

GTEM cela pro testování elektromagnetické odolnosti elektronických systémů

Bc. Jiří Hromada

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Hromada**
Osobní číslo: **A15299**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **GTEM cely pro testování elektromagnetické odolnosti elektronických systémů**

Téma anglicky: **The Use of GTEM Cells for Testing the Electromagnetic Susceptibility of Electronic Systems**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Popište princip činnosti kamerových systémů.
3. Navrhněte soustavu pro měření s využitím měřících přístrojů v laboratořích FAI-UTB.
4. Zvolte kamerový systém pro vybrané testy a měření EMC.
5. Provedte vybrané testy a měření EMC pro zvolený kamerový systém.
6. Vyhodnoťte výsledky provedených testů a měření.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové 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 diplomové práce:

doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

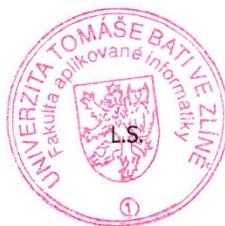
3. února 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

24. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
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 s přípoštěním-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cílem této práce je seznámit čtenáře s teorií týkající se elektromagnetické kompatibility, jelikož je tato problematika velmi rozšířená napříč průmyslovými odvětvími. Práce blíže specifikuje podmínky a způsoby testování elektromagnetické odolnosti. Jsou zde také popsány organizace zastřešující oblast normotvorby elektromagnetické kompatibility. Závěrem teoretické části se práce zabývá bližším popisem principu kamerových systémů a jejich funkčnosti. Práce se v praktické části věnuje návrhu a realizaci testů elektromagnetické odolnosti. Tyto testy budou prováděny v GTEM cele firmy FRANKONIA. Na závěr praktické části budou data z provedených testů analyzována a vyhodnocena.

Klíčová slova: Elektromagnetická kompatibility, elektromagnetická odolnost, elektromagnetická interference, GTEM cela, Gigahertz-Transversal-Electromagnetic Cell, kamerové systémy.

ABSTRACT

The focus of this thesis is to familiarize the reader with the theory of electromagnetic compatibility, because this problematic is widespread across many industries. Subsequently, the thesis specifies the conditions and methods of electromagnetic susceptibility testing. In the next part of the thesis are also described organizations covering the area of electromagnetic compatibility standardization. In conclusion, of the theoretical part, the thesis deals with a more detailed description of the principle of camera systems and their functionality. In the practical part, the thesis deals with the design and implementation of electromagnetic immunity tests. These tests will be performed in the FRANKONIA GTEM cell. At the conclusion of the practical part, the data from the performed tests will be analyzed and evaluated.

Keywords: Electromagnetic compatibility, electromagnetic susceptibility, electromagnetic interference, GTEM cell, Gigahertz-Transversal-Electromagnetic Cell, CCTV systems.

Rád bych chtěl tímto poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc., za odborné vedení, cenné připomínky a pomoc poskytnutou při zpracování této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Stanislavovu Kovářovi za odbornou pomoc a rady při měření v GTEM cele. V neposlední řadě bych rád poděkoval mé rodině a blízkým, kteří mě po celou dobu mého studia podporovali.

„Jestli najdeš v životě cestu bez překážek, určitě nikam nevede.“

Arthur C. Clarke

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	10
1.1 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY.....	11
1.2 SYSTÉMOVÉ ROZDĚLENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	12
1.2.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů	12
1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů.....	14
1.3 ČLENĚNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ	15
1.3.1 Elektromagnetická interference (EMI)	16
1.3.2 Elektromagnetická susceptibilita (EMS).....	16
2 INTERFERENCE ZDROJE	17
2.1 VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ	20
2.1.1 Galvanická vazba	20
2.1.2 Kapacitní vazba	21
2.1.3 Induktivní vazba.....	23
2.1.4 Vazba vyzařováním.....	23
3 ELEKTROMAGNETICKÁ ODOLNOST A JEJÍ TESTOVÁNÍ	25
3.1 KRITÉRIA ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI	28
3.2 OBECNÁ METODIKA ZKOUŠEK ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI	30
3.3 ZKUŠEBNÍ SIGNÁLY PRO ZKOUŠKY ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI	32
3.4 PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH ZKOUŠEK ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI.....	34
3.4.1 Zkoušky odolnosti vůči rušivým vlivům v energetické napájecí síti	34
3.4.2 Zkoušky odolnosti proti vysokoenergetickým širokopásmovým impulzům.....	35
3.4.3 Zkoušky odolnosti proti nízkoenergetickým širokopásmovým impulzům.....	35
3.4.4 Zkoušky odolnosti proti tlumeným oscilačním vlnám.....	36
3.4.5 Zkoušky odolnosti proti elektrostatickým výbojům	36
3.4.6 Zkoušky odolnosti proti magnetickým polím	37
3.4.7 Zkoušky odolnosti proti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím	37
4 SPECIÁLNÍ ANTÉNY PRO SIMULACI ZKUŠEBNÍCH ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ	41
4.1.1 Crawfordova (TEM) Cella	42
4.1.2 Gigahertz-Transversal-Electromagnetic Cell (GTEM).....	43
5 LEGISLATIVA V OBLASTI ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	45
5.1 DRUHY CIVILNÍCH NOREM.....	47
5.2 VOJENSKÉ NORMY.....	48
6 KAMEROVÉ SYSTÉMY	49
6.1 TYPY KAMEROVÝCH SYSTÉMŮ	49
6.1.1 Analogové kamerové systémy	49

6.1.2	Digitální IP kamerové systémy	50
6.2	KONSTRUKCE IP KAMERY	51
6.3	TYPY IP KAMER DLE KONSTRUKČNÍHO PROVEDENÍ.....	53
II	PRAKTICKÁ ČÁST	56
7	SOUSTAVA PRO POSUZOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	57
7.1	POPIS JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ	57
7.1.1	GTEM CELA FRANKONIA EMC-GTEM-250.....	58
7.1.2	Měřicí přijímač R&S ESPI.....	59
7.1.3	Generátor signálu R&S SMF 100A	59
7.1.4	Sonda pro měření intenzity pole FRANKONIA EFS-10.....	60
7.1.5	Zesilovač FRANKONIA FLH-20B	61
7.1.6	Reléový spínací panel zesilovačů FRANKONIA RSU	62
7.2	FIXNÍ IP KAMERA SCAN SCM-SW5965FD-6HD	63
7.2.1	Uvedení kamery do provozu	64
7.3	FIXNÍ IP KAMERA VIVOTEK FD8136-F3	65
7.3.1	Uvedení kamery do provozu	66
8	MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ INTERFERENCE IP KAMER V GTEM CELE	68
8.1	NAMĚŘENÁ DATA IP KAMERY SCAN	70
8.1.1	Vyhodnocení	71
8.2	NAMĚŘENÁ DATA IP KAMERY VIVOTEK	73
8.2.1	Vyhodnocení	74
9	TESTOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI IP KAMER V GTEM CELE	76
9.1	TESTY ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI IP KAMERY SCAN	78
9.1.1	Výsledky testů elektromagnetické odolnosti IP kamery SCAN	84
9.2	TESTY ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI IP KAMERY VIVOTEK.....	85
9.2.1	Výsledky testů elektromagnetické odolnosti IP kamery VIVOTEK	87
	ZÁVĚR	89
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	92
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	95
	SEZNAM OBRÁZKŮ	97
	SEZNAM TABULEK.....	100

ÚVOD

Význam elektromagnetické kompatibility elektrických a elektronických zařízení je v současné době velice podstatným kritériem pro komplexní funkčnost těchto zařízení. Se zvyšujícím se technologickým pokrokem v oblasti elektrotechniky, narůstá také množství přístrojů a zařízení pracujících v blízkosti ostatních elektronických prvků, které mohou působit negativně na jejich funkčnost. S tímto se také úměrně zvyšují požadavky kladené na jejich funkčnost v reálném prostředí.

Oblast elektromagnetické kompatibility je zaměřena na vznik, šíření a příjem neustále se zvyšujícího množství nežádoucích rušivých druhů elektromagnetických signálů. Přístroj či zařízení musí být tedy dostatečně odolné proti vnějším elektromagnetickým signálům, které na něj působí. Zároveň tento přístroj či zařízení nesmí svým působením negativně ovlivňovat své okolí. Důležitost tohoto požadavku je opodstatněná ve všech průmyslových odvětvích. Kvůli ovlivňování zařízení rušivým elektromagnetickým signálem může být značně narušena jeho funkčnost. V reálných případech tak může dojít i k úplné nefunkčnosti elektronických zařízení. Nejzávažnější dopad by měla nefunkčnost důležitých bezpečnostních zařízení v řízení dopravy, stejně jako narušení funkčnosti elektronických zařízení v oblasti zdravotnictví. V oblasti dopravy již v historii došlo k vážným nehodám způsobeným nedostatečným splněním požadavků na elektromagnetickou kompatibilitu.

V oblasti bezpečnostních technologií by jakýkoliv výpadek těchto zařízení mohl způsobit značné narušení bezpečnosti. Z tohoto důvodu je velice důležité, aby všechna zařízení v bezpečnostních aplikacích byla elektromagneticky kompatibilní, především po stránce elektromagnetické odolnosti a nebylo tak možné jejich funkčnost účelově narušit.

Odolnost proti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím může být stěžejní právě v oblasti bezpečnostních technologií. Jelikož možnost nepříznivě ovlivňovat zařízení a přístroje tohoto typu pomocí vysokofrekvenčních elektromagnetických polí na větší vzdálenost by mohla být využita k účelovému vyřazení těchto zařízení.

Cílem této práce je popsat možnosti využití GTEM cely pro testování elektromagnetické odolnosti elektronických zařízení. Součástí práce je literární rešerše na témata elektromagnetické kompatibility a kamerových systémů, která je nezbytně nutná pro pochopení této problematiky. V praktické části bylo využito těchto poznatků při návrhu, sestavení a provedení vybraných testů elektromagnetické odolnosti za pomoci GTEM cely.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY EELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY

Název elektromagnetická kompatibilita, z něhož je používána i mezinárodní zkratka pochází z anglického „Electromagnetic Compatibility“ a je definována jako: [1]

„schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), a naopak svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení.“

Tato definice tedy hovoří o tom, že zařízení, které je umístěno do reálného prostředí, musí být schopno správně pracovat v blízkosti systému či zařízení produkujících elektromagnetické rušení. Přičemž toto zařízení nesmí svým elektromagnetickým vyzařováním ovlivňovat funkčnost ostatních systémů v jeho okolí. [1], [2]

Elektromagnetická kompatibilita je disciplína, která v sobě zahrnuje vědní, technické a aplikační poznatky ve všech oblastech elektrotechniky a elektroniky. Zejména z elektro-energetiky, silnoproudé elektrotechniky, rádiové a telekomunikační techniky. Dále také z oblasti šíření a příjmu elektromagnetických vln, číslicové a mikroprocesorové techniky. [1], [2]

Tento pojem vznikl v 60. letech 20. století v USA, přičemž byl po dlouhou dobu předmětem zájmu pouze úzké skupiny odborníků v oboru elektroniky, a to především ve vojenské a kosmické sféře. Společně s prudkým vývojem a s rostoucí produkcí elektroniky, zejména mikroprocesorů, komunikační techniky se poznatky problematiky EMC jeví jako velice podstatné a potřebné. Podstatně tak mění koncepci a způsoby použití elektronických zařízení, stejně jako nároky na jejich instalaci na pracoviště. Elektromagnetická kompatibilita reprezentuje širší význam, než pojem spolehlivost daného zařízení, systému či přístroje, se kterým byl v počátcích rozvoje tohoto vědeckotechnického oboru ztotožňován. V podstatě je potřebné tuto problematiku zohledňovat při jakémkoliv návrhu elektronického zařízení. Pokud bude proveden návrh systému bez ohledu na elektromagnetickou kompatibilitu, nemůže vzniknout systém, který bude v běžném provozu schopen správné funkce. Spolehlivost systému společně s EMC jsou neoddelitelné požadavky na funkčnost daného zařízení. [1], [2]

Pravdivost tohoto tvrzení dokazuje obrovské množství zařízení a systémů, které mohou být zdrojem rušení v kmitočtových pásmech od 1Hz až do desítek, či stovek GHz.

1.1 Základní terminologie elektromagnetické kompatibility

Pro začátek je třeba probrat základní terminologii týkající se elektromagnetické kompatibility, kterou se blíže zabývá norma ČSN IEC 1000-1-1: [3]

- **Elektromagnetické prostředí** – jedná se o souhrn všech elektromagnetických jevů existujících v daném místě. Tento souhrn je časově závislý.
- **Elektromagnetické rušení** – je jakýkoliv elektromagnetický jev, který může nepříznivým způsobem ovlivňovat funkci přístroje nebo zařízení. Nebo nepříznivě působit na živou či neživou hmotu.
- **Elektromagnetická interference (EMI)** – jev, při kterém elektromagnetická energie vychází ze zdroje.
- **Elektromagnetická citlivost na rušení** – vyznačuje se zhoršením činnosti zařízení, systému nebo přenosového kanálu způsobené elektromagnetickým rušením.
- **Elektromagnetická susceptibilita (EMS)** – často nazývaná jako elektromagnetická odolnost proti rušení zařízení, či systému proti elektromagnetickému rušení bez zhoršení funkčních parametrů zařízení či systému.
- **Úroveň časově proměnné veličiny** – používá se pro vyjádření úrovně veličiny, například výkonu, intenzity pole a je hodnocená předepsaným způsobem za určitou jednotku času.
- **Úroveň vyzařování** – udává úroveň elektromagnetického rušení vyzařovaného konkrétním zařízením nebo systémem a je udávána v dBm v závislosti na kmitočtu.
- **Mez vyzařování** – je normativně předepsanou maximální úrovní vyzařování zdrojem elektromagnetického rušení.
- **Úroveň odolnosti** – Jedná se o maximální úroveň elektromagnetického rušení působícího na dané zařízení nebo systém, při kterém je ještě zachována požadovaná kvalita provozu.
- **Mez odolnosti** – je nejnižší normativně předepsanou úrovní odolnosti zařízení či systému.
- **Elektromagnetická kompatibilní úroveň** – značí předepsanou úroveň elektromagnetického rušení, při kterém by měla být zachována přijatelně vysoká pravděpodobnost elektromagnetické kompatibility.
- **Rezerva ve vyzařování** – značí rozdíl mezi elektromagnetickou kompatibilní úrovní a mezí vyzařování zdrojem rušení.

- **Rezerva odolnosti** – je poměrem mezi mezí odolností zařízení či systému a jeho kompatibilní úrovní.
- **Rezerva elektromagnetické kompatibility** – je poměrem mezi úrovní odolnosti zařízení nebo systému a mezí vyzařování zdroje rušení.

