

Užití GTEM cely pro testy elektromagnetické kompatibility zabezpečovacích systémů

The Use of GTEM cell for EMC Measurements

Oliver Polka

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Oliver Polka**
Osobní číslo: **A12127**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Užití GTEM cely pro testy elektromagnetické kompatibility zabezpečovacích systémů**

Téma anglicky: **The Use of GTEM Cells for EMC Test Measurements**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Navrhněte měřicí sestavu s využitím měřicích přístrojů v laboratořích FAI UTB.
3. Vyberte vhodný typ elektronického zabezpečovacího systému pro vybrané testy elektromagnetické kompatibility.
4. Provedte měření včetně vyhodnocení získaných výsledků.
5. Navrhněte možnosti pokračování odborné činnosti ve studované oblasti.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. PAUL, Clayton R. Introduction to electromagnetic compatibility. 2nd ed. Hoboken: John Wiley, 2006, xxi, 983 s. ISBN 04-717-5500-1.
2. SENGUPTA, Dipak L a Valdis V LIEPA. Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2006, xxii, 486 p. ISBN 978-047-1165-491.
3. SVAČINA, Jiří. Základy elektromagnetické kompatibility: přednášky. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2005, 155 s. ISBN 80-214-2864-3.
4. NOTHOFER, A., BOZEC D., McCORMACK L. and ALEXANDER M. Measurement Good Practice Guide – The Use of GTEM Cells for EMC Measurements, GPG (65), National Physical Laboratory, July 2003.
5. NOTHOFER, A., ALEXANDER M., BOZEC D., WELSH D. DAWSON L., McCORMACK L. and MARVIN A. C. A GTEM best practice guide applying IEC 61000-4-20 to the use of GTEM cells. Zurich, Switzerland, February 2003.
6. NGU, Xavier. An assessment of a GTEM cell as a test environment using measurements and simulations. PhD thesis, University of Nottingham, July 2009.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

6. února 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2015

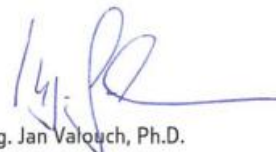
Ve Zlíně dne 6. února 2015



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



L.S.



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

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá využitím GTEM cely pre testy elektromagnetickej kompatibility zabezpečovacích systémov. Úvod teoretickej časti je zameraný na všeobecné princípy elektromagnetickej kompatibility. Následne sú popísané typy rušivých signálov a možnosti ich meraní. Hlavná časť tejto práce pojednáva o GTEM cele, princípoch jej fungovania v náväznosti na potreby priemyslu komerčnej bezpečnosti. V praktickej časti bola navrhnutá zostava na testovanie elektromagnetickej kompatibility s využitím GTEM cely, pričom ako vhodné elektronické zariadenie bola vybraná kamera. V závere bakalárskej práce sú zhodnotené výsledky meraní a navrhnuté ďalšie možnosti výskumu v tejto problematike.

Kľúčové slova: elektromagnetická kompatibilita (EMC), rušivé signály, GTEM cely, testovanie odolnosti elektroniky, zabezpečovacia technika, kamerové systémy

ABSTRACT

This bachelor thesis is to consider the use of GTEM cell for electromagnetic compatibility tests of security systems. The introductory part is focused on general principles of electromagnetic compatibility. The types of interference sources and their measurement options are described in the following part. The main part is to deal with GTEM cell and its operation principles following the needs of commercial security industry. In the practical part, an assembly for electromagnetic compatibility testing with the use of GTEM cell was designed, IP camera was chosen as a suitable electronic device for testing. The final part is to evaluate the results of measurements and to suggest further options for research in this area.

Keywords: electromagnetic compatibility (EMC), interference sources, GTEM cell, security technology, CCTV systems, IP camera

Pod'akovanie:

Na tomto mieste by som chcela poďakovať môjmu vedúcemu bakalárskej práce docentovi RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc., za čas, ktorý si aj napriek svojmu pracovnému vyt'aze-
niu našiel, a poskytol mi cenné rady a informácie pri písaní bakalárskej práce.

Ďalej by som chcel poďakovať Ing. Hane Urbančokovej a Ing. Stanislavovi Kovářovi za pomoc pri meraniach v bezdravovej komore.

Moja vďaka patrí mojim blízkym za neustálu podporu, pochopenie a povzbudenie počas môjho štúdia.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD..... | 9 |
| I TEORETICKÁ ČASŤ..... | 10 |
| 1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA..... | 11 |
| 1.1 ZÁKLADNÉ POJMY A DELENIE EMC..... | 11 |
| 1.1.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémov..... | 13 |
| 1.1.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémov a zariadení..... | 14 |
| 1.1.3 Elektromagnetická interferencia..... | 14 |
| 1.1.4 Elektromagnetická susceptibilita..... | 15 |
| 1.2 RUŠIVÉ SIGNÁLY A ICH ZDROJE..... | 15 |
| 1.3 SPÔSOBY OBMEDZENIA RUŠENIA..... | 17 |
| 1.3.1 Elektromagnetické tienenie..... | 18 |
| 1.3.2 Rozbor účinnosti elektromagnetického tienenia..... | 20 |
| 2 MERANIE RUŠIVÝCH SIGNÁLOV A ODOLNOSTI..... | 23 |
| 2.1 TYPY MERANÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLOV..... | 24 |
| 2.1.1 Merania pomocou antén..... | 24 |
| 2.2 MERANIE ODOLNOSTI PROTI VYSOKOFREKVENČNÝM ELMG. POLIAM..... | 27 |
| 3 GTEM CELA..... | 29 |
| 3.1 HISTÓRIA VÝVOJA SKÚŠOBNÝCH KOMÔR..... | 29 |
| 3.2 KONŠTRUKCIA GTEM..... | 30 |
| 3.3 MOŽNOSTI VYUŽITIA GTEM CELY..... | 33 |
| 4 KAMEROVÉ SYSTÉMY..... | 35 |
| 4.1 TYPY KAMEROVÝCH SYSTÉMOV..... | 35 |
| 4.2 IP KAMERA..... | 37 |
| 4.2.1 Bloková schéma IP kamery..... | 37 |
| 4.2.2 Typy IP kamier..... | 38 |
| 4.2.3 Výhody použitia IP kamier..... | 40 |
| 4.3 VYUŽITIE KAMIER V ZABEZPEČENÍ..... | 41 |
| II PRAKTICKÁ ČASŤ..... | 42 |
| 5 EMC MERANIA KAMEROVÝCH SYSTÉMOV..... | 43 |
| 5.1 PRÍSTROJOVÉ VYBAVENIE..... | 43 |
| 5.2 POSTUP MERANIA..... | 48 |
| 5.3 SCHÉMY ZAPOJENIA MERACEJ APARATÚRY..... | 49 |
| 5.4 NAMERANÉ DÁTA..... | 50 |
| 5.5 VYHODNOTENIE VÝSLEDKOV A DISKUSIA..... | 53 |
| ZÁVER..... | 55 |
| ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY..... | 56 |

| | |
|--|-----------|
| ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV..... | 59 |
| ZOZNAM OBRÁZKOV..... | 61 |
| ZOZNAM TABULIEK..... | 63 |

ÚVOD

Význam elektromagnetickej kompatibility elektrických a elektronických zariadení v súčasnej dobe výrazne narastá. S technologickým pokrokom, ktorý na trh prináša neustále sofistikovanejšie a citlivejšie stroje a zariadenia, sa úmerne zvyšujú nároky kladené na ich schopnosť spoľahlivo fungovať. Táto vlastnosť zariadenia je posudzovaná z dvoch pohľadov. Za prvé musí byť zariadenie dostatočne odolné voči vonkajším vplyvom. Za druhé samotné zariadenie nesmie negatívne ovplyvňovať svoje okolie. S problematikou elektromagnetickej kompatibility sa stretávame v každodennom živote ale i vo všetkých odvetviach priemyslu. V prípade, že elektrické zariadenie nefunguje v elektromagnetickom poli spoľahlivo sa môže prejaviť nedostatočným užívateľským komfortom v prípade zrušenia v televízore pri obľúbenom športovom prenose, finančnými stratami pri zastavení linky z dôvodu nespoľahlivého dátového prenosu. Riziká však môžu byť omnoho závažnejšie v prípade zdravotníckych elektronických prístrojov. V neposlednej rade je tu otázka bezpečnosti. Sledujeme rastúci záujem o služby komerčnej bezpečnosti v spojení s ochranou osôb a majetku. Preto je spoľahlivosť zabezpečovacieho systému najdôležitejším kritériom pre jeho výber. Technológie použité v zabezpečovacom systéme musia byť robustné, nesmú vykazovať chybovosť vplyvom vonkajších vplyvov a zároveň nesmú negatívne ovplyvňovať iné zariadenia v zabezpečenom objekte.

Cieľom mojej bakalárskej práce je popísať využitie GTEM cely pre testovanie rušenia a odolnosti elektronických a elektrických zariadení. Súčasťou práce je literárna rešerš na tému elektromagnetickej kompatibility, ktorá je nevyhnutne nutná pre pochopenie tejto problematiky. V praktickej časti som teoretické poznatky využil pri návrhu, zostavení a príprave experimentu s využitím GTEM cely, ktorá je dostupná vo Vedeckotechnickom parku pri FAI UTB. Výsledky meraní sú aplikované na potreby priemyslu komerčnej bezpečnosti.

Potenciál tejto bakalárskej práce vidím predovšetkým v možnosti využiť ju ako ucelený zdroj informácií pre ďalšie štúdium elektromagnetickej kompatibility elektrických a elektronických zariadení zabezpečovacej techniky. Zároveň sme prakticky otestovali GTEM celu, ktorá môže byť efektívne využívaná pre odbornú činnosť v tejto problematike.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Počiatky vedeckotechnickej disciplíny označovanej „elektromagnetická kompatibilita“, v preklade z anglického „Electromagnetic Compatibility“ (EMC), môžeme považovať 60. roky minulého storočia v USA, kde hlavne vo vojenskom a kozmickom priemysle sa rozširoval záujem o ochranu jednotlivých elektrických a elektronických zariadení pred rušením. S rozvojom elektroniky, hlavne mikroprocesorovej aj komunikačnej techniky, sa v posledných rokoch EMC dostáva do všetkých oblastí každodenného života. [1]

Jednou z ústredných osôb pracujúcich v tejto oblasti bol H.M.Schlike, ktorý vyhlásil v roku 1968 známy výrok: „Systém sám o sebe môže byť dokonale spoľahlivý – bude však prakticky bezcenný v prevádzke, a, kým súčasne nebude elektromagneticky kompatibilný. Spoľahlivosť a elektromagnetická kompatibilita sú neoddeliteľné požiadavky na systém, ktorý má fungovať v každej dobe a za všetkých okolností“. [1]

V dnešnej dobe môžeme potvrdiť jeho slová, keďže s rapídym nárastom využitia výpočtovej techniky, počítačov, mobilných zariadení a s rozširovaním pokrytia telekomunikačných a iných bezdrôtových služieb narastá aj rozsah rušivých elektromagnetických signálov, ktoré môžu mať nepriaznivé účinky na funkcie ostatných zariadení, nie len bežných spotrebiteľov, ale aj citlivej zdravotníckej techniky či vojenskej techniky.

1.1 Základné pojmy a delenie EMC

Elektromagnetická kompatibilita vyjadruje schopnosť súčasnej správnej funkcie, tj. koexistencie zariadení alebo systémov, ktoré sa nachádzajú v spoločnom elektromagnetickom prostredí bez závažného ovplyvňovania ich normálnych funkcií. Každý systém alebo zariadenie, alebo ich súčasti môžu byť zároveň vysielačom (zdrojom) ale aj prijímačom (obeťou) rušenia. EMC je teda vyšší pojem ako jednoduchá spoľahlivosť daného zariadenia, s ktorou bola v počiatkoch mylne zamieňaná. [2]

Nasledujúce základné pojmy EMC definuje Mezinárodný elektrotechnický slovník ČSN IEC 50 v kapitole 161 „Elektromagnetická kompatibilita“. Niektoré z nasledujúcich pojmov sú znázornené na obr.1.

Úroveň vyžarovania (Emission Level) – úroveň elektromagnetického vyžarovania konkrétnym prístrojom, zariadením alebo systémom. [3]

Medza vyžarovania (Emission Limit) – predpísaná maximálna úroveň vyžarovania zdroja elektromagnetického rušenia. [3]

Úroveň odolnosti (Immunity Level) – maximálna úroveň elektromagnetického rušenia pôsobiaceho na konkrétny prístroj, zariadenie alebo systém, pri ktorom sa zachováva požadovaná kvalita prevádzky. [3]

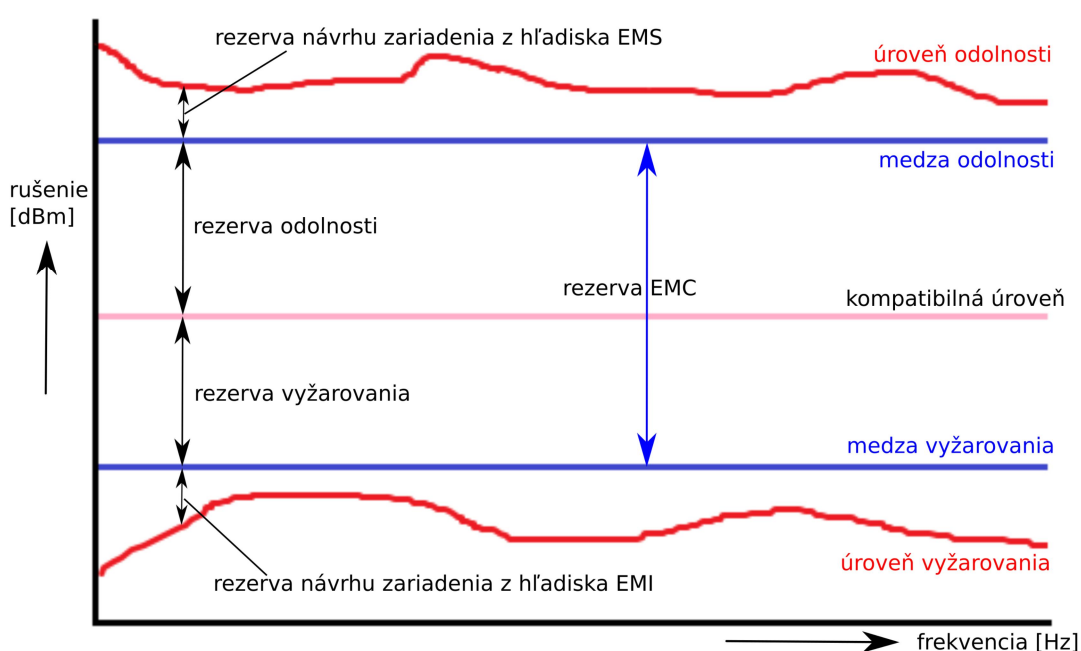
Medza odolnosti (Immunity Limit) – najnižšia predpísaná úroveň odolnosti. [3]

Elektromagnetická kompatibilná úroveň (Electromagnetic Compatibility Level) – predpísaná maximálna úroveň elektromagnetického rušenia, o ktorom sa predpokladá, že bude ovplyvňovať prístroje, zariadenia, alebo systémy prevádzkované v konkrétnych podmienkach. [3]

Rezerva vyžarovania (Emission Margin) – rozdiel medzi elektromagnetickou kompatibilnou úrovňou a medzou vyžarovania zdroja rušenia. [3]

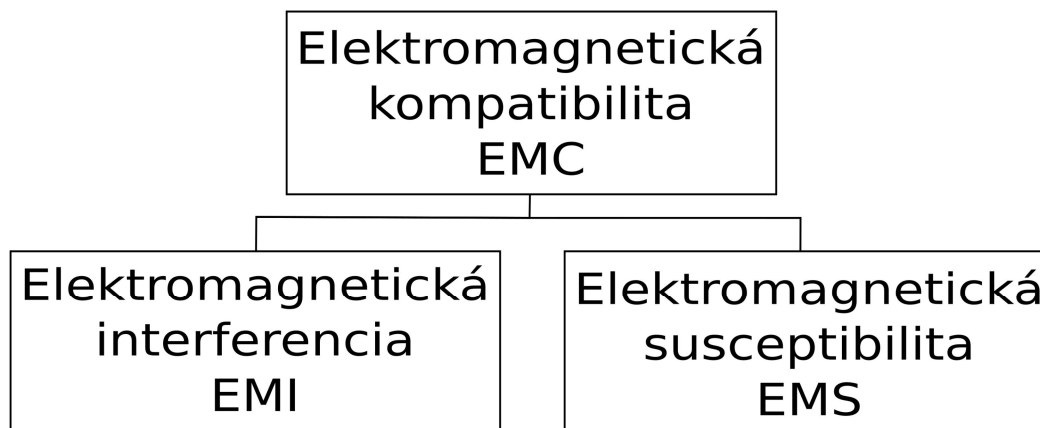
Rezerva odolnosti (Immunity Margin) - rozdiel medzi odolnosťou prístroja, zariadenia, alebo systému a kompatibilnej úrovne. [3]

