induktivní vazba	18
1.5.2 Kapacitní vazba	19
1.5.3 Galvanická vazba	20
1.5.4 Elektromagnetická vazba	20
2 TESTOVÁNÍ EMC	21
2.1 OBECNÁ METODIKA.....	21
2.2 DRUHY IMPULZŮ PRO TESTOVÁNÍ.....	23
2.3 USPOŘÁDÁNÍ PRACOVNÍHO MÍSTA PRO ZKOUŠKY EMC	24
2.4 ZKOUŠKY ODOLNOSTI VŮČI RUŠIVÝM VLIVŮM V ENERGETICKÉ SÍTI.....	27
2.5 ZKOUŠKY ODOLNOSTI PROTI VYSOKOENERGETICKÝM ŠIROKOPÁSMOVÝM IMPULZŮM	27
2.6 ZKOUŠKY ODOLNOSTI PROTI NÍZKOENERGETICKÝM ŠIROKOPÁSMOVÝM IMPULZŮM	28
2.7 ZKOUŠKY ODOLNOSTI PROTI ELEKTROSTATICKÝM VÝBOJŮM.....	29
2.8 ZKOUŠKY ODOLNOSTI PROTI VYSOKOFREKVENČNÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLÍM.....	30
3 LEGISLATIVA PRO MĚŘENÍ EMC	32
3.1 NORMATIVY A SMĚRNICE O EMC.....	32
3.2 DRUHY Norem.....	32
3.2.1 Základní normy	33
3.2.2 Všeobecné normy	33
3.2.3 Normy výrobků	33
3.3 CIVILNÍ NORMY EMC.....	34
3.4 VOJENSKÉ NORMY EMC	34
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
4 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ EMC	36
4.1 TESTOVACÍ PŘIJÍMAČE.....	36
4.2 GENERÁTORY RUŠIVÉHO SIGNÁLU	37
4.2.1 Teseq NSG 3040	37
4.2.2 EM Test UCS 500N7	38
4.2.3 Teseq NSG 437	39

4.2.4 NARDA PMM 3030	40
5 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH GENERÁTORŮ.....	41
ZÁVĚR	43
CONCLUSION	44
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	47
SEZNAM OBRÁZKŮ	48
SEZNAM TABULEK.....	49

ÚVOD

Elektromagnetická kompatibilita je samostatná vědní disciplína, která se zabývá problematikou odolnosti zařízení v elektromagnetickém prostředí. Tato disciplína se rozvíjela společně s rozvojem elektronických zařízení a za posledních 10-15 let udělala velký pokrok ve vývoji. Prvotními zájemci o řešení EMC byli armády různých zemí, hlavně země Severoatlantické aliance v čele s Americkou armádou. Jedním z mnoha důvodů řešit problematiku EMC byly i havárie, které měli katastrofální následky, viz níže:

- Zničení stíhacího letounu NATO v roce 1984. Příčinou bylo rušení řídicího systému letadla televizním vysílačem.
- Potopení britského křižníku Sheffield během falklandské války. Příčinou bylo nedodržení elektromagnetické kompatibility mezi palubním komunikačním zařízením lodi a protiletadlovým obranným systémem. O život přišlo 20 vojáků.
- Havárie rakety typu Pershing II v důsledku elektrostatického výboje. Při převozu rakety byl její pohon neúmyslně odpálen elektrostatickou elektřinou z okolní bouřky.
- Havárie v hutích v USA. Mikroprocesorový systém řízení jeřábu, přenášejícího licí pánev s tekutou ocelí byl rušen příruční vysokofrekvenční vysílačkou. Licí pánev se převrhla a tavenina na místě zabila jednoho dělníka a čtyři další zranila. [1]

Společně s rozvojem problematiky EMC se musela začít řešit normalizační tvorba pro tento vědní obor. Normy byly vytvořeny v mezinárodním rozsahu a každá země, která normy následně přejímala, si je doplňovala o svoje doplňky. Normy se následně začaly rozlišovat podle toho, jestli byly pro civilní nebo vojenskou sféru. Následně se určily normy pro měření a testování odolnosti zařízení, které určovaly jak zařízení testovat, jakým přístrojem, v jaké prostředí, jak má vypadat zkušební signál. Tyto normy se odvíjí od prostředí, v kterém se zařízení bude vyskytovat.

Problematikou EMC se zabývá i tato bakalářská práce. V teoretické části je tento vědní obor podrobně rozebrán a to včetně druhů rušivých signálů a jejich přenosových tras. Zmíněna je i metodika měření podle norem ČSN EN 61 000-4, zvláště jsou pak popsány nejčastěji používané metody testů. Další kapitola obsahuje souhrn a vyčlenění normalizačních dokumentů v této vědní oblasti. V praktické části se řeší problematika měřících přístrojů a zařízení (např. vybraných generátorů rušení) používaných v oblasti EMC včetně hodnocení jejich kladů, záporů a dalších vlastností.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Elektromagnetickou kompatibilitu lze definovat jako schopnost zařízení (systému) nebo přístroje správně pracovat v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetického signálu. Dále potom svou vlastní elektromagnetickou činností negativně neovlivňuje okolí, nevyzařuje signály, které by rušily jiné přístroje.

1.1 Dělení elektromagnetické kompatibility

Problematiku EMC je možné rozdělit z mnoha hledisek. Obecně lze otázky kolem EMC rozdělit do dvou hlavních oblastí: EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení.

1.1.1 Elektromagnetická kompatibility biologických systémů

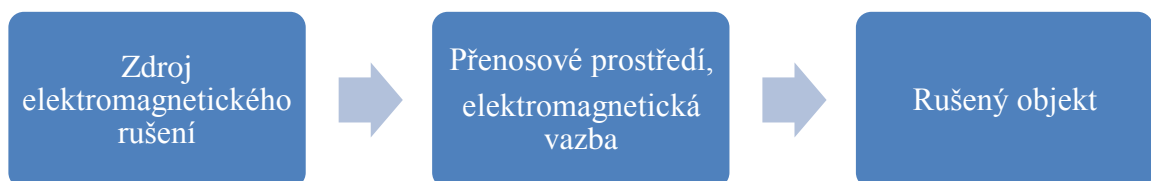
V tomto směru se EMC zabývá „*elektromagnetickým pozadím*“ životního prostředí a přípustnými úrovněmi elektromagnetických signálů (rušivých nebo užitečných). To vše s ohledem na jejich vlivy na živý organismus. I když jsou tyto vlivy studovány již delší dobu, nemá žádná dosavadní studie jednoznačné výsledky. To je v důsledku toho, že biologické účinky elektromagnetického pole závisí na mnoha faktorech: na charakteru magnetického pole, době, po kterou působí na organismus, ale i na vlastnostech daného organismu. Na příklad každý člověk má jinou reakci na působení elektromagnetického pole. Reakce je individuální, závisí na jeho adaptačních, kompenzačních a regeneračních schopnostech. Proto je velmi obtížné analyzovat tyto reakce pomocí statistiky a tím dosáhnout přesných výsledků. Při tom tato problematika není řešena jenom pro pracovníky, kteří jsou vystaveni elektromagnetickému poli na svém pracovišti (obsluhy radiolokátorů apod.). S přístroji vyzařující elektromagnetické pole se setkáváme běžně v domácnosti, jsme s nimi obklopeni a máme je s sebou na každém kroku. V České Republice se touto problematikou zabývá Nařízení vlády č.1/2008 Sb. v platnosti od 30.4.2008. Toto nařízení stanovuje požadavky pro práci a pobyt osob v elektromagnetickém poli v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 300 GHz, případně pro optická a laserová zařízení i do vyšších kmitočtů. Přípustné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Veličina	Zaměstnanci	Ostatní osoby
	Kmitočet f [Hz]	Kmitočet f [Hz]
Indukovaná proudová hustota [A/m ²]	300 - 10 ⁷	0-10 ⁷
	$\sqrt{2} \cdot 0,01$	Pětkrát nižší než nevyšší přípustná hodnota pro zaměstnance
Měrný absorbovaný výkon [W/kg]	10 ⁵ -10 ¹⁰	10 ⁵ -10 ¹⁰
	0,4	0,08
Plošná hustota zářivého toku [W/m ²]	>10 ¹⁰ -3.10 ¹¹	>10 ¹⁰ -3.10 ¹¹
	50	10

Tabulka 1 Nejvyšší přípustné hodnoty dle nařízení vlády 1/2008 Sb.

1.1.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Druhou základní oblastí pro dělení EMC je EMC technických systémů. Věnuje se zkoumání vzájemného působení a koexistence technických prostředků, elektronických a elektrotechnických přístrojů a zařízení. Je důležité vzít v úvahu, že EMC se zde stává aplikačním nebo systémovým oborem. Při zkoumání EMC pro daný systém (zařízení) musíme vždy vycházet z tzv. základního řetězce. V tomto řetězci je zaznamenán již zmíněný charakter problematiky. Skládá se ze tří složek, které jsou na sebe vázané a je nutné je zkoumat všechny.



Obr. 1 Základní řetězec EMC

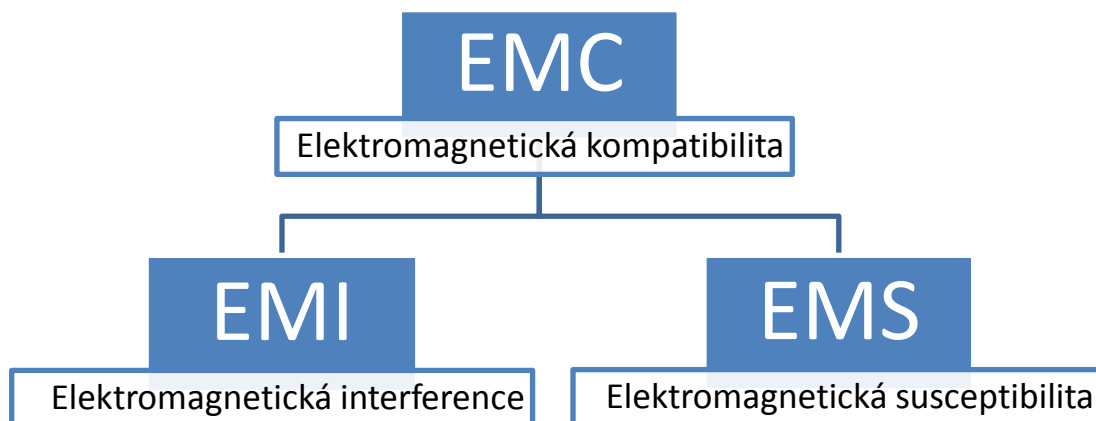
V oblasti zdroje elektromagnetického rušení zkoumáme otázky vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity. Do tohoto bloku zařazujeme přírodní (přírozené) zdroje rušivých signálů (slunce, elektrické výboje v atmosféře atd.) i umělé zdroje rušení. Do umělých zdrojů rušení řadíme zdroje vytvořené lidskou činností (elektromotory, spínače, relé, přenosové soustavy elektrické energie atd.).