1.2 Systémové rozdělení elektromagnetické kompatibility

Problematiku EMC můžeme rozdělit dle mnoha různých hledisek. Nejzákladnější rozdělení je na dvě hlavní oblasti: [2]

1. **EMC biologických systémů**
2. **EMC technických systémů a zařízení**

1.2.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

Tato oblast EMC se zabývá celkovým působením a vlivy elektromagnetických vln rušivých i užitečných elektromagnetických signálů působících v běžných podmínkách na živé organismy. Touto problematikou se zabývají výzkumná lékařská pracoviště s cílem posoudit odolnost lidského organismu vůči elektromagnetickým vlivům. Přesto, že je působení těchto elektromagnetických vln zkoumáno již delší dobu, tak dosavadní biologické a biofyzikální výzkumy v této oblasti nepřinesly jednoznačné výsledky. [1], [4]

Účinky elektromagnetického pole na živé organismy obecně závisí jak na charakteru elektromagnetického pole, tak i době působení a vlastnostech daného organismu. Jelikož nejsou známé receptory pole, účinky na organismus se posuzují pouze podle nespecifických reakcí organismu. Například každý člověk reaguje na působení elektromagnetického pole jiným způsobem, protože jeho adaptační, kompenzační a regenerační schopnosti jsou individuální. To je příčinou velmi těžkého analyzování změn v organismu v důsledku působení elektromagnetického pole. [1], [4]

Obtížnost jednoznačného vyhodnocení těchto změn v organismu je důvodem toho, že je prozatím zdokumentováno jen malé množství klinických studií s touto problematikou. Studie, které byly vypracovány, se zaměřují spíše na vyšší expozice elektromagnetickým polem například v pracovním procesu. Přičemž působení elektromagnetického pole na člověka je prakticky neustálé, jak na pracovišti při obsluze elektronických systémů, tak i dlouhodobě působící elektromagnetické pole na člověka v domácím prostředí. Obecně lze říci, že účinky elektromagnetického vlnění můžeme rozdělit na tepelné a netepelné. [1], [4]

Neteplené účinky na živý organismus se vyskytují při nízkých kmitočtech od 0 Hz do 100 kHz. A s narůstající vzdáleností od zdroje rychle klesají. Vzhledem k nízké intenzitě elektrického proudu indukujícího se v lidském těle jsou z krátkodobého hlediska tyto účinky neškodné pro lidský organismus. Při dlouhodobém vystavení lidského těla těmto nízkofrekvenčním vlnám často dochází k oslabení imunity a poruše krevního oběhu, bolestem hlavy atd. Karcinogenní účinky nebyly prozatím jednoznačně prokázány. [1]

Tepelné účinky patří mezi nejvíce objasněné účinky elektromagnetického záření působící na lidský organismus. Vyskytují se v oblasti vysoko frekvenčních a mikrovlnných polí (10kHz až 1GHz). Nejúčinnější absorpce toho záření lidským tělem nastává od kmitočtu 100 MHz. Působení těchto kmitočtů zapříčiňuje ohřev lidské tkáně. [1]

Výše jmenované obtížnosti ve zdravotnickém průzkumu v dané oblasti způsobily, značné rozdíly v příslušných hygienických normách ve světovém měřítku, kde existují rozdíly až v řádech jednotek přípustných danou normou. Především u hodnot přípustných dávek elektromagnetického záření. V České republice jsou přípustné hodnoty elektromagnetického záření na lidský organismus upravovány vyhláškou ministerstva zdravotnictví č.480/2000 Sb., která pojednává o maximální velikosti ozáření zaměstnanců, kteří pracují v blízkosti zdrojů elektromagnetického záření, ale zabývá se i limity pro běžné obyvatelstvo. [1], [4]

Tab. 1. Nejvyšší přípustné hodnoty záření pro biologické systémy [1]

	Zaměstnanci		Ostatní osoby	
	Kmitočet [Hz]	Hodnota	Kmitočet [Hz]	Hodnota
Indukovaná proudová hustota $J_{mod} [A \cdot m^{-2}]$	$300 - 10^7$	$\sqrt{2} \cdot 0,01$	$0 - 10^7$	$\sqrt{2} \cdot 0,02$
Plošná hustota výkonu [W/kg]	$10^5 \div 10^{10}$	0,4	$10^5 \div 10^{10}$	0,8
Hustota zářivého toku $S [W \cdot m^{-2}]$	$> 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	50	$> 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	10

Tabulka výše vyobrazuje limity pro kmitočtová pásma od hodnot menších než 1 Hz až po hodnoty 300 GHz. Vyhláška stanovuje odlišné limity pro zaměstnance a ostatní osoby. A to

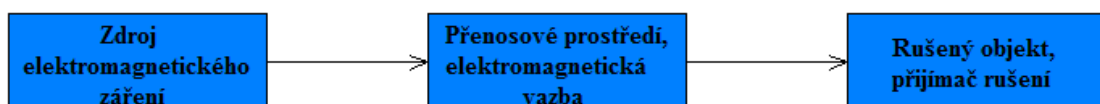
limity stanovující maximální přípustnou hodnotu pro indukovanou proudovou hustotu v těle, měrný výkon absorbovaný v těle, plošné hustoty zářivého toku elektromagnetické vlny dopadající na tělo nebo jen na jeho část.

V kmitočtovém pásmu do 10 MHz se tyto maximální přípustné hodnoty týkají hustoty indukovaného proudu. V pásmu od 100 KHz do 10 GHz se tyto maximální přípustné hodnoty týkají měrného absorbovaného výkonu a v nejvyšším kmitočtovém pásmu od 10 GHz do 300 GHz je sledována plošná hustota zářivého toku dopadající elektromagnetické vlny. [1]

1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Toto druhé odvětví elektromagnetické kompatibility, kterému se bude dále práce věnovat, se zabývá především vzájemným působením a koexistencí technických prostředků, systémů a zařízení. Elektromagnetická kompatibilita je nyní velice širokým oborem, který se dělí na několik oblastí. EMC můžeme chápat jako jednu specifickou oblast praktické aplikace obecných principů elektrotechniky a elektroniky. [1], [4]

Při zkoumání elektromagnetické kompatibility jistého zařízení, či systému se vychází z tzv. základního řetězce EMC (Obr. 1.).



Obr. 1. Základní řetězec EMC [1]

Tento řetězec vyobrazuje spojitost a přenos rušení od zdroje tohoto rušivého signálu až po rušený objekt. Nejčastěji vyšetřujeme všechny jeho složky. První oblast se zabývá vznikem škodlivého rušení jeho typu a intenzity. Zdroje a signály elektromagnetického rušení budou dále v práci rozebrány v kapitole 2.

Druhá oblast řetězce se blíže zabývá přenosovým prostředím, přes které se tento signál šíří a jeho vazbami. Poslední část řetězce se zabývá přímo rušeným systémem nebo zařízením, a to především způsoby jakými je zařízení z hlediska konstrukčních parametrů ovlivňováno.

Tento řetězec tedy představuje výchozí bod pro posouzení EMC systému, a to buď zjištěním zdroje rušení, určením přenosového prostředí, přes které se toto rušení dále šíří anebo zvolení vhodné ochrany proti rušení koncového zařízení. [1]

V reálném řetězci EMC se téměř nikdy nejedná o určení jediného zdroje rušení a jediného přijímače tímto rušením ovlivňovaným. Řeší se vždy vzájemné vztahy mezi více systémy, které se mohou navzájem ovlivňovat. Obvykle se tedy postupuje tak, že je jeden systém považován za zdroj rušení a všechny ostatní systémy jsou jím ovlivňovány. Poté je tento daný systém považován za ovlivňovaný a jsou vyhodnoceny všechny ostatní systémy, které jsou považovány za ovlivňující. [4], [5]

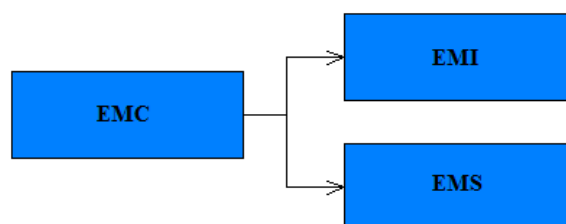
Souhrn tohoto rušivého působení se může na rušeném zařízení projevovat různým způsobem. Zhoršením některých systémových parametrů, přes jistá omezení funkčnosti a může vyústit až po úplné selhání funkce daného zařízení či systému.

1.3 Členění elektromagnetické kompatibility technických systémů

Pro dosažení nejvyššího efektu EMC je nutné zohledňovat, zda rušivé účinky ovlivňujícího systému (zdroje rušení) jsou také jeho funkčními parametry nebo patří mezi parazitní produkci. Podle toho pak cílíme prostředky pro minimalizaci těchto rušivých vlivů, dle již zmiňovaného základního řetězce EMC. A tedy zajištěním zdroje rušení, přenosových cest těchto signálů. A až v posledním případě se zabýváme minimalizací těchto vlivů na rušené zařízení nebo systém. V případě že rušivý signál je funkčním parametrem systému (signál TV vysílače), není možné toto rušení snížit na požadovanou hodnotu zajištěním zdroje tohoto rušení (vysílače) nebo přenosové cesty. Je třeba provést následná opatření až na posledním článku řetězce EMC a to zvýšením odolnosti (susceptibility) rušeného systému či zařízení, které by bylo tímto rušivým signálem ovlivňováno. [1], [5]

Proto je potřebné rozdělit celou problematiku elektromagnetické kompatibility na: [1]

1. Elektromagnetickou interferenci (EMI)
2. Elektromagnetickou susceptibilitu (EMS)



Obr. 2. Členění elektromagnetické kompatibility [1]

1.3.1 Elektromagnetická interference (EMI)

„Elektromagnetická interference (EMI) (angl. Electromagnetic Interference) neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů.“ [1]

Z definice tedy plyne, že hlavním zájmem EMI je nalezení a identifikace zdrojů rušení. Stejně tak analýza rušivých signálů a vyhodnocení parazitních přenosových cest těchto signálů. Následně se kompatibility dosahuje zavedením technických opatření především na straně rušivých zdrojů a přenosových cest šířících tento rušivý signál, tak aby se zamezilo šíření rušivého signálu do okolí. [1]

Velice důležitou částí EMI je především měření a identifikace rušivých signálů. Zahrnuje měřicí metody a postupy pro kvantitativní hodnocení vybraných parametrů. Problematika měření EMI je komplikovaná i tím, že při měření daného zařízení se může i samotné měřicí zařízení chovat jako zdroj rušení. Což je nutné při měření zohlednit ať už početně nebo filtrací. [1]

1.3.2 Elektromagnetická susceptibilita (EMS)

„Elektromagnetická susceptibilita či imunita (EMS) (angl. Electromagnetic Susceptibility či Electromagnetic Immunity) neboli elektromagnetická citlivost (na rušení) či odolnost (vůči rušení) vyjadřuje schopnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení.“ [1]

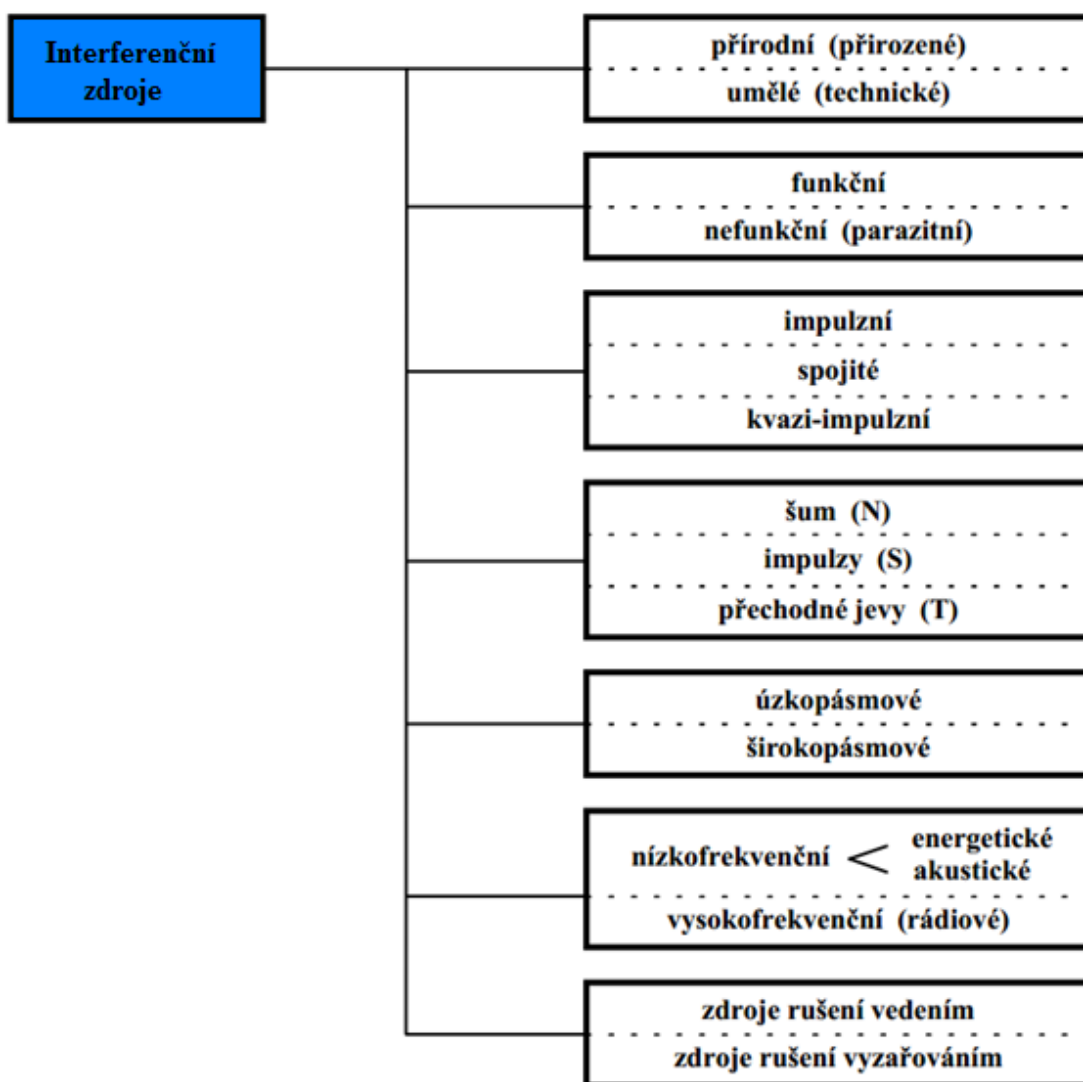
EMS se tedy přímo zabývá zařízením nebo systémem, který je rušený a pomocí technických opatření se snaží o zvýšení jeho elektromagnetické imunity, tedy odolnosti proti ovlivňování (rušení). EMS se tedy už nezabývá příčinou a nezkoumá rušení, ale řeší se zde pouze opatření pro zvýšení odolnosti proti těmto vlivům. [1]

Výslednou snahou je tedy zvýšení elektromagnetické odolnosti zařízení proti rušivým signálům tak, aby bylo zařízení schopné bezporuchového provozu. Tato oblast elektromagnetické kompatibility je velice důležitá a to proto, že téměř v žádných reálných podmínkách nedosáhneme toho, aby na zařízení nebo systém nepůsobily do jisté míry tyto rušivé signály. Je tedy nutné, aby bylo zařízení vůči těmto signálům do požadované míry imunní. [1]

2 INTERFERENČNÍ ZDROJE

Jak již bylo zmíněno, každý elektrotechnický systém můžeme považovat za zdroj i přijímač elektromagnetického rušení. Přesto se některé zařízení či systémy vyznačují tím, že u nich ve značné míře převažuje proces generování rušivých signálů nad jejich příjmem. Tyto zdroje nazýváme interferenční či zdroje elektromagnetického rušení.

V základním řetězci EMC zastupují interferenční zdroje první blok. Tyto zdroje se mohou lišit a také mohou generovat rušivé signály mnoha podob a různých charakteristických znaků. Základní rozdělení můžeme vidět na (Obr. 3.) níže.



Obr. 3. Rozdělení interferenčních zdrojů [1]

Interferenční zdroje tedy můžeme dělit dle různých kritérií, bližší a podrobnější rozdělení bude provedeno níže.

Rozdělení podle druhu zdroje interference: [1], [6]

- **Přírodní** – tyto zdroje rušení nelze odstranit ani zabránit jejich vzniku, je tedy pouze možné předcházet možným následkům zapříčiněným těmito zdroji rušení. Mezi přírodní zdroje rušení patří slunce, kosmos a různé elektrické procesy v atmosféře.
- **Umělé** – tyto zdroje rušení vznikly působením člověka a lze je tedy různými způsoby odstranit, či alespoň omezit na přijatelnou úroveň. Patří sem různé technické přístroje a systémy.

Rozdělení dle typu signálu: [1], [6]

- **Funkční** – je to typ rušivých signálů, u kterých je jejich hlavní složka signálu podstatná pro funkci zařízení či systému, zároveň ale může působit rušivým vlivem pro ostatní systémy a zařízení. Tyto signály nelze odstraňovat např. TV signál atd.
- **Nefunkční**- tyto signály nejsou nijak stěžejní pro funkci zařízení či systému, ale vznikají jako vedlejší produkt při provozu a jsou tedy nežádoucí.

Rozdělení podle časového průběhu signálu: [1], [6]

- **Impulzní**- rušivý signál má tvar impulzů nebo přechodných jevů v čase.
- **Spojité** - jedná se o časové spojitě a stálé rušení.
- **Kvazi-impulzivní** – tento typ rušení je kombinací obou předchozích případů.

Rozdělení umělých rušivých signálů: [1], [6]

- **Šum**- tento rušivý signál mívá často periodický tvar a nepříznivě působí na tvar užitečného signálu.
- **Impulzy** – modifikují tvar užitečného signálu zápornými, či kladnými špičkami. Nejčastější příčinou jejich vzniku je kontaktní spínání výkonných zařízení u elektrických nebo energetických soustav.
- **Přechodné jevy**- jejich výskyt a doba výskytu je náhodná a může být jednorázová. Doba trvání může být od několika ms, až do jednotek sekund. Tento jev se vyskytuje u okamžitých změn zatížení spotřebičů vysokých výkonů.