Rezerva elektromagnetickej compatibility (Electromagnetic Compatibility Margin) – rozdiel medzi úrovňou odolnosti prístroja, zariadenia, alebo systému a medzou vyžarovania zdroja rušenia. [3]



Obr. 1: Definícia úrovni a medzí vyžarovania a odolnosti

Problematiku EMC je možné členiť z rôznych hľadísk. Celkovo je možné otázky EMC rozdeliť na dve hlavné oblasti podľa systémov na EMC biologických systémov a EMC technických systémov a zariadení. Druhým možným delením je rozdelenie na skupiny podľa zamerania na rušenie - Elektromagnetickú interferenciu (EMI) alebo na odolnosť - Elektromagnetickú susceptibilitu (EMS) (obr.2). [4]



Obr. 2: Základné členenie EMC

1.1.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémov

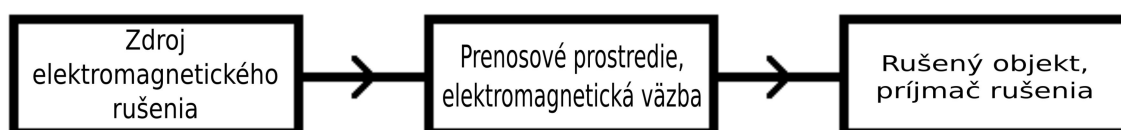
EMC biologických systémov sa zaoberá celkovým elektromagnetickým pozadím nášho životného prostredia a prípustnými úrovňami rušivých ale aj užitočných elektromagnetických signálov s ohľadom na ich vplyv na živé organizmy. Aj napriek tomu, že tieto vplyvy sú už dlhodobo pozorované a skúmané, ich vplyvy doposiaľ nie sú jednoznačné. Biologické účinky elektromagnetického poľa závisia na jeho charaktere, dobe pôsobenia ale aj na vlastnostiach daného organizmu. Jedná sa o hlavne o tepelné účinky - ohrev tkanín živého organizmu a netepelné účinky na imunitný systém, centrálnu nervovú sústavu, fyziológiu či metabolizmus organizmu. [2][5]

Reakcie človeka na elektromagnetické žiarenie sú veľmi individuálne. Preto je zložitá analyzovať zmeny v organizmoch a vytvorenie štatistík, ktorých výsledky by boli aplikovateľné všeobecne na veľkú časť populácie. Štúdií v tejto problematike je málo a zameriavajú sa hlavne na vyššie vystavovanie elektromagnetickým poľom v pracovnom procese. Za nepriaznivé účinky na človeka je však možné považovať nie len priame pôsobenie v pracovnom prostredí, ale aj dlhodobé vystavenie žiareniu v domácnostiach a v priestoroch,

kde sa denne pohybujeme (hlavne bezdrôtové komunikačné siete Wi-Fi, GSM). [1][2]

1.1.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémov a zariadení

EMC technických systémov a zariadení sa zaoberá vzájomným pôsobením a koexistenciou technických prostriedkov, prístrojov a zariadení. Princípy EMC môžeme chápať ako oblasť aplikácie obecných princípov elektrotechniky a elektroniky. Pri skúmaní zariadení či systému vychádzame zo základného reťazca EMC (obr.3). [2]



Obr. 3: Základný reťazec EMC

Zaoberáme sa každou časťou tohto reťazca. Pri skúmaní zdrojov elektromagnetického rušenia zisťujeme vznik, charakter a intenzitu. Môžeme sa zaradiť ako prírodné (prírodné zdroje zo Slnka, kozmu, procesov v atmosfére) aj umelé zdroje rušivých signálov (vytvorené ľudskou činnosťou). V druhom kroku sa zaujímate o prenosové prostredie, teda spôsob akým dochádza k prenosu rušivých signálov a energie od zdroja k prijímaču. V poslednom kroku je objektom nášho záujmu dané zariadenie, ktoré podlieha rušeniu (prijímač), kde analyzujeme rušivé účinky a na základe konštrukčných a technických parametrov špecifikujeme schopnosti elektromagnetickej odolnosti tohto objektu. [2]

V skutočnej situácii sa však nikdy nejedná o jeden zdroj rušenia, jednotlivé časti prístroja či systému môžu v rovnakej dobe vystupovať ako zdroj aj prijímač rušenia. Preto je systém skúmania EMC zložitejší ako vyjadruje reťaz EMC, ktorá má pre nás hlavne metodologický význam. [2]

1.1.3 Elektromagnetická interferencia

EMI označované aj ako elektromagnetické rušenie skúma proces prenosu signálu rušenia generovaného zdrojom do zasiahnutého systému. Toto rušenie môže prerušiť, zhoršiť alebo obmedziť funkcie daného zariadenia, pričom rozsah tohto účinku môže byť od malého zhoršenia až po úplnú stratu funkcionality. Zdrojom rušenia môže byť akýkoľvek objekt, zariadenie alebo prístroj vytvorený človekom, kedy hovoríme o umelých zdrojoch rušenia.

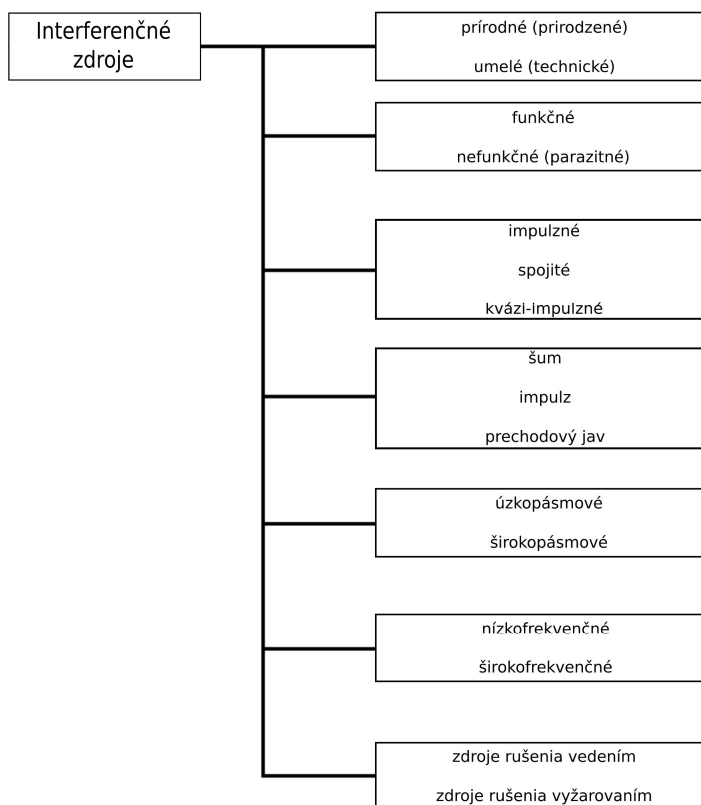
Taktiež môžu byť zdrojom rušenia prirodzené zdroje – slnko, polárna žiara a iné. EMI sa zaoberá predovšetkým identifikáciou zdrojov rušenia, popisom a meraním signálov a identifikáciou parazitných prenosových ciest a následným odstraňovaním príčin rušenia. [1][6]

1.1.4 Elektromagnetická susceptibilita

EMS označovaná niekedy ja ako elektromagnetická odolnosť alebo imunita, vyjadruje schopnosť zariadenia pracovať v prostredí elektromagnetického rušenia bez porúch alebo v presne definovanom prípustnom rozsahu vplyvu z prostredia. Zaoberá sa technickými opatreniami na obmedzenie vplyvov rušenia bez odstránenia ich príčin, môžeme teda hovoriť o zlepšovaní odolnosti tohto objektu. [2][5]

1.2 Rušivé signály a ich zdroje

Ako je uvedené v predchádzajúcej kapitole, za zdroj elektromagnetického rušenia, interferenčné zdroje, považujeme akýkoľvek objekt, zariadenie, prístroj alebo prírodný jav, pri ktorom je generovaný alebo produkovaný rušivý signál. Rušivé signály môžeme rozdeliť podľa rôznych kritérií, najčastejšie sa stretávame s delením znázornením na obr.4. [2][7]



Obr. 4: Klasifikácia interferenčných signálov

Prírodný (prirodzený) zdroj rušenia vytvára rušivé signály, ktorým takmer nemožno zabrániť, pretože sú súčasťou prírody. Zaraduje sa sem činnosť Slnka, búrková činnosť a blesky, vplyvy z kozmického priestoru a iné elektrické procesy v atmosfére. Pri ochrane je možné iba znižovať ich následky. [2][7]

Umelé (technické) interferenčné zdroje vznikajú ako výsledok technickej činnosti človeka. Jedná sa o všetky druhy elektrických a elektronických zariadení, prístrojov. Je možné ich ovplyvniť a obmedziť ich pôsobenie. [2][7]

Funkčné signály sú základom funkcie systému alebo zariadenia, avšak spôsobujú rušenie pre ostatné systémy a prístroje. Tieto signály nie je možné odstrániť. Patria sem vlny TV vysielania, AM rádiové vlny a iné. Nefunkčné (parazitné) druhy rušenia sú signály vytvorené ako vedľajší produkt prevádzky zariadení a sú tiež nežiaduce. [2][7]

Podľa časového priebehu rušivého signálu môžeme zdefinovať ďalšiu skupinu interferenčných zdrojov. Prvý druh signálu – šum – spôsobuje zmenu tvaru užitočného signálu, často môže byť jeho priebeh periodický. Typickými zdrojmi sú motory. Druhú skupinu signálov tvoria impulzy, ktoré sú typické veľkým množstvom impulzov počas krátkej doby trvania, spôsobujú u užitočného signálu kladné a záporné špičky. Ich výskyt je spojený hlavne s kontaktnými spínačmi elektrických a elektronických obvodov, pri elektrostatických výbojoch či údere blesku. Posledná skupina je označovaná ako prechodné javy, sú to náhodné a jednorázové rušivé signály. Doba trvania takýchto javov je niekoľko milisekúnd až niekoľko sekúnd. Môžu vznikáť pri náhlom zaťažení energetickej siete zapínaním a vypínaním spotrebičov s veľkým výkonom. [2][7]

Ďalej možno rozdeliť zdroje podľa šírky frekvenčného spektra rušivého signálu na Úzkopásmové zdroje rušenia – signály vysielateľov TV, rozhlasu a Širokopásmové zdroje rušenia – prírodné zdroje rušenia a veľká časť priemyselných zdrojov rušenia. [2][8]

Ako posledné kritérium delenia môžeme použiť frekvenciu rušivého signálu kedy interferenčné zdroje delíme na prvú skupinu tzv. Nízkofrekvenčné, ktoré ďalej rozdeľujeme na Energetické nízkofrekvenčné – pôsobiace na napájanie zariadení s frekvenciami rušivého signálu od 0 Hz až 2 kHz, deformujú napájacie napätie, čo môže byť neprijateľné pri zariadeniach a systémoch pracujúcich v závislosti na tvare elektrického napätia ako sú ovládacie a oznamovacie systémy, osvetlenie, stroje a prístroje a Akustické nízkofrekvenčné – majúce vplyv na prenosové informačné systémy a ich frekvencia je od 2 kHz po 10 kHz, tento typ rušenia generujú energetické zdroje, systémy digitálneho prenosu dát a rada-

ry. Druhá skupina zdrojov rušenia sú Vysokofrekvenčné (rádiové), kde patrí veľká časť zdrojov rušenia, keďže frekvencie týchto signálov sa pohybujú v rozsahu od 10 kHz až 400 GHz. [2][8]

1.3 Spôsobu obmedzenia rušenia

Technické prostriedky, ktoré sa používajú na tlmenie alebo obmedzovanie elektromagnetického rušenia v ktoromkoľvek reťazci EMC, sa nazývajú odrušovacie prostriedky. Odrušovacie prostriedky môžeme rozdeliť na tri skupiny a to:

- pasívne odrušovacie prostriedky,
- prepäťové ochranné prvky,
- tienenie.

Tieto skupiny v sebe zahŕňajú rôzne možnosti obmedzovania alebo tlmenia elektromagnetického rušenia v reťazci EMC.[9]

Pasívne odrušovacie prvky

Medzi pasívne odrušovacie prostriedky patria:

- odrušovacia tlmivka,
- odrušovací kondenzátor,
- odrušovací filter LC.

Pasívne odrušovacie prostriedky sa používajú buď bezprostredne pri zdroji kvôli zmenšeniu vyžarovania zo zdroja, napríklad odrušovací filter, alebo tesne pred obeťou s cieľom tlmiť prichádzajúce rušenie, napríklad ochranný filter.[9]

Prepäťové ochranné prvky

Prepäťím označujeme akékoľvek zvýšenie úrovne napätia v elektrickom a elektronickom obvode nad najvyššiu dovolenú hodnotu napätia v danom obvode. Obvykle sa pod pojmom prepätie rozumie krátkodobé prepätie, ktorého doba trvania nepresahuje stovky mikrosekúnd. Prepätím často býva mimoriadne vysoké napätie. Takéto zvýšenie napätia

môže poškodiť alebo zničiť rôzne elektrické zariadenia ba dokonca môže spôsobiť úraz obsluhy tohto zariadenia.[9]

Medzi prepäťové ochrany patria:

- ochranné iskrisko,
- výbojková bleskoistka,
- varistor,
- obmedzujúca dióda.

Tienenie

Tienenie podľa charakteru rušivého poľa môžeme deliť na:

- elektromagnetické,
- elektrické,
- magnetické.

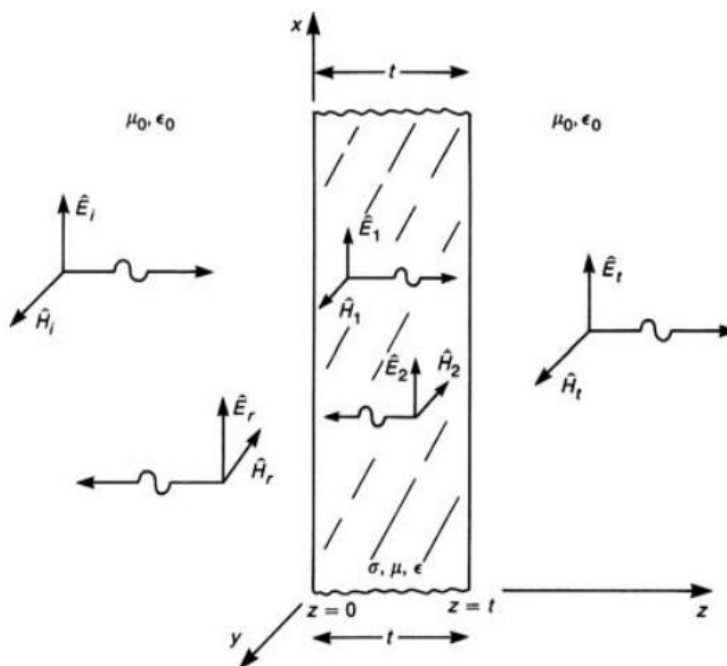
V oblasti elektromagnetickej kompatibility EMC je kľúčovým elektromagnetické tienenie. [9]

1.3.1 Elektromagnetické tienenie

Elektromagnetické tienenie je jedným z najdôležitejších odrušovacích prostriedkov EMC umožňujúci nielen zmenšenie rušivého vyžarovania na strane zdrojov rušivých signálov, ale aj zvýšenie elektromagnetickej odolnosti na strane prijímačov rušivých signálov. Tienenie je konštrukčný prostriedok na zoslabenie elektromagnetického poľa rušivých signálov vo vymedzenej časti priestoru. Technické prostriedky (konštrukcia), ktorými dosahujeme uvedené ciele, nazývame tieniaci kryt alebo tienenie. Tienenie sa používa ako k ochrane jednotlivých súčiastok a funkčných blokov, tak aj celých elektromagnetických zariadení, ktoré môžu byť súčasne zdrojmi aj prijímačmi elektromagnetického rušenia. Tienenie je vysoko efektívny spôsob elektromagnetickej ochrany pred výkonovým rušením kontinuálneho ale aj impulzného charakteru. Avšak k tieneniu každého zariadenia by sa malo pristupovať až po vyčerpaní ostatných metód zaistenia elektromagnetickej kompatibility, hlavne optimálneho návrhu a konštrukcie zariadenia z hľadiska EMC.[1]

Základné charakteristiky

Pôsobenie elektromagnetického tienenia ako lineárneho systému sa možné charakterizovať tzv. koeficientom tienenia K_s , ktorý je definovaný pomerom intenzity elektrického poľa E_t (alebo magnetického poľa H_t) v určitom bode tieneného priestoru k intenzite E_i (H_i) poľa dopadajúceho na tieniacu prekážku, ako na obr.5.[10]



Obr. 5: Kolmý dopad rovinatej elektromagnetickej vlny na kovovú tieniacu prepážku[6]

$$K_s = \frac{E_t}{E_i} \quad (1)$$

alebo

$$K_s = \frac{H_t}{H_i} \quad (2)$$

V praxi sa väčšinou používa logaritmická miera tohto koeficientu nazývaná efektívnosť alebo účinnosť tienenia (útlm tienenia), z angl. Shielding Effectiveness – SE.[1]

$$SE = 20 \log \frac{1}{|K_s|} = 20 \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

$$SE = 20 \log \frac{H_i}{H_t} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

Ak je dopadajúca vlna homogénna a prostredie na oboch stranách tieniacej prepážky rovnaké, sú obe definície SE rovnaké, pretože elektrické aj magnetické polia sú vzájomne viazané pomocou tej istej charakteristickej impedancie prostredia. Pri tienení v blízkej zóne elektromagnetického poľa, prípadne rôznych prostredí na oboch stranách tieniacej prepážky, dávajú vzťahy SE rôzne výsledky. V takýchto prípadoch sa používa prvá definícia SE pokladaná za akýsi štandard definície účinnosti tienenia.[10]

1.3.2 Rozbor účinnosti elektromagnetického tienenia

Vzťah pre účinnosť tienenia SE vo vzdialenom elektromagnetickom poli je možné napísať v tvare, ktorý lepšie odpovedá fyzikálnym mechanizmom vzniku tieniaceho efektu ako:

$$SE = R + A + M \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

SE – účinnosť tienenia, R – útlm odrazom, A – absorpčný útlm, M – útlm vplyvom mnohonásobného odrazu.