V druhé oblasti tj. oblasti přenosových cest se zabýváme elektromagnetickým přenosovým prostředím a vazbami. Řešíme vlastně přenos elektromagnetického rušení od zdroje k rušenému objektu (přenos vzduchem, společným zemněním, napájecími kabely atd.). Vazebné mechanismy budou probrány později.

Poslední oblastí našeho zkoumání je problematika objektů rušení (číslicová technika, měřicí přístroje, automatizační prostředky, počítače atd.). V této oblasti se řeší klasifikace typů a podrobné specifikace rušivých účinků. To vše na základě konstrukce a technologických parametrů zařízení. Z uvedených parametrů se poté určí pro dané zařízení elektromagnetická odolnost.

Ve skutečnosti je tento řetězec složitější, protože každý přístroj, systém nebo jeho část mohou být rušeny více zdroji, popřípadě mohou být vysílači a zároveň přijímači rušení. V praxi se často řeší vzájemné vztahy více systémů vzájemně se všestranně ovlivňujících. V těchto případech postupujeme tak, že vybereme jeden systém, který považujeme za ovlivňující (zdroj) a ostatní systémy jako ovlivňované (přijímače). Následně vybraný systém řešíme jako ovlivňovaný a řešíme důsledky ovlivňování ostatními systémy (tzv. obklopující elektromagnetické prostředí). Následně vyhodnotíme chování systému podle toho, jestli fungoval s omezením ve formě zhoršení kvality systémových parametrů, nebo zda došlo k částečnému nebo úplnému omezení funkce nebo havarijnímu stavu.

Z řetězce zobrazeného na Obr. 1 se vždy snažíme odstranit jednu část. Touto operací dojde k odstranění problému s kompatibilitou. V praxi se snažíme tomuto stavu přiblížit tak, že vybereme nejvhodnější část řetězce. Tuto část následně upravíme tak, abychom dosáhli nejlepšího stavu EMC. Výběr vhodného členu záleží na daném systému.



Obr. 2 Členění elektromagnetické kompatibility

Celou problematiku EMC dělíme na dva hlavní směry, viz Obr. 2.

1.2 Elektromagnetická interference

Elektromagnetická interference (rušení) se zabývá procesem, kdy se signál generovaný zdrojem rušení přenáší po přenosových cestách (vazbách) na rušený systém. Problematika se tedy věnuje identifikaci zdrojů rušení a parazitních přenosových cest, popisem a měřením rušivých signálů. Pro dosažení kompatibility celého systému se zavádí opatření na zdrojích rušení a přenosových cestách. EMI se tedy věnuje hlavně příčinám rušení a jejich odstraňování.

Velkou oblastí je měření EMI, především měření rušivých signálů s následnou identifikací. V měření se používají metody a postupy pro kvantifikační hodnocení námi zvolených parametrů na rozhraní zdrojů a přijímačů. Závěrečné posouzení EMC je obtížné, protože měřicí přístroje mohou být zdrojem a zároveň přijímačem rušení.

1.3 Elektromagnetická susceptibilita

Elektromagnetická susceptibilita (odolnost) vyjadřuje schopnost systému (zařízení) pracovat v prostředí s elektromagnetickým rušením s přípustnou odchylkou, v lepším případě bez poruch. Věnuje se tedy opatřením, které je nutné udělat, aby se u objektu zvýšila odolnost proti rušivým signálům. EMS se tedy věnuje odstraňování důsledků rušení, bez řešení jejich příčin.

Zároveň se v oblasti testování elektromagnetické odolnosti rozmáhá používání tzv. simulátorů rušení. Jde o praktické ověření stupně EMC navrženého zařízení jak na hotových zařízeních tak již během výroby.

1.4 Rušivé signály

Jak bylo výše zmíněno, můžeme elektrotechnický systém považovat za vysílač a přijímač elektromagnetického rušení zároveň. Vyčleňujeme však skupinu, u které vysoce převažuje proces generování rušivých signálů nad jejich příjem. Tuto skupinu nazýváme interferenčními zdroji nebo zdroji elektromagnetického rušení. Rozčlenění zdrojů rušení je možné podle mnoha hledisek.

Umělé a přirozené zdroje

Umělé interferenční zdroje jsou, jak už název napovídá, zdroje, které jsou vytvořeny lidskou technickou činností. Musíme na ně zaměřit svoji pozornost a to kvůli zamezení jejich rušení. Přírodní zdroje rušení je nutné brát jako samozřejmost, nelze zabránit jejich vzniku, ale je nutné s nimi počítat.

Funkční a nefunkční zdroje

Zdroje tohoto typu mohou být funkcí jednoho systému (vysílače) a současně mohou ovlivňovat jiné systémy a jejich funkce. Jinými slovy mohou být vůči nim rušivé. Tyto zdroje nazýváme funkční. Ostatní zdroje, které při své funkci produkují parazitní rušení nebo pole, nazýváme nefunkční (parazitní).

Impulzní, spojitě a kvazi-impulzní

Zdroje rušení lze dělit podle časového průběhu rušivého signálu. Impulzní rušení je charakteristické rušení, které má časovou posloupnost jednotlivých impulzů nebo přechodových jevů. Oproti tomu spojitě rušení působí kontinuálně (nepřetržitě) na rušené zařízení. Pokud se tyto rušení zkombinují, vznikne tzv. kvazi-impulzní rušení.

Šum, impulzy, přechodné jevy

Šum („noise“ N) je signál ovlivňující tvar užitečného signálu. Šum má význam náhodného signálu provázejícího činnost elektrických součástek a obvodů. Jakožto rušivý signál má obvykle periodický charakter. Nejčastějšími zdroji jsou elektrické motory, svářečky atd.

Impulzy („spikes“ S) se řadí mezi rušivé signály impulzního charakteru s velkými poměry velikosti impulzů k době trvání. V užitečném signále se projevují jako kladné nebo záporné špičky. Často je způsobeno kontaktními spínacími prvky v obvodech.

Přechodné jevy („transients“ T) jsou jednorázové náhodné rušivé signály. Doba jejich trvání se pohybuje od milisekund po sekundy. Příčinou je např. zapínání a vypínání spotřebičů velkých výkonů.

Úzkopásmové a širokopásmové rušení

Pro toto rušení je charakteristický časový průběh a šířka jeho kmitočtového spektra. To je důležité pro volbu filtračního prvku, který použijeme. Úzkopásmové rušení se vyskytuje v signálech rozhlasových popřípadě televizních vysílačů. Oproti tomu širokopásmové rušení má většina průmyslových rušivých signálů, ale i všechna přírodní rušení.

Nízkofrekvenční energetické rušení

Působí na napájecí soustavu v pásmu kmitočtů do 2 kHz. Způsobuje deformaci napájecího napětí a proudu, který z energetických sítí odebíráme. Rušení tohoto typu je nevyhovující pro přístroje závislé na tvaru křivky napájecího napětí. Do těchto zařízení se řadí sdělovací systémy, osvětlení aj. Zdrojem tohoto rušení je obecně každá nelineární zátěž napájecí sítě způsobující deformaci odebíraného proudu.

Nízkofrekvenční akustické rušení

Působí v pásmu do 10 kHz, v nichž negativně ovlivňuje funkce přenosových informačních systémů (telefony, měřicí a řídicí systémy). Rušení tohoto typu je generováno všemi energetickými zdroji, zařízeními pro číslicový přenos dat, radary apod.

Vysokofrekvenční rušení

Podle Radiokomunikačního úřadu leží vysokofrekvenční (radiové) rušení v pásmu od 10 kHz do 400 GHz. Do těchto zdrojů se řadí skoro všechny současné interferenční zdroje rušení. Jejich rušivé signály sahají skoro vždy až do těchto kmitočtových oblastí.

Zdroje rušení vedením nebo vyzařováním

Rušivý signál se z každého zdroje šíří jak vyzařováním do prostoru tak i po vedení (napájecí i sdělovací). Podle zdroje rušení převládá vždy jedna z možností. Podle toho poté rozdělujeme zdroje rušení na zdroje rušení šířené vedením nebo zdroje rušení šířených vyzařováním.

1.4.1 Zdroje rušivých signálů

Průmyslové zdroje rušení

Již v napájecí síti 50 Hz se nacházejí periodické spojitě rušivé signály, které mají svůj zdroj v silnoproudých generátorech při výrobě elektrické energie. Tyto vzniklé harmonické složky vyvolají poté na nelineárních impedancích sítě (na transformátorech) další harmonické složky. Největšími zdroji jsou v současnosti řízené polovodičové měniče velkých výkonů, které jsou schopné do sítě produkovat harmonické kmitočty do 30 MHz. Dalšími zdroji rušení jsou spínací a rozpínací prvky v obvodech. Ve vedeních vysokého a velmi vysokého napětí dochází k vysokofrekvenčním oscilacím při zapínání a to vlivem kapacity a indukčnosti spínaných napětí. Tyto oscilace se přenášejí kapacitními vazbami až do sítě nízkého napětí. U sítě nízkého napětí vzniká rušení nejčastěji při činnosti stykačů a jističů nebo u mechanických relé. Další typ rušení, který souvisí se spínacími pochody, vzniká v usměrňovačích diodového typu a zejména v systémech tyristorového řízení výkonových průmyslových zařízení např. trolejbusy, tramvaje, lokomotivy, ale i tyristorové regulátory otáček velkých motorů (např. výtahy). Rušení zde vzniká opakovaným spínáním velkých proudů. Takto vzniká rušivé napětí v podobě periodicky se opakujících impulzů. Tyto impulzy značně deformují průběh napájecího napětí a jejich kmitočtové spektrum sahá do desítek MHz. Pokud nejsou před tyto usměrňovače zapojeny filtry, přepět'ové ochrany atd. může dojít i k celoplošným výpadkům energetické sítě.