Rozdělení podle šířky kmitočtového spektra rušivého signálu: [1], [6]

- **Rušení úzkopásmové** – Ve většině případů to jsou užitečné signály vysílačů televize, rozhlasu, či pásma využívané mobilními operátory.

- **Rušení širokopásmové** – mezi tyto signály patří všechny přírodní zdroje rušení a velké množství průmyslových rušivých signálů.

Rozdělení podle frekvence rušivého signálu: [1], [6]

- a) **Nízkofrekvenční rušení** - je dále rozdělováno do dvou kategorií:
- Energetické nízkofrekvenční – působí v rozsahu frekvence od 0 Hz do 2 kHz. Jelikož v tomto pásmu může docházet k deformaci průběhu střídavého napětí, což může negativně působit na napájení zařízení a negativně ovlivňovat jeho funkci.
- Akustické nízkofrekvenční – mají nepříznivý vliv na přenosné informační systémy, jako jsou mobilní telefony a jejich kmitočty je do 10 kHz. Toto rušení je často produkováno napájecími zdroji, či různými typy radarů.
- b) **Vysokofrekvenční (rádiové)** - Mezi tuto skupinu patří naprostá většina všech zdrojů rušení. Zdroje rušení se tady pohybují v kmitočtovém pásmu od 10kHz do 400GHz. Na rozdíl od nízkofrekvenčního má rozdílný způsob rušení. Při vhodných podmínkách se může vysokofrekvenční rušivý signál šířit po vedení, které může být zároveň využito jako vysílací anténa, díky které se rušivý signál může dále šířit prostřednictvím elektromagnetických vln. Mezi zdroje tohoto rušení můžou patřit spínané zdroje, vysokofrekvenční polovodičové měniče apod.

Rozdělení podle způsobu šíření rušivého signálu: [1], [6]

- **Rušení vedením** – rušivý signál se šíří po kabelovém vedení.
- **Rušení vyzářováním** – Signál je šířen prostorem.

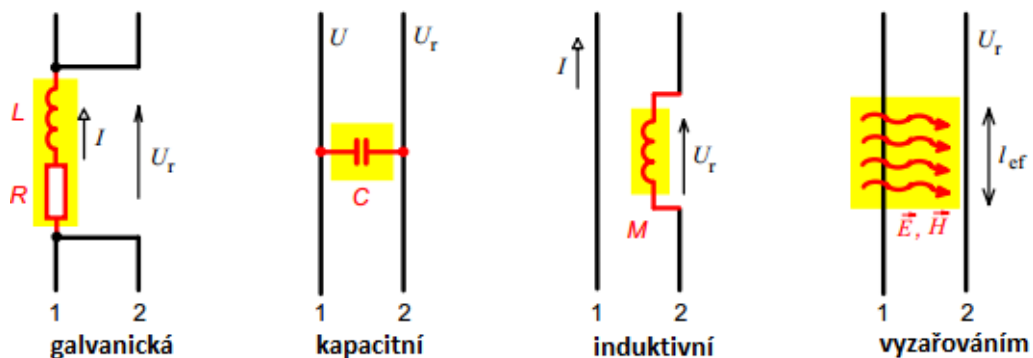
Zdroj rušivých signálů	Kmitočtové pásmo	Způsob šíření rušivého signálu
zářivka	0,1 Hz ÷ 3 MHz 100 Hz ÷ 3 MHz	po vedení prostorem
rtuťová výbojka	0,1 Hz ÷ 1 MHz	po vedení
kolektorové motory	2 Hz ÷ 4 MHz 10 Hz ÷ 400 kHz	po vedení prostorem
síťové vypínače	0,5 Hz ÷ 25 MHz	po vedení
výkonové spínače	10 Hz ÷ 20 MHz 0,1 Hz ÷ 20 MHz	po vedení prostorem
spínané síťové zdroje	0,1 Hz ÷ 30 MHz 0,1 Hz ÷ 30 MHz	po vedení prostorem
koronový výboj	0,1 Hz ÷ 10 MHz	po vedení
klopné obvody	15 kHz ÷ 400 MHz	prostorem

Obr. 4. Kmitočtové spektrum vybraných zdrojů rušení [1]

2.1 Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů

Jak již bylo zmíněno v základním řetězci EMC (Obr. 1.), přenos interferenčních signálů ze zdroje rušení do rušeného zařízení je závislý na elektromagnetickém vazebním prostředí, tedy na druhu a způsobu vazby mezi těmito dvěma zařízeními. Tyto vazby můžeme dělit dle několika hledisek, např. podle technické realizace to mohou být vazební prostředí tvořené vzdušným prostorem, stínícími či absorpčními materiály, kmitočtovými filtry, kabeláží apod. [1]

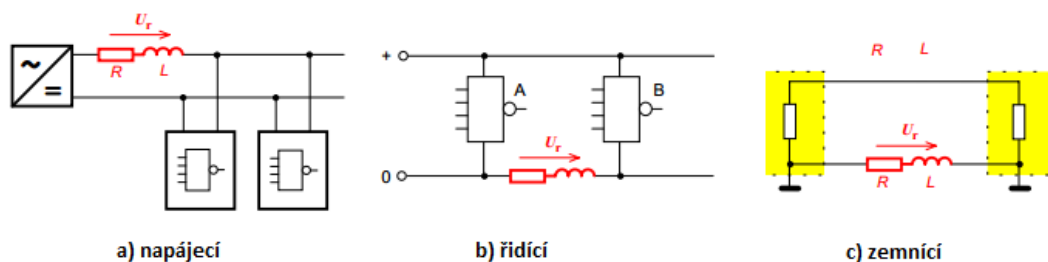
Z hlediska fyzikálního principu ale rozlišujeme několik vazeb. A to vazbu galvanickou, kapacitní, induktivní a vazbu vyzařováním. [1]



Obr. 5. Typy vazebních mechanismů pro přenos rušivých signálů [1]

2.1.1 Galvanická vazba

Galvanická vazba je vazbou dvou elektrických systémů, jejichž proudové smyčky se uzavírají společnými úseky spojovacího vedení. Společnou impedancí tedy představují sériový obvod RL, na kterém vzniká rušivé napětí buzeno protékajícími proudy v obou galvanicky spojených blocích. Níže (Obr. 6.) jsou vyobrazeny časté typy galvanických vazeb společnou impedancí. [1]



Obr. 6. Galvanické vazby společnou impedancí [1]

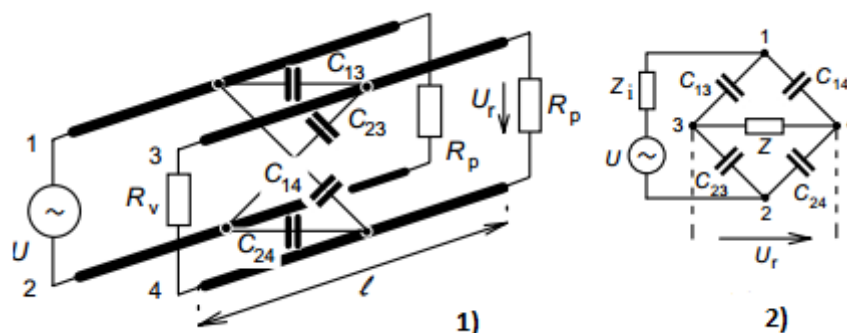
Impedance zde může být tvořena např. impedancí společného napájecího zdroje, společného přívodu řídicích obvodů, nebo také impedancí společného zemního systému.

Zmiňovanou společnou impedancí obou bloků tečou proudy, takže vzniklé napětí U_r představuje pro druhý z těchto bloků rušivé napětí. Při nízkých kmitočtech v řádech kHz je rozhodující impedance tvořena především odporovou složkou. V oblasti vyšších kmitočtů se zde již projevuje indukčnost, u které i poměrně malý proud v prvním bloku může při rychlé časové změně vyvolat vysoké rušivé napětí. [1], [4]

2.1.2 Kapacitní vazba

Kapacitní vazba může vznikat díky existenci parazitních kapacit mezi každými dvěma vodiči s různým potenciálem nebo mezi jednotlivými částmi obvodu či konstrukce daného zařízení. Častým případem vzniku kapacitní vazby je například souběžné vedení silových a informačních vodičů a linek. V praxi ke vzniku těchto vazeb může docházet v nepřehledném množství případů. Nejdůležitějšími typy kapacitních vazeb ale jsou: [1]

a) Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů

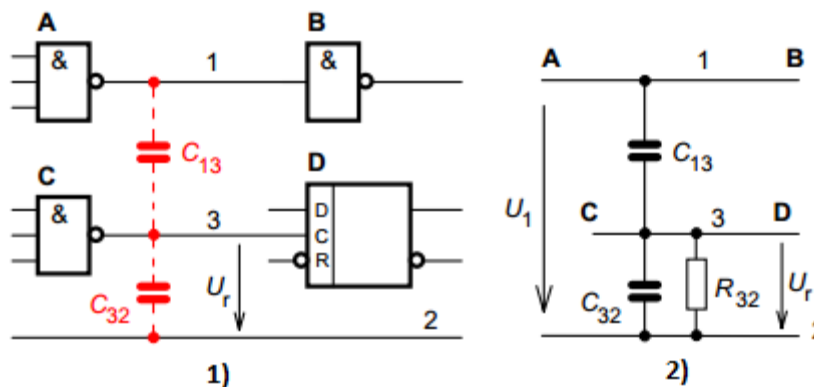


Obr. 7. Schéma kapacitní vazby galvanicky oddělených obvodů [1]

Na obrázku výše (Obr. 7.) ve schématu č. 1 jsou vodiče 1 a 2 představující rušící obvod a vodiče 3 a 4 představující rušený obvod. Pokud je délka obou vedení obvodů podstatně kratší, než vlnová délka rušivého signálu o nejvyšším kmitočtu, lze tento obvod zjednodušit dle schématu č. 2, ve kterém náhradní impedance Z_i je závislá na impedančních parametrech rušícího obvodu a náhradní impedance Z je pak závislá na parametrech rušeného obvodu.

Na základě náhradního schématu můžeme určit, že výstupní rušivé napětí U_r rušeného obvodu bude nejmenší při vyvážení kapacitního můstku $C_{13} \approx C_{23}$ a $C_{14} \approx C_{24}$. [1], [4]

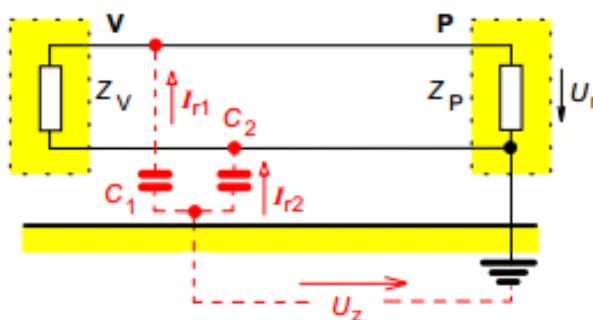
Kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem



Obr. 8. Schéma kapacitní vazby mezi obvody se společným vodičem [1]

Ke vzniku této parazitní kapacitní vazby dochází v analogových a číslicových obvodech, které obsahují společný neboli vztažný vodič. Výstup obvodu A ve schématu výše ovlivňuje vstup nesouvisejícího klopného obvodu D vzhledem ke společné parazitní vazební kapacitě C_{13} . Je to způsobeno tím, že oba obvody mají společný vztažný vodič. Dle náhradního schématu č. 2 zjistíme kmitočtový průběh parazitního kapacitního přenosu mezi vodičem rušícím (1) a rušeným (3). Velikost přeneseného rušivého napětí s rostoucím kmitočtem roste, ale při vysokých kmitočtech již zůstává konstantní s maximální hodnotou. [1], [4]

b) Kapacitní vazba vůči zemi



Obr. 9. Schéma kapacitní vazby vůči zemi [1]

Jak je možné vidět na schématu výše (Obr. 9.), ke vzniku této vazby dochází díky velké kapacitě vodičů vůči společné zemi. Rušivé napětí v zemi U_z je průtokem rušivých proudů I_{r1} a I_{r2} skrze vazební kapacity C_1 a C_2 přenášeno jako rušivé napětí U_r na vstupní svorky obvodu P (přijímače rušení). V případě využití stíněného přívodu je možné odstranit pouze nižší kmitočty rušivého signálu, jelikož při vyšších kmitočtech se nedosahuje potřebné vodivosti stínění. [1]

2.1.3 Induktivní vazba

Pokud obvodem prochází elektrický proud, v jeho okolí vzniká magnetické pole. Toto pole v závislosti na časovém průběhu proudu může být konstantní nebo proměnné. V těch vodičích, které jsou v časově proměnném magnetickém poli se dle Faraday-ova zákona elektromagnetické indukce začne indukovat napětí. Velikost indukovaného napětí roste společně s rostoucím kmitočtem nebo s rychlostí časových změn proudu v primárním obvodu. [1], [4]

$$U_r = -\frac{d\Phi}{dt} \approx -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -S \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} = -\mu \cdot S \cdot \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (1)$$

S je zde plocha smyčky, ve které je rušivé napětí indukováno. Pokud je toto magnetické pole vytvářeno průtokem proudu I vodičem o kruhovém průřezu, lze intenzitu magnetického pole H ve vzdálenosti r určit dle Ampérova zákona jako: [4]

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (2)$$

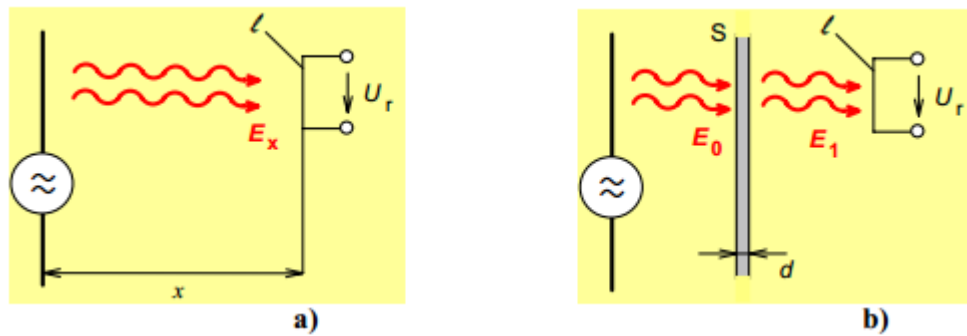
Z čehož lze indukované rušivé napětí určit jako: [4]

$$U_r \approx -\frac{\mu \cdot S}{2\pi r} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (3)$$

Tato parazitní induktivní vazba je nebezpečná zejména v případech, kdy dochází k rychlým změnám rušivého proudu značné velikosti. K tomuto dochází především při elektrostatických výbojích. Může se jednat jak o přírodní výboj (blesk) či o umělý lokální elektrostatický výboj (ESD). Proudové impulzy bleskového výboje mohou dosahovat maximální strmosti až 100 kA za μ s. V případě elektrostatického výboje (ESD) jsou to až desítky A za ns. Dle vztahu (3) tak může docházet k indukování nepřipustně velkého rušivého napětí v parazitně vázaných elektronických obvodech. [1]

2.1.4 Vazba vyzářováním

U větších vzdáleností mezi zdrojem a přijímačem rušení, kdy již můžeme prakticky vyloučit jak kapacitní, tak induktivní parazitní vazby, je možný vznik vzájemné vazby vyzářeným elektromagnetickým polem. Jak již bylo zmíněno výše, působením elektromagnetické vlny může být ve vodičích rušeného přijímače indukováno rušivé napětí, které se může v signálových obvodech sčítat s užitečným signálovým napětím, v jistých případech ho může zcela překrýt. Mezi tento typ parazitní vazby můžeme řadit rušení blízkými vysílači, atmosférická rušení i řadu dalších průmyslových poruch. Často se tento druh rušení projevuje v rádiových přijímačích, do nichž se dostává anténou, či jejím svodem. [1], [4]



Obr. 10. Princip vazby vyzařováním (a), vliv vložené stínící přepážky (b) [1]

Intenzitu elektrického pole ve vzdálenosti x od zdroje, který šíří rušivý signál s výkonem P lze přibližně vyjádřit vztahem: [4]

$$E_x = 0,3 \cdot \frac{\sqrt{P}}{x} \quad [\text{V/m; kW/km}] \quad (4)$$

Toto platí pro vzdálené elektromagnetické pole, tedy pro pole ve vzdálenosti $x \gg \lambda / 2\pi$, kde λ je vlnovou délkou signálu. Toto elektrické pole pak ve vodiči přijímače rušení indukuje rušivé napětí U_r dle vztahu níže. [4]