Jednotlivé členy tohto vzťahu budú vysvetlené nižšie.[2]

Útlm odrazom

Útlm odrazom **R** vzniká vplyvom čiastočného odrazu energie vlny na impedančnom rozhraní medzi vzduchom (dielektrikom) s impedanciou Z_0 a kovovou stenou prepážky s impedanciou Z_M ale zároveň aj na „výstupnom“ rozhraní medzi kovovou stenou Z_M a dielektrikom (vzduchom) Z_0 . [2]

$$R = 20 \log \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4 Z_0 Z_M} \right| \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

Vzťah je možné prepísať taktiež do tvaru:

$$R = 20 \log \left| \frac{Z_0 + Z_M}{2 Z_M} \cdot \frac{Z_0 + Z_M}{2 Z_0} \right| = R_1 + R_2 \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

V tomto vzťahu predstavuje R_1 útlm odrazom vlny na „vstupnom“ rozhraní vzduch-kov a R_2 útlm odrazom vlny na „výstupnom“ rozhraní kov-vzduch. Ak je tieniaca stena vytvorená z dobrého vodiča, pričom $Z_0 \gg Z_M$, potom je celkový útlm odrazom približne rovný:[2]

$$R \approx 20 \log \left| \frac{Z_0}{4 Z_M} \right| \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

alebo

$$R_1 \approx 20 \log \left| \frac{Z_0}{2Z_M} \right| \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

$$R_2 \approx 20 \log \left| \frac{1}{2} \right| = -6 \quad \text{dB} \quad (10)$$

Z týchto vzťahov je zrejmé, že hlavný útlm odrazom vzniká na „vstupnom“ rozhraní a iba malá časť energie vlny prechádza až k „výstupnému“ rozhraniu. Útlm odrazom teda nezávisí na hrúbke tieniacej kovovej steny, takže účinné elektrické tienenie je možné vytvoriť aj z veľmi tenkej avšak vysoko vodivej ($Z_0 \gg Z_M$) prepážky.[2]

Absorpčný útlm

Absorpčný útlm vzniká pohltením časti energie elektromagnetickej vlny pri jej priechode tieniacou kovovou prepážkou o hrúbke t vplyvom tepelných strát. Absorpčný útlm kovovej prepážky je rovný:[2]

$$A = 20 \log e^{\frac{1}{\delta}} \quad [\text{dB}] \quad (10)$$

Vo vzťahu vystupuje δ - hĺbka vniknutia elektromagnetického poľa do kovového materiálu. Úpravami sa dá dostať vzťah pre absorpčný útlm:[2]

$$A = 8,69 \cdot \frac{1}{\delta} \quad [\text{dB}] \quad (11)$$

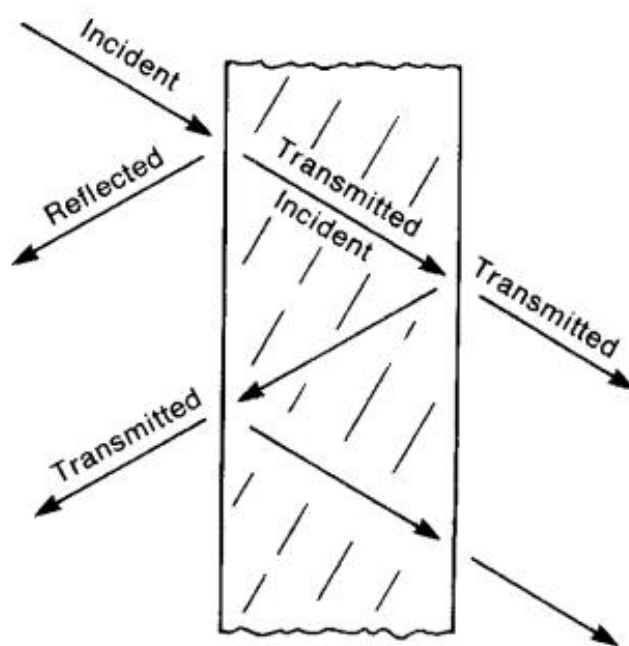
Útlm vplyvom mnohonásobného odrazu

Priechodom elektromagnetickej vlny vodivou tieniacou prepážkou dochádza na rozhraní k opakovaným odrazom, tak ako je schematicky znázornené na obr.6. Skladanie mnohonásobne odrazených vln môže mať nezanedbateľný vplyv na celkový útlm kovovej prepážky.[2]

Tab. 1: Hodnotenie elektromagnetického tienenia podľa orientačných hodnôt SE

| Účinnosť tienenia [dB] | Kategórie - hodnotenia |
|------------------------|--|
| 0 ÷ 10 | Nedostatočné tienenie |
| 10 ÷ 30 | Tienenie pre minimálne požiadavky |
| 30 ÷ 60 | Tienenie dostačujúce pre väčšinu bežných požiadaviek |
| 60 ÷ 90 | Veľmi dobré tienenie |
| 90 ÷ 120 | Vysoko kvalitné tienenie |

Skutočné dosahované hodnoty účinnosti tienenia SE reálnych tieniacich krytov sú o mnoho nižšie ako by odpovedalo teoretickým možnostiam kompaktných kovových tieniacich plôch. Dlhodobé skúsenosti pri potrebách elektromagnetického tienenia elektronických a elektrotechnických zariadení viedli ku kategorizácii tienenia podľa dosahovaných hodnôt účinnosti SE. Tieto kategórie sú zhrnuté v tab.1. [11]



Obr. 6: Mnohonásobné odrazy na vstupe a výstupe tieniacej kovovej prepážky[6]

2 MERANIE RUŠIVÝCH SIGNÁLOV A ODOLNOSTI

V predchádzajúcej kapitole sme si zadefinovali základné pojmy spojené s tematikou elektromagnetickej kompatibility. Z uvedeného vyplýva, že problematika je komplexná a v dnešnej dobe je nutné jej venovať pozornosť v každom priemyselnom odvetví, či oblasti každodenného života. Aby sme navrhnutý systém mohli považovať za spoľahlivý po stránke EMC, musí spĺňať dve kritéria – odolnosť voči rušivým signálom a zároveň samotné zariadenie nesmie vyžarovať rušivé signály do okolia.[1][2]

V ideálnom prípade by testované zariadenie nevyžarovalo žiadne rušivé signály, prakticky takýto stav ale nie sme schopný zabezpečiť. Preto si musíme stanoviť maximálnu prípustnú hodnotu rušivých signálov pre daný typ zariadenia a následne meraním overiť dodržanie týchto predpísaných hodnôt. [1][2]

Všetky merania súvisiace s EMC, metódy, postupy, podmienky meraní a použité meracie prístroje sú špecifikované v príslušných medzinárodných príp. národných normách. Dôvodom je zabezpečiť reprodukovateľnosť meraní a možnosť porovnávať získané výsledky napriek rôznorodosti testovaných zariadení a variabilite ich pracovných podmienok. Postup merania i voľba vhodného meracieho zariadenia závisí od spôsobu šírenia rušivých signálov. Rušivé signály môžu do zariadenia vstupovať, prípadne z neho vystupovať nasledovne:[5]

- Prenos vedením – napájacím alebo dátovým vedením daného zariadenia. Meranými veličinami, ktoré v tomto prípade charakterizujú elektromagnetické rušenie sú rušivé napätie U_r , rušivý prúd I_r , prípadne rušivý výkon P_r signálu.[5]
- Prenos elektrickou alebo magnetickou väzbou tzn. blízkym elektromagnetickým poľom medzi dvomi blízkymi objektmi, charakteristickými veličinami je intenzita rušivého elektrického pole E_r , alebo intenzita rušivého magnetického poľa H_r . [5]
- Prenos vyžarovaním elektromagnetických vln tzn. vzdialeným elektromagnetickým poľom. Uplatňuje sa predovšetkým medzi vzdialenými objektmi na vyšších rádiových kmitočtoch. Meranými charakteristikami je intenzita rušivého elektrického pole E_r , alebo intenzita rušivého magnetického poľa H_r , prípadne hustota vyžiareného výkonu P_r . [5]

2.1 Typy meraní rušivých signálů

Pri meraní elektromagnetickej interferencie volíme metódu merania podľa typu rušivých signálov, ktorými je ovplyvnené testovanie zariadenie. Široká rozmanitosť testovaných zariadení viedla k vývoju mnohých testovacích metód.

Pre meranie rušivých signálov, ktoré sa prenášajú vedením využívame:

- meranie s umelou sieťou,
- meranie napät'ovou sondou,
- meranie s prúdovou sondou,
- meranie pomocou absorpčných klieští.

Pre meranie rušivých signálov, ktoré sa prenášajú elektrickým a magnetickým poľom používame špeciálne meracie sondy na princípe antén.

Rušivé signály, prenášané vyžarovaním elektromagnetických vln meriame pomocou antén.
[5]

2.1.1 Merania pomocou antén

Anténa je prvok umožňujúci prechod elektromagnetického poľa privádzaného napájacím vedením na elektromagnetické pole vo voľnom priestranstve a naopak. Antény reprezentujú podstatnú súčasť v problematike EMC.[5]

Rušivé signály vyžarované zariadením do okolitého priestoru na frekvenciách od 10 kHz do 1000 MHz a vyššie sú merané pomocou rôznych typov meracích antén. Meranie rušivých elektromagnetických polí je obzvlášť významné v oblasti veľmi vysokých frekvencií (300 MHz a viac), pretože priame meranie rušivého napätia a prúdu je pri týchto frekvenciách veľmi problematické. Rušivé elektromagnetické pole sa meria prístrojom pre meranie rušenia (meracím prijímačom) doplneným vhodnou anténou. Prehľad typov antén je v nasledujúcej tabuľke (tab.2).[1]

Tab. 2: Prehľad meracích antén pre EMC[1]

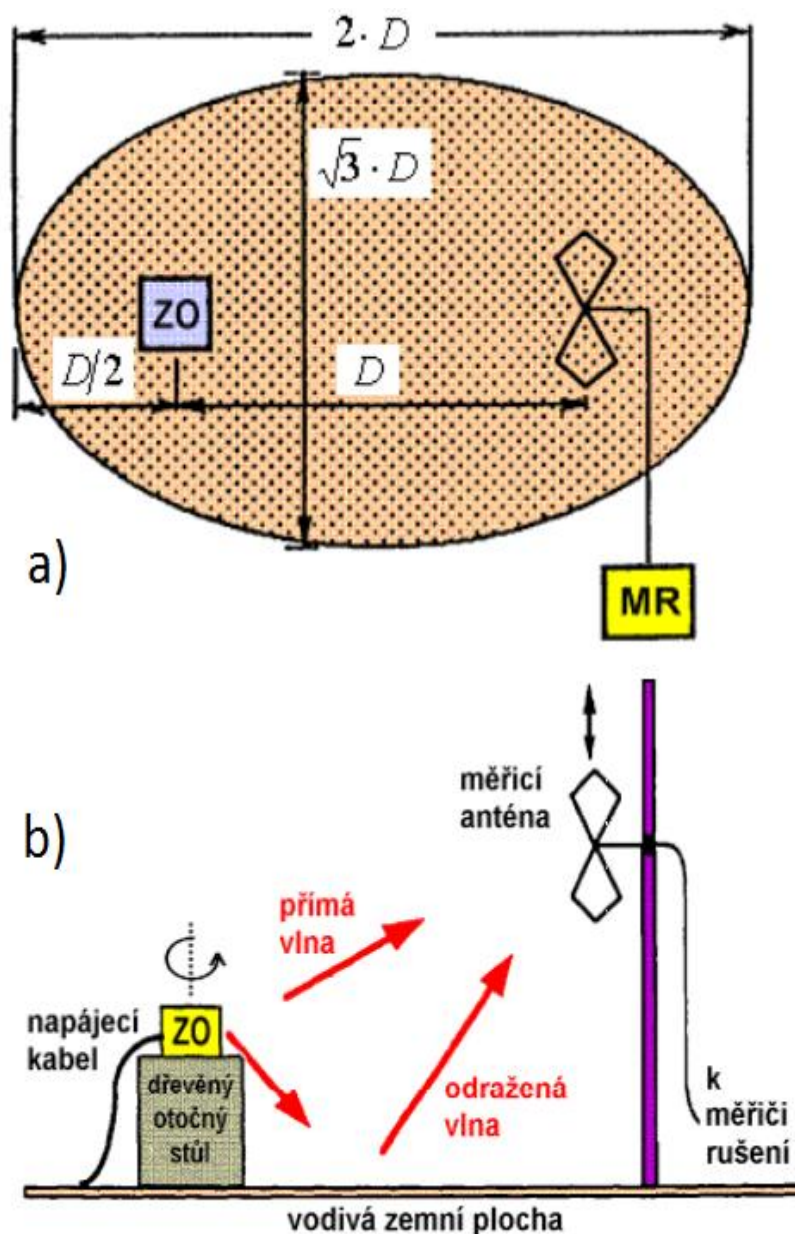
| Druh antény | Rozsah frekvencií [MHz] | Meraná veličina |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Rámová - slučková- anténa | 0,009 - 30 | H |
| Prúťová anténa (monopól) | 0,009 - 30 | E |
| Symetrické dipóly | 30 - 1000 | E |
| Bikónická anténa | 20 - 300 | E |
| Logaritmicko- periodická anténa | 200 - 3000 | E |
| Kónicko-logaritmická anténa | 200 - 3000 | E |
| Zložená širokopásmová anténa | 20 - 2000 | E |
| Lievikové antény | 1000 - 40000 | E,H |

Ako môžeme vidieť v tabuľke (tab.2) vhodnú anténu si vyberáme podľa frekvencie v ktorej sa pohybuje rušivý signál. Výsledky a správnosť merania elektromagnetického rušenia pomocou antén závisí na nasledovných faktoroch:

- technické parametry antén (anténový faktor AF, ekvivalentný anténový činiteľ vo voľnom priestore, neurčitosť merania, vlnová impedancia, šírka polárneho vyžiarovacieho diagramu, lineárna polarizácia atď.),
- usporiadanie meracieho pracoviska,
- druh meracieho pracoviska / meracieho miesta.