Zdroje napět'ového přepětí

Zdroje napět'ového přepětí můžeme rozdělit do dvou kategorií a to na zdroje přírodní a zdroje vytvořené uměle (lidskou činností).

Mezi nejznámější přírodní zdroje přepětí patří především bleskový výboj. Je to nejsilnější přírodní elektrický výboj, jehož úder může zničit nebo poškodit elektrické přístroje či zařízení až na vzdálenost 4 km. Vybitím atmosférické elektřiny pomocí blesku se vytvoří strmý elektromagnetický impulz. Velikost vyrovnávacího proudu se poté rovná přibližně 200 kA. Pokud by blesk udeřil přímo do budovy, bude to mít za následek rázový impulz, který nebude protékat jenom hromosvodovým svodem, ale i vnitřní kostrou železobetonových budov v blízkosti silových vodičů a elektrických zařízení. Kromě silného magnetického pole se budou v síti indukovat i sekundární napět'ové rázy.

Umělé zdroje přepětí jsou prakticky všechny spínací zařízení. Velikost přepětí je potom závislá na velikosti spínaného napětí a proudu, kvalitě spínacích součástí, ale i na

rychlosti spínacího procesu. V poslední době je věnována pozornost lokálním elektrostatickým výbojům. Ty se objevují všude, kde se vyskytuje třecí pohyb mechanických částí (kovových a dielektrických – plynných, kapalných). I když je energie těchto výbojů nízká (mJ), jejich napěťová úroveň dosahuje až desítek kV a tím je nebezpečná pro většinu dnešních integrovaných obvodů, obvodů CMOS atd. Největším problémem je potom náboj vznikající na osobách při jejich pohybu. Ten může dosahovat velikosti až 15 kV. Přenosu těchto nábojů z člověka na součástky se zamezuje používáním bavlněného oblečení (žádné syntetické tkaniny), povrch stolů, židlí a podlahová krytina je z materiálů s vysokým izolačním odporem a v místnosti není nízká vlhkost vzduchu.

Zdroje kontinuálního rušení

Nejznámějšími zdroji tohoto rušení jsou rozhlasové a televizní vysílače, popřípadě radary. Signály mohou být parazitně vysílány po kabelových rozvodech nebo jiném vedení nebo jsou vyzařovány do okolí. V posledních letech se zde musí ještě zařadit vysílače neveřejných radiokomunikačních služeb. V neposlední řadě jsou velkým zdrojem rušení i systémy pro společný rozvod rozhlasových a televizních signálů (společné TV antény, celoplošné TV rozvody).

Zvláštní zdroje rušení

Jedním z největších zdrojů rušení v této kategorii je tzv. nukleární elektromagnetický impulz (NEMP). Tento impulz je průvodním jevem jaderného výbuchu. Účinky jsou podobné jako u bleskového výboje, ovšem s daleko většími devastujícími účinky. Výkonový impulz ničí veškerou techniku silnoproudé i slaboproudé elektrotechniky, která je v dosahu exploze.

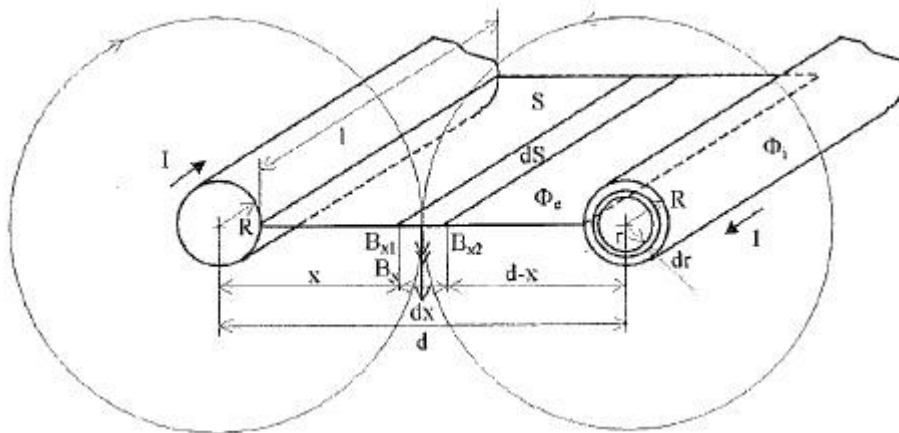
Kromě blesků na zemský povrch působí i další druhy rušivých signálů, které označujeme jako rušení mimozemského původu. Jde především o působení Slunce a jeho erupcí. [1]

1.5 Přenosové vazby

1.5.1 Induktivní vazba

Tento druh vazby je typický pro dvě galvanicky oddělené smyčky elektrického obvodu, kdy alespoň jednou protéká časově proměnlivý proud. Tento proud následně produkuje ve svém okolí proměnné magnetické pole. Vliv obvodu je dán velikostí proudu, strmostí jeho

nárůstu a poklesu, magnetickými vlastnostmi prostředí a nakonec i geometrickým uspořádáním obvodu vůči druhým obvodům.



Obr. 3 Vzájemná indukčnost vodičů

Indukčnost vodičů je zobrazena na Obr. 3. V rámci zkoumání indukčnosti systémů musíme vzít v potaz fakt, že do celkové působící indukčnosti nemůžeme počítat indukčnost pasivních prvků, které zkoumaný systém obsahuje.

Při zkoumání zařízení v rámci EMC musíme prozkoumat zařízení pomocí obvodové simulační analýzy a to pro všechny na sebe působící smyčky. Z matematického hlediska to znamená řešení soustavy integrálně-diferenciálních rovnic.

1.5.2 Kapacitní vazba

Tento druh vazby je způsoben existencí parazitních kapacit mezi vodiči nebo jednotlivými částmi obvodů. Je typická pro uzly galvanicky oddělených elektrických obvodů, mezi kterými existuje vzájemné působení například přes společný vodič. [2] Parazitní kapacitou modelujeme elektrické pole, které existuje mezi každými dvěma vodiči s různým potenciálem. Tato vazba nastává nejčastěji při souběžném vedení silové kabeláže a datových kabelů. Pro nás jsou důležité tyto tři případy:

- Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů
- Kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem
- Kapacitní vazba vůči zemi

Kapacitní vazby lze odstranit použitím stíněné kabeláže, vhodným krytváním vedené kabelů. [1]

1.5.3 Galvanická vazba

U této vazby se jedná o propojení elektrotechnických zařízení tak, že existuje minimálně jeden nebo, v případě napájecí sítě, více společných vodičů. Tímto směrem se poté zařízení vzájemně ovlivňují. Je důležité mít na paměti velikost pracovních kmitočtů a délku společných vodičů. Vždy je nutné si uvědomit, že součástky použité v zařízeních nejsou ideální a tím pádem mají určité parazitní kapacity, indukčnosti i reálné odpory. Při vyšším kmitočtu proudů musíme při analýze uvažovat dané vodiče jako obvody s rozloženými parametry. V případě nízkým kmitočtů řešíme propojovací obvody pomocí soustředěných parametrů. [2]

1.5.4 Elektromagnetická vazba

Elektromagnetická vazba je typická pro galvanicky oddělené elektrické obvody, mezi kterými dochází k výměně energie formou vyzařovaného a absorbovaného výkonu. [2] Předpokládáme, že k výměně energie dochází prostřednictvím vzduchu. Tento druh vazby je nejčastější u rušení radiových přijímačů, do nichž se rušení dostává pomocí jejich antén. Rušivý signál indukuje rušivé napětí, které se následně sčítá s napětím indukovaným užitečným signálem nebo jej zcela zakryje. Účinnou ochranou proti této vazbě je použití vhodného krytu nebo přepážky, kterou umístíme mezi zdroj a přijímač rušení. [1]

2 TESTOVÁNÍ EMC

V rámci testování EMC musíme řešit interní a externí odolnost zařízení. Interní elektromagnetická odolnost je odolnost systému vůči rušivým zdrojům nacházejícím se uvnitř systému. Do externí elektromagnetické odolnosti spadají veškeré zdroje, které se nacházejí mimo měřený systém. Toto rozlišení je velmi teoretické a závisí na vymezení zkoumaného systému. V rámci rušení se systémy rozdělují do tří druhů a to na systémy rozlehlé, lokální a zvláštní skupinu systémy přístrojového typu.

Rozsáhlé systémy jsou takové systémy, jejichž jednotlivé části (subsystémy) se nacházejí na různých geografických místech. Tyto subsystémy mohou vnášet do přenosových cest celého systému rušivé signály. Tyto signály se následně testují v rámci interního testování. Při testování vnější odolnosti se zaměřujeme hlavně na odolnost proti atmosférickým elektromagnetickým vlivům a proti sušení v napájecí síti. Příklady tohoto typu systému jsou systémy dálkového zpracování dat.

Lokální (místní) systémy jsou takové systémy, kdy jejich jednotlivé subsystémy jsou umístěny ve stejném areálu. Za zdroje rušení lze předpokládat, kromě vlastních obvodů systému, elektrické systémy v daném areálu. Do těchto zdrojů lze zařadit technologická zařízení, výtahy, osvětlení (zářivky), Příkladem lokálních systémů jsou výpočetní střediska, informační systémy podniků, řídicí centra atd.

Systémy přístrojového typu existují jako individuální kompaktní celky. Spadají zde měřicí přístroje, spotřební elektronika atd.