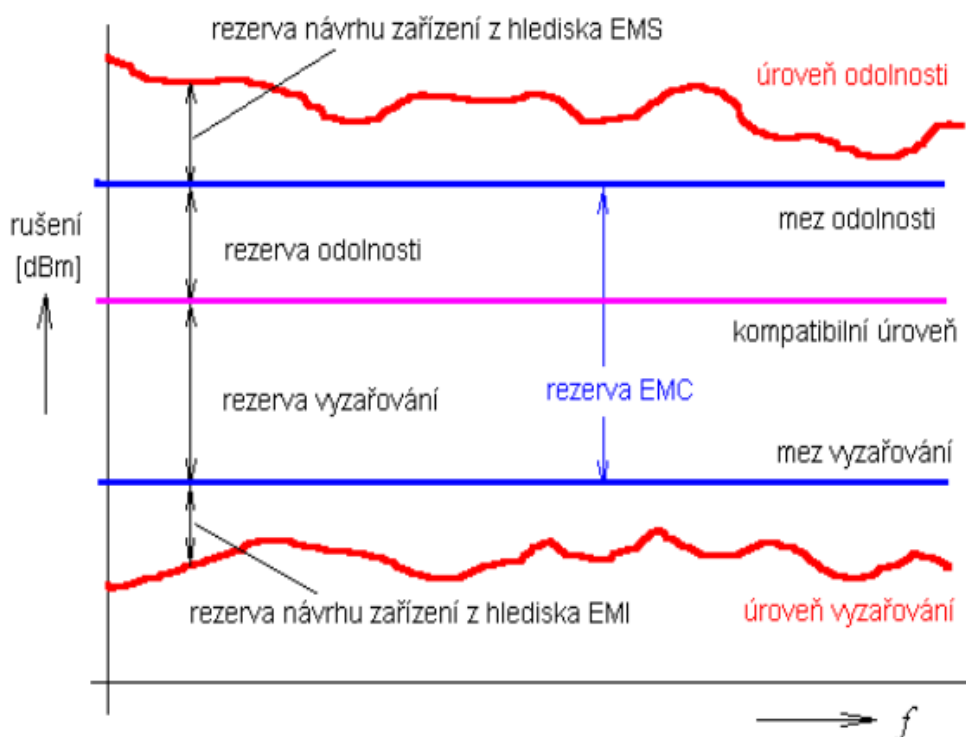
$$U_r = E_x \cdot l_{ef} \quad (5)$$

Kde l_{ef} je tzv. efektivní délka „antény“ nebo části zařízení nebo systému sloužícího jako anténa. Hodnota této efektivní délky antény je závislá na rozměrech této antény a na vlnové délce přijímaného signálu. Účinnou ochranou proti elektromagnetickému rušení vyzařováním může být vložení zařízení do stínícího krytu, nebo umístění stínící přepážky mezi zdroj a přijímač rušení. [4]

Jak je možné vidět na obrázku výše (Obr. 10.), vyzáření intenzita E_0 je stínící přepážkou zeslabena na hodnotu E_1 na jejím výstupu. Zeslabení je dosaženo jednak vlivem absorpce energie části vlny v materiálu stínící přepážky a také vlivem odrazu elektromagnetické vlny od přepážky zpět ke zdroji rušení. Velikost zeslabení vlny přitom závisí na tloušťce přepážky, na vodivosti přepážky, permeabilitě a také na velikosti kmitočtu signálu. K parazitní vazbě vyzařováním může také docházet přímo v samotném zařízení. Především u mikrovlnných kmitočtů, u kterých je vlnová délka menší, než jsou příčné rozměry přístroje. Kovový kryt tohoto zařízení tak lze považovat za vlnovod, díky kterému se mohou šířit různé vidy elektromagnetického vlnění. V praxi k tomu dochází, pokud je oblast pracovních vlnových délek kratší, než dvojnásobek nejdelší strany uzavřeného kovového krytu. [1], [4]

3 ELEKTROMAGNETICKÁ ODOLNOST A JEJÍ TESTOVÁNÍ

Elektromagnetickou odolnost nebo elektromagnetickou susceptibilitu můžeme tedy chápat, jako jistou schopnost zařízení odolávat rušivým signálům, které na něj působí. V praxi nikdy nejsme schopni odstranit všechny skutečné ani potenciální zdroje rušivých signálů. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, některé rušivé signály mohou patřit současně mezi funkční anebo nejsme schopni ovlivnit zdroj škodlivého rušení. Je tedy potřeba zajistit, aby každé elektromagneticky kompatibilní zařízení bylo dostatečně odolné vůči všem druhům rušení, které na něj mohou v provozním režimu působit. [1], [5]



Obr. 11. Úrovně a meze elektromagnetické odolnosti a vyzařování [1]

Můžeme tedy říci, že obecně je požadováno dosažení jisté kompatibilní úrovně pro dané elektronické zařízení, či systém. Toto je třeba brát v úvahu již při návrhu daného elektronického zařízení nebo systému. Což může zajistit bezproblémový vývoj a následné nasazení do provozu bez dalších potřebných a často již velmi nákladných technických úprav.

Co se týče elektromagnetické odolnosti, je nutné navrhnout dané zařízení, či systém tak, aby výsledné testy EMS zařízení vyhověly požadavkům EMC. Úroveň vyzařování tedy musí být vždy nižší než mez vyzařování, tj. maximální přípustná úroveň.

Obdobně je tomu tak v oblasti elektromagnetické odolnosti, kde úroveň odolnosti zařízení musí být vždy vyšší než mez odolnosti, tj. minimální požadovaná úroveň. Mez odolnosti musí také být vyšší než mez vyzařování, bez splnění této podmínky by jinak nebylo dosaženo dostatečné rezervy EMC daného zařízení. Konkrétní velikost této rezervy při návrhu zařízení z hlediska EMI a EMS není nijak normativně předepsána a její velikost je záležitostí výrobce daného zařízení nebo systému. [1], [4]

Pokud jsou tyto rezervy zvoleny příliš vysoké, vede to ke zbytečně vysokým nákladům na odrušení a odstínění. Pokud je ale rezerva zvolena příliš malá, zvyšuje se riziko toho, že dané zařízení nevyhoví testům EMC a musí se přistoupit k dodatečným úpravám zařízení, které již vedou k vyšším celkovým nákladům.

V praxi se náklady na optimální zajištění EMC zařízení pohybují od 2 až 10 % celkových vývojových a výrobních nákladů. Pokud je EMC zohledněna již od počátku vývoje, je možné, aby se tyto náklady snížily až pod 1 %. [1], [4]

U technického systému můžeme EMS dělit do dvou podskupin, podle místa působení elektromagnetického rušení: [1], [4]

- **Interní elektromagnetická odolnost** – představuje odolnosti proti elektromagnetickým zdrojům rušení nacházejícím se v testovaném systému. Je závislá především na celkovém propojení všech subsystémů daného zařízení, jako jsou napájení, kabeláž a rozložení obvodů v zařízení. Její velikost je dána odolností nejslabšího subsystému (článku) v řetězci.
- **Externí elektromagnetická odolnost** – představuje odolnost proti vnějším elektromagnetickým zdrojům rušení. Jelikož existuje velké množství vnějších rušivých vlivů, je třeba při testování vnější odolnosti systému vzít v potaz pouze takové zdroje elektromagnetického rušení, které je pro zkoumané zařízení, či systém nejpravděpodobnější a nejvíce nebezpečné.

Maximální hranici vnější odolnosti určujeme charakteristikou konkrétního rušení a prostředím, pro které je zařízení navrhováno.

Vymezení pojmů „interní“ a „externí“ zdroje rušení je, však v těchto definicích není vždy jednoznačně určitelné a závisí na vymezení zkoumaného systému.

Z hlediska velikosti a typu rozlišujeme tři druhy systémů: [1], [4]

- **Rozlehlé systémy** - jsou označovány také jako distribuované systémy, tj. systémy které jsou od sebe geograficky vzdálené. Jednotlivé části tohoto systému mohou být samotným zdrojem rušení a mohou tedy ovlivňovat celý rozlehlý systém. Jejich působení se tedy zkoumá v rámci interní elektromagnetické odolnosti. Za externí působení se zde považují zdroje rušení atmosférickými vlivy, nebo také z rozvodné napájecí sítě.
- **Lokální systémy**- jednotlivé části jsou v okruhu místnosti či budovy. Mezi zdroje rušení zde kromě samotných subsystémů řadíme i další systémy instalované v dané budově nebo místnosti. Do této kategorie patří například osvětlení, výtahy a jiná technologická zařízení.
- **Systémy přístrojového typu** - jsou posuzovány jako individuální kompaktní celky. Patří sem veškerá elektronika, přístroje pro domácnost, laboratorní a měřicí přístroje apod.

U všech výše zmíněných systémů tedy vždy zkoumáme jak vnitřní, tak i jejich vnější elektromagnetickou odolnost. Jelikož existuje nepřehledné množství vnějších zdrojů elektromagnetického rušení, uvažujeme obvykle jen několik konkrétních, které jsou v daném případě nejpravděpodobnější a potenciálně nejvíce nebezpečné.

Mez externí odolnosti zkoumaného systému je pak stanovena pro každý z těchto vybraných typů rušení zvlášť. S přihlédnutím na druh elektromagnetického prostředí, ve kterém tento systém pracuje. [1], [4]

„Pro posouzení celkové elektromagnetické odolnosti systému platí tři základní systémová pravidla:

- *Interní elektromagnetická odolnost systému je závislá na interní odolnosti jeho subsystémů.*
- *Výsledná interní elektromagnetická odolnost elektronického systému je určena odolností jeho „nejslabšího článku“, tj. subsystému s nejnižší vlastní elektromagnetickou odolností.*
- *Výsledná externí elektromagnetická odolnost systému může záviset na jeho interní odolnosti, neboť může dojít ke skládání rušivých vlivů a tím ke snížení celkové odolnosti systému.“ [1]*

3.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti

Při stanovení úrovně elektromagnetické odolnosti určitého technického systému je třeba předem stanovit kritérium jeho elektromagnetické odolnosti. Je tedy třeba definovat meze vy-povídající o narušení jeho funkcí. Tyto meze můžeme definovat kvantitativně nebo kvalita-tivně. [4]

Kvantitativní mez odolnosti je stanovena dosažením určité hodnoty vybrané elektrické ve-ličiny. Je využívána především ve fázi vývoje elektronického zařízení nebo systému, kdy zjišťujeme velikost a tvar případných rušivých signálů ve vybraných bodech zapojení. Ana-lyticky je pak stanovena taková hodnota sledované veličiny, která by u jistého zařízení ještě neměla vyvolat žádnou nežádoucí změnu užitečného signálu logických obvodů. Takto urče-nou hodnotu pak považujeme za kritérium elektromagnetické odolnosti pro všechna další zařízení daného typu. [4]

Kvalitativní (funkční) mez odolnosti posuzuje změny provozního stavu či ovlivnění funkč-nosti daného zařízení. Funkční porucha je tedy definována jako změna provozní způsobilosti zkoušeného zařízení, tj. nepříznivá změna jeho funkcí při působení rušivého signálu či jako důsledek rušení, který setrvává po odeznění rušivého signálu. Toto kritérium posuzování elektromagnetické odolnosti je pro běžného uživatele informace přijatelnější a snáze inter-pretovatelná. V praxi je rozlišováno pět základních kvalitativních (funkčních) kritérií: [4]

- **Funkční kritérium A** – *„všechny funkce zařízení či systému jsou vykonávány správně dle specifikace jak během zkoušky, tak i po jejím ukončení.“* Elektromagne-tické rušení zde tedy nezanechalo žádný negativní dopad na chod zařízení nebo sys-tému.
- **Funkční kritérium B** – *„zařízení/systém pracuje dle specifikace, některé jeho části však během zkoušky vybočí z povolených tolerancí (nenastane však změna provoz-ního stavu zařízení či změna dat v paměti). Po skončení zkoušky se všechny funkce musí automaticky (tj. bez zásahu operátora) obnovit v původním rozsahu a kvalitě a ve vymezených tolerancích.“* Dochází tedy zde ke změně chodu zařízení či systému, po skončení testů EMS se však musí obnovit správný chod zařízení bez zásahu ope-rátora.

- **Funkční kritérium C** – „jedna či více funkcí zařízení či systému během zkoušky (během rušení) není plněna vůbec či správně dle specifikace. Po skončení zkoušky se všechny funkce musí automaticky (tj. bez zásahu operátora) obnovit v původním rozsahu a kvalitě.“ Vytvořené elektromagnetické rušení tedy ovlivní chod zařízení či systému, ale po ukončení zkoušky EMS jsou všechny funkce obnoveny bez zásahu operátora.
- **Funkční kritérium D** – „jedna či více funkcí zařízení či systému během zkoušky (během rušení) není plněna vůbec či správně dle specifikace. Po skončení zkoušky se funkce zařízení neobnoví automaticky, ale musí být obnovena (jednoduchým) zásahem operátora (uživatele) dle návodu k použití zařízení (např. reset).“ Elektromagnetické rušení v tomto případě také ovlivní funkci zařízení či systému, po ukončení zkoušky je pro obnovení správné funkce vyžadován zásah operátora.
- **Funkční kritérium E** – „jedna či více funkcí zařízení či systému během i po skončení zkoušky (během i po ukončení působení rušivého signálu) není plněna správně dle specifikace. Všechny funkce zařízení lze následně obnovit jen profesionálním zásahem, tj. opravou či výměnou částí zařízení.“ Elektromagnetické rušení zde opět narušuje správný chod systému, kdy po ukončení působení rušivého signálu je pro obnovení funkce zařízení vyžadován profesionální zásah do systému.

Výstupem kvalitativního testování není přímo měřitelná veličina, nýbrž je zde posuzována funkčnost zařízení či systému během i po provedené zkoušce EMS. Obecné znění těchto kritérií je nutné podrobněji specifikovat dle charakteru a druhu jednotlivých poruch vzhledem k testovaným zařízením či systémům. Těchto pět výše uvedených kritérií však není využíváno ve všech oblastech EMC vzhledem k časté obtížnosti posouzení kritérií, které dané zařízení splňuje při zkoušce. Rušivý signál totiž může u jistých zkoušek EMS působit na zařízení jen po velice krátkou dobu, kdy je značně problematické posoudit funkční kritéria při probíhající zkoušce. [4]

V kmenové normě ČSN EN 61000-6-1 ed. 2 je tedy využito jen tří následujících funkčních kritérií a to A, B a C, kde požadavky pro splnění funkčních kritérií A a B jsou identické jako výše uvedené. Požadavky pro kritérium C jsou sloučeny z výše uvedených kritérií C a D.

Touto normou zde již dále není specifikováno funkční kritérium E, tudíž trvalá porucha zařízení či systému zde není brána v úvahu. [4]

3.2 Obecná metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti

Při zkouškách elektromagnetické odolnosti jsou zkoumány vlastnosti třetího článku základního řetězce EMC vyobrazeného na Obr. 1. v kapitole systémového rozdělení EMC. Jsou to tedy vlastnosti elektronického zařízení či systému, které považujeme za přijímač rušení. K praktickému měření je vždy nutné správně realizovat první dva články tohoto řetězce: zdroj rušivých signálů a vazební prostředí či mechanismus, kterým je signál přenášen až do zkoušeného zařízení nebo systému. Elektromagnetickou odolnost je možné přesně testovat pouze tak, že umístíme elektronické zařízení nebo systém do vhodného elektromagnetického prostředí. Nejlepší možností by bylo umístění přímo testovaného zařízení do prostředí, ve kterém bude běžně pracovat. Vzhledem k tomu, že elektromagnetické prostředí v reálných provozních podmínkách je náhodně časově proměnné, je velkou nevýhodou nemožnost zajištění reprodukovatelnosti měření. Což je velice důležité pro přesné testování výrobků proti působení elektromagnetického rušení ve stejných podmínkách. [1], [4]

V praxi se elektromagnetická odolnost měří tedy tak, že se na testované zařízení působí uměle vytvořeným, ale přesně reprodukovatelným elektromagnetickým signálem. Zejména je třeba zajistit: [4]

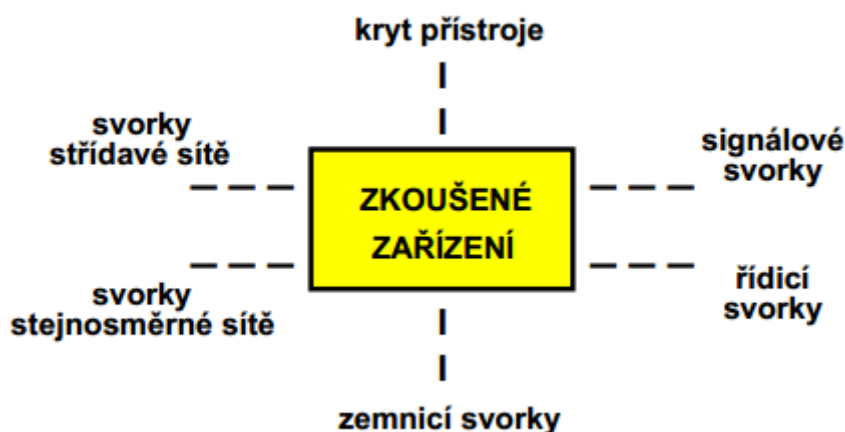
- přesné obvodové, skupinové a prostorové uspořádání testovacího pracoviště.
- kvalitativní i kvantitativní parametry umělého zdroje elektromagnetického rušení a stejný provozní stav a nastavení zkoušeného zařízení či systému.