Z pohľadu druhu meracieho pracoviska sa antény využívajú na merania vo voľnom priestranstve (OFTS – Open Field Test Site; OATS - Open Area Test Site). Norma ČSN CISPR 16-1 (obr.7) stanovuje tvar a charakteristiku pracoviska. Tento typ merania je najčastejší, pretože je najjednoduchší. Nevýhodou meraní na otvorenom priestranstve je prítomnosť nežiadúcich vonkajších rušivých elektromagnetických polí. Signály blízkych rozhlasových a TV vysielateľov, rádiolokátorov a mnohých rádiokomunikačných služieb (napr. mobil) môžu v mieste skúšaného stanoviska vyvolať pole s neprípustnou vysokou intenzitou. Tieto polia môžu prekryť a skresliť vlastné pole skúšaného objektu. [1]

Riešením je špeciálne vybavenie, ktoré umožňuje pred vlastným meraním premerať celkové EM pole a uložiť do pamäti meracieho zariadenia a po prevedení merania sa dané hodnoty odčítajú. V prípade, že sa elektromagnetické pole rýchlo a často mení, nie je toto opatrenie dostatočne efektívne.[1][5]



Obr. 7: Pôdorysný (a) a bočný (b) pohľad na stanovište pre meranie na voľnom priestranstve[1]

V takýchto situáciách prichádza na radu tzv. elektromagneticky tienenená komora (priestor), kde anténa neprijíma rušivé signály z okolia, ale iba tie, ktoré pochádzajú z testovaného zariadenia. Tienená komora je vytvorená ako uzavretý priestor, najčastejšie z oceľových plechov, ktorý zaisťuje dostatočnú elektromagnetickú tesnosť. Kvalitná tienená komora musí zaisťovať útlm vonkajších signálov na úrovni 100 – 120 dB. Dostatočne precíznou konštrukciou je možné dodržať túto hladinu útlmu v rozsahu cca 5 dekád, tzn. od 10kHz do 1 GHz alebo 100 kHz do 10 GHz. Tienená komora musí ďalej spĺňať:[1][5]

- dostatočné rozmery, aby bolo možné realizovať pracovné miesto podľa normy CIS-PR 16-1
- dostatočnú výšku, ktorá umožní nastaviteľnosť meracích antén až do 4m
- musí byť konštruovaná tak, aby minimalizovala možnosť rezonancie vo vnútri.

Základným problémom u tienených komôr sú mnohonásobné odrazy signálov vo vnútri komory od stien. Kovové steny sú dokonalou odrazovou plochou. Opatrenie na elimináciu tohoto javu je dostatočná veľkosť haly/priestoru. Ďalšou možnosťou je pokrytie stien komory absorpčným materiálom, ktorý výrazne zmenší veľkosť činiteľa odrazu. Takouto úpravou však dostávame ďalší typ meracieho pracoviska tzv. absorpčnú bezodrazovú komoru. [5]

Bezodrazové absorpčné komory predstavujú v technike takmer ideálne meracie a testovacie priestory. Vo svojej konštrukcii často kombinujú pyramídálne a ploché absorbéry, pričom sa na niekoľko vrstvový plochý absorbér umiestňujú absorpčné ihlany. Absorpčné komory sa realizujú ako čiastočne alebo plne bezodrazové. Čiastočne bezodrazová hala je taká, v ktorej sú absorpčnými materiálmi obložené steny a strop, ale podlaha nie. Hala tak simuluje voľné meracie priestranstvo vrátane odrazov od zeme. V plne bezodrazovej hale sú absorpčnými obložené steny, stropy, podlaha a hala tak simuluje voľný neobmedzený priestor. Konštrukcia kvalitnej bezodrazovej haly je technologicky veľmi náročná. Jej základom je realizácia perfektného elektromagneticky tieneného priestoru. [5]

2.2 Meranie odolnosti proti vysokofrekvenčným elmg. poliam

Počas skúšok elektromagnetickej odolnosti voči vysokofrekvenčným elektromagnetickým poliam je potrebné vytvorenie vysokofrekvenčného poľa o dostatočnej intenzite pre ožarovanie testovaného zariadenia. Vzhľadom na veľkosť intenzity vytváraného elektromagnetického poľa rádovo v niekoľkých desiatkach V/m pri frekvenciách presahujúcich do oblasti GHz pásma je odporúčané meranie v tienených priestoroch vyššie spomínaných bezodrazových komôr, čím sa zabezpečí obmedzenie vplyvov ostatných vonkajších polí na testovaný objekt a zároveň je personál obsluhujúci pracovisko chránený pred účinkami tohto vysokofrekvenčného elektromagnetického poľa. Okrem požiadavkov na tienené priestory je hlavným problémom skúšok odolnosti toto typu dosiahnutie požadovaných hraníc intenzity skúšobného elektromagnetického poľa pri zachovaní jeho homogenity. Homogenita je nutná pre dosiahnutie správnych a reprodukovateľných výsledkov meraní. Požiadavky na

homogenitu poľa a postup kalibrácie je popísaný v norme Norma ČSN EN 61000-4-3: Zkušební a měřicí technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – Zkouška odolnosti.[1][5]

K testovaniu elektromagnetickej odolnosti zariadení pomocou ožarovania vysokofrekvenčným poľom o predpísanej intenzite je nutný vysoký budiaci výkon signálu. Výkon o hodnotách 100 W až niekoľko kW a rozsahu frekvencií 80MHz až 2 GHz je dosiahnuté v širokopásmovom výkonovom zosilňovači. Ten tvorí jednu z najdrahších súčastí skúšobného vybavenia pre tento typ skúšok. Snaha zmenšiť potrebný výkon viedla k výskumu nových metodík pri testovaní elektromagnetickej odolnosti. Špeciálny druh antén bol navrhnutý pre nový spôsob privedenia elektromagnetického poľa o dostatočnej intenzite a to antény z tzv. páskového (doskového) vodiču vedenia, ktorý umožňuje vytvárať testovacie pole s vysokou intenzitou pri rádovo nižších potrebných budiacich výkonoch. Zdokonalením metodiky merania pomocou páskových vodičov a doplnením o absorpčný materiál vzniklo riešenie v podobe TEM skúšobných komôr. [1]

TEM skúšobné komory boli špeciálne skonštruované tienené priestory pre meranie EMC, odolnosti aj vyžarovania. Úpravou TEM ciel pre použitie vo vyšších frekvenčných pásmach a odstránením ich nedokonalostí vznikli skúšobné cely GTEM.

3 GTEM CELA

Vzhľadom na technickú náročnosť testov k posudzovaniu EMC bol vývoj skúšobných komôr nevyhnutný. Odstránením obmedzujúcich faktorov používaných komôr TEM vznikla úplne nová konštrukcia vhodná pre merania frekvencií vyšších ako 1 GHz tzv. GTEM cela (Gigahertz-Transversal-Electromagnetic Cell).

3.1 História vývoja skúšobných komôr

Pôvodne sa k meraniu odolnosti elektrických a elektronických zariadení voči rušeniu elektromagnetickým poľom používali špeciálne testovacie antény z tzv. páskového vedenia. Tie pozostávali z dvoch paralelných vodivých dosiek so zdrojom napätia na jednej strane a s požadovanou charakteristickou impedanciou na strane druhej. Z dôvodu ochrany prostredia a obsluhujúceho personálu pred elektromagnetickým žiarením generovaným touto anténou, museli byť používané v tienených priestoroch. Ďalšou možnosťou ochrany pred účinkami vyžarovania je obloženie otvorených strán antény absorpčným materiálom. [2][12]

Problém s nežiaducim vyžarovaním a nutnosťou používať testovacie zariadenie v tienených priestoroch vyriešilo skonštruovanie TEM cely. Klasické TEM cely sú zostavené ako takzvané „Crawfordové komory“, ktoré boli prvý krát prezentované v roku 1974.(obr.8) [12]



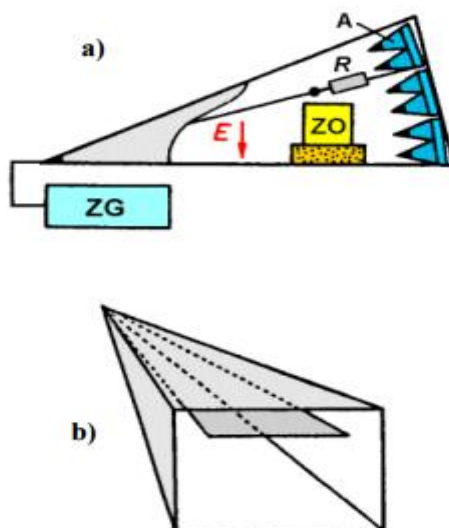
Obr. 8: TEM cela - tzv. Crawfordova komora[13]

Ako vidíme na obrázku obr.7, TEM cela pozostáva z centrálnej obdĺžnikovej časti a z dvoch zúžených častí zakončených vodičmi. Základným limitujúcim faktorom skúšobných komôr TEM je v oblasti veľmi vysokých frekvencií ich nedokonalé impedančné prispôsobenie sa týmto frekvenciám. Stým súvisí vznik nežiaducich odrazov a rezonancií. Tieto javy u TEM komôr bolo možné obmedziť čiastočným obložením vnútorných kovových stien komory absorpčným materiálom. [12]

V roku 1984 Asea Brown Boveri Ltd. vo Švajčiarsku vyvinul prvú GTEM (Gigahertz-TEM) celu, ktorá rieši obmedzujúci faktor pri použití veľmi vysokých frekvencií zmenou konštrukcie skúšobnej komory. [12]

3.2 Konštrukcia GTEM

Z predchádzajúcej kapitoly vyplýva, že GTEM cela priniesla nové možnosti skúšobných metód odolnosti voči vysokofrekvenčným elektromagnetickým poliam. Možnosti meraní v oblasti frekvencií nad 1 GHz sú dané iným typom konštrukcie cely. Komora je tvorená uzavretým priestorom v tvare dlhého pyramídovo sa rozširujúceho úseku koaxiálneho vedenia priečneho prierezu s nesymetricky umiestneným vnútorným páskovým vodičom. (obr.9) [1]

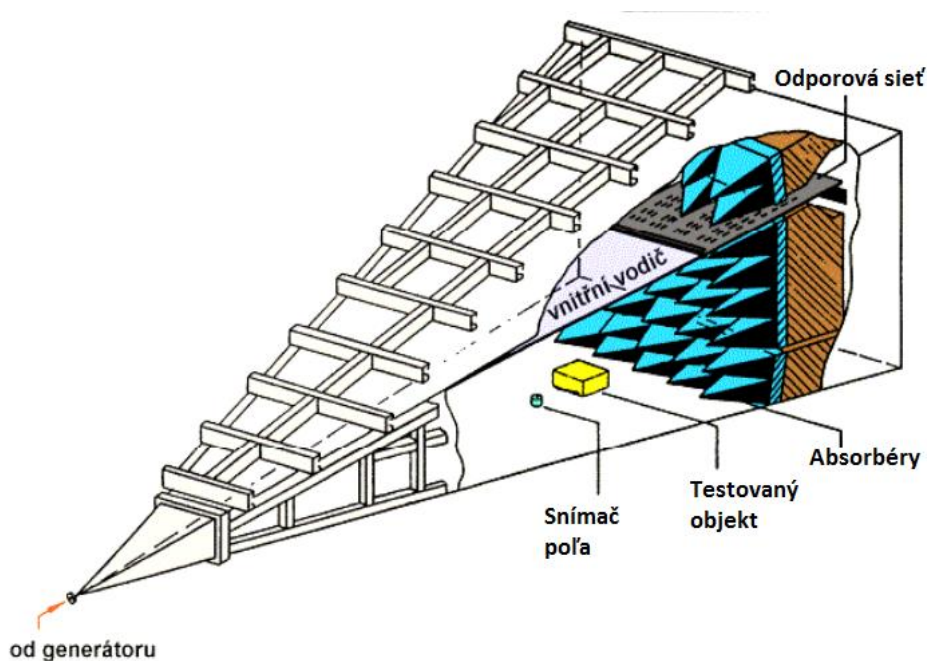


Obr. 9: Konštrukcia GTEM cely a) bočný rez b) priečny rez [1]

Vrcholový uhol pyramídového koaxiálneho vedenia je cca 15° , charakteristická impedancia je po celej dĺžke konštantná a rovná sa 50Ω . Širokopásmové impedančné prispôsobenie komory GTEM vo vysokých frekvenciách zaisťujú absorpčné ihlany A (obr.10) na jej čelnej stene, zároveň bezodrazovosť v oblasti nižších frekvencií je zaistená vnútornou odporovou sieťou (obr.11) [1]



Obr. 10: Absorpčné ihlany A vo vnútri GTEM cely



Obr. 11: Rez GTEM celou[1]

V komore GTEM sa šíri postupná elektromagnetická vlna s mierne guľovou čelnou vlnoplochou. Podľa typu budiaceho generátoru ZG je možné vytvoriť skúšobné harmonické pole s intenzitou až 200 V/m vo frekvenčnom pásme niekoľko GHz. Súčasne je možné vytvoriť skúšobné impulzové pole o veľkosti rádovo kV/m. [1]

Norma ČSN EN 61000-4-3: *Zkušební a měřící technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – Zkouška odolnosti* – považuje za homogénne pole také, kde zmena kmitočtu nepresiahne $\pm 3\text{dB}$ v pásme $0\div 1$ GHz. U GTEM cely platí, že v prípade ak nepresiahne výška testovaného objektu $1/3$ výšky skúšobného priestoru, je maximálna priestorová nehomogenita elektrického poľa do ± 1 dB. [2][14][17]

Hlavnými výhodami komôr GTEM je:

- vysoká priestorová homogenita simulovaného poľa vo veľmi širokom pásme frekvencií,
- možnosť použitia nižších zosilňovacích výkonov pre vygenerovanie poľa o rovnakej intenzite v porovnaní s bezodrazovými komorami,
- nulové vyžarovanie zo skúšobného priestoru do okolia,
- podpora modulárnych systémov – variabilita vo veľkosti testovaných objektov,
- časová nenáročnosť prípravy merania oproti meraniam na voľnom priestranstve,
- nižšie vstupné náklady na vytvorenie pracoviska merania EMI a EMS oproti bezodrazovým komorám. [1][12]

GTEM cela je komerčne dostupná v rôznych veľkostiach, často sa v názve modelu GTEM cely premietne jej veľkosť septa. Na príklad v tejto práci použitá skúšobná komora Frankonia EMC-gtem-250 má septum v maximálnej výške 250mm. Vo všeobecnosti sú dostupné cely s veľkosťou septa od 250mm do 2000mm. V tab.3 sa nachádza prehľad komerčne dostupných GTEM ciel od niekoľkých najväčších výrobcov FRANKONIA, ETS-Lindgren a Teseq. Viac informácií ohľadne špecifikácií je možné nájsť na oficiálnych stránkach jednotlivých výrobcov.