2.1 Obecná metodika

Pro dosažení přesných výsledků je důležité obklopit měřený přístroj vhodným elektromagnetickým prostředím. Nejlepší by bylo měřit přístroj v prostředí, ve kterém standardně pracuje. Důvod, proč se takto přístroje nezkouší je ten, že reálné provozní elektromagnetické prostředí je časově náhodně proměnné a není možné zajistit reprodukovatelnost naměřených výsledků. Proto se ke zkouškám odolnosti zařízení používá uměle vytvořené elektromagnetické prostředí, které je přesně definováno zejména z hlediska:

- obvodového, skupinového a prostorového uspořádání testovacího pracoviště
- kvalitativních a kvantitativních parametrů simulátoru rušení
- provozního stavu a nastavení zkoušeného systému.

Při následném vyhodnocování konkrétního zařízení se nejprve specifikují tyto požadavky a skutečnosti:

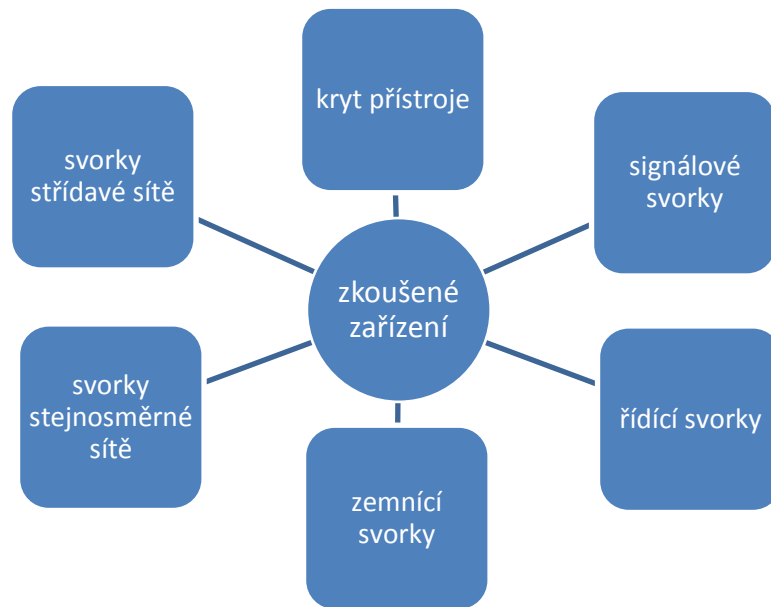
- rušivé elektromagnetické vlny, které mohou zařízení v daných podmínkách ovlivnit
- možné brány vstupu rušivých signálů do daného zařízení
- kategorie požadované odolnosti zkoušeného zařízení a přípustné rušivé vlivy.

Následně se z rozboru určí hlavní rušivé vlivy, které nejvíce ovlivňují měřený přístroj. Vzhledem k veliké časové a finanční náročnosti je nemožné testovat přístroje v plné míře problematiky EMC. Z toho důvodu se vybírá jen dominantní rušivý vliv, který nejvíce ovlivňuje zařízení v činnosti. Tento signál následně pouštíme na vstupy zařízení. Základní druhy rušivých elektromagnetických vlivů jsou odvozeny ze skutečné praxe jako elektromagnetické jevy, jež se často vyskytují v prostředí, v němž je či bude dané zařízení provozováno. Tyto vlivy lze rozdělit na:

- nízkofrekvenční rušení v napájecí síti nízkého napětí
- přechodné jevy a vysokofrekvenční rušení
- elektrostatické výboje (nízko a vysokoenergetické)
- magnetické rušení
- rušení vyzařováním a elektromagnetickým polem.

Jedním z dalších parametrů testů je provozní stav a nastavení zařízení. Důvod tohoto postupu je jednoduchý. Funkčnost zařízení musí být prokázána při všech provozních stavech. Jedinou výjimkou jsou nastavení zařízení, které trvají příliš krátkou dobu a navíc by bylo měření v době jejich trvání příliš obtížné uskutečnit. Zařízení se proto měří v nejcitlivějším provozním režimu a v kmitočtovém pásmu, které odpovídá kmitočtovému pásmu, ve kterém je zařízení používáno. Konfiguraci testovaného zařízení je nutné určit tak, aby se dosáhlo maximální elektromagnetické citlivosti. Pokud by bylo testované zařízení částí většího systému, je nutné jej testovat v zapojení s těmito zařízeními, alespoň v minimální konfiguraci. Následně jsou všechny naměřené údaje zaznamenány do protokolu o měření.

Pro přesné výsledky je nutné určit možné vstupy rušivých signálů do zkoušeného zařízení. Podle mezinárodních norem je vstup definován jako konkrétní rozhraní zařízení s vnějším elektromagnetickým prostředím.



Obr. 4 Vstupy rušivých signálů do zkoušeného zařízení

Za vstup do zařízení je považován i kryt zařízení, protože tvoří fyzickou hranici, přes níž může procházet elektromagnetické pole. Pro zkoušky odolnosti na jednotlivých vstupech platí tyto obecné zásady:

- zkoušky jsou předepsány pro každý zjištěný vstup zařízení
- zkoušky se provádějí na těch vstupech, které jsou během normální činnosti zařízení přístupné
- zkoušky na jednotlivých vstupech se provádějí v libovolném pořadí a vždy samostatně.

Hlavní norma a standard pro konkrétní měření ČSN EN 61000-4 určuje čtyři nebo pět úrovní elektromagnetické odolnosti pro typická elektrotechnická prostředí. Obecně lze říct, že zařízení, která pracují s určitým standardem rušivých vlivů, jsou řazena do nižších úrovní odolnosti, oproti zařízením pracujícím v obtížně definovatelném prostředí. Do nejvyšší úrovně taktéž spadají i technologické průmyslové objekty. [1]

2.2 Druhy impulzů pro testování

Generování zkušebních signálů pro testování zařízení má na starosti generátor zkušebního signálu nebo také simulátor rušení. Zkušební signály přitom musí být svými časovými a kmitočtovými průběhy i velikostí co nejpodobnější skutečným rušivým signálům

působícím v reálném prostředí. Zkušební signály lze rozdělit do čtyř základních skupin podle průběhu signálu:

1. Úzkopásmové periodické zkušební signály
 - Jsou realizovány pomocí harmonického časového průběhu popsaného funkcí sinus
 - Zdrojem jsou harmonické oscilátory (nízko a vysokofrekvenční)
2. Širokopásmové periodické zkušební signály
 - Tvořen periodickým impulzním průběhem
 - Průběh lze popsat Fourierovou harmonickou řadou
 - Zkušební signál je generován různými klopnými obvody
3. Úzkopásmové neperiodické zkušební signály
 - Časově harmonický signál s exponenciální obálkou (tlumená sinusovka)
 - Změnou tlumicího faktoru lze velmi dobře ovládat „úzkopásmovost“
 - Získává se vybuzením rezonančních LC obvodů jednorázovým impulzem s následným exponenciálním dozníváním vzniklých harmonických oscilací
4. Širokopásmové neperiodické zkušební signály
 - Jednorázový impulz typu dvojitá exponenciála
 - Generátor signálu využívá exponenciálních změn napětí a proudu při nabíjení a vybíjení kondenzátoru nebo induktoru [3]

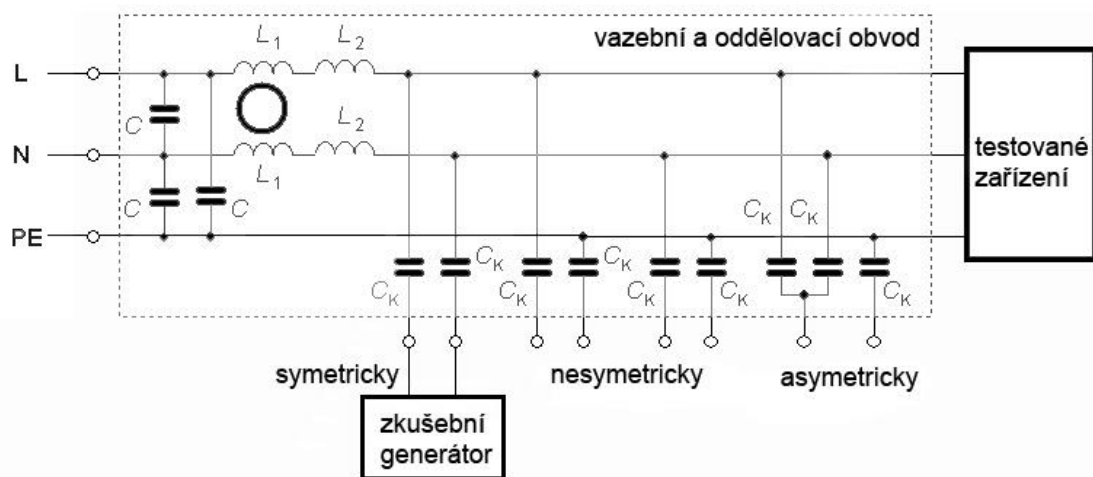
2.3 Uspořádání pracoviště pro zkoušky EMC

Při zkouškách elektromagnetické odolnosti hraje velkou roli způsob, jakým navazuje zkušební signál na zkoušený objekt. Přesněji jakým způsobem přivedeme zkušební signál na napájecí, signálové nebo datové svorky zkoušeného zařízení popřípadě na jiný vstup tohoto zařízení. K tomuto slouží tzv. vazební a oddělovací obvody, někdy označovány jako CDN (coupling-decoupling network). Ty plní dvě funkce a to funkci vazební a funkci oddělovací.

Vazební funkce nám umožňuje přenos zkušebního signálu z generátoru do energetických, ovládacích a dalších vstupů zkoušeného přístroje. Samozřejmě v požadovaném kmitočtovém pásmu. Na druhou stranu blokuje zpětný vliv síťového nebo signálového napětí zkoušeného zařízení na generátor, protože zkoušené zařízení je během zkoušky v chodu a to i včetně přivedení normálních vstupních signálů.

Oddělovací funkce zabraňuje zpětnému šíření zkušebního signálu do vnější napájecí, signálové nebo datové sítě připojené ke zkoušenému zařízení. Tím dosáhneme toho, aby zkušební signál nepůsobil jinde, než na zkoušené zařízení. Tak chráníme nezkoušené prvky a jiná zařízení připojená k téže síti. Zároveň s tím je vyloučen vliv impedance vnější sítě na tvar a velikost zkušebního signálu.