Zařízení je pak zkoušeno jak jednotlivě, tak i jako celý systém pokud je to umožněno. Před zahájením jednotlivých zkoušek EMS je třeba nejdříve specifikovat: [2], [4]

Rušivé elektromagnetické vlivy, které budou působit na testované zařízení v prostředí, pro které je navrhováno. V této fázi je nutné vyhodnotit zdroje elektromagnetického rušení, které v uvažovaném prostředí převažují a budou tedy mít na testované zařízení největší vliv. Kvůli časové a finanční úspoře se nedefinují všechny rušivé signály. V praxi jsou vybrány jevy, které se vyskytují nejčastěji. Nejčastějšími zástupci jsou: [2]

- Nízkofrekvenční rušení v napájecí rozvodné síti nízkého napětí
- Přechodné jevy a vysokofrekvenční rušení
- Elektrostatické vývoje
- Magnetická rušení
- Rušení vyzařováním elektromagnetickým polem

- a) **Správnou konfiguraci a provozní stav** zkoušeného zařízení. Zkoušené zařízení musí správně pracovat ve všech jeho možných provozních stavech. Dané zkoušky Ems tedy probíhají v takovém provozním stavu, při kterém je zařízení nejvíce citlivé. Je-li možné k zařízení připojit další součásti systému nebo jiné zařízení zajišťující jeho činnost, je třeba provést testy i v tomto zapojení.
- b) **Cesty pronikání rušivých jevů** do testovaného zařízení. Možnosti pronikání rušivých signálů se mohou lišit dle typu testovaného zařízení. Na obrázku níže (Obr. 12.) jsou vyobrazeny základní typy vstupu rušivých signálů do testovaného zařízení.



Obr. 12. Typy vstupu rušivých signálů do testovaného zařízení [4]

- c) **Požadované kategorie odolnosti** zkoušeného zařízení. Pro určení vhodné kategorie odolnosti je rozhodujícím faktorem charakter prostředí, ve kterém bude toto zařízení pracovat. Rozdělení těchto kategorií je určeno v normě ČSN EN 61000-4 do následujících úrovní: [4]
- „**Úroveň (třída) odolnosti 1** je vyžadována u zařízení pracujících v prostředí s nízkou, příp. velmi nízkou intenzitou elektromagnetického rušení. Jde o tzv. dobře chráněná prostředí.
 - **Úroveň (třída) odolnosti 2** popisuje odolnost zařízení, které má pracovat v prostředí s mírnou úrovní elektromagnetického rušení. Jde o běžná, tj. mírně chráněná, příp. nechráněná pracovní prostředí (typicky domácnosti, obchody, kanceláře).
 - **Úroveň (třída) odolnosti 3** je požadována pro zařízení určená pro tzv. náročná prostředí s předpokládanou vysokou úrovní elektromagnetického rušení. Jde o typická průmyslová prostředí.

- *Úroveň (třída) odolnosti 4, příp. X musí mít zařízení určená pro prostředí s velmi vysokou úrovní předpokládaného rušení. Jde o nechráněná silně rušená průmyslová prostředí.“*

Všeobecně můžeme říct, že zařízení pracující v prostředí s určitým výskytem rušivých jevů, které se lehce definují, jsou řazeny do nižších úrovní odolnosti. Zato zařízení nebo systémy, které se vyskytují v prostředí, které je obtížněji definovatelné, jsou řazeny do vyšších úrovní odolnosti. [4]

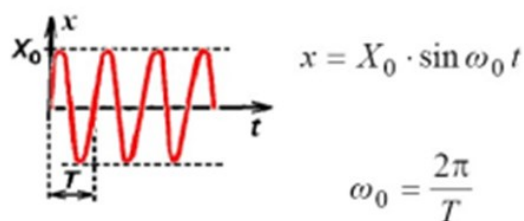
- d) **Rušivé účinky přípustné** pro zkoušené zařízení. Je tedy nutné vymezit vhodnou kategorii funkčního kritéria pro elektromagnetickou odolnost daného zařízení či systému.

3.3 Zkušební signály pro zkoušky elektromagnetické odolnosti

Generování zkušebních signálů pro zkoušky elektromagnetické odolnosti zajišťuje generátor zkušebního rušivého signálu. Tento generátor zajišťuje simulaci rušivých signálů vzhledem ke skutečným rušivým signálům, které působí v reálném elektromagnetickém prostředí. Snaží se přitom co nejlépe napodobit tyto signály jak kmitočtovým a časovým průběhem, tak i svou velikostí. [2], [4]

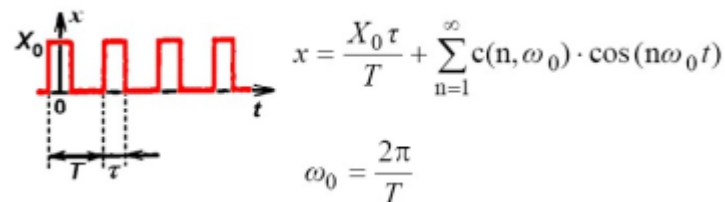
Generování zkušebních signálů je pro správné provedení zkoušek elektromagnetické odolnosti zcela zásadní. Jak již bylo v předchozí kapitole zabývající se rušivými signály a jejich vznikem zmíněno, lze všechny tyto reálné rušivé signály kategorizovat. Z hlediska jejich časového průběhu a rozložení jejich kmitočtového spektra je možné zkušební signály rozdělit do čtyř základních kategorií: [4]

- a) **Úzkopásmový periodický zkušební signál** – je realizován jako časově harmonický signál s průběhem popisující funkci sinus. Jako zdroj pro tento typ zkušebního signálu jsou využívány harmonické oscilátory a to nízkofrekvenční, nebo vysokofrekvenční.



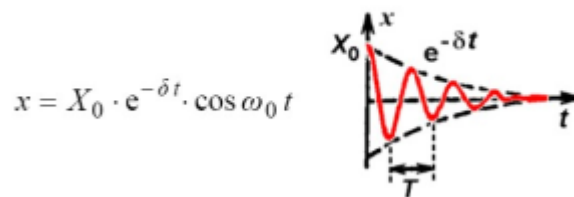
Obr. 13. Periodický úzkopásmový zkušební signál [4]

- a) **Širokopásmový periodický zkušební signál** – tento signál má periodický impulzní průběh. Nejčastěji je tento signál generován klopnými obvody v číslicové technice.



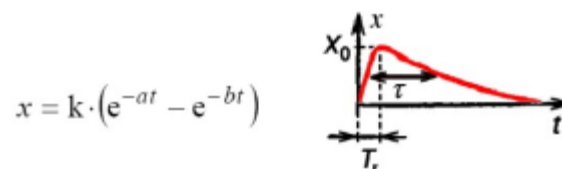
Obr. 14. Periodický širokopásmový zkušební signál [4]

- c) **Úzkopásmový neperiodický zkušební signál** – tento signál má obvykle časově harmonický - exponenciální průběh. Uvedený zkušební signál lze získat vybuzením rezonančního obvodu LC jednorázovým impulzem a následným exponenciálním dozníváním vzniklých oscilací harmonického tvaru.



Obr. 15. Neperiodický úzkopásmový zkušební signál [4]

- d) **Širokopásmový neperiodický zkušební signál** – tento signál je možné vytvořit jednorázovým impulzem typu dvojitě exponenciály. Volbou parametrů lze vytvořit zkušební signál simulující širokou řadu elektromagnetických rušivých jevů. Generátor v tomto případě může využívat exponenciálních změn napětí a proudu při nabíjení a vybíjení kapacitoru či induktoru.



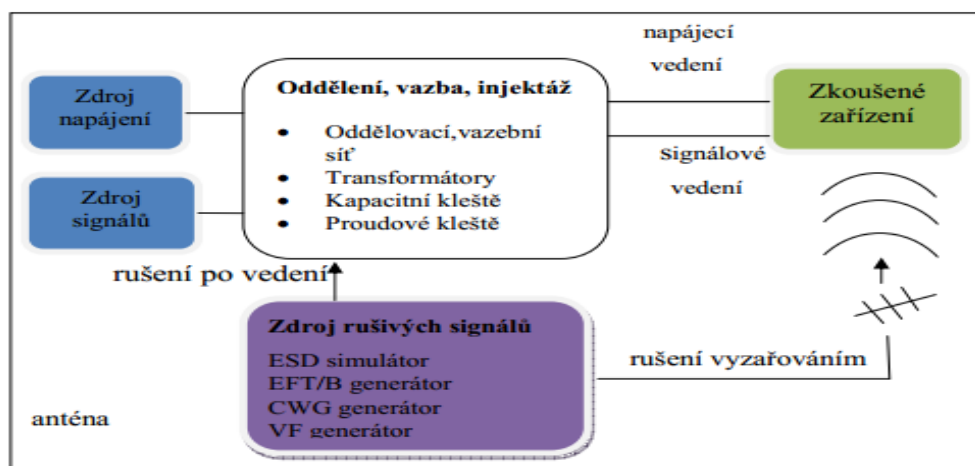
Obr. 16. Neperiodický širokopásmový zkušební signál [4]

Volbou kvantitativních parametrů výše zmíněných čtyř průběhů lze vytvořit téměř libovolný zkušební signál používaný pro zkoušky elektromagnetické odolnosti. Zkušební metody pro testování elektromagnetické odolnosti mohou být buďto přímé, nebo nepřímé. U přímých

zkušebních metod je zkušebním signálem napodobován skutečný zdroj rušení (primární příčina rušení). U nepřímých je zkušebním signálem napodobováno rušivé napětí či proudy vyvolané primárním rušivým signálem ve zkoušeném zařízení. (sekundární důsledky rušení). [4]

3.4 Přehled jednotlivých zkoušek elektromagnetické odolnosti

Testování EMS patří mezi nejmladší části tohoto odvětví, napříč tomu je jeho důležitost při vývoji produktu na vysoké úrovni. Obecný způsob testování EMS zařízení můžeme vidět na obrázku níže (Obr. 17.).



Obr. 17. Obecné schéma testování EMS [7]

Zkušební generátory rušení tedy můžeme na základě výše specifikovaných zkušebních signálů obecně rozdělit do několika skupin dle typu zkoušek: [4]

3.4.1 Zkoušky odolnosti vůči rušivým vlivům v energetické napájecí síti

Tento typ zkoušky EMS je prováděn pro všechna zařízení a systémy, která mají být v běžném provozu připojena k veřejné rozvodné síti NN. Cílem těchto zkoušek je posouzení odolnosti zařízení proti harmonickému nízkofrekvenčnímu rušení vstupujícím do systému z napájecí sítě s kmitočtem 50 Hz. Obdobně je tomu tak u testování tzv. meziharmonickými složkami, rozdílné je pouze to, že zkušební signály nejsou harmonickými složkami základního kmitočtu 50Hz, nýbrž jejich kmitočty leží mezi touto frekvencí.

Simuluje se zde porucha harmonické složky napájecího napětí, změny ve velikosti napájecího napětí, či úplné přerušování napájení. Tyto simulace jsou prováděny krátkodobě nebo jsou založeny na pomalých změnách. Dle normy ČSN EN 61 000-4-11 můžeme tyto krátkodobé

poklesy definovat jako náhodná snížení napájecího napětí přesahující 10-15 % nominální velikosti s dobou trvání 0,5-50 period základního kmitočtu 50 Hz. Za krátké přerušení napájecího napětí zde můžeme považovat krátkodobý pokles o 100 % běžné hodnoty. [6], [8]

3.4.2 Zkoušky odolnosti proti vysokoenergetickým širokopásmovým impulzům

Tento druh impulzu se vyskytuje nejčastěji při působení blesku, během spínání vysokých výkonů a během poruch ve vysokonapěťových vedeních. Do rozvodů nízkého napětí se tak mohou dostávat rázové impulzy s vysokou energií. Kmitočtové spektrum těchto impulzů se může pohybovat od 1 kHz až do 1 MHz. Tento typ impulzů je schopen poškodit elektronické zařízení či systém i bez přímé galvanické vazby. [4], [6]

Impulzy se mohou projevat různě, a to především dle velikosti impedance zdroje a impedance testovaného zařízení. Pokud má testované zařízení vstupní impedanci vysokou oproti výstupní impedanci zdroje, tak dochází k vzniku napěťového impulzu na testovaném zařízení. V opačném případě dojde ke vzniku impulzu proudu v zařízení. [4], [6]

Zařízení určené pro generování zkušebního signálu musí být schopno vytvářet napěťové impulzy dle zmíněných podmínek. Tedy musí být schopné produkovat napěťový impulz o velké impedanci a také proudový impulz o malé impedanci. [4], [9]

Dle ČSN EN 61 000-4-5 musí být generátor schopný zajistit opakované generování impulzů alespoň jednou za minutu. Zkouška se realizuje pěti kladnými a pěti zápornými impulzy, mezi kterými je minutová prodleva. Zařízení se testuje ve všech jeho provozních stavech. [9]

3.4.3 Zkoušky odolnosti proti nízkoenergetickým širokopásmovým impulzům

Tyto impulzy se vyznačují malou energií a nejčastěji se vyskytují ve formě přechodových jevů, které vznikají vlivem indukčnosti při spínacích pochodech. Tento typ impulzu má krátkou náběžnou hranu, stejně jako dobu trvání a nese jen malé množství energie. Vyznačuje se však vysokým počtem opakování. Rušivé impulzy tohoto typu většinou nezpříčiní poškození přístroje, ale jsou původce vysokofrekvenčního elektromagnetického rušení. [6], [10]

Norma ČSN EN 61 000-4-4 doporučuje jeden typ zkušebního signálu, který je pro testovaná zařízení nejvíce nebezpečný. Tento signál se skládá z rychlých přechodových jevů, které jsou seskupeny do přesně definovaných skupin impulzů. U kterých norma udává jejich náběžnou hranu, délku impulzu i jejich počet. Stejně tak přesně definuje uspořádání a charakter

pracoviště určeného pro testování těchto jevů. Tento typ elektromagnetického rušení může nejvíce ovlivňovat číslicové obvody. [10]

3.4.4 Zkoušky odolnosti proti tlumeným oscilačním vlnám

Tato zkouška EMS je zaměřena na odolnost zařízení vůči různým přechodným „zákmitům“ indukovaných v energetických sítích nízkého napětí. Zdrojem tohoto typu rušení jsou v praxi komutační pochody, které se projevují tlumenými oscilacemi ve frekvenčním rozsahu od 30 kHz až 2 MHz. Tyto oscilace se mohou vyskytovat jak v energetických sítích NN, tak u signálových či datových vedeních. [6]

Podle norem ČSN EN 61000-4-12 a ČSN EN 61000-4-18 je zkušební napětí pro tuto zkoušku tvořeno exponenciálně tlumenými kmity. Principiálně je zapojení generátoru pro tento test provedeno tak, aby bylo zajištěno vybíjení kondenzátoru o kapacitě přesně známé hodnoty přes oscilační obvod do zkoušeného zařízení. Minimální doba trvání každé zkoušky je stanovena na 2 s. [11], [12]

3.4.5 Zkoušky odolnosti proti elektrostatickým výbojům

Elektrostatické výboje elektřiny se řadí mezi velice nebezpečné rušivé signály, které ohrožují elektronická zařízení. Tyto výboje vznikají především v prostředí, ve kterém je nízká relativní vlhkost vzduchu a podlahy jsou tvořené z umělých hmot tvořených z PVC, koberci s umělými vlákny atd. Tyto signály jsou nebezpečné především k vysoké hodnotě nahromaděného napětí, a to až v mezích desítek kV. Vyznačují se také velkou šířkou rušeného spektra v hodnotách až do 1 GHz. Energie tohoto výboje je relativně nízká, ale její hodnota je dostačující k poškození mikroelektroniky a integrovaných obvodů. [6], [12]

U praktické zkoušky EMS se pro simulaci ESD používá zkušební zařízení, které připomíná tvar pistole ukončené vybíjecím hrotem. Tato pistole je připojena ke zdroji vysokého napětí a také k referenční uzemňovací desce.