Tab. 3: Prehľad komerčne dostupných GTEM cel podľa výrobcov

| Výrobca | Model | Vonkajšie rozmery (m) |
|--------------------|-------|-----------------------|
| FRANKONIA | 250 | 1,15 x 0,64 x 0,44 |
| | 400 | 2,20 x 1,22 x 0,83 |
| | 500 | 3,00 x 1,68 x 1,15 |
| | 750 | 4,00 x 2,20 x 1,50 |
| | 1000 | 5,00 x 2,71 x 1,88 |
| | 1250 | 6,00 x 3,06 x 2,52 |
| | 1500 | 7,00 x 3,58 x 2,55 |
| | 1750 | 8,00 x 4,10 x 2,90 |
| | 2000 | 9,00 x 4,62 x 3,24 |
| ETS-Lindgren | 5402 | 1,40 x 0,75 x 0,50 |
| | 5405 | 3,00 x 1,60 x 1,70 |
| | 5407 | 4,00 x 2,16 x 2,06 |
| | 5411 | 5,40 x 2,80 x 2,30 |
| Teseq Schaffner | 250 | 1,25 x 0,65 x 0,45 |
| | 500 | 2,95 x 1,48 x 2,00 |
| | 750 | 3,95 x 2,02 x 2,15 |
| | 1000 | 4,95 x 2,54 x 2,13 |
| | 1250 | 5,95 x 3,06 x 2,48 |
| | 1500 | 6,95 x 3,58 x 2,55 |
| | 1750 | 7,95 x 4,10 x 2,90 |
| | 2000 | 8,95 x 4,62 x 3,24 |

3.3 Možnosti využitia GTEM cely

GTEM cely sú navrhnuté a vyrobené aby spĺňali technické požiadavky normy IEC 61000-4-20, ktorá je v ČR evidovaná pod názvom ČSN EN 61000-4-20 ED.2 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-20: Zkušební a měřicí technika - Zkoušky emise a odolnosti ve vlnovodech s příčným elektromagnetickým polem (TEM).[15]

GTEM cely ďalej umožňuje merania emisií normy ČSN EN 55022 ED. 3 Zařízení informační techniky – Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení – Meze a metody měření avšak nie je priamym ekvivalentom k OATS testom a je nutná korelácia dát. V prípade, že sú namerané dáta z plne bezodrazovej komory (FAR) porovnávané s výsledkami meraní z cely GTEM, korelácia dát nie je nutná a je možné namerané dáta porovnávať priamo. Tento fakt spolu s technickými parametrami cely (váha, rozmery) otvára možnosti využitia

GTEM cely pri návrhu a vývoji nových zariadení a súčiastok. Pracovisko nezaberie veľa miesta a finančná investícia spojená s jeho vybudovaním by mohla uľahčiť predcertifikačné merania EMC nových výrobkov uvádzaných na trh. [12][16]

4 KAMEROVÉ SYSTÉMY

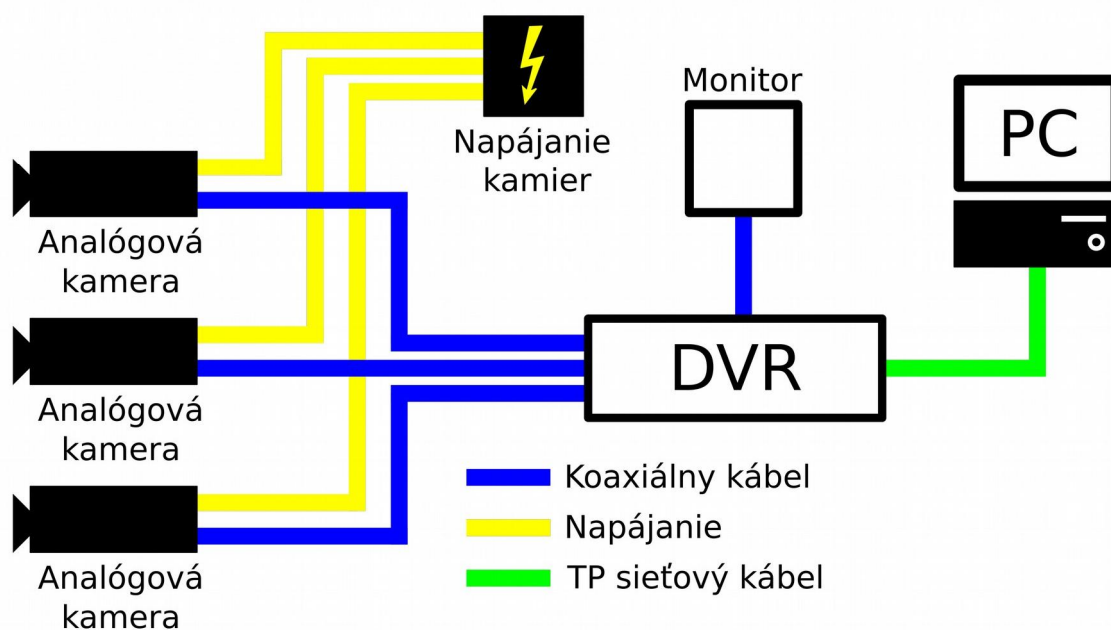
Kamery a kamerové systémy majú v rámci zabezpečovacej techniky dôležité miesto. Zo systémového hľadiska zaraďujeme kamerové systémy pod Poplachové zabezpečovacie a tiesňové systémy (PZTS), kde ich označujeme ako CCTV sledovacie systémy pre použitie v bezpečnostných aplikáciách. Skratka CCTV vznikla skrátením anglického výrazu Closed Circuit Television, čo v preklade označuje uzavretý kamerový televízny okruh a jedná sa o systém prepojenia kamier, monitorov pre sledovanie obrazu z kamier v reálnom čase, systém vzdialeného ovládania kamier pan/tilt/zoom (PTZ) a systém nahrávania a archivácie záznamov. Prvé CCTV vznikali použitím analógových kamier v priemyselných aplikáciách odkiaľ pochádzajú označenia CCTV ako „Systém priemyselnej televízie“ alebo „Systém priemyslových kamier“, s ktorými sa môžeme ešte aj dnes stretnúť. Obsahovali len základné vybavenie nutné na prevádzku systému – kamery, kabeľáž, nahrávacie zariadenie a monitor. S príchodom DVR (digitálny videorekordér) vznikla možnosť prehrávania a vyhodnocovania záznamov pomocou PC. Pokrok v oblasti IT a kamerovej technike umožnil vznik digitálnych kamier a sieťových IP kamier, ktoré prinášajú mnoho nových funkcií, zlepšenie rozlíšenia, snímkovej frekvencie a jednoduché prepojenie kamery s PC cez internú lokálnu Ethernetovú sieť, alebo dokonca cez celosvetovú sieť Internet.[18]

4.1 Typy kamerových systémov

V praxi sa stretávame s dvomi základnými typmi kamerových systémov – analógovým a digitálnym. Vzhľadom na lepšie technické parametre digitálnych kamier je používanie analógových kamerových systémov na ústupe. Avšak stále môžeme naraziť na systémy využívajúce práve analógové kamery alebo kombináciu oboch typov. [18]

Analógový kamerový systém

V analógovom kamerovom systéme, bezpečnostné kamery zachytávajú analógový signál, ktorý je prenášaný pomocou nesymetrického vedenia – koaxiálneho káblu na DVR. Každá analógová kamera je samostatne napájaná z elektrickej siete. DVR transformuje analógový signál do digitálnej formy, komprimuje ho a ukladá na pevný disk alebo externé úložisko. DVR umožňuje rôzne nastavenia kamerového systému ako plánované nahrávanie, detekcia pohybu, digitálny zoom. DVR umožňuje zobrazenie záznamu priamo na monitor, resp. televízor a taktiež zdieľanie nahrávaného obrazu na externé zariadenia – PC, tablety, mobilné telefóny. Zapojenie tohto systému je zobrazené na obr.12.[18]



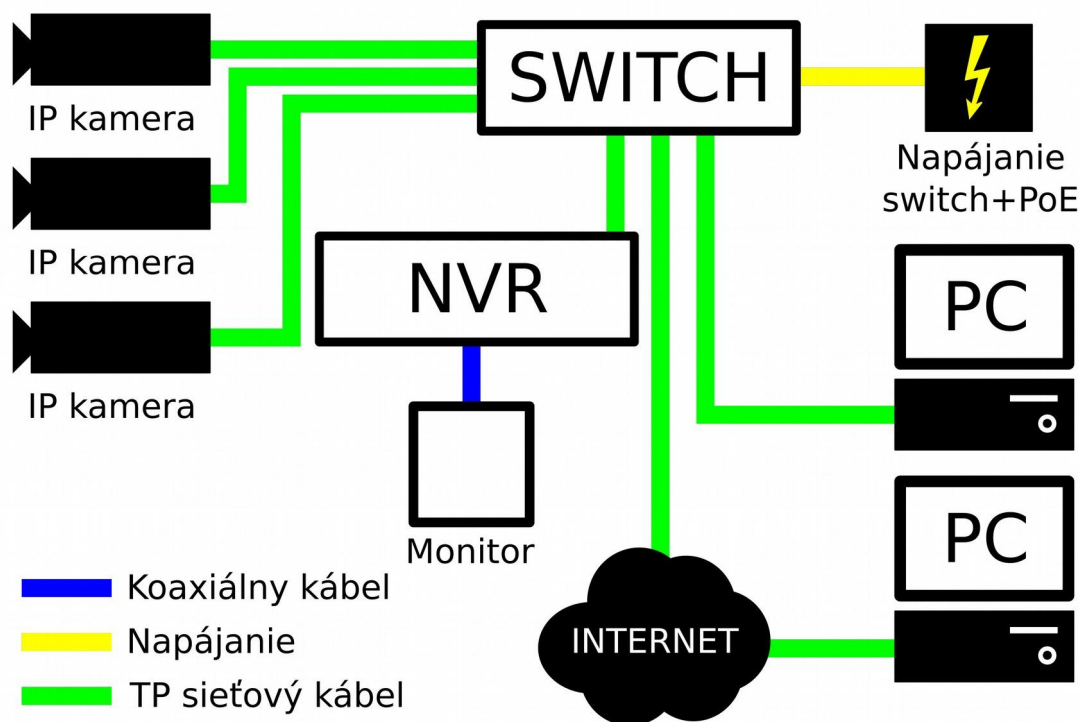
Obr. 12: Analógový kamerový systém

Digitálny kamerový systém

Na rozdiel od analógového kamerového systému, digitálny IP bezpečnostný kamerový systém zachytáva analógový obraz, avšak kamera ho ihneď prevádza na digitálny videosignál, ktorý je prenášaný cez miestnu LAN sieť s použitím sieťových UTP, STP alebo FTP káblov. Napájanie kamier je väčšinou riešené tým istým káblom, ktorý je určený aj na prenos dát, tento spôsob napájania označujeme ako Power Over Ethernet (PoE). Takéto kamery sa pripájajú do Sieťového videorekordéru (NVR), ktorý môže slúžiť aj ako zdroj el. energie pre PoE. NVR zastáva rovnakú funkciu ako DVR v analógových systémoch pričom poskytuje vyššiu kvalitu a rozlíšenie videa. Schému bežného zapojenia je možné vidieť na obr.13.[18]

Hybridný kamerový systém

Kamerové systémy nemusia byť výhradne analógové alebo digitálne. Digitálne sieťové videorekordéry umožňujú pripojenie oboch typov kamier čím poskytujú možnosti rozšírenia už nainštalovaného analógového kamerového systému o IP digitálne kamery. Týmto spôsobom je možné ušetriť náklady spojené s kompletným prerobením kamerového systému a zároveň eliminovať nevýhody používania len jedného typu kamier.[18]



Obr. 13: Digitálny kamerový systém

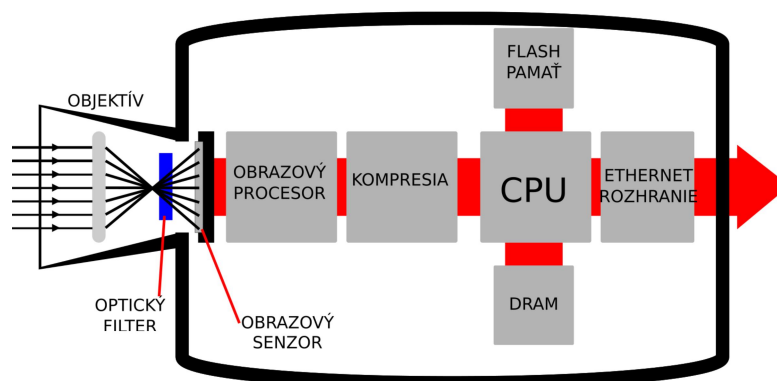
4.2 IP kamera

IP kamery, označované aj ako sieťové kamery, vzniknú spojením optiky, optického senzoru, procesoru a sieťového rozhrania do jedného zariadenia schopného zachytávať a vysielat' obraz po sieti využívajúc Internet Protokol (IP) čiže lokálnu sieť alebo Internet. Kamera má vlastnú IP adresu, môže obsahovať webový server, ftp server, klienta pre emailovú komunikáciu. Okrem sieťového ethernetového rozhrania môžu kamery obsahovať analógový výstup, audio výstup, konektor pre napájanie, ak nepodporujú PoE napájanie cez sieťový kábel a rozhranie pre pripojenie na ústredňu PZTS. Na rozdiel od bežných webových kamier, ktoré musia pre svoju činnosť byť pripojené k PC, IP kamery sú autonómne a fungujú nezávisle, preto je možné ich pripojiť a umiestniť kamkoľvek, kde je sieťová infraštruktúra.[19]

4.2.1 Bloková schéma IP kamery

Na blokovej schéme IP kamery (obr.14) vidíme základné časti, z ktorých sa kamera skladá. Obraz snímaný kamerou prechádza cez objektív. Pomocou clony sa redukuje množstvo svetla prechádzajúce objektívom a pomocou šošovky sa zaostruje snímaný obraz. Predtým ako sa obraz dostane na obrazový senzor prechádza cez optický filter, ktorý odstraňuje

infračervené svetlo a zabezpečuje kvalitnú farebnú saturáciu. Kamery, ktoré sú schopné nočného videnia využívajú odnímateľný optický filter a pomocou infračerveného nasvietenia scény dokážu nasnímať čiernobiely obraz cez noc. Obrazový senzor prevádza elektromagnetické vlny svetla na elektrický signál. Bežne používané sú dva druhy obrazových senzorov CCD (Charged Coupled Device) a CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Obrazový procesor musí byť schopný rýchlo spracovať snímaný obraz a prevádza ho z analógovej formy do digitálnej. Dochádza ku kompresii v spolupráci s kompresným čipom v snahe zachovať čo najlepší pomer kvality a objemu dát ktoré je nutné prenášať po sieti. V závislosti od výkonu obrazového procesoru môže byť kamera s vysokým rozlíšením schopná prenášať obraz rádovo v jednotkách snímok za sekundu až 30 snímok za sekundu. Riadiaca jednotka CPU ovláda celý proces spracovania obrazu a kameru ako celok. Flash pamäť slúži na uchovanie softvéru kamery a DRAM pamäť slúži na dočasné ukladanie obrazu pred jeho odoslaním cez sieťové ethernetové rozhranie.[20]



Obr. 14: Bloková schéma IP kamery[20]

4.2.2 Typy IP kamier

Za základné rozdelenie IP kamier môžeme vo všeobecnosti považovať rozdelenie na vonkajšie a vnútorné. Prvá kategória – vnútorné kamery – predstavujú skupinu pre inštaláciu do uzavretých priestorov, sú vyrábané so špecifikáciami pre prácu vo vykurovaných priestoroch, nie sú vystavované poveternostným podmienkam, ale aj napriek tomu musia byť odolné proti prachu, vlhkosti alebo vandalizmu, ak sa jedná o verejne prístupné priestory. Druhá kategória – kamery pre vonkajšie použitie – sú často vybavené automatickou clonou objektívu, ktorá reguluje množstvo svetla dopadajúceho na senzor. Vonkajšie kamery sú vystavované poveternostným podmienkam ako je dážď, teplotné výkyvy, vietor a napriek

tomu musia bezchybne pracovať. Sú umiestnené v ochrannom kryte alebo priamo skonštruované aby boli odolné proti týmto vplyvom a zároveň odolné aj proti vandalizmu. Kamery používané v rámci zabezpečenia ako súčasť CCTV pre sledovanie súkromných a verejných priestorov musia byť rozdelené podľa definovaných stupňov zabezpečenia a tried prostredia alebo spĺňať ich požiadavky, ak ich chceme použiť.[21]

Rozdelenie kamier podľa možnosti pohybu kamery:

- fixné kamery,
- PTZ kamery.

Rozdelenie kamier podľa typu konštrukcie:

- štandardné kamery,
- dome kamery,
- zabudované kamery.

Fixné kamery

Fixné sieťové kamery majú pevne stanovený uhol záberu, ktorý sa nastavuje pri inštalácii. Kamery je možné dostať v štandardnom prevedení ako aj v prevedení dome a sú vhodné pre inštaláciu do vonkajších aj vnútorných priestorov. Fixné dome kamery sú IP kamery inštalované do kupolovitého ochranného krytu, kamera je nastavená do ľubovoľného smeru a vzhľadom na design konštrukcie je ťažké rozpoznať, ktorým smerom je takáto kamera otočená. Kamery typu štandard bývajú inštalované tam, kde je výhodné, že ich môžeme vidieť. (obr.15, obr.16)[21]



Obr. 15: Štandardné prevedenie fixnej IP kamery[23]



Obr. 16: Fixná dome IP kamera[24]

PTZ kamery

Skratka PTZ – pan/tilt/zoom – vyjadruje schopnosť kamery otáčať sa, nakláňať sa a približovať snímaný obraz. U sieťových kamier, narozdiel od analógových kamier, je výhoda možnosti použitia sieťového káblu aj na odosielanie príkazov PTZ kamere, nie je potrebné použitie ďalších káblov na ich ovládanie. Pohyb kamery je základom pre ďalšie rozširujúce funkcie systému. Definovaním predvolených pozícií je možné jednoducho a rýchlo pohybovať kamerou a snímať požadovaný priestor. Pomocou funkcie auto-tracking je kamera schopná detektovať pohyb osoby alebo vozidla a v reálnom čase ho sledovať v oblasti, ktorú je schopná snímať. Medzi ďalšie funkcie patrí Elektronická stabilizácia obrazu, automatické otáčanie obrazu pri snímaní zo stropu alebo funkcia sledovania preddefinovaných pozícií v časových intervaloch. (obr.17)[21]

4.2.3 Výhody použitia IP kamier

IP kamery majú oproti analógovým mnoho výhod. Medzi hlavné výhody patrí možnosť sledovania snímaného obrazu kamery z ktoréhokoľvek miesta v sieti či priamo cez Internet bez nutnosti špeciálneho vybavenia. Pripojenie kamier pomocou sieťového káblu je veľmi výhodné, poskytuje možnosti využitia už vystavanej sieťovej infraštruktúry alebo lacné a spoľahlivé vybudovanie novej. [26]



Obr. 17: Vonkajšia PTZ kamera[25]

Prenášané dáta sú v digitálnej forme, preto rozsiahlosť systému nemá vplyv na kvalitu obrazu. Napájanie PoE ešte viac uľahčuje pripojenie a inštaláciu kamery. Ovládanie PTZ kamery je taktiež možné využitím toho istého rozhrania. Rozlíšenie a kvalita obrazu závisí na kvalite kamery, vo všeobecnosti dosahujú IP kamery vyššie rozlíšenie. Do kamier už dnes býva integrovaná vnútorná inteligencia, detekcia pohybu, možnosti video analýzy a ďalšie inteligentné funkcie čím sa znižujú nároky na výkon záznamového a vyhodnocovacieho vybavenia.[26]

4.3 Využitie kamier v zabezpečení

Kamery a kamerové systémy majú v zabezpečení rozsiahle využitie. Umožňujú vizuálnu kontrolu stráženého priestoru domácností, obchodov, firiem či bánk. Pomocou kamier môže byť vykonávaný vzdialený dohľad práce, výrobného procesu alebo v priestoroch kde je pohyb osôb obmedzený zo zdravotných či iných dôvodov. Monitorovanie vnútorných aj vonkajších priestorov a obraz v reálnom čase môže pomôcť zrýchliť reakciu na potenciálne nebezpečenstvo a znížiť tak škody na majetku. Kamerové systémy sú výborným doplnkom klasického zabezpečenia PZTS.