Zkušební signál se do zkoušeného zařízení může navázat kapacitně nebo induktivně. V obou případech je nutné rozlišovat buzení symetrického, nesymetrického anebo asymetrického rušení. Jak vypadá stavba kapacitního vazebního a oddělovacího členu lze vidět na obrázku Obr. 5.



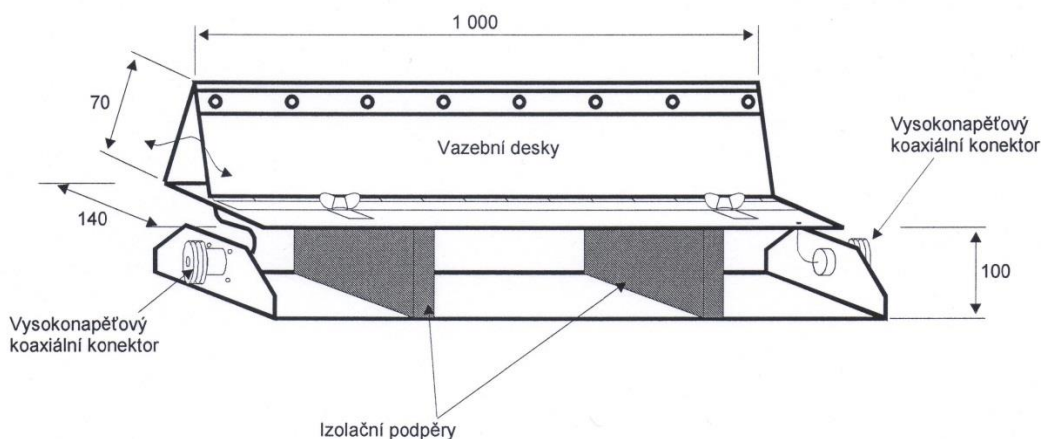
Obr. 5 Kapacitní vazební a oddělovací člen

Rušení je přivedeno k napájecím vodičům buď symetricky, asymetricky (k oběma vodičům najednou a soufázově proti zemnicímu vodiči) anebo nesymetricky, tj. jednotlivě k fázovým vodičům. Oddělení vnější napájecí sítě se u vysokofrekvenčních rušivých signálů řeší pomocí filtru LC typu dolní propust. Vložný útlum by měl být větší jak 20dB.

V případě využití induktivní vazebního a oddělovacího obvodu se k navázání rušivého signálu používá sériový vazební transformátor. K filtrování zkušebního signálu proti vnější napájecí síti se používá blokovací kondenzátor. Protože pracujeme se širokým spektrem rušivých signálů, je lepší využívat širokopásmový sériový vazební transformátor. Induktivní vazební obvod se v praktickém testování EMC využívá méně než kapacitní obvod, a to kvůli navázání úzkopásmových signálů.

Pro vybrané druhy zkoušek se pro zavedení rušivého signálu do signálových, datových, řídicích a dalších vedení testovaného zařízení využívá tzv. kapacitní kleština (kapacitní

vazební kleště). Tyto kleště umožňují snadnou vazbu rušivého signálu do testovaného zařízení bez galvanického spojení se svorkami vstupů. Kleština sestává ze dvou kovových desek o délce 1 m, které jsou nad sebou umístěny paralelně a vzájemně izolovány pomocí izolačních podpěr na vzdálenost 10 cm. Rozměry na obrázku jsou v mm



Obr. 6 Kapacitní kleština [4]

Do horních desek, které jsou přiklápěcí, se vkládá kabel nebo svazek kabelů, do kterých se vkládá rušivý signál a desky se sevrou. Tak vznikne kapacitní vazba o velikosti 50 – 200 pF, záleží na síle přivření kabelů a jejich tloušťce. Pro dosažení co největší vazební kapacity by mělo být sevření kleštín co největší. Zkušební signál se přivádí do kleštín kabelem s maximální délkou 1 m. [8]

Veškeré zařízení účastníci se zkoušek podléhá jistým zásadám umístění na desce pracovního stolu, popřípadě podlaze zkušebny. Tyto zásady jsou udávány normami pro jednotlivá měření. Kleština je během zkoušky umístěna na zemní kovové rovině. Tato rovina musí mít plochu alespoň 0,8x1 m a kleštinu musí přesahovat o 0,1 m na všech stranách. Reálná velikost je závislá na velikosti testovaného přístroje. Zemní rovina musí být z bezpečnostních důvodů spojena s ochranným uzemněním. Vzdálenost mezi testovaným zařízením a ostatními vodivými členy musí být větší než 0,5 m, až na výjimky. Výjimku tvoří zemní rovina. Veškeré kabely použité při testování musí být umístěny na izolační podpoře 0,1 m nad referenční zemní rovinou. Veškeré uzemnění zařízení musí být v souladu se směrnicemi pro montáž udávané výrobcem. Dodatečné uzemnění je nepřijatelné. Veškeré spojovací kontakty a vazební a oddělovací obvod musí vykazovat nízkou indukčnost. Pro následnou aplikaci zkušebních napětí se musí použít přímý vazební a oddělovací obvod nebo kapacitní kleště. Vzdálenost mezi jakýmkoli vazebními prostředky a testovaným zařízením musí být 0,5 m (tolerovaných je 0/+0,1 m) na stole

nebo $1,0 \pm 0,1$ m na podlaze zkušebny, pokud není jinak uvedeno v normě výrobku. Při použití jiných vzdáleností se tyto vzdálenosti uvádějí do protokolu o zkoušce. [4]

2.4 Zkoušky odolnosti vůči rušivým vlivům v energetické síti

Tento druh zkoušky se provádí pro všechna zařízení, která jsou určena pro veřejné rozvodné sítě nízkého napětí, průmyslové napájecí sítě a rozvodny. Cílem zkoušky je posoudit odolnost zařízení proti harmonickému nízkofrekvenčnímu rušení zavlečenému z napájecí sítě o základním kmitočtu 50 Hz. Zkušební signál je tvořen jedním nebo kombinací několika spojitých průběhů. Tyto průběhy jsou harmonické a jsou superponovány na síťovém napětí 50 Hz.

Častou zkouškou z uvedeného typu zkoušek je zkouška elektromagnetické odolnosti proti krátkodobým poklesům, přerušení nebo pomalým změnám síťového napájecího napětí (ČSN EN 61 000-4-11). Podle této normy lze krátkodobé poklesy definovat jako náhodná snížení napájecího napětí přesahující 10-15 % nominální velikosti, jejichž doba trvání je 0,5-50 period základního kmitočtu 50 Hz. [7]

Za krátké přerušení napětí se považuje krátkodobý pokles o 100 %. Veškeré zde uvedené změny síťového napětí jsou v praxi způsobovány poruchami v sítích nízkého, vysokého i velmi vysokého napětí. Dalším důvodem může být velká změna zatížení sítě.

2.5 Zkoušky odolnosti proti vysokoenergetickým širokopásmovým impulzům

Výskyt tohoto druhu impulzu je hlavně při úderu blesku, spínacích pochodech nebo poruchách ve vysokonapěťových vedeních. Do rozvodů nízkého napětí se následně dostávají rázové impulzy s vysokou energií řádově až 50 J. Jako vedlejší jev je produkce tepelného účinku. Kmitočtové spektrum těchto impulzů sahá od 1 kHz až do 1 MHz a impulzy jsou schopny způsobit škody na elektronických zařízeních i bez přímé galvanické vazby.

Rázové impulzy se projevují různě a to podle velikosti impedance zdroje a impedance testovaného zařízení. Pokud je vstupní impedance na napájecích svorkách testovaného zařízení relativně velká oproti výstupní impedanci zdroje, vzniká na svorkách testovaného zařízení impulz napětí. V opačném případě vzniká na svorkách impulz proudu.

Zkušební generátor musí být schopný vytvářet napěťové impulzy podle zmíněných podmínek, tj. musí umět produkovat jak napěťový impulz o velké impedanci, tak i proudový impulz o malé impedanci. Tyto rázové impulzy jsou produkovány tzv. generátorem kombinované vlny. Generátor je schopný poskytovat oba požadované průběhy a to napěťový ve stavu na prázdno a proudový ve stavu nakrátko. Oba tyto průběhy se liší dobou náběhu a dobou sestupu impulzu.

Dle ČSN EN 61 000-4-5 musí být generátor schopný zajistit četnost opakování generování impulzů alespoň jednou za minutu. Zkouška je realizována pěti kladnými a pěti zápornými impulzy s minutovou prodlevou ve všech provozních stavech testovaného zařízení. [5]

2.6 Zkoušky odolnosti proti nízkoenergetickým širokopásmovým impulzům

Impulzy s malou energií se vyskytují ve formě skupin přechodových jevů, které vznikají vlivem indukčnosti při spínacích pochodech. Pro tyto impulzy je charakteristická krátká náběžná hrana, krátká doba trvání a malá energie. Oproti tomu ovšem stojí velká četnost opakování. Rušivé impulzy tohoto charakteru většinou nezpůsobí poškození přístroje, ale díky jejich velkému spektru vyvolávají velké vysokofrekvenční elektromagnetické rušení.

Podle normy ČSN EN 61 000-4-4 byl doporučen jeden typ zkušebního signálu, který je pro testovaná zařízení nejnebezpečnější. Tento signál se skládá z rychlých přechodových jevů neboli rychlých transientů EFT (elektrical fast transients), které jsou seskupeny do skupiny impulzů. Náběžná hrana impulzu trvá jen 5 ns a délka impulzu je 50 ns. Počet impulzů je v každé skupině totožný a je dán dobou 15 ms. Opakovací kmitočet impulzů je 2,5 nebo 5 kHz. Skupiny impulzů se opakují po 300 ms. Velikost impulzů se volí dle typu zkoušeného přístroje a požadované úrovně v rozmezí 0,5 až 4 kV.