Pro zkoušky EMS se využívá simulace ESD pomocí zkušebního zařízení, jehož koncová část má podobu jakési pistole s výměnným vybíjecím hrotem. Tato pistole je připojena kabelem ke zdroji vysokého napětí. Další kabel propojuje koncovou část s referenční uzemňovací deskou. Zkušební generátor se skládá z kondenzátoru nabíjeného zdrojem vysokého stejnosměrného napětí o velikosti v řádech kV. Vybíjení tohoto náboje dochází přes hrotové ukončení testovací pistole do zkoušeného zařízení, a to buď přes vzduchovou mezeru, nebo přímým kontaktem na zkoušené zařízení. Dle normy ČSN EN 61 000-4-2 jsou

simulovány různé druhy elektrostatických signálů s jednotnou hodnotou výkonu 330 W. Proces vybíjení tohoto náboje je opakován nejméně desetkrát na každém vybraném místě testovaného zařízení s polaritou impulsu, na kterou je zařízení nejvíce citlivé. [13]

3.4.6 Zkoušky odolnosti proti magnetickým polím

Tento typ zkoušky simuluje umístění elektronického zařízení nebo systému poblíž rozvodů nízkého či vysokého napětí, v průmyslovém prostředí, nebo také v blízkosti středně a vysokonapěťových zařízení. Tato zařízení mohou být nepříznivě ovlivňována silnými magnetickými poli vyvolanými proudy těchto částí elektrických rozvodů apod.

Podle způsobu vzniku těchto polí je můžeme dělit na pole harmonická o kmitočtu sítě, která jsou vyvolána běžnými provozními proudy. Dále na pole pulzní s krátkou dobou trvání, která jsou vyvolána poruchovými stavy v síti, zkratovými proudy apod. [4]

Testování EMS zařízení vůči těmto magnetickým polím se řídí rozdílnými normami podle typu magnetického pole: [4]

- Testování elektromagnetické odolnosti zařízení pro magnetická pole síťového kmitočtu ČSN EN 61000-4-8
- Testování elektromagnetické odolnosti zařízení pro pulzní magnetická pole EN 61000-4-9
- Testování elektromagnetické odolnosti zařízení pro tlumená vysokofrekvenční magnetická pole. ČSN EN 61000-4-10

Způsob zapojení zkušebního generátoru je pro každý z výše jmenovaných případů téměř identický. Výstupní proud z těchto generátorů je veden do speciálně navržené indukční cívky ve tvaru rámové antény, která zajišťuje vytvoření zkušebního magnetického pole. U všech typů indukčních cívek je zkoušené zařízení umístěno „dovnitř“ samotné cívky. Je použita tedy tzv. ponorná metoda. [4]

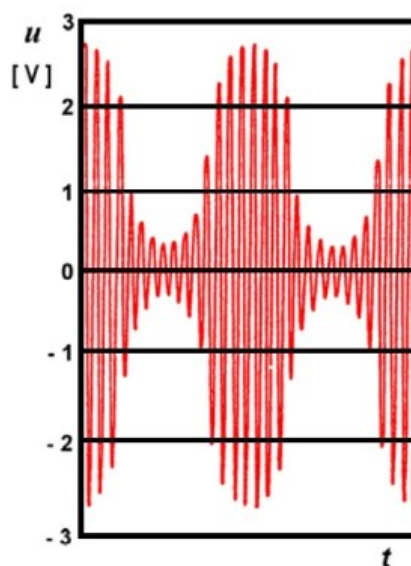
3.4.7 Zkoušky odolnosti proti vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím

Vysokofrekvenční elektromagnetické pole se prakticky vyskytuje všude v běžném prostředí jako signál, který je generovaný pro určité účely. Tento typ signálu generují například rádiové, televizní vysílače, vysílače pro pokrytí mobilního signálu atd. Poslední zmiňované jsou příčinou nejvyššího nárůstu těchto signálů za poslední roky. Jelikož rušení od těchto signálů

nelze žádným způsobem omezovat, je třeba se zaměřit na zvyšování elektromagnetické odolnosti zařízení proti těmto signálům. Přístroje využívající těchto signálů pracují na kmitočtech mezi 0,8 až 6 GHz. [4], [6]

Zkoušky elektromagnetické odolnosti vůči vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím jsou dnes z výše zmiňovaných důvodů velice opodstatněné a požadované. Zkoušky pro nízké kmitočty harmonického elektromagnetického pole se provádí tak, že do zkoušeného zařízení se přivádí signál pomocí vazebních obvodů, a to buď kapacitního, nebo induktivního charakteru. Kmitočtový rozsah zkušebních harmonických signálů pro je dán normou ČSN EN 61 000-4-6, která jej stanovuje od kmitočtu 9 kHz. V praxi se ale u kmitočtů vyšších než 26 MHz dává přednost simulací těchto polí pomocí speciálně uzpůsobených antén. [4], [14]

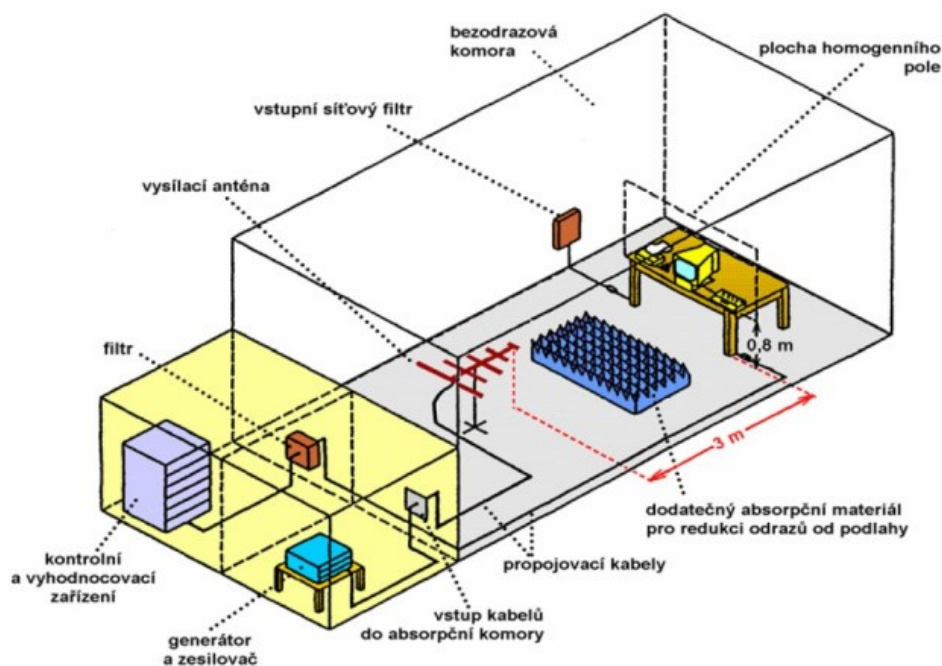
Zkouškami v nejčastěji využívaném kmitočtovém rozsahu 80 MHz až 2GHz popisuje norma ČSN EN 61000-4-3. Ta například uvádí, že v pásmu 80-1000 MHz je využíváno intenzity pole 1, 3, 10 a 30 V/m. Tyto hodnoty odpovídají efektivním hodnotám intenzity harmonicky nemodulovaného signálu. U samotných zkoušek je však tento signál amplitudově modulován do hloubky 80 % harmonickým napětím o 1 kHz. Je využito této modulace, jelikož se nejvíce přibližuje ke skutečným rušivým vf signálům, které jsou též vždy upraveny určitou modulací. Ve výše zmiňované normě ČSN EN 61000-4-3 je také dokázáno, že tento typ modulace je plně vyhovující pro posouzení odolnosti zařízení i vůči jiným rušivým signálům s jiným typem modulace. [4], [15]



Obr. 18. Zkušební signál s 80% AM. [4]

Časovým průběhem se při zkoušce snažíme přiblížit co nejvíce skutečným rušivým vysokofrekvenčním signálům. Protože potřebná intenzita buzených zkušebních polí dosahuje až několika desítek V/m při kmitočtech sahajících do oblasti GHz pásem, je již také normou stanovena nutnost provedení těchto zkoušek ve stíněných absorpčních prostorech. Tyto prostory zamezí vstupu a tím i ovlivňování měření vnějším elektromagnetickým polem.

Zároveň je tím dosaženo ochrany obsluhujícího personálu a záznamových zařízení používaných k měření od rušivého signálu generovaného uvnitř komory. [15]



Obr. 19. Schéma bez odrazové komory pro měření EMS vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím. [4]

Na obrázku výše (Obr. 19.) můžeme vidět schéma popsaného zkušebního zařízení, mezi základní technické prvky potřebné k provozu této komory patří: [4]

- Vysokofrekvenční generátor schopný pracovat v požadovaném kmitočtovém pásmu s možností AM sinusovou vlnou 1kHz do hloubky 80 %. Výstup tohoto generátoru je často opatřen filtrem typu dolní či pásmová propust, aby se potlačily vyšší harmonické složky generovaného signálu.
- Širokopásmový výkonový zesilovač, zajišťující dosažení patřičného výkonu zkušebního signálu.
- Směrová anténa pro vysílání zkušebních elektromagnetických vln.

- Elektrické filtry, kterými jsou opatřeny všechny vstupy a výstupy kabeláže vedoucí zkušební komorou.
- Zařízení určené ke kontrole a následnému vyhodnocování funkčnosti zkoušeného zařízení. Tato zařízení jsou umístována mimo prostory stíněné komory a pro přenos dat ze samotné zkoušky je využíváno optočlenů a optických kabelů.

Zkoušené zařízení je v této komoře umístěno nejčastěji na nevodivém a pro potřeby měření často i otočném stole o výšce 80 cm nad zemí. Norma dále určuje vzdálenost vysílací antény od měřeného zařízení a také další parametry bezodrazové komory. [4]

Jak bylo zmíněno výše, mezi základní požadavky pro správné provádění měření patří reprodukovatelnost zkoušek. Pro zajištění této reprodukovatelnosti u měření EMS vysokofrekvenčních elektromagnetických polí je třeba zajistit, aby intenzita zkušebního pole v celém objemu zkoušeného objektu měla normou danou konstantní velikost, a to v celém pracovním kmitočtovém pásmu. Z odvozeného vzorce (6) můžeme zjistit, že existuje závislost mezi výkonem P_v signálu dodaného z generátoru do vysílací antény se ziskem G_{VA} intenzitou E elektrického pole vytvořeného touto anténou ve vzdálenosti r . [4]

$$P_v = \frac{E^2 * r^2}{30G_{VA}} \quad (6)$$

Testovaný objekt je tedy třeba ozařovat homogenním polem o známé a konstantní intenzitě. Pro zajištění tohoto požadavku je nutné příslušnou zkušebnu před samotnou zkouškou kalibrovat. Podle ČSN EN 61000-4-3 se kalibrace provádí nemodulovaným harmonickým signálem, a to měřením velikosti generovaného pole v tzv. ploše homogenního pole. [15]

Při kalibraci je tato plocha ozařována vysílací anténou a malou všesměrovou přijímací anténou je měřena intenzita pole v 16 měřících bodech plochy. Pole je v této ploše považováno za homogenní, kolísá-li jeho měrná velikost maximálně o ± 3 dB na 75 % plochy. [4]

Jak již bylo zmíněno, tyto měřící komory jsou dokonale odstíněny od venkovních elektromagnetických polí a vyznačují se bezodrazovostí vyslaných signálů. Této bezodrazovosti je dosaženo rozmístěním speciálně vyvinutých absorpčních materiálů po stěnách, stropu i podlaze okolo měřeného zařízení. V praxi se vzhledem k vysoké ceně plně bezodrazových komor využívá tzv. částečně bezodrazových komor, u kterých chybí obložení absorpčními materiály nejčastěji v oblasti podlahy.

4 SPECIÁLNÍ ANTÉNY PRO SIMULACI ZKUŠEBNÍCH ELEKTROMAGNETICKÝCH POLÍ

Jelikož testování elektromagnetické odolnosti zařízení na vyzařované vysokofrekvenční pole sebou nese značné technické a finanční požadavky pro jeho realizaci, začaly vznikat různé speciálně upravené typy antén. Pro testování EMS proti vyzařování vysokofrekvenčním polím je tedy nutné zajistit dostačující výkonový širokopásmový zesilovač, který generuje budící výkon signálu přiváděný k vysílací anténě. Z předchozí kapitoly je patrné, že velikost intenzity pole ve vzdálené zóně od vysílací antény je nepřímo úměrná vzdálenosti od zkoušeného předmětu. Tudíž pro dosažení vysoké intenzity pole ve větší vzdálenosti od vysílací antény je nutné zajistit vyšší budící výkon.

Ve snaze zmenšit potřebnou velikost budícího výkonu se přistupuje ke změně metod zkoušek odolnosti, kdy objekt není ozařován polem ve vzdálené zóně, ale je k němu elektromagnetické pole přivedeno jiným způsobem. K tomuto se využívá právě speciálních konstrukcí antén, které nejčastěji využívají různé druhy vedení s příčnou vlnou TEM. Tímto typem antén lze přivést ke zkoušenému zařízení pole s vysokou intenzitou několika desítek V/m potřebných k vykonání různých typů zkoušek EMS, při řádově menších budících výkonech. Další značnou výhodou pro využití těchto zvláště uzpůsobených antén je, že testované zařízení není nutné umístit do finančně nákladných bezodrazových stíněných komor. Tyto antény svou konstrukcí totiž samy zajišťují uzavřený stíněný prostor od obklopujících elektromagnetických signálů. [4]

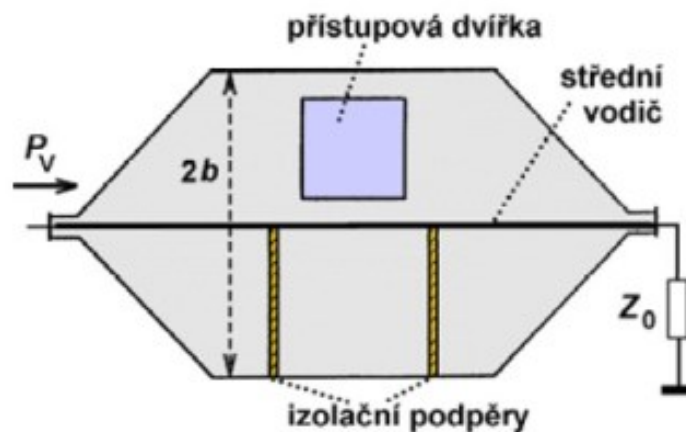
Základní funkční princip pro tento typ antén využívá možnosti vzniku pole TEM mezi dvěma příčně vedenými deskami. Jedna část je opatřena zdrojem napětí a u druhé části je nutné zajistit charakteristickou impedanci. Velikost tohoto pole je závislá na příčné vzdálenosti těchto desek a na velikosti vzájemného napětí mezi nimi. Pro správné šíření elektromagnetické vlny prostorem antény je jeho dobré impedanční přizpůsobení na vstupu i výstupu. [4]

Zkoušené zařízení se umísťuje do středu prostoru mezi desky na izolační podložku. Je zde ale limitace velikosti testovaného zařízení. Využitelná výška pro testování, u které je pole mezi deskami dostatečně homogenní, činí asi jednu třetinu vzájemné vzdálenosti desek. Tato základní konstrukce se vyznačovala vysokým vyzařováním do okolí, což komplikovalo obsluhu zařízení personálem a bylo nutné provést dodatečné zastínění. [4]

4.1.1 Crawfordova (TEM) Cella

I přes výše zmiňované nedostatky těchto základních vlnovodů se vzhledem k jejich snazšímu nasazení přistupovalo k dalšímu vývoji, který měl za výsledek vznik tzv. TEM neboli Crawfordovi cely datovaný roku 1974. [4]