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

5 EMC MERANIA KAMEROVÝCH SYSTÉMOV

Praktická část bakalářské práce sa zaoberá vybranými meraniami elektromagnetickej kompatibility kamerových systémov. Zvoleným prvkom kamerového systému bola IP kamera firmy VIVOTEK FD6122D. Boli prevedené merania vyžarovania kamery použitím GTEM cely a prístrojového vybavenia meracieho pracoviska v priestoroch Vedeckotechnického parku pri Fakulte aplikovanej informatiky UTB ve Zlíně.

V druhom kroku bolo namerané vyžarovanie kamery v bezodrazovej komore za účelom porovnania nameraných dát a overenia možnosti použitia GTEM cely ako alternatívy pre merania EMI a EMS bežne uskutočňovaným v priestoroch bezodrazovej komory.

5.1 Prístrojové vybavenie

Pracovisko merania EMC s využitím GTEM cely (obr.18), ako bolo spomenuté vyššie sa nachádza v priestoroch Vedeckotechnického parku pri Fakulte aplikovanej informatiky UTB ve Zlíně. Základ prístrojového vybavenia tvorí GTEM cely *emc-gtem-250* firmy FRANKONIA. Pre merania elektromagnetickej odolnosti je bezprostredne nutná zostava zosilňovačov a systém prepínačov pre spínanie jednotlivých okruhov(obr.19).



Obr. 18: Pracovisko merania EMC s využitím GTEM cely

Ovládanie je zabezpečené softvérom *RF-LAB* nainštalovaným na PC. Pre merania EMI je využívaný *ESPI Test Receiver* od firmy Rohde&Schwarz pracujúci v režime spektrálneho analyzátoru alebo v režime prijímača.



Obr. 19: Zostava zosilňovačov a systém prepínačov pre spínanie jednotlivých okruhov

GTEM cela FRANKONIA emc-gtem-250

GTEM cela emc-gtem-250 (obr.20) je najmenšia z ponúkaných GTEM skúšobných komôr firmy FRANKONIA. Rozmery dvierok 30x23 cm a výška septa 250mm umožňujú maximálnu veľkosť testovaného zariadenia alebo súčiastky o dĺžke 20 cm, šírke 20 cm a výške 15cm. Štandardný rozsah frekvencií GTEM cely je 10 kHz až 6 GHz s možnosťou rozšírenia až do 18 GHz. Cela sa pripája pomocou koaxiálneho RF konektoru typu N. Nominálny odpor 50 Ω . Maximálny vstupný výkon pre kontinuálne 500 W a pulzne 1 kW. Pre napájanie testovaných zariadení je možné použiť montovaný tienový AC zdroj do max. 10 A. Dátové káble, nekompatibilné napájacie káble či iné druhy káblového prepojenia je možné viesť cez penetračný panel.[28]



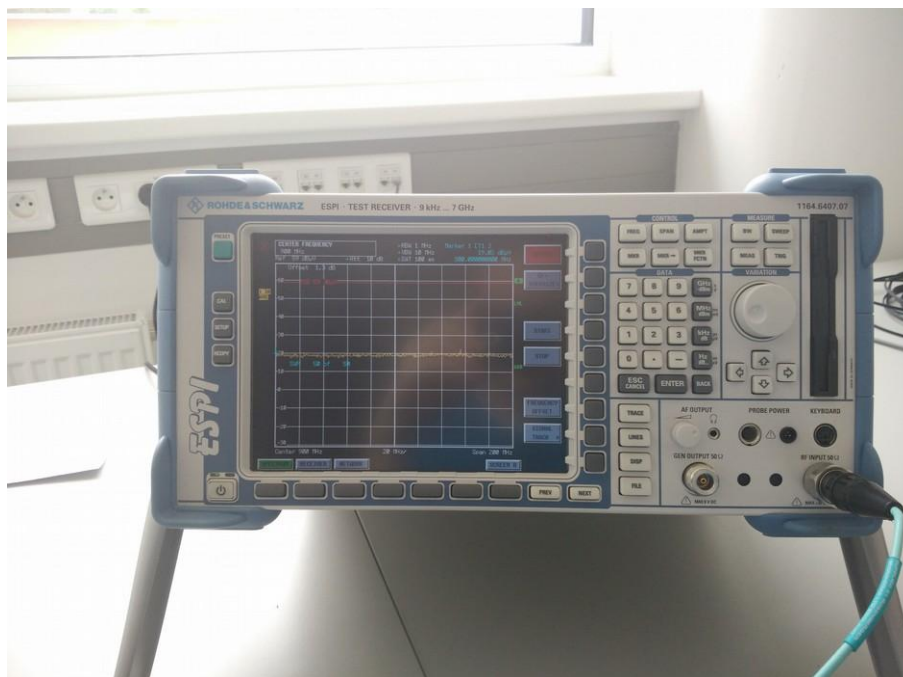
Obr. 20: GTEM cela FRANKONIA emc-gtem-250

R&S®ESPI7 Test Receiver

ESPI prijímače od firmy Rohde&Schwarz (obr.21) sú navrhnuté presne pre merania EMC v rámci vývoja nových produktov alebo počas certifikácie produktov smerujúcich na trh. Frekvenčný rozsah prístroja používaného pri meraniach je 9 kHz až 7 GHz čo pre naše požiadavky postačuje. ESPI je špecifickou kombináciou receiveru (prijímača) a kvalitného spektrálneho analyzátoru. Knihovňa uložených komerčných normovaných medzí vyžarovania uľahčuje meranie. Možnosť prepojenia ESPI s PC pomocou LAN alebo ukladanie nameraných dát na externé USB zariadenie umožňuje jednoduchý prenos dát pre ďalšiu analýzu.[29]

IP kamera VIVOTEK FD6122V

Sieťová kamera VIVOTEK FD6122V je fixná kamera pre vnútorné použitie typu konštrukcie dome čo znamená, že po nastavení uhla snímania pri inštalácii kamery nie je možné hýbať objektívom. Kamera podporuje dátový prenos po sieti Ethernet použitím sieťového káblu UTP/FTP/STP, ale keďže sa jedná o starší typ kamery, napájanie po sieti PoE nie je u tohto typu podporované. Napájanie je zabezpečené adaptérom z rozvodovej siete 220V, ktorý transformuje napätie na požadovaných 12 V a 1,5 A pre správne fungovanie kamery. Kamera je vybavená 1/3" CCD snímacím čipom, ktorý poskytuje rozlíšenie 704x576 bodov



Obr. 21: ESPI přijímače od firmy Rohde&Schwarz

pri 15 snímkov za sekundu alebo až 25 snímkov za sekundu pri najnižšom rozlíšení 176x144 bodov. Podporovaná je obojsmerná zvuková komunikácia a video analógový výstup. Kamera je odolná proti vandalom, a vybavená tamper kontaktom proti neoprávnenej manipulácii. Pri vypustení zariadenia na trh splnila EMC certifikáciu CE zariadenia typu B v EU normách EN 55022/1998 pre vyžarovanie rádiových emisií a požiadavky odolnosti podľa vtedajšej normy EN 50082-1/1992. Tieto normy boli odvtedy zrevidované a nahradené novými verziami, prvá menovaná normou ČSN EN 55022 ED. 3 Zařízení informační techniky – Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení – Meze a metody měření a druhá norma EN 50082-1/1992 bola nahradená normou ČSN EN 61000-4-3 ed. 3 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-3: Zkušební a měřicí technika - Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti.[22]

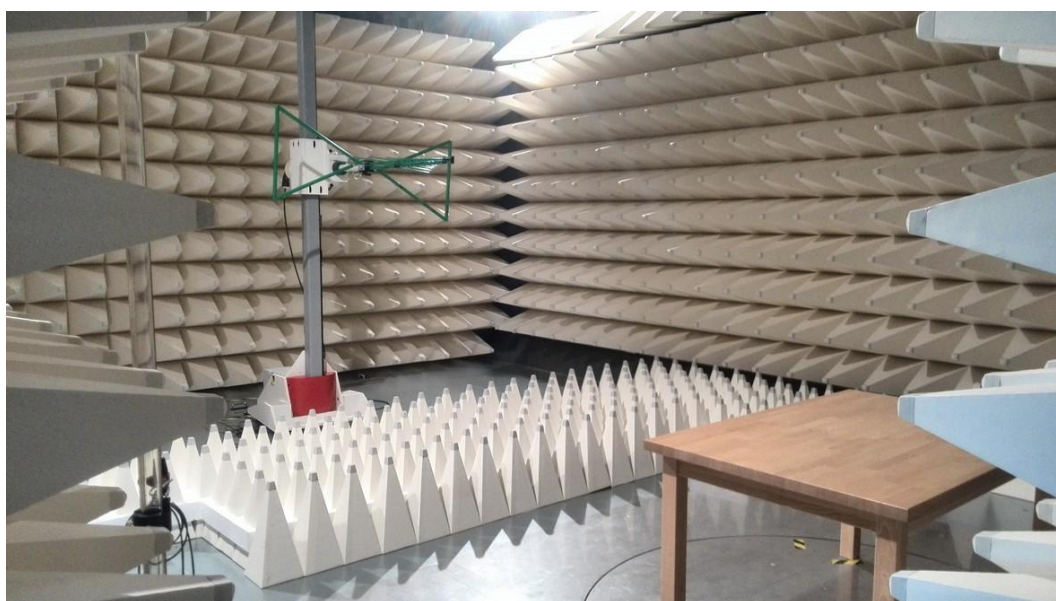
Bezodrazová komora

Tienená bezodrazová komora bola vybudovaná firmou FRANKONIA v areáli Vedec-kotechnického parku pre testovanie EMC. Konkrétne sa jedná o polo bezodrazovú komoru SAC-3 Plus S (obr.23). Meracia vzdialenosť je nastavená na 3 metre a umožňuje merania vo frekvenčnom pásme 26 MHz až 18 GHz. Rozmery komory sú približne 8,5m x 6,5m x 6m.



Obr. 22: VIVOTEK FD6122V IP kamera

Strop má kupolovitý tvar a spolu so stenami komory je kompletne obložený absorbérmi. Pre káblové prepojenie zariadení sú k dispozícii dva penetračné panely v štandardnej výbave. Meraciu anténu je možné umiestniť na otočný anténový stožiar s nastaviteľnou výškou od 0 až do 4 metre. Merané zariadenie je taktiež možné na ovládateľnom otočnom priestore rotovať.



Obr. 23: Bezodrazová komora Vedeckotechnického parku



*Obr. 24: Ovládacie PC a zosilňovače
pre bezodrazovú komoru*

5.2 Postup merania

Ako prvé bolo namerané vyžarovanie IP kamery pomocou GTEM skúšobnej komory. Postup merania je zhrnutý do nasledovných bodov.

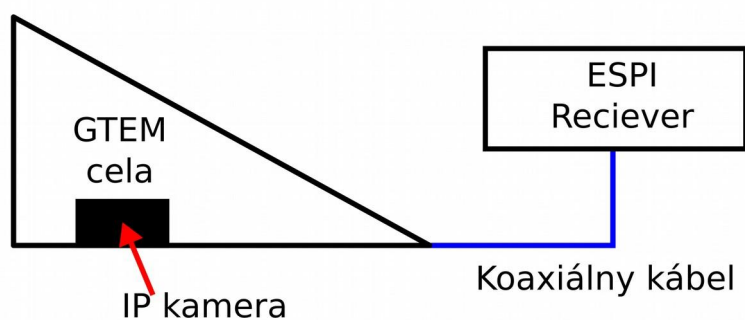
1. Návrh zapojenia meracej zostavy, vytvorenie schémy zapojenia pre meranie vyžarovania testovaného zariadenia v GTEM cele.
2. Prepojenie meracích prístrojov podľa schémy zapojenia (obr.25).
3. Zvolenie frekvenčného rozsahu a ďalších parametrov merania.(tab.4)
4. Skúšobné meranie pre overenie správneho zapojenia a funkčnosti meracích prístrojov.
5. Meranie úrovne vyžarovania v prázdnej uzatvorenej GTEM cele – pozadie. (obr.27).
6. Zapojenie a overenie funkčnosti IP kamery.
7. Meranie úrovne vyžarovania - pozadie po zavedení napájacieho a UTP sieťového káblu kamery v GTEM cele. (obr.28)
8. Meranie úrovne vyžarovania zapnutej IP kamery bez prepojenia kamery s PC sieťovým káblom. (obr.29)

9. Meranie úrovne vyžarovania zapnutej IP kamery s dátovým prenosom po UTP sieťovom kábli do PC. (obr.30)

Merania v bezodrazovej komore prebiehali podobne ako meranie v GTEM cele. Keďže bezodrazová komora je bežne vo Vedeckotechnickom parku používaná, nebolo nutné navrhovať a zapájať novú zostavu. V prvom kroku bolo zmerané pozadie v rôznych polarizáciách a výškach antény. V druhom kroku bola zapojená IP kamera a zmeraná úroveň vyžarovania na zvolenej výške antény. V treťom kroku bolo pripravené meranie celého kamerového systému s kamerou a notebookom prepojenými sieťovým káblom. Meranie nebolo úspešné kvôli technickej poruche na kamere. Namerané dáta sú uvedené v ďalšej kapitole.

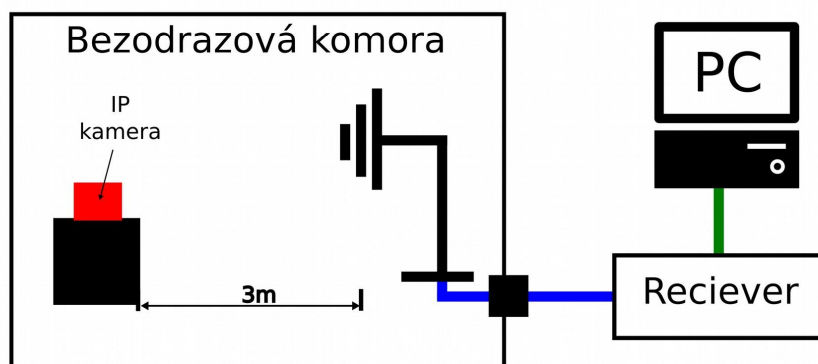
5.3 Schémy zapojenia meracej aparatury

Schéma zapojenia meracej aparatury pre meranie rušenia (vyžarovania) IP kamery pomocou GTEM cely je veľmi jednoduchá a jej grafické znázornenie je možné vidieť na obr.25. Testované zariadenie bolo umiestnené do GTEM cely. Skúšobná komora je prepojená pomocou mikro-koaxiálneho káblu s ESPI prijímačom. Namerané dáta bolo možné pozorovať počas merania na displeji prijímača a pomocou funkcie exportu dát na USB zariadenie boli dáta prenesené do PC.



Obr. 25: Schéma zapojenia meracích prístrojov

Pri meraniach vyžarovania IP kamery v bezodrazovej komore boli prístroje zapojené na základe schémy (obr.26). Meranie bolo ovládané pomocou PC a dáta boli spracované softvérom EMC32.