Uspořádání pracoviště pro testování těchto jevů je dáno opět normou ČSN EN 61 000-4-4. Pokud je zkoušené zařízení umístěno na kovové zemní ploše spojené s ochranným uzemněním musí být izolováno izolační podložkou o síle 0,1 m. V případě, že bude testovaným přístrojem stolní zařízení, musí být toto zařízení umístěno na dřevěném stole ve výšce 0,8m nad zemní kovovou rovinou. Kovová zemní rovina musí mít plochu nejméně 1m². Zkoušené zařízení musí přesahovat na všech stranách o 0,1 m a více. CDN a EFT musí být umístěno na této zemní rovině. Uzemňovací spojky musí být co nejkratší s co nejmenší indukčností. Nejmenší vzdálenost mezi testovaným zařízením a jinými

kovovými plochami musí být větší než 0,5 m. Nejkratší doba trvání zkoušky se má pohybovat 1 minutu. Následně se vyhodnocuje změna funkčnosti tetovaného zařízení. [4]

2.7 Zkoušky odolnosti proti elektrostatickým výbojům

Výboje statické elektřiny (ESD) jsou nebezpečné rušivé signály, které ohrožují zařízení zejména v obytných prostředích. Vznikají všude tam, kde je příliš nízká vlhkost vzduchu a podlahové krytiny z umělých hmot (umělá vlákna v koberci, PVC). Signály jsou nebezpečné především z hlediska vysoké hodnoty napětí (a to až 15 kV a více) a následně z hlediska velké šířky rušeného spektra (až 1 GHz). I když je energie tohoto výboje nízká (desítky mJ), je dostatečně veliká k poškození nebo porušení mikroelektroniky a integrovaných obvodů s vysokou hustotou integrace.

Pro zkoušky EMC se využívá simulace ESD pomocí zkušebního zařízení, jehož koncová část má podobu jakési pistole s výměnným vybíjecím hrotem. Tyto pistole je připojena kabelem ke zdroji vysokého napětí. Další kabel propojuje koncovou část s referenční uzemňovací deskou. Zkušební generátor se skládá z akumulárního kondenzátoru $C_0=150$ pF. Ten se nabíjí ze zdroje vysokého stejnosměrného napětí $U=2-15$ kV přes odpor $R_0=50-100$ MW. Následně se náboj kondenzátoru vybije do zkoušeného zařízení přes sériový vybíjecí kondenzátor R. Pro optimální simulaci různých druhů elektrostatických výbojů je předepsána normou ČSN EN 61 000-4-2 jednotná velikost 330 W. [6]



Obr. 7 Ukázka pistole pro testování ESD [9]

Při testování zařízení přímým vybitím vzduchovým výbojem se vybíjecí pistole přiblíží svým hrotem k testovanému zařízení. Průrazné napětí klesne pod napětí kondenzátoru C_0 a ten se vybije do testovaného zařízení. Simulátor se následně znovu nabije a tento postup se

opakuje nejméně desetkrát. A to pro každé vybrané místo na testovaném zařízení a takovou polaritou impulzu, na kterou je zařízení nejcitlivější.

Další možností testování podle normy ČSN EN 61 000-4-2 je testování přímého vybití kontaktním výbojem. Princip je takový, že zkušební hrot testovací pistole se pevně přiloží k testovanému zařízení a napětí nabitého kondenzátoru C_0 se do testovaného zařízení vypustí sepnutím kontaktu v simulátoru. Tak vznikne v testovaném zařízení vybíjecí proudový impulz, který se vyznačuje velmi dobrou reprodukovatelností. Pro tento typ zkoušky je důležitá konstrukce spínacího kontaktu. V dnešní době se jako spínací člen pro tyto zkoušky používá vysokonapěťové relé. Toto relé musí být dostatečně napěťově dimenzováno a musí mít jediný kontakt, proti vzniku dvojího výboje. [6]

Tyto zkoušky se provádějí na všech místech testovaného zařízení, které je přístupné obsluze. Jedná se například o ovládací panely, klávesnice, všechny kovové části izolované od země, všechny indikační elementy (LED diody, kryty konektorů).

2.8 Zkoušky odolnosti proti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím

Většina zařízení je ovlivňována elektromagnetickým zářením. Jedná se o záření, které je generováno pro určité účely. Řadí se sem stabilní rádiové (televizní) vysílače, vozidlové vysílače atd. Za poslední roky zaznamenaly tyto zařízení velký nárůst a to hlavně v oblasti mobilních telefonů a jiných zařízení vyzařujících vysokofrekvenční rušení. Tyto přístroje pracují na kmitočtech mezi 0,8 až 6 GHz. Mnoho z těchto zařízení používá modulační techniku s nekonstantní obálkou (např. TDMA).

Norma ČSN EN 61 000-4-3 uvádí, že v pásmu 80-1000 MHz se využívá intenzita elektrického pole 1, 3, 10 a 30 V/m. Je možné použít i vyšší úroveň, pokud to vyžaduje výrobce. Uvedené hodnoty odpovídají efektivním hodnotám intenzity pole harmonicky nemodulovaného signálu. Pro praktickou zkoušku se využívá signál amplitudově modulovaný do hloubky 80% nízkofrekvenčním harmonickým napětím 1kHz. Časový průběh se snaží simulovat skutečné rušivé vysokofrekvenční signály.

Zkoušky zařízení se provádějí ozařováním testovaného přístroje pomocí vhodných antén. Protože rušivé signály a intenzita pole dosahuje vysokých hodnot, norma doporučuje tato měření provádět přednostně ve stíněných absorpčních prostorech. Jednak tím odstraníme vliv vnějších polí na testovaný přístroj a potom se tak chrání obsluhující personál a

záznamová zařízení použité při měření. Zaznamenávací zařízení se umísťují do samostatně elektromagneticky stíněné místnosti mimo měřicí absorpční komoru.

3 LEGISLATIVA PRO MĚŘENÍ EMC

Základem normativních předpisů pro EMC je technická norma. Technická norma je dokument, který jasně definuje požadované vlastnosti, provedení, tvar, uspořádání a postupy práce u daného zařízení. Technická norma není závazná, pouze kvalifikovaně doporučuje. Aplikace norem je dobrovolná, ale jejich výhoda je v lepším prodeji a následně lepší ekonomické situaci pro firmu. Oproti tomu stojí směrnice pro dané výrobky, které je nutné dodržet k tomu, aby se mohl výrobek nakonec dostat na trh.

3.1 Normativy a směrnice o EMC

Evropská směrnice č. 89/336/EEC z roku 1989 o aproximaci právních předpisů členských států evropské unie, týkající se elektromagnetické kompatibility, se pro členy EU stala závaznou v roce 1996. Vztahuje se na většinu zařízení se zabudovanými elektrickými a elektronickými součástkami, které jsou určeny na prodej ve státech EU. Tato směrnice o EMC si vytyčila dva cíle:

1. Odstranit technické překážky obchodování na jednotném trhu prostřednictvím dohody, mezi členskými státy, o přijetí společných norem a o jejich dodržování (pokud je to možné).
2. Kontrolovat vyzařování a odolnost proti rušení, s cílem omezit znečištění elektromagnetického spektra.

Pro upřesnění druhého bodu - směrnice pojednává o tom, že každé zařízení uvedené do praxe by mělo být zkonstruováno tak, aby:

- a) Elektromagnetické rušení, které generuje, nepřekračovalo úroveň, která umožňuje správnou funkci radiových a telekomunikačních zařízení i ostatních přístrojů
- b) Přístroj měl adekvátní úroveň vlastní odolnosti proti EM rušení, která mu umožňuje činnost, ke které byl určen.

V ČR se řeší problematika EMC zákonem č. 22/1997 Sb. a následně nařízení vlády č. 169/1997 Sb.

3.2 Druhy norem

V rámci normalizace EMC rozlišujeme 3 druhy norem:

- Základní normy

- Všeobecné normy
- Normy výrobků

3.2.1 Základní normy

Definují problém EMC, stanovují základní podmínky a pravidla pro metodu testování libovolného výrobku. Tyto normy nestanovují limity rušení ani odolnosti. Jsou zaměřeny na:

- Terminologii
- Prostředí
- Nf vyzařování
- Nf, vf a impulzní vyzařování
- Vf vyzařování a odolnost

3.2.2 Všeobecné normy

Pojednávají o jednotlivých prostředích a stanovují minimální požadavky a testovací metody. Požadavky stanovené takovouto normou jsou následně brány jako základ pro hodnocení kompatibility zařízení a tím i základem pro normy výrobků. Pro vlastní hodnocení by se měly používat jenom tehdy, když nebude existovat příslušná norma výrobku pro daný druh zařízení. Všechny všeobecné normy se při popisu zkoušek odvolávají na normy základní. Všeobecné normy jsou zaměřeny na:

- Vyzařování
- Odolnost
- Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu
- Průmyslové prostředí

3.2.3 Normy výrobků

Tyto normy předepisují požadavky pro příslušný typ zařízení ze všech hledisek. Požadavky na EMC jsou zde zakomponovány mezi ostatní požadavky. Jsou zaměřeny na:

- Domácí spotřebiče a podobná zařízení
- Průmyslová, vědecká a lékařská vf zařízení
- Motorová vozidla, zařízení se zážehovými motory
- Rozhlasové a televizní přijímače
- Zařízení s elektrickým pohonem, elektrické nářadí apod.

- Zařízení IT
- Systémy regulovaných pohonů [2]

3.3 Civilní normy EMC

O normalizaci v rámci civilní sféry se stará Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC, především její technická komise TC 110. Tato komise přebírá již existující normy IEC a IEC CISPR. Tyto normy předkládá beze změn a současně překládá IEC požadavky a návrhy na vypracování nových norem. Takto přebírané normy lze dělit do tří skupin. Viz předchozí kapitola.

Další rozdělení norem je na závazné a doporučené normy.