Tato zkušební komora funguje na základním principu vzniku transverzálního homogenního pole (TEM) mezi dvěma příčně vedenými deskami, je zde již ale zamezeno nežádoucímu vyzařování do okolí. Tyto zkušební komory jsou speciálně konstruované elektromagnetický stíněné prostory vyvinuty jak pro testování elektromagnetické odolnosti, tak i pro měření vyzařování rušivých signálů. Reálně využitelná výška komory činí opět asi jen třetinu celkové šířky komory. [4]



Obr. 20. TEM komora [4]

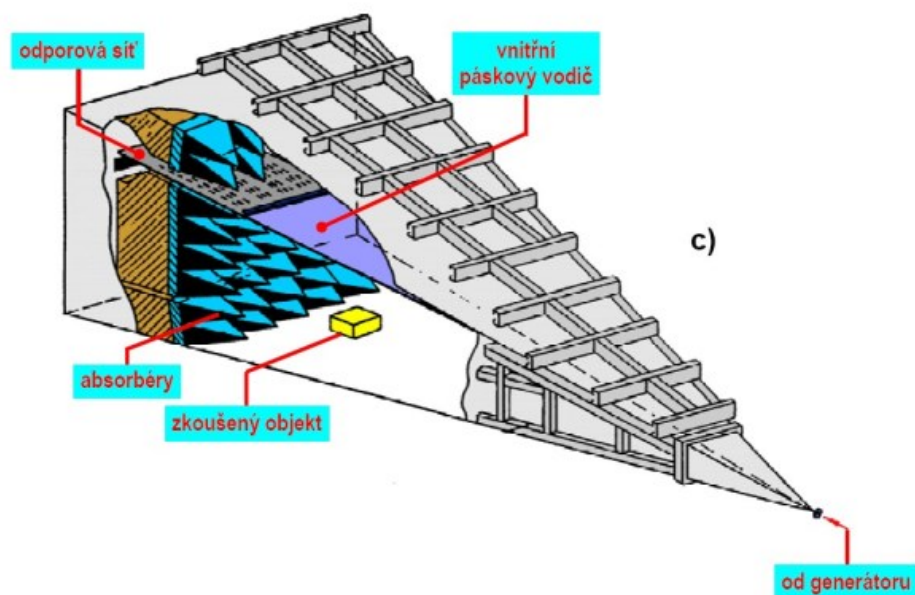
Jak je vidět na obrázku výše (Obr. 20.), TEM komora se skládá z centrální obdélníkové části a dvou zúžených částí po stranách. Jedním ze značných limitujících faktorů pro zkušební komory typu TEM je v oblasti vyšších frekvencí, kdy dochází k nedokonalému impedančnímu přizpůsobení. Což také zapříčiňuje vznik nežádoucích odrazů a rezonancí.

Tomuto odpovídají také horní pracovní kmitočty, které se pohybují na hranici od 100 do 800 MHz při možnosti generování maximální intenzity zkušebního elektrického pole 100-500V/m. [4]

4.1.2 Gigahertz-Transversal-Electromagnetic Cell (GTEM)

Jako další zkušební zařízení vznikala v roce 1984 tzv. GTEM cela, která odstraňuje limitace předchozího typu měřicí komory. Konkrétně frekvenční limitaci pro měření. Impedančního přizpůsobení je zde dosaženo částečným obložením kovových stěn vnitřního prostoru komory absorpčním materiálem. Bezodrazovost v oblasti nižších kmitočtů je zajištěna vnitřní odporovou sítí na konci páskového vodiče. [4]

Změnil se i tvar komory, ta je tvořena uzavřeným prostorem ve tvaru jehlanu. Vrcholový úhel komory je 15° , přičemž jeho charakteristická impedance je konstantní hodnoty 50Ω .



Obr. 21. Konstrukce GTEM cely [4]

Touto komorou se tak šíří postupná elektromagnetická vlna s mírně kulatou čelní vlnoplochou. V GTEM cele je tedy možné vytvářet zkušební harmonická pole o intenzitě až 200 V/m v kmitočtovém pásmu až několika GHz. Stejně tak jako zkušební impulzové pole o velikosti až několika kV/m .

Tyto komory se vyznačují vysokou prostorovou homogeností simulovaného pole přes široké pásmo kmitočtů, téměř nulovým vyzařování ze zkušební konstrukce. Velikost jejich konstrukce se může podstatně lišit dle typu. Opět zde ale platí, že maximální velikost zkoušeného objektu je asi třetina výšky zkušebního prostoru. [4]

„Nepřesáhne-li velikost zkoušeného objektu asi 1/3 výšky zkušebního prostoru, je maximální prostorová nehomogenost elektrického pole nejvýše $\pm 1 \text{ dB}$ s maximální kmitočtovou změnou $\pm 3 \text{ dB}$ v pásmu $0 \div 1 \text{ GHz}$.“ [4]

Pokud je toto dodrženo, splňuje GTEM cela požadavek normy ČSN EN 61000-4-3: Zkušební a měřicí technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – Zkouška odolnosti.

GTEM cela je běžně dostupná ve velké škále velikostí. K určování velikosti zkušební komory se používá velikost tzv. septa, jež značí velikost prostoru určeného pro umístění měřené zařízení. Nejčastěji dostupné velikosti GTEM cel na trhu se pohybují od 250 mm do 2000 mm. [4]

Výhody využití GTEM cely oproti ostatním měřicím metodám: [4]

- Vysoká prostorová homogenita simulovaného pole v širokém pásmu frekvencí
- Nulové vyzařování mimo zkušební prostory do okolí
- Na rozdíl od bezodrazových stíněných komor zde není třeba měnit polohu ani typ vysílacích antén, jelikož samotná konstrukce se chová jako vlastní anténa.
- Není třeba tak vysoce výkonných zesilovačů signálu pro vygenerování pole stejné intenzity jako je tomu u zesilovačů pro bezodrazové stíněné komory.
- Možnost využití modulárních systémů přinášející variabilitu ve velikosti testovaných objektů.
- Časová nenáročnost přípravy měření oproti bezodrazovým stíněným komorám.
- Mnohem nižší vstupní náklady pro zřízení než u bezodrazových stíněných komor.

GTEM cely byly navrženy pro měření EMC dle požadavků normy IEC 61000-4-20, která je v ČR vedena pod označením 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). [16]

S použitím GTEM je také umožněno měření vyzařování dle normy ČSN EN 55022 ED. 3 Zařízení informační techniky – Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení – Meze a metody měření.

5 LEGISLATIVA V OBLASTI ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY

Činnost všech pracovišť se musí odvíjet od znalosti veškerých platných dokumentů týkajících se této oblasti. Tyto dokumenty můžeme rozdělit dle typu na legislativní pravidla, do kterých patří zákony, vyhlášky, nařízení vlády. Dalším typem jsou technická pravidla, do kterých patří normy z této oblasti. V nejvyšším zájmu vývoje legislativy v oblasti EMC je snaha o sjednocení normalizace v této oblasti mezi jednotlivými státy. [4], [17]

Pro zabezpečení sjednocení normalizace požadavků na EMC je snaha o sjednocení legislativních pravidel v rámci EU zajišťována pomocí směrnice 89/336/EEC o sblížení zákonů členských států týkající se elektromagnetické kompatibility. Kromě legislativních pravidel se zavádí také jednotná technická pravidla, která jsou dána normami vydanými mezinárodními normalizačními institucemi. [4], [17]

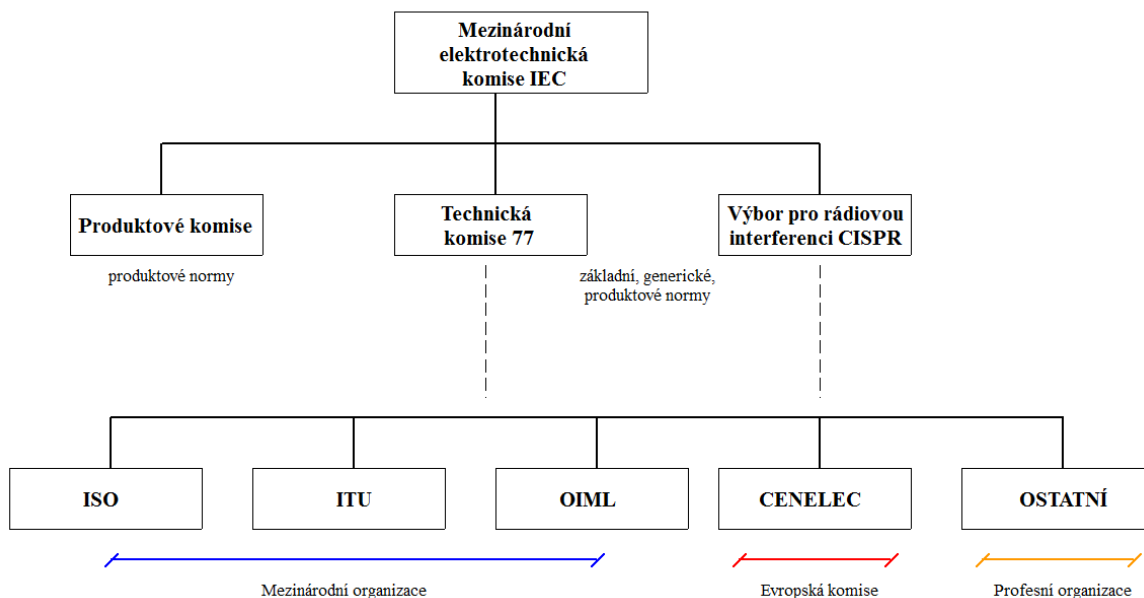
Oblast tvorby těchto technických pravidel je na mezinárodní úrovni zastřešována **Mezinárodní elektrotechnickou komisí IEC** (International Electrotechnical Commission), v jejímž rámci jsou vydávány veškeré elektrotechnické normy a předpisy, do kterých spadají i normy pro oblast EMC. Mezinárodní elektrotechnická komise IEC patří do celosvětového normalizačního procesu řízeného a koordinovaného **Mezinárodní organizací pro normalizaci ISO** (International Standard Organization). [4], [17]

Problematiku EMC řeší v rámci IEC **Výbor pro rádiovou interferenci CISPR** (franc. Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques). Dokumenty, které publikuje CISPR bývají často základem pro příslušné regionální případně i národní normy. Oborově se IEC člení do tzv. **technických komisí TC** (Technical Committee). Ze kterých **TC 77** (EMC between Electrical Equipment Industrial Networks) podstatně ovlivňuje vývoj v oblasti EMC. [4], [17]

Přípravu technických norem v oblasti EMC v rámci celé Evropské unie se zabývá **Evropská komise pro normalizaci v elektrotechnice CENELEC** (Comité Européen de Normalisation en Electrotechnique). Normy a doporučení v rámci EMC, které vytváří komise CENELEC jsou celoevropsky harmonizované. Výše zmiňované orgány se zabývají normalizací EMC v širokém technickém spektru. [4], [17]

Specifickou oblastí radiokomunikačních a telekomunikačních systémů se včetně problematiky EMC zabývá **Mezinárodní telekomunikační unie ITU** (International Telecommunications Union). V oblasti EU se touto oblastí zabývá **Evropský institut pro normalizaci v telekomunikacích ETSI** (European Telecommunications Standards Institute), který vydává vlastní normy pod označením **ETS (European Telecommunication Standard)**, které obsahově vychází z doporučení ITU. [4], [17]

V ČR je pro oblast všech norem EMC pověřeným ústavem **Český normalizační institut ČNI**, který postupně reviduje existující české normy ČSN v oblasti EMC a harmonizuje je spolu s normami IEC, CISPR a EN. [4], [17]



Obr. 22. Organizace v normalizaci EMC [18] (upravil Hromada)

Z hlediska posouzení výrobku v oblasti EMC je třeba provést řadu měření a zkoušek v jednotlivých oblastech EMI a EMS. Tyto výsledky měření nesmí být závislé na pracovišti, u kterého se jednotlivé zkoušky provádí. Proto jsou všechny měřicí postupy a požadavky na měřicí zařízení definovány v řadě norem dle jejich určení. Základní rozdělení můžeme provést na normy civilní a vojenské. [17]

5.1 Druhy civilních norem

„V rámci CENELEC se otázkami EMC zabývá především technická komise TC 110. Na základě dohody o spolupráci přebírá tato komise od IEC již existující mezinárodní normy IEC a IEC CISPR beze změn a současně předkládá IEC požadavky a návrhy na vypracování nových norem. Takto vznikající, příp. přebírané normy lze podle jejich charakteru dělit do tří skupin:“ [4]

- **Základní normy** (Basic Standards) – normy definující zkušební a měřicí postupy. Určují všeobecné podmínky pro dosažení elektromagnetické kompatibility. Tyto normy nestanovují žádné konkrétní meze rušení či odolnosti, ani žádná z jejich vyhodnocovacích kritérií. [4]
- **Výrobní normy** (Product Standards) - určují podmínky zkoušek pro konkrétní výrobek nebo skupinu výrobků (např. spotřebiče pro domácnost, svítidla, dopravní a přepravní zařízení atd.) Tyto normy musejí být v souladu se základními a kmenovými normami a ve velké většině to jsou evropské harmonizované normy. [4]
- **Generické normy** (Generic Standards) – Zkoušky a měření podle generických norem se provádí jen v případě, že pro daný výrobek neexistuje výrobní norma. Tento typ norem specifikuje požadavky a testovací metody pro všechna technická zařízení pracujících v určitém typu elektromagnetických prostředí. (obytná prostředí, průmyslová prostředí, speciální prostředí apod.). [4]

Obecně všechny typy norem můžeme rozdělit podle stupně své legislativní podpory na **normy závazné** (Regulatory, Mandatory Standards) a **normy doporučené** (Voluntary Standards). Závazné normy jsou klíčové k uvedení výrobku na trh, pokud těmto normám uvedené výrobky nevyhovují, je nelegální je používat. Pro oblast EU je toto dáno především směrnicí Rady Evropské unie č.89/336/EEC z roku 1989. [4], [17]

Doporučené normy jsou výsledkem určité dohody a mají pouze doporučující charakter. Za jejich vznikem často stojí spolupráce výrobců a normalizačních organizací. Takto například existují doporučené normy od IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), EIA (Electronic Industries Association) a dalších profesních zájmových organizací. V Evropě je zabezpečen vznik doporučujících norem především pomocí mezinárodních organizací, především CENELEC a jeho komisí. Doporučené normy jsou často považovány jako prodejní specifikace a jejich nesplnění se bere v úvahu při pojišťovacích řízeních atd. [4], [17]

5.2 vojenské normy

Elektromagnetická kompatibilita vojenských zařízení a normy, které se této oblasti týkají, se oproti civilnímu sektoru vyznačují řadou specifických vlastností. Především se zde projevuje důležitost správné EMC všech vojenských systémů, u kterých není pouze riziko rušení různých civilních systémů, ale jedná se o závažná rizika spojená se správnou funkčností například zbraňových, navigačních systémů. Také například riziko úniku utajovaných informací, které by mohlo mít značné dopady pro bezpečnost státu. [4], [17]

Způsob a prostředí užití vojenských systému je oproti systémům civilním obtížně definovatelné, jelikož vojenské systémy jsou nasazovány v různých a mnohdy i obtížně definovatelných pracovních podmínkách. Obecně lze tedy říci, že naprostá většina norem EMC definovaných v oblasti armády je mnohem přísnější oproti civilní sféře výrobků. A to prakticky ze všech hledisek. Jako je kmitočtový rozsah testování, limitní hodnoty pro EMI, požadovaný stínící účinek, stejně tak z hlediska měřících postupů a vyhodnocování měření. S tím se také mění požadavky na vybavení testovacích pracovišť. [4], [17]

Vznik vojenských norem (Military Standards), které jsou používány v mnoha armádách světa, byl prvním podnětem pro tvorbu norem a předpisů z oblasti EMC i pro civilní sektor. Velmi propracovanou soustavou norem EMC je tzv. MIL-STD, která vznikla v amerických ozbrojených silách. Prostřednictvím NATO se tyto normy dále rozšířily do celé západní části Evropy. Rozdíl mezi vojenskými normami MIL-STD a civilními normami EMC je dán především také způsobem vyhodnocování elektromagnetického rušení. Civilní normy založené na metodice CISPR využívají detekci kvazi-špičkových hodnot tzv. quasi-peak detection. Zatímco normy pro vojenské sféry využívají pro vyhodnocování detekci špičkových hodnot tzv. peak detection. [4], [17]

Tato diference je způsobena tím, že u civilních norem se CISPR zaměřuje především na ochranu rádiového příjmu zvukových signálů před rušením. Zatímco pro vojenské účely je hlavním požadavkem vyhodnocení špičkových hodnot rušení a jeho vlivu na testovaná vojenská zařízení, zejména při testování stínění těchto zařízení. Mezi další rozdíly oproti civilnímu sektoru můžeme přidat jiné doporučené mezní hodnoty elektromagnetického vyzařování a jiný kmitočtový rozsah, který bývá obvykle širší. [4], [17]

6 KAMEROVÉ SYSTÉMY

Kamerové systémy jsou aktuálně využívány v širokém spektru působnosti. Kromě osobního a výrobního použití jsou kamerové systémy velice hojně nasazovány v bezpečnostních aplikacích. Je tomu tak zejména proto, že zvyšují možnosti bezpečnostního dohledu nad objekty či osobami. Kamerové systémy používané v zabezpečovací technice se řadí pod poplachové zabezpečovací a tísňové systémy (PZTS), kde jsou označovány jako CCTV monitorovací systémy.