Obr. 26: Schéma zapojenia prístrojov v bezodrazovej komore

5.4 Namerané dáta

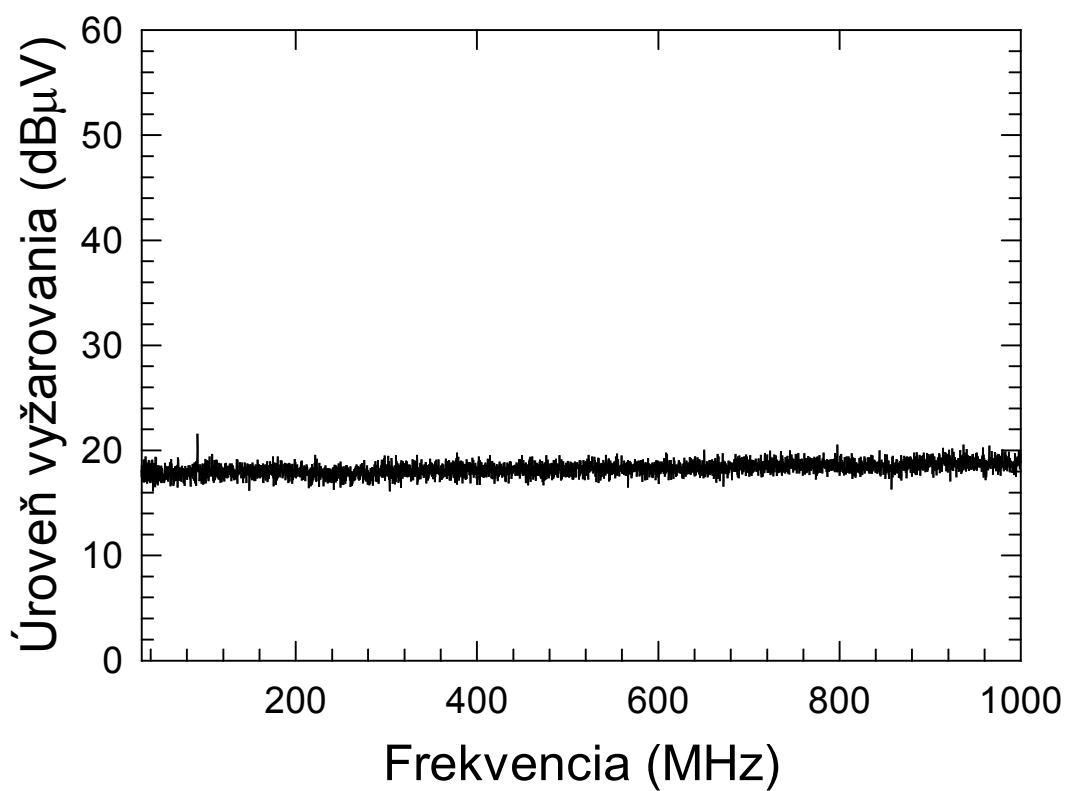
Namerané dáta na pracovisku s GTEM celou a s využitím prístrojovej techniky spomínanej vyššie sú uvedené v tejto kapitole spolu s parametrami meraní.

Pokiaľ nie je uvedené inak, všetky merania boli zhotovené pri nasledujúcich parametroch nastavených na ESPI prijímači v režime spektrálneho analyzátoru.

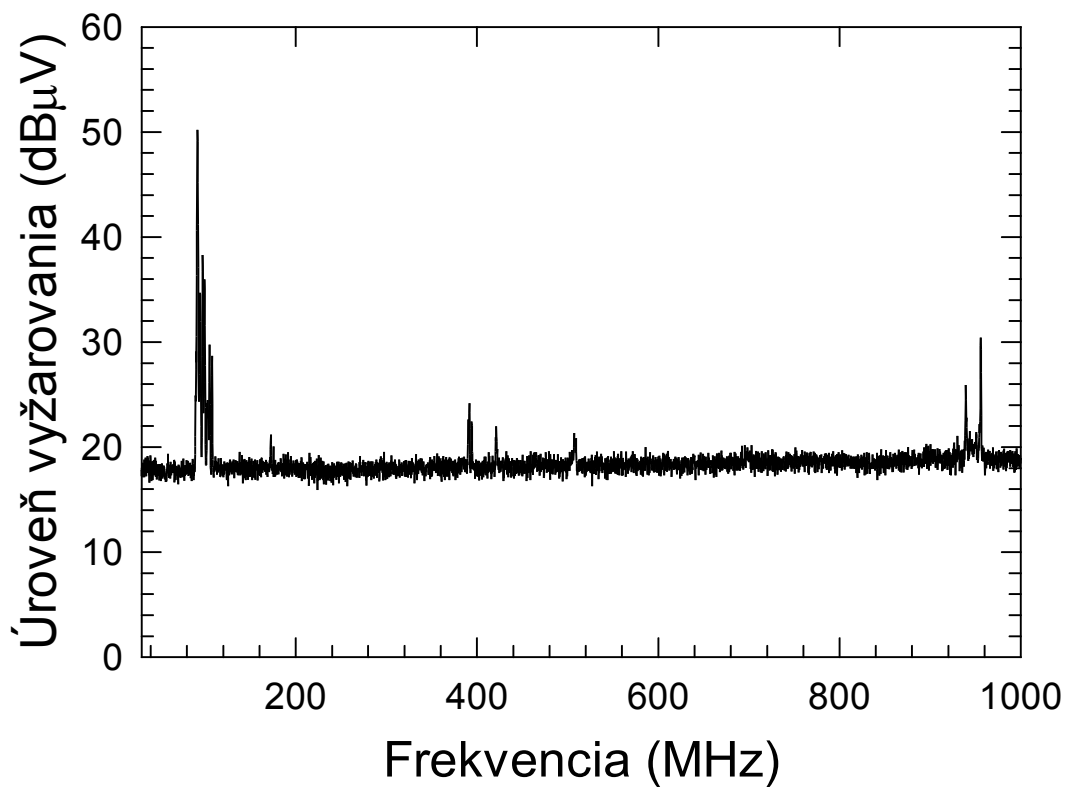
Tab. 4: Zvolené parametre merania

| Parameter | Nastavenie |
|----------------------|---------------|
| Frekvenčný rozsah | 30 MHz – 1GHz |
| Sweep time | 100 ms |
| Sweep count | 100 |
| RF Attenuation | 10 dB |
| Resolution bandwidth | 1 MHz |
| Video bandwidth | 10 MHz |

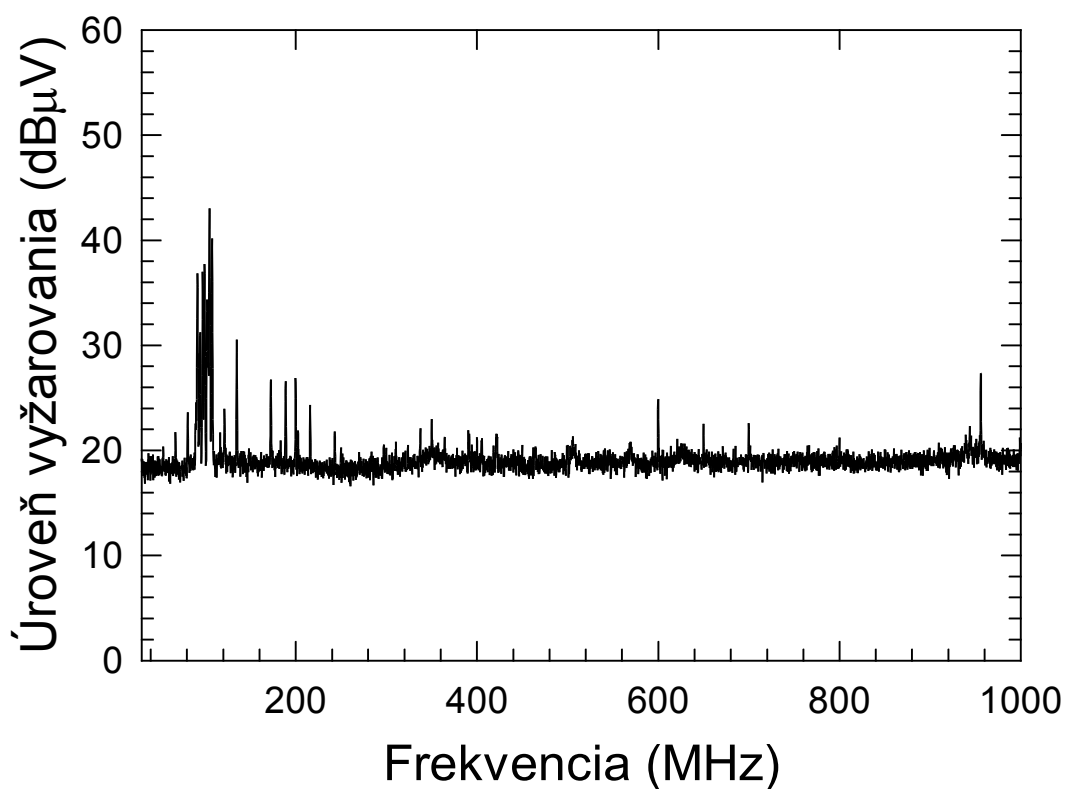
Namerané dáta boli spracované v programe SigmaPlot 12.



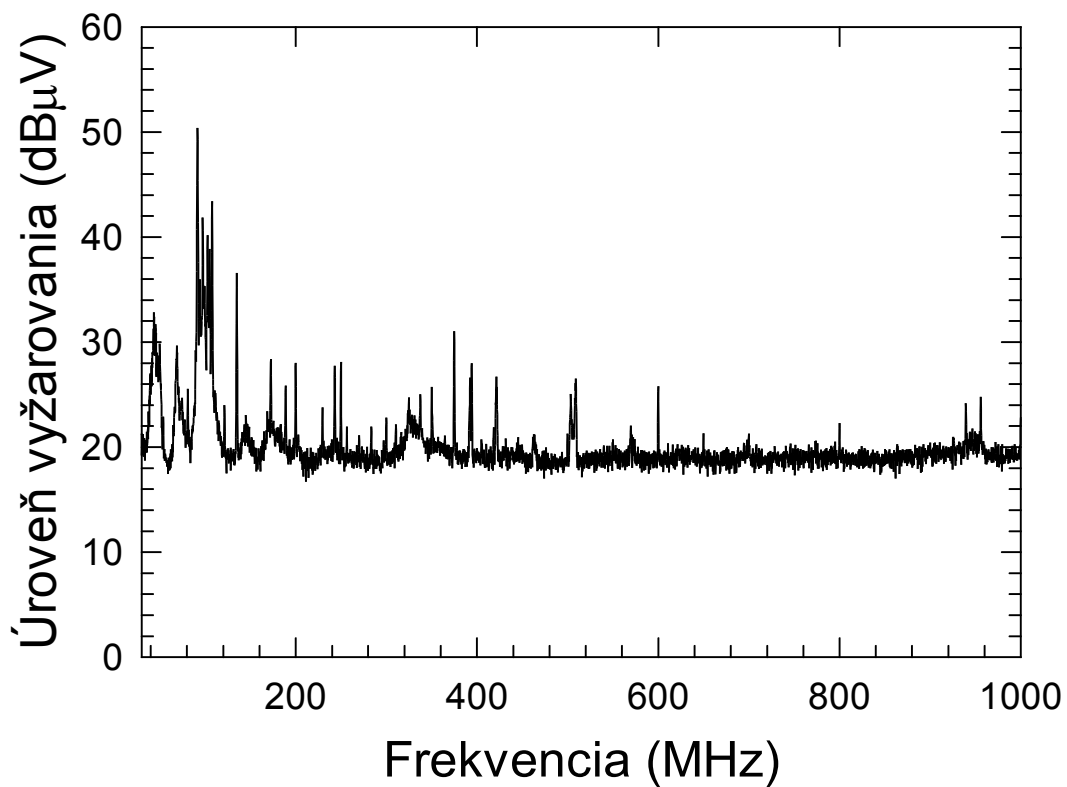
Obr. 27: GTEM cela - meranie pozadia



Obr. 28: GTEM cela - meranie pozadia + nepájanie + LAN



Obr. 29: GTEM cela - meranie vyžarovania kamery + napájanie

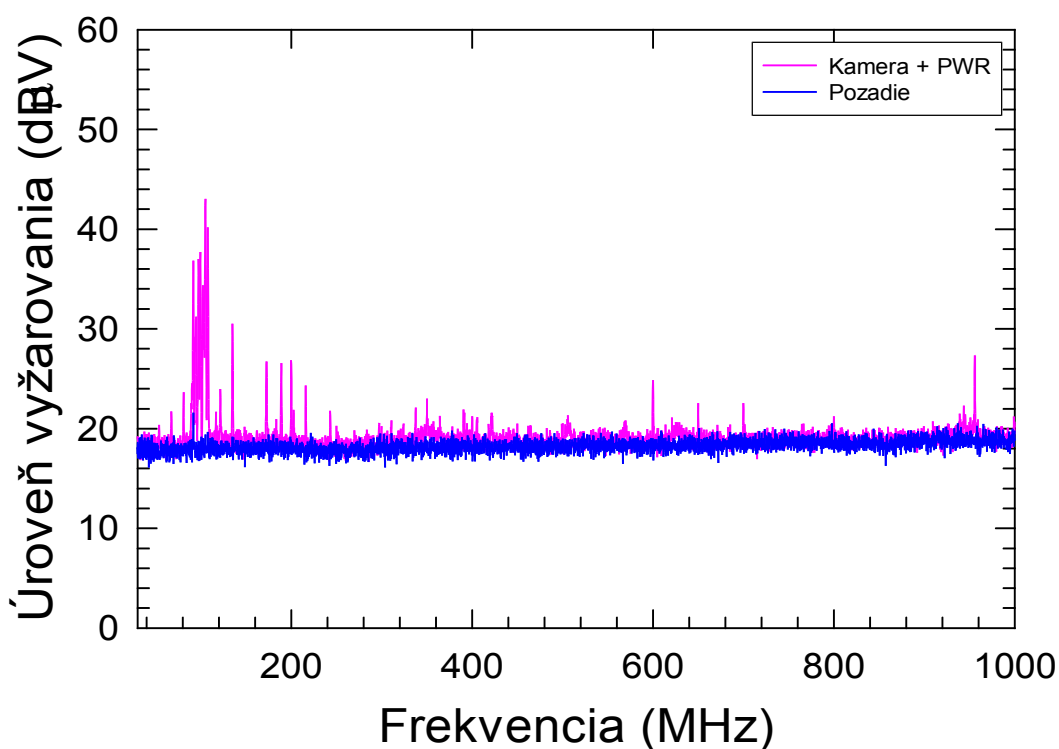


Obr. 30: GTEM cela - meranie vyžarovania kamery + napájanie + LAN

5.5 Vyhodnotenie výsledkov a diskusia

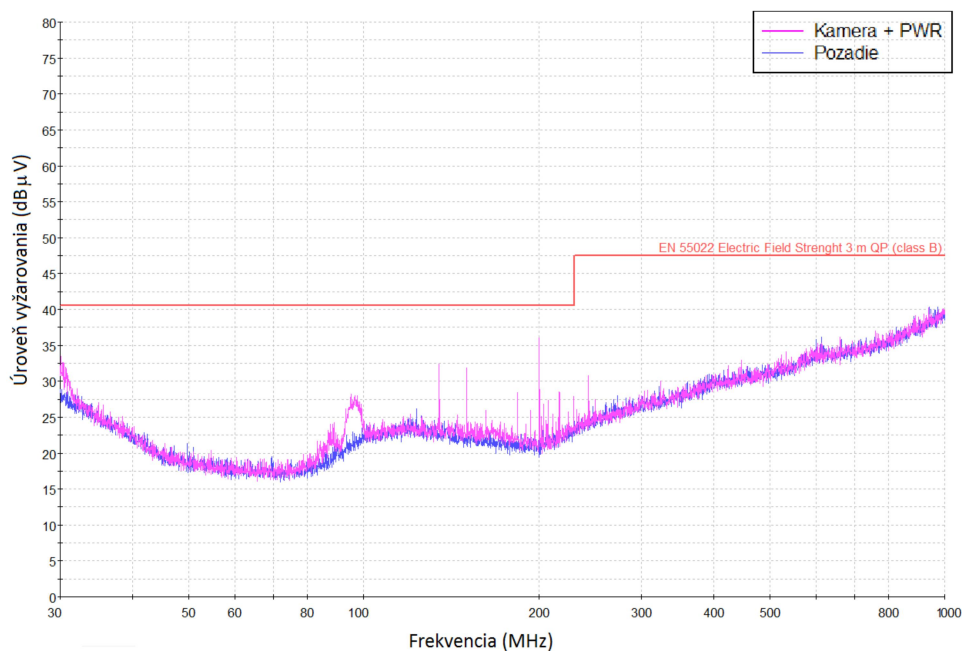
Z nameraných dát je jasné, že GTEM cela samotná vykazuje veľmi dobré tieniace vlastnosti, čo sa premieta do úrovne šumu pozadia zaznamenanom na obr.27. Kamera bola pripojená na napájanie mimo GTEM cely a dátový prenos bol uskutočnený pomocou UTP sieťového káblu. Takýmto zapojením sa do sústavy dostali frekvenčné pásma rádiových a GSM mobilných signálov, pretože tieto netienené káble, zapojené cez penetračný panel, sa stávajú druhotnými anténami. Sústava je natoľko citlivá, aby tieto frekvenčné pásma zaznamenala v podobe píkov v oblasti rádiového FM pásma 87-108 MHz. Taktiež sú viditeľné píky v oblasti GSM mobilného pásma 890-960 MHz. Ďalej sa objavujú píky v oblastiach okolo 400 MHz a 500 MHz, ktoré môžu byť spôsobené rôznou rádiovou komunikáciou, analógovou televíziou a inými vplyvmi (obr.28).