Doporučené normy jsou výsledkem dohody a mají pouze informační nebo doporučující informační charakter. V rámci Evropy je situace taková, že veškerá problematika je centralizována a koordinována jednotlivými normalizačními organizacemi. Tyto organizace jsou nadnárodní. [12]

3.4 Vojenské normy EMC

Vojenské normy se používají ve většině moderních armád na světě. Jsou to historicky první normy pro EMC. Z těchto norem se následně vyvinuly normy pro civilní sféru. Velmi propracovaná soustava norem EMC, která se označuje jako MIL-STD (Military Standard) vznikla v USA. Následně tyto normy přebralo i NATO a tak se normy rozšířily do zemí Evropy, kde je přebraly armády jednotlivých zemí.

Zařízení využívané pro vojenské účely musí vydržet horší zacházení a provoz v daleko horších podmínkách, než jejich civilní protějšky. Tomu odpovídají i velikosti testů těchto přístrojů. Vojenské normy jsou jedny z prvních norem, které se zabývaly měřením odolnosti testovaného zařízení proti vnějším vlivům. Z toho důvodu byly ze začátku používány i v civilním prostředí.

V rámci norem MIL-STD se řeší vyhodnocování rušivých signálů ve špičkových hodnotách. Oproti tomu civilní normy se zabývají detekcí kvazi-špičkových hodnot. Tento druh měření určil CISPR, který řeší testování z pohledu ochrany radiového příjmu a zvukového signálu proti rušení. Dalším rozdílem jsou rozdílné doporučené mezní hodnoty elektromagnetického vyzařování a jiný měřicí kmitočtový rozsah. [13]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ EMC

Ze zadání bakalářské práce vyplývá, že v praktické části této práce si představíme některé z mnoha zástupců přístrojů pro měření EMC. Zkušební technika bude od různých výrobců, aby se ukázalo co největší spektrum. V této kapitole si zvolené exempláře krátce představíme a vyčleníme si základní vlastnosti. V následující kapitole si poté přístroje srovnáme podle různých kategorií.

4.1 Testovací přijímače

Měření EMI zájmových systémů vyžaduje jiný postup měření, než je tomu u obecných testů radiofrekvenčního spektra. Při měření si musíme uvědomit, že ne vždy systém vyzařuje rušení, které předvídáme. Díky tomu je každé nové zařízení testováno jiným stylem. Je důležité vědět silné a slabé stránky přístrojů, které k měření používáme. K měření EMI používáme dva druhy měřících přístrojů a to zkušební přijímače nebo spektrální analyzátoři. Každý z těchto přístrojů vyžaduje jiný přístup k testu a každý má své plusy a mínusy.

Často jsou tyto přístroje ztotožňovány. I když oba druhy přístrojů měří amplitudy signálů ve frekvenční oblasti, jednotky, které používají, nejsou stejné a vyžadují znalost přístrojů pro správné měření. Pokud nebude tento předpoklad splněn, není možné zaručit správné výsledky měření. Rozdíly mezi spektrálním analyzátořem a zkušebním přijímačem lze nejrychleji zjistit při společném provádění zkoušky.

U spektrálního analyzátoři musíme nastavit následující parametry:

- Rozsah frekvencí
- Rozlišení šířky pásma a typ filtru (3 nebo 6 dB)
- Korekce pro použité detektory
- Použitý filtr pro měření EMI

Většina spektrálních analyzátořů může uzamknout rozlišení šířky pásma a dobu cyklu, aby nedocházelo ke zkreslování výstupu na zobrazovací zařízení. Nicméně tyto parametry lze ručně ovládat v případech, že se měření špatně zobrazuje.

U zkušebních přijímačů musíme nastavit následující parametry:

- Rozsah frekvencí
- Rozlišení šířky pásma a typ filtru (3 nebo 6 dB)

- Korekce pro použité detektory
- Měřicí čas (prodlevu)
- Velikost kroku

Tato nastavení jsou často uvedena ve specifikacích výrobku nebo normě, podle které se zařízení měří. Použití správného měřicího přístroje a jeho následná správná kalibrace je záruka přesného měření.

4.2 Generátory rušivého signálu

Při testování EMS odolnosti zařízení se používají testovací generátory, které nám generují rušivé signály. Tyto generované signály pokud možno co nepřesněji odpovídají rušivým signálům, kterým bude zkoušené zařízení vystaveno v běžném provozu. V rámci bakalářské práce se budou zabírat multifunkčními generátory, které jsou schopné pokrýt větší množství normalizovaných zkoušek.

4.2.1 Teseq NSG 3040

Multifunkční generátor rušivých signálů od výrobce Teseq. Tento generátor je schopen zastávat funkce generátoru pro zkoušky podle ČSN EN 61 000-4-4 (Rychlé elektrické přechodové jevy, skupiny impulzů), ČSN EN 61 000-4-5 (Rázový impuls), ČSN EN 61 000-4-8 (Magnetické pole síťového kmitočtu), ČSN EN 61 000-4-9 (Pulzy magnetického pole), ČSN EN 61 000-4-11 (Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí), ČSN EN 61 000-4-29 (Krátkodobé poklesy, krátká přerušení a pomalé změny napětí na vstupech stejnosměrného napětí).



Obr. 8 Generátor testovacích signálů Teseq NSG 3040

Jedná se o modulární systém s množstvím příslušenství, jako jsou kapacitní vazební kleština, kapacitní vazební síť pro datové a signálové vodiče, manuální a automatické transformátory s proměnným napětím, cívky pro vybuzení magnetického pole. Samozřejmostí je softwarové vybavení pro propojení s PC přes Ethernet port. Tento software umožňuje vzdálené ovládání generátoru.

Zařízení je vybaveno 7“ barevnou dotykovou obrazovkou a možností změny parametrů během testu. Přístroj obsahuje knihovnu přednastavených testů.

Parametr	Hodnota
Rázový impulz	±200 V až 4,4 kV (na prázdko) ±100 A až 2,2 kA (na krátko) kladná, záporná, střídavá polarita
Skupina impulzů / Rychlé přechodové jevy	±200 V až 4,8 kV (na prázdko) kladná, záporná, střídavá polarita
Testování kvality napájení	Do 16 A/260 V AC&DC

Tabulka 2 Funkční hodnoty generátoru NSG 3040

Cena generátoru se pohybuje kolem 460 000 Kč s daní. [15]

4.2.2 EM Test UCS 500N7

Generátor UCS 500N7 od firmy EM Test je další z řady multifunkčních generátorů. Generátor je vhodný pro velkou škálu měření dle norem ČSN EN 61 000-4.

Ovládání přístroje je jednoduché. Čelní panel obsahuje obslužné prvky, které uživateli umožní nastavení zkušebních postupů rychle a přesně. Přístroj obsahuje knihovnu přednastavených zkušebních postupů a díky USB rozhraní je uživatel schopný ovládat generátor i na dálku přes PC. Zároveň je možné měnit testovací hodnoty během testu což je výhodné ve fázi vývoje.

Díky monitorovacím výstupům je obsluha schopná si naměřit a následně ověřit generovaný signál.



Obr. 9 Generátor testovacích signálů EM Test UCS 500N7

K přístroji výrobce nabízí velké množství příslušenství jako je kapacitní a vazební síť pro rázové impulzy a skupiny impulzů a další. [15]

Parametr	Hodnota
Rázový impulz	250 V až 7 kV kladná, záporná, střídavá polarita
Skupina impulzů / Rychlé přechodové jevy	200 V až 5,5 kV kladná, záporná polarita
Testování kvality napájení	Do 16 A/300 V AC

Tabulka 3 Funkční hodnoty generátoru UCS 500N7

Vzhledem k faktu, že se jedná o nejnovější model firmy EM Test, není zatím jeho cena známa. Při snaze o kontakt dealera ohledně ceny jsem nedostal kladnou odpověď.

4.2.3 Teseq NSG 437

ESD simulátor Teseq NSG 437 je zástupce testovacích přístrojů pro testování zařízení na elektrostatický výboj přeskokem nebo dotykem. Je navržen tak, aby jej bylo možné používat po dobu dlouhých zkoušek, bráno z uživatelského hlediska. Všechna data jsou zobrazována na dotykovou obrazovku s klávesnicí pro jednoduché nastavení. Hodnoty jsou zobrazovány v uživatelem zvoleném jazyce. Simulátor obsahuje přednastavené zkoušky dle ČSN EN 61 000-4-2.



Obr. 10 Simulátor ESD Teseq NSG 437

Při testech na dotek nebo vzduchem je testovací rozsah stejný a to 200 V až 30 kV. Tento rozsah je nastavitelný ve sto krocích. Cena přístroje je stanovena na 218 000 Kč. [16]

4.2.4 NARDA PMM 3030

Generátor rušivého signálu od společnosti NARDA je určen pro měření zařízení v rámci vysokofrekvenčního rušení.

Frekvenční spektrum přístroje je od 9 kHz do 3 GHz. Při nastavování je krok 1 kHz a přesnost nastavené frekvence je $\pm 10\%$. Výkon přístroje se pohybuje v rozmezí -107 až +10 dBm. Tento výkon lze nastavit po kroku 0,1 dB a přesnost nastaveného výkonu je ± 1 dB. Výstupní impedance se rovná 50 ohm.



Obr. 11 Generátor testovacího signálu NARDA PMM 3030

Přístroj je možné propojit s PC prostřednictvím RS 232 a USB. Vzhledem k faktu, že je přístroj již dva roky na trhu, se cena pohybuje okolo 86 000 Kč. [17] Cena je přepočtena z USD. Kurz k 18.5.2013 byl 1 USD=20,20 Kč.

5 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH GENERÁTORŮ

V této kapitole si porovnáme uvedené přístroje. Parametry porovnávání budou zvoleny cena a možnosti použití přístroje při zkoušce. Porovnávat generátory podle konektivity v současné době nemá cenu, protože všechny již disponují sériovým portem RS-232 nebo USB. Všichni výrobci ke svým produktům dodávají v rámci balení i software pro propojení generátoru s PC a možnosti vzdáleného definování parametrů generátoru.

Cenově jsou nejvýhodnější generátory rušení pro určitý druh zkoušky odolnosti. Přesněji z vybraných přístrojů vyšel nejlevněji generátor vysokofrekvenčních signálů PMM 3030. To může být zapříčiněno faktem, že se jedná o starší model. Dále je potom generátor pro zkoušky elektrostatickým výbojem Teseq NSG 437. Tato nízká cena může být zapříčiněna malým počtem elektronických součástek v porovnání s univerzálními generátory zkušebního signálu. Ze dvou vybraných generátorů lze těžko cenově porovnávat vhodnějšího kandidáta, protože u novinky firmy EM Test nebyla stanovena cena, ale určitě se bude pohybovat na stejné cenové hladině jako cena generátoru od firmy Teseq. Pro lepší přehlednost jsou porovnávané přístroje seřazeny v tabulce.

Přístroj	Možnosti měření	Cena
PMM 3030	Vysokofrekvenční rušení	86 000 Kč
Teseq NSG 437	Elektrostatický výboj	218 000 Kč
Teseq NSG 3040	multifunkční generátor (rázový impulz, přechodové jevy, kvalita napájení)	460 000 Kč
EM Test UCS 500N7	multifunkční generátor (rázový impulz, přechodové jevy, kvalita napájení)	Není známa

Tabulka 4 Porovnání generátorů podle ceny

Porovnání přístrojů podle možností funkce je jedna z možných kritérií výběru pro měřicí laboratoře. V rámci tohoto porovnávání ztrácejí svoje výhody jednostranně zaměřené přístroje. Tyto přístroje jsou již z výroby určeny pouze pro určitý druh zkoušky, a proto je jejich pořizování určeno pouze pro takové laboratoře, které s tímto druhem zkoušky počítají. Naopak univerzální generátory jsou schopny pokrýt velkou škálu

normalizovaných zkoušek. V tomto ohledu jsou vhodnou základnou pro zkušební laboratoř.

Nejlépe z vybraných generátorů vychází přístroj UCS 500N7 od výrobce EM Test. Je schopný generovat zkušební signály pro 7 typových zkoušek dle ČSN EN 61 000-4. Další výhodou je knihovna přednastavených zkoušek včetně parametrů. Další generátor výhodný jako základ je NSG 3040 od společnosti Teseq. Přístroj nepokrývá tak velkou škálu zkoušek, ovšem v balení je velké množství příslušenství, které se u předešlého generátoru musí samostatně dokoupit. Cena těchto doplňků není z pravidla nejmenší a dost záleží na výrobci a jeho cenové politice.

ZÁVĚR

Problematika měření odolnosti zařízení je stanovena velkým množstvím norem určeným přímo pro tento obor. Normy stanovují obecné doporučené hodnoty pro měření odolnosti zařízení nebo systému. Bližší hodnoty jsou poté stanoveny v tzv. normách výrobku. Podle druhu normy se také vybírá druh měřicího přístroje.

Měřicí přístroje lze rozdělit do dvou skupin a to na zkušební přijímače a zkušební generátory. První skupina se stará o měření a zobrazování rušivých signálů, které do prostředí vysílá zkoumaný objekt. Druhá skupina se stará o vytváření zkušebního signálu podobného tomu, který působí na zkoušené zařízení v místě jeho použití.

Zkušební generátory se následně mohou rozdělit na generátory multifunkční a generátory určené pro určitý druh zkoušek. Podle toho, jaké zkušební signály chceme použít, se odvíjí druh generátoru, který si budeme chtít pořídit. Generátory určené pro určitý druh zkoušky jsou zaměřeny na určitou problematiku, tím pádem obsahují elektroniku určenou pro daný druh zkoušky. Z toho faktu se odvíjí i cena za takový měřicí přístroj, která je menší než cena multifunkčních protějšků. Multifunkční generátory zkušebních signálů mají tu výhodu, že mohou pokrýt dva a více druhů zkoušek (většinou 5 nebo 7). Tyto zkušební přístroje obsahují další řídicí obvody umožňující pokrytí tohoto velkého rozsahu zkoušek. Ceny takovýchto generátorů jsou potom mnohonásobně vyšší než u přístrojů pro určitou konkrétní zkoušku. Další výhodou takovýchto zařízení je, že balení většinou obsahuje i další doplňky potřebné pro testování.

V závěru praktické části práce je provedeno stručné porovnání vybraných přístrojů pro měření odolnosti zařízení. Porovnány byly pouze některé parametry, výsledky porovnání se mohou pochopitelně lišit podle požadavků konkrétních zkušebních testů. V tomto případě je toto porovnání spíše subjektivní otázkou.

CONCLUSION

The issue of device resistance measurement is determined by many standards. These are designed especially for the field of electromagnetic compatibility. Standards provide general recommendations to measure the resistance of devices and systems. Further, these recommended values are written in the product standards in detail. Measuring instruments are also chosen according to the type of standards.

Measuring instruments can be divided into two groups as test receivers and generators. The first group devote to measure and display of disturbance signals which are sent by the examined object into the environment. The second group task is to create the test signal which should influence the testing devices in the same way as signals in device working environment.

The test generators can be divided on multi-generators and generators which are designed for a specified type of testing. Depending on the types of used test signals we can buy different types of generator. Generators designed for a specified type of testing are focused on a particular problem. Therefore they have to contain electronics designed for this type of testing. This fact also affects the price for such a measuring instrument that is lower than the price of multifunctional generators. Multifunctional test signal generators have the advantage that they can cover two or more types of tests (usually 5 or 7). These tests set contain additional control circuits which allow large-scale tests covering. Prices of such generators are many times higher than the price of particular testing instruments. Another advantage of such instruments is that in generally we can find any necessary and the other extra equipment for testing in the package.

Finally, in the practical part of the thesis is briefly drawn a comparison of selected generators for device resistance measurement. Only some parameters were compared. The results of comparison may vary according to the requirements of specific experimental tests. In this case, the comparison is a rather subjective issue.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SVACINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 2001, 156 s. ISBN 8021418737.
- [2] KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 216 s. ISBN 80-7300-202-7.
- [3] VACULÍKOVÁ, Polina a Emil VACULÍK. *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení*. 1. vyd. Praha: Grada, 1998, 487 s. ISBN 8071695688.
- [4] ČSN EN 61 000-4-4. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-4: Zkušební a měřicí technika - Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut: [s.n.], 1.5.2005.
- [5] ČSN EN 61 000-4-5. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-5: Zkušební a měřicí technika - Rázový impulz - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut: [s.n.], 1.7.2007.
- [6] ČSN EN 61 000-4-2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-2: Zkušební a měřicí technika - Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut: [s.n.], 1.11.2009.
- [7] ČSN EN 61 000-4-11. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-11: Zkušební a měřicí technika - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti*. Praha: Český normalizační institut: [s.n.], 1.3.2005
- [8] Základy EMC 5 - Elektromagnetická odolnost a její testování. *Elektrorevue* [online]. 4.6.2001 [cit. 2013-05-01]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01025/index.html#kap5>
- [9] Encyklopedie elektromagnetické kompatibility. *Zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům* [online]. 2001 [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node64>

- [10] ČSN EN 61 000-4-3. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-3: Zkušební a měřicí technika - Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti*. Praha: Český normalizační institut: [s.n.], 1.11.2006
- [11] DYER, Stephen A. *Survey of instrumentation and measurement*. New York: Wiley, 2001, xi, 1096 p. ISBN 04-713-9484-X.
- [12] Základy elektromagnetické kompatibility (EMC) 6 - Normalizace v oblasti EMC. *Elektrorevue* [online]. [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01036/index.html#kap1>
- [13] KAZDEROVÁ, Bc. Jaroslava. *Elektromagnetická interference a její vyhodnocování*. Zlín, 2010. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [14] TESEQ. *NSG 3040 Datasheet*. Switzerland, 2009. Dostupné z: <http://www.empos.cz/attachments/3/3c054ba09a35feb55b0b48edea2b1675.pdf>
- [15] EM TEST. *UCS 500N7 Datasheet*. 2013. Dostupné z: <http://www.emtest.com/products/product/135120100000010642.pdf>
- [16] TESEQ. *NSG 437 ESD Datasheet*. 2007. Dostupné z: <http://www.empos.cz/attachments/0/086ec271e520d110122a5057e9eb1f29.pdf>
- [17] NARDA. *PMM 3030 Datasheet*. 2011. Dostupné z: www.narda-sts.it/includes/sendfile.asp?nomep=3030

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
N	(Noise), Šum
S	(Spikes), Impulzy
T	(Transient), Přechodový jev
CMOS	(Complementary Metal-Oxid-Semiconductor), polovodičový prvek
NEMP	Nukleární elektromagnetický impulz
CDN	(Coupling-decoupling network), vazební a oddělovací člen
EFT	(Elektrical fast transients), rychlé přechodové jevy
ESD	(Electrostatic discharge), Výboj statické elektřiny
IEC	(International Electrotechnical Commission), Mezinárodní elektrotechnická komise
CENELEC	(European Committee for Electrotechnical Standardization), Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice
CISPR	(International Special Committee on Radio Interference), Mezinárodní speciální výbor pro vysokofrekvenční rušení
MIL-STD	(Military Standard), Vojenské normy
NATO	(North Atlantic Treaty Organization), Severoatlantická aliance
USD	(United States dollar), americký dolar

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Základní řetězec EMC	12
Obr. 2 Členění elektromagnetické kompatibility	14
Obr. 3 Vzájemná indukčnost vodičů.....	19
Obr. 4 Vstupy rušivých signálů do zkoušeného zařízení	23
Obr. 5 Kapacitní vazební a oddělovací člen	25
Obr. 6 Kapacitní kleština [4].....	26
Obr. 7 Ukázka pistole pro testování ESD [9]	29
Obr. 8 Generátor testovacích signálů Teseq NSG 3040	37
Obr. 9 Generátor testovacích signálů EM Test UCS 500N7	39
Obr. 10 Simulátor ESD Teseq NSG 437	40
Obr. 11 Generátor testovacího signálu NARDA PMM 3030	40

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Nejvyšší přípustné hodnoty dle nařízení vlády 1/2008 Sb.	12
Tabulka 2 Funkční hodnoty generátoru NSG 3040	38
Tabulka 3 Funkční hodnoty generátoru UCS 500N7	39
Tabulka 4 Porovnání generátorů podle ceny	41