Zapojením kamery do meracej zostavy sa do systému dostávajú nové zdroje rušivých signálov (obr.29). V porovnaní s meraniami bez kamery získame obraz o elektromagnetickom vyžarovaní samotnej kamery. Privedením dátového kábla a prenosom dát sa výsledná úroveň elektromagnetického vyžarovania výrazne zvýši čo môže byť spôsobené technológiou prenosu dát cez sieťový kábel a zároveň aktivitou vnútorných integrovaných obvodov Ethernetového rozhrania v IP kamere (obr.30).



Obr. 31: Porovnanie meraní pozadia GTEM cely s nameraným vyžarovaním kamery

Na obrázku obr.31 je priame porovnanie nameraného pozadia GTEM cely s nameraným vyžarovaním IP kamery. Tento graf bol zvolený za účelom ilustračného porovnania nameraných dát pomocou GTEM cely s meraniami vyžarovania v bezodrazovej komore zobrazenými na obr.32.



Obr. 32: Porovnanie pozadia bezodrazovej komory s vyžarovaním kamery

Ako môžeme sledovať z uvedených obrázkov, merania v GTEM cele a bezodrazovej komore sú navzájom v princípe podobné. Pri dôkladnom prezretí môžeme sledovať jednotlivé píky v rovnakých frekvenčných pásmach. Rozdiely môžeme pozorovať hlavne v oblasti frekvencií GSM mobilných sietí, kde na rozdiel od GTEM cely sa v bezodrazovej komore nevyskytujú. V prípade bezodrazovej komory je celý systém s napájaním umiestnený vnútri tienených priestorov komory.

ZÁVER

V tejto práci boli študované základné princípy EMC, konštrukcie a využitia GTEM cely a kategorizácia kamerových systémov. Problematika EMC sa rozmachom výpočtovej techniky a s rastúcim počtom interferenčných zdrojov dostáva do pozornosti nielen odborníkov ale aj verejnosti. Všetky výrobky, ktorých cieľový trh je Európska únia, podliehajú testovaniu elektromagnetickej interferencie a susceptibility v súlade s technickými normami a nariadeniami za účelom získania certifikácie CE, ktoré je podmienkou pre predaj elektrických a elektronických zariadení. Zabezpečovacia technika PKB nie je výnimkou, a taktiež podlieha testovaniu. GTEM cela je jednou z možností skúšania elektromagnetickej kompatibility zariadení, súčiastok a systémov ako je popísané v teoretickej časti tejto práce.

Poznatky získané pri vypracovaní literárnej rešerše slúžili k návrhu a realizácii samotného merania kamerového systému v GTEM cele. Pre meranie bola zvolená IP kamera VIVOTEK FD6122V a GTEM cela FRANKONIA emc-gtem-250 dostupná vo Vedeckotechnickom parku pri FAI UTB.

Z nameraných dát vyplýva, že GTEM cela sa javí ako vhodná alternatíva pre merania EMC v bezodrazovej komore vo fáze vývoja. GTEM cela vyniká kompaktnými rozmermi a v neposlednom rade cenou v porovnaní s nákladnou konštrukciou bezodrazovej komory. Fakt, že dáta namerané na GTEM cele sú priamo porovnateľné s dátami z bezodrazovej komory, je pozitívnym zistením a GTEM celu je možné využívať pri meraniach zariadení menších rozmerov, ako sú aj kamerové systémy. Jednou zo zjavných nevýhod je obmedzenie veľkosti testovaného zariadenia, súčiastky alebo systému.

Možné pokračovanie odbornej činnosti v tejto oblasti sa črtá v snahe čo najviac sa priblížiť meraniam podľa platných technických noriem a taktiež rozšíriť experiment o merania odolnosti elektrických a elektronických zariadení.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 2001, ii, 156 s. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 80-214-1873-7.
- [2] DŘÍNOVSKÝ, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: přednášky*. Vyd. 1. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2010, 229 s. ISBN 978-80-214-4202-3.
- [3] ČSN IEC 50(161). *Mezinárodní elektrotechnický slovník: kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 52s
- [4] SENGUPTA, Dipak L a Valdis V LIEPA. *Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006, xxii, 486 p. ISBN 9780471165491.
- [5] DOLNÍK, Bystrík. *Elektromagnetická kompatibilita: základy, teória, principy*. 1. vyd. Košice: Elfa, 2013, xxix, 206 s. ISBN 978-80-8086-221-3.
- [6] PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2006, xxi, 983 p. ISBN 9780471755005.
- [7] KORYŤÁK, Zdeněk. *Testování odolnosti elektrického zařízení vůči impulzu elektromagnetického pole*. Zlín, 2014. Diplomová práce, UTB Zlín.
- [8] NAGY, Michal. *Zodolnění konstrukce bezpečnostních kamer proti elektromagnetickému rušení*. Zlín, 2013. Diplomová práce, UTB Zlín.
- [9] VACULÍK, Emil a Polina VACULÍKOVÁ. *Elektronická kompatibilita elektrotechnických systémů*. 1. vyd. Praha: Grada, 1998, 487 s. ISBN 80-7169-568-8.
- [10] KEISER, Bernhard. *Principles of electromagnetic compatibility*. 3rd ed. Norwood, MA: Artech House, 1987, xv, 383 p. ISBN 0890062064.
- [11] HABIGER, Ernst. *Elektromagnetische Verträglichkeit: Störbeeinflussungen in Automatisierungsgeräten und -anlagen*. 2. Aufl. Berlin: Verlag Technik, 1988. ISBN 9783341006207.
- [12] NOTHOFER, A., BOZEC D., McCORMACK L. and ALEXANDER M. *Measurement Good Practice Guide - The Use of GTEM Cells for EMC Measurements*, GPG (65), National Physical Laboratory, July 2003. ISSN 1368-6550.

- [13] EMC HIRE Company website, EMCO 5102 TEM CELL, dostupné na <<http://www.emchire.co.uk/products/product-code/320>>.
- [14] ICHELN, Clemens. *The construction and application of a GTEM cell*. Helsinki, 1995. Master's Thesis. Technical University of Hamburg-Harburg, Helsinki University of Technology. Dostupné také z: <http://www.mikrocontroller.net/attachment/89388/dip_icheln.pdf>.
- [15] ČSN EN 61000-4-20 ED.2 (333432) Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-20: Zkušební a měřicí technika - Zkoušky emise a odolnosti ve vlnovodech s příčným elektromagnetickým polem (TEM). Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [16] ČSN EN 55022 ED. 3 (334290) Zařízení informační techniky – Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení – Meze a metody měření. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [17] ČSN EN 61000-4-3 ed. 3 (333432) Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-3: Zkušební a měřicí technika - Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti. Praha: Český normalizační institut, 2006, 51 s.
- [18] CompSol.sk The Comprehensive Solutions, *Porovnanie Analógových a Digitálnych kamerových systémov*, dostupné na <<http://www.compsol.sk/porovnanie-analogovych-a-digitalnych-kamerovych-systemov/>>.
- [19] NetRex, Inteligentní dohledové systémy, *Co je IP kamera*, dostupné na <<http://www.netrex.cz/cz/podpora/kamerovy-system/ip-kamery/co-je-ip-kamera/>>.
- [20] Viacam Security, Computer room and telecom tower remote site monitoring, *IP Camera Architecture*, dostupné na <<https://viacamsecurity.wordpress.com/2011/07/19/ip-camera-architecture/>>.
- [21] NetRex, Inteligentní dohledové systémy, *Typy IP kamer*, dostupné na <<http://www.netrex.cz/cz/podpora/kamerovy-system/ip-kamery/typy-ip-kamer/>>.
- [22] VIVOTEK, Výrobca a dodávateľ kamerových systémov, dostupné na <<http://www.vivotek.com/>>.

- [23] ESCAD Trade, *P8155HP 1.3MPX IP-kamera*, dostupné na <<http://www.escadtrade.cz/ip8155hp-1-3mpx-ip-kamera-50fps-wdr-pro-ii-smart-focus-variobjektiv-poe.html>>.
- [24] ESCAD Trade, *FD8136W-F3 megapixelová ultra-minidome IP-kamera*, dostupné na <<http://www.escadtrade.cz/fd8136-f3-megapixelova-ultra-minidome-ip-kamera-s-objektivem-f-3-6mm.html>>.
- [25] ESCAD Trade, *AXIS Q6045 E venkovní full HDTV kamera*, dostupné na <<http://www.escadtrade.cz/axis-q6045-e-venkovni-full-hdtv-ptz-day-night-ip-kamera-h-264-zoom-20x-wdr-hpoe-sd-sdhc.html>>.
- [26] VERITY COMPUTER, *Porovnanie IP kamery s analógom*, dostupné na <<http://www.verity.sk/ip-kamerove-systemy/porovnanie-ip-kamery-s-analogom.html>>.
- [27] *Anechoic chamber, EMC, test system, Emission measuring, Fully-anechoic, IEC/EN 61000-4-3, 61000-4-6* [online]. FRANKONIA, © 2012 [cit. 2015-01-6]. Dostupné z: <<http://www.frankoniagroup.com/cms/en/>>.
- [28] FRANKONIA GROUP, *EMC Test Equipment*, dostupné na <<http://www.frankoniagroup.com/cms/>>.
- [29] RHODE&SCHWARZ, *EMC&Field Strength Solutions*, dostupné na <http://www.rohde-schwarz.com/en/home_48230.html>.

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

| | |
|----------|--|
| A | Absorpčný útlm |
| A | Ampér |
| AC | Alternating current |
| AM | Amplitude Modulation |
| CCD | Charged Coupled Device |
| CCTV | Closed Circuit Television |
| cm | Centimeter |
| CMOS | Complementary Metal Oxide Semiconductor |
| CPU | Central Processing Unit |
| δ | Hĺbka vniknutia elektromagnetického poľa do kovového materiálu |
| dB | Decibel |
| DRAM | Dynamic Random Access Memory |
| DVR | Digitálny videorekordér |
| E_i | Intenzita elektrického poľa dopadajúceho na tieniacu prepážku |
| E_t | Intenzita elektrického poľa |
| EMC | Elektromagnetická kompatibilita |
| EMI | Elektromagnetická interferencia |
| EMS | Elektromagnetická susceptibilita |
| FTP | Foiled twisted pair |
| GHz | GigaHertz |
| GSM | Global System for Mobile |
| GTEM | Gigahertz Transverse Electromagnetic |
| H_i | Intenzita magnetického poľa dopadajúceho na tieniacu prepážku |
| H_t | Intenzita magnetického poľa |
| Hz | Hertz |
| IP | Internet protocol |
| kHz | KiloHertz |
| kV/m | KiloVolt/meter |
| K_s | Koeficient tienenia |
| kW | Kilowatt |
| LAN | Local Area Network |
| LC | Druh elektrického obvodu s použitím induktoru a kapacitoru |
| M | Útlm vplyvom mnohonásobného odrazu |
| MHz | MegaHertz |

| | |
|----------|--|
| mm | Milimeter |
| NVR | Sieťový videorekordér |
| Ω | Ohm |
| P_f | Hustota vyžiareného výkonu |
| PC | Personal computer |
| PoE | Power over Ethernet |
| PTZ | Pan/tilt/zoom |
| PZTS | Poplachové zabezpečovacie a tiesňové systémy |
| R | Útlm odrazom |
| R_1 | Útlm odrazom vlny na rozhraní vzduch – kov |
| R_2 | Útlm odrazom vlny na rozhraní kov – vzduch |
| RF | Radio Frequency |
| SE | Shielding Effectivness |
| STP | Shielded twisted pair |
| TEM | Transverse Electromagnetic |
| TV | Television |
| USB | Universal Serial Bus |
| UTP | Unshielded twisted pair |
| V | Volt |
| V/m | Volt/meter |
| W | Watt |
| Wi-Fi | Wireless Fidelity |
| ZG | Budiaci generátor |
| Z_0 | Impedancia vzduchu |
| Z_M | Impedancia kovu |

ZOZNAM OBRÁZKOV

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Definícia úrovní a medzí vyžarovania a odolnosti..... | 12 |
| Obr. 2: Základné členenie EMC..... | 13 |
| Obr. 3: Základný reťazec EMC..... | 14 |
| Obr. 4: Klasifikácia interferenčných signálov..... | 15 |
| Obr. 5: Kolmý dopad rovinnnej elektromagnetickej vlny na kovovú tieniacu prepážku[6]. | 19 |
| Obr. 6: Mnohonásobné odrazy na vstupe a výstupe tieniacej kovovej prepážky[6]..... | 22 |
| Obr. 7: Pôdorysný (a) a bočný (b) pohľad na stanovište pre meranie na voľnom priestranstve[1]..... | 26 |
| Obr. 8: TEM cela - tzv. Crawfordova komora[13]..... | 29 |
| Obr. 9: Konštrukcia GTEM cely a) bočný rez b) priečny rez[1]..... | 30 |
| Obr. 10: Absorpčné ihlany A vo vnútri GTEM cely..... | 31 |
| Obr. 11: Rez GTEM celou[1]..... | 31 |
| Obr. 12: Analógový kamerový systém..... | 36 |
| Obr. 13: Digitálny kamerový systém..... | 37 |
| Obr. 14: Bloková schéma IP kamery[20]..... | 38 |
| Obr. 15: Štandardné prevedenie fixnej IP kamery[23]..... | 39 |
| Obr. 16: Fixná dome IP kamera[24]..... | 40 |
| Obr. 17: Vonkajšia PTZ kamera[25]..... | 41 |
| Obr. 18: Pracovisko merania EMC s využitím GTEM cely..... | 43 |
| Obr. 19: Zostava zosilňovačov a systém prepínačov pre spínanie jednotlivých okruhov... | 44 |
| Obr. 20: GTEM cela FRANKONIA emc-gtem-250..... | 45 |
| Obr. 21: ESPI prijímače od firmy Rohde&Schwarz..... | 46 |
| Obr. 22: VIVOTEK FD6122V IP kamera..... | 47 |
| Obr. 23: Bezodrazová komora Vedeckotechnického parku..... | 47 |
| Obr. 24: Ovládacie PC a zosilňovače pre bezodrazovú komoru..... | 48 |
| Obr. 25: Schéma zapojenia meracích prístrojov..... | 49 |
| Obr. 26: Schéma zapojenia prístrojov v bezodrazovej komore..... | 50 |
| Obr. 27: GTEM cela - meranie pozadia..... | 51 |
| Obr. 28: GTEM cela - meranie pozadia + nepájanie + LAN..... | 51 |
| Obr. 29: GTEM cela - meranie vyžarovania kamery + napájanie..... | 52 |
| Obr. 30: GTEM cela - meranie vyžarovania kamery + napájanie + LAN..... | 52 |
| Obr. 31: Porovnanie meraní pozadia GTEM cely s nameraným vyžarovaním kamery..... | 53 |

Obr. 32: Porovnanie pozadia bezodrazovej komory s vyžarovaním kamery.....54

ZOZNAM TABULIEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Hodnotenie elektromagnetického tienenia podľa orientačných hodnôt SE..... | 21 |
| Tab. 2: Prehľad meracích antén pre EMC[1]..... | 25 |
| Tab. 3: Prehľad komerčne dostupných GTEM cel podľa výrobcov..... | 33 |
| Tab. 4: Zvolené parametre merania..... | 50 |