Zkratka CCTV značí z anglického překladu Closed Circuit Television, což je v překladu uzavřený kamerový okruh. Ten zajišťuje dohled nad zájmovým objektem v reálném čase. Jedná se o systém propojení kamer, jejichž obrazový signál je přenášén do zobrazovacích zařízení, která jsou neustále monitorována obsluhou. Obrazový výstup je také nejčastěji nahráván a archivován pro nutnou dobu.

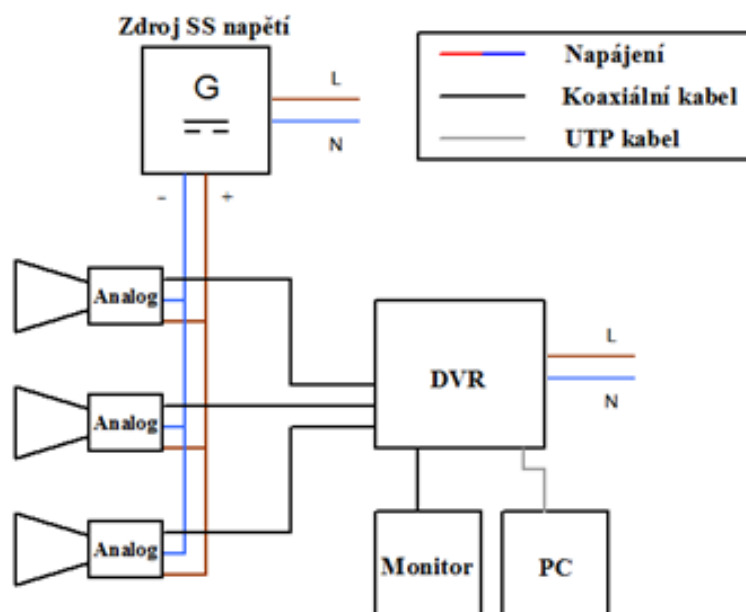
6.1 Typy kamerových systémů

Kamerové systémy můžeme v základě rozdělit dle struktury a způsobu přenosu obrazové informace na analogové kamerové systémy a digitální IP kamerové systémy. S přihlédnutím na aktuální vývoj je možné označit analogové kamerové systémy jako technologii zastaralou a nově nasazovanou jen ve výjimečných případech. Největší podíl na nově nasazovaných kamerových systémech mají tedy digitální IP kamery. Jelikož je obnova a rozšiřování CCTV systémů v praxi velmi náročná, přistupuje se ke kombinaci těchto technologií. Využívá se již osazených analogových kamer, které jsou rozšiřovány nebo postupně obměňovány za digitální IP kamerové systémy. Dochází tedy ke kombinaci těchto technologií a výsledný systém označujeme jako hybridní. [19]

6.1.1 Analogové kamerové systémy

Kamery zaznamenávají analogový signál, který je přenášén pomocí nesymetrického vedení nejčastěji zastoupeného koaxiálním kabelem. Snímaný obraz je přímo přenášén jako konkrétní veličina napětí a proudu. Signál je možné přímo zobrazit na televizních monitorech nebo může být ukládán na záznamová zařízení DVR. Záznamové zařízení zde zajišťuje transformaci analogového signálu do digitální podoby. Data jsou následně komprimována a uložena na pevný disk nebo externí úložiště. DVR je tedy velmi důležitým prostředkem pro zpracování a nakládání s obrazovými daty snímaných z kamer. Rozlišení analogových kamer je dáno formátem PAL, který má maximální velikost snímku 704×576 obrazových

bodů. Nevýhodou analogových systémů je nižší kvalita obrazu související s nutností převádět signál na digitální podobu. Jako další podstatnou nevýhodu můžeme označit limitaci pro přenos obrazové informace na delší vzdálenosti. Stejně tak jako nutnost zajistit samostatného napájení kamer. [19]



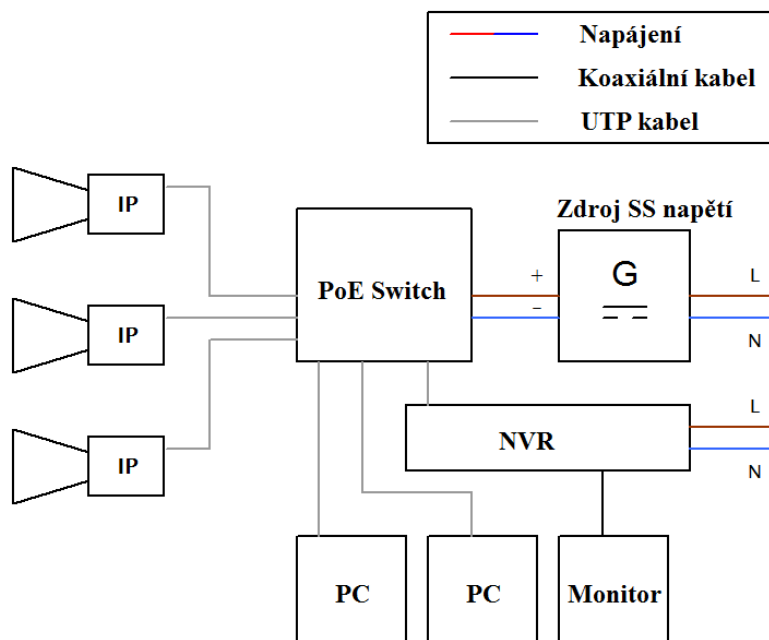
Obr. 23. Schéma Analogového kamerového systému

6.1.2 Digitální IP kamerové systémy

Digitální kamerový systém na rozdíl od analogového ihned převádí snímaný obraz do digitální podoby již v samotném zařízení. Výsledný digitální signál je přenášen pomocí sítě LAN pomocí protokolu TCP/IP s využitím UTP, STP nebo FTP síťových kabelů. Kde se dále pomocí síťové infrastruktury mohou obrazová data šířit až do veřejné sítě Internet. Napájení těchto kamer není ve většině případů nutné zajišťovat externě, nýbrž je možné využít UTP kabelu, s nasazením tzv. PoE (Power over Ethernet). Tudíž pro zajištění napájení i přenosu obrazové informace slouží pouze jeden UTP kabel pro každou z kamer. Signál z těchto kamer je však nejčastěji veden do zařízení NVR (Network video recorder), která zajišťují obdobné funkce jako již zmíněné DVR. Toto zařízení je možné využít také pro napájení IP kamer pomocí PoE. [20]

Výhodou těchto kamer je možnost využití mnohem vyšších rozlišení a kvality výsledného digitálního obrazu. Nevýhodou v případě rozsáhlejších systémů může být limitace rychlosti přenosového prostředí LAN. Toto je nejčastěji řešeno zavedením komprimace obrazu ještě

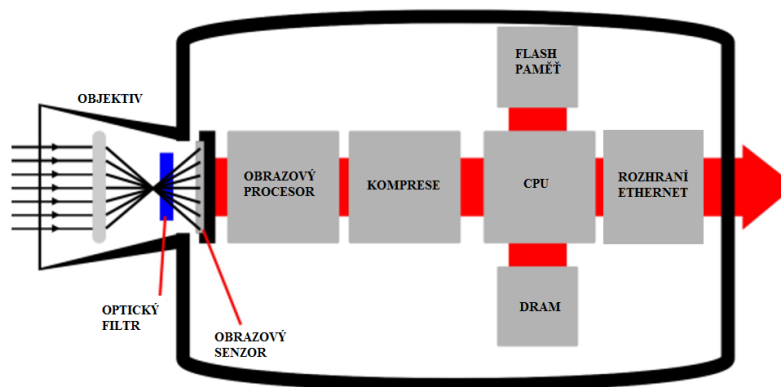
před jeho odesláním nebo také u velkých a rozsáhlých systémů nasazení optické sítě, která umožňuje dosažení mnohem vyšších přenosových kapacit.



Obr. 24. Schéma IP kamerového systému

6.2 Konstrukce IP kamery

Jak již bylo zmíněno, konstrukce digitální IP kamer se od kamer analogových v některých částech liší. Digitální kamera se tedy skládá ze tří základních prvků jako: **objektiv, snímací senzor, optický filtr a obrazový procesor**. Digitální IP kamery jsou osazovány vlastním **řídícím procesorem CPU** (Central Processing Unit), **operační pamětí DRAM** (Dynamic Random Access Memory), **flash pamětí a ethernetovým rozhraním**. [20]



Obr. 25. Schéma IP kamery [21]

Světlo ze snímané scény tedy prochází čočkou objektivu kamery, jehož úkolem je promítnutí zmenšeného obrazu snímané scény na fotocitlivý prvek. Objektiv je tvořen systémem několika čoček. V objektivu se pomocí clony redukuje množství světla procházejícího objektivem. Předtím, než světlo dopadne na obrazový senzor, prochází přes optický infračervený filtr, který zabraňuje průchodu infračerveného světla. Obrazový senzor snímá elektromagnetické vlny světla a ty převádí na elektrický signál. Nejčastěji jsou používány dva typy obrazových senzorů: [20]

- **CCD (Charger Coupled Device)** je složen z pravidelně uspořádaných snímacích buněk. Při dopadu světla na jednotlivé buňky dochází k akumulaci elektrického náboje, jehož velikost se odvíjí na intenzitu a dobu vystavení dopadajícím světlem. Od vyhodnocovacího obvodu, který je umístěn mimo vlastní senzor se pomocí A/D převodníku převádí signál do digitální podoby.
- **CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)** je obdobně jako snímač CCD tvořen pravidelným uspořádáním buněk citlivých na dopadající světlo. CMOS se vyznačuje vyšší hustotou prvků na čipu. Obvody pro zpracování obrazu včetně A/D převodníku a zesilovače jsou integrovány přímo v CMOS čipu. Digitalizace se tak provádí v každé buňce zvlášť.

Jedním z hlavních ukazatelů kvality snímacího čipu je jeho rozlišovací schopnost. Ta je dána právě počtem aktivních buněk (pixelů). Udává se počtem horizontálních bodů k počtu bodů vertikálních. Vyšší rozlišení přináší věrnější podání snímané scény, zároveň umožňuje zobrazení většího množství detailů. Aktuálně je pro kvalitní IP kamerové systémy běžné rozlišení 1280x720px (HD) nebo dokonce 1920x1080px (Full HD). Vyšší rozlišení kamery přináší kromě kvalitnějšího podání snímané scény také náročnější požadavky na přenos dat po síti. [20], [22]

Obrazový procesor dále zajistí rychlé zpracování snímaného obrazu a jeho případný převod do digitální podoby. Pomocí kompresního čipu je zajištěno požadované úrovně komprese pro vytvoření nejlepšího poměru kvality a objemu dat, která budou přenášena dále po síti LAN. Komprese se provádí tzv. kódováním, kdy se informace zakóduje daným kompresním algoritmem a dojde k odstranění redundantních informací. Pro snížení velikosti přenášených dat se u video signálu využívá ztrátových kompresních algoritmů.

Při kódování u tohoto typu komprese dochází k nenávratné ztrátě dat. Mezi kompresní video formáty patří MJPEG, H.263, MPEG (1,2,3,4), H.264 (AVC).

Plynulost obrazu je dána počtem zobrazených snímků za sekundu. Tato veličina je závislá na obrazovém procesoru a jeho rychlosti zpracování dat. Celý tento proces je ovládán řídicí jednotkou CPU. Flash paměti je v kameře využíváno pro uchování softwaru kamery, paměť DRAM slouží pro krátkodobé ukládání obrazu před jeho odesláním do síťového rozhraní ethernetu. Odkud se pomocí komunikačního rozhraní dále šíří.

Data z IP digitální kamery je možné přenášet pomocí: [22]

- **Ethernet rozhraní** – jedná se o rozhraní pro připojení kamery pomocí síťového konektoru RJ-45 do LAN sítě. Tento typ připojení IP kamery patří mezi nejpoužívanější, jelikož se vyznačuje stabilním připojením k místní síti LAN, ale především tento typ připojení kamer zajišťuje nejvyšší přenosové rychlosti v řádech desítek až tisíců Megabitů za vteřinu.
- **WiFi rozhraní** – tato technologie využívá bezdrátového typu přenosu dat. Sítě založené na protokolu TCP/IP tak podléhají standardu IEEE 802.11. Přednost tomuto typu připojení oproti ethernetovému se dává především v případech, kdy je obtížné nebo nemožné vést ke kameře vedení UTP kabelem. K tzv. bezdrátové kameře je tak připojeno pouze napájení a tok dat putuje k bezdrátovému přístupovému bodu prostorem. Nevýhodou u tohoto typu připojení může být špatné pokrytí bezdrátovou sítí, nižší datová propustnost a možnost rušení.
- **Mobilní síť** – mobilní síť se pro přenos dat využívá jen ve speciálních případech, u kterých je velice obtížné zajistit přenos pomocí výše jmenovaných rozhraní. Zejména v odlehklých a obtížně dosažitelných oblastech. Výhodou je, že kamera potřebuje ke svému provozu pouze GPRS/2G/3G/LTE pokrytí.

6.3 Typy IP kamer dle konstrukčního provedení

Kamery můžeme dělit dle různých parametrů, dle konstrukce kamery můžeme rozlišovat několik typů kamer, které jsou navrženy pro specifické oblasti použití. Nejzákladnější rozdělení kamer můžeme stanovit dle typu konstrukce uzpůsobené dle prostředí, ve kterém je kamera nasazena. Tato konstrukce se liší podle toho, zda je kamera umístěna ve vnitřních prostorech, kde na kameru nepůsobí povětrnostní vlivy a je zde užší rozsah pracovní teploty. Pokud je kamera určena pro venkovní prostory, musí být její konstrukce uzpůsobena jak z hlediska odolnosti proti povětrnostním vlivům a teplotním výkyvům, tak i z hlediska proměnných hodnot snímané scény.

Dalším podrobnějším rozdělením můžeme kamery kategorizovat dle jejich funkce na: [23]

- a) **Fixní kamery** – tento typ kamer snímá pevně nastavenou scénu.
- Standardní kamery
 - Dome kamery
 - Bullet kamery
 - Modulární kamery
 - Panoramatické kamery
 - Speciální kamery (anti-vandal, do výbušného prostředí atd.)



Obr. 26. Ukázka fixních IP kamer, a) standardní kamera, b) panoramatická kamera, c) kamera do výbušného prostředí, d) dome kamera [23]

- b) **Otočné PTZ kamery** – z anglického názvu (Pan, Tilt, Zoom), využívají pohybových mechanismů pro možnost změny snímání scény.
- Dome PTZ kamery
 - Standardní PTZ kamery



a)



b)

Obr. 27. Ukázka otočných PTZ IP kamer, a) Dome PTZ kamera, b) Standardní PTZ kamera s IR přísvitem. [23]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 SOUSTAVA PRO POSUZOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY

V praktické části se tato práce blíže zaměří na možnost testování elektromagnetické odolnosti IP kamerových systémů. Pro dané testy a měření bude využito vybavení Vědeckotechnického parku Informační a komunikační technologie u Fakulty aplikované informatiky UTB ve Zlíně. V prvním kroku bude navržena vhodná soustava pro měření EMI testované kamery, následně budou na totožné kameře provedeny testy odolnosti.

7.1 Popis jednotlivých komponentů

Pro dané požadavky na měření EMI a především EMS kamerových systémů byla zvolena GTEM cela, která je součástí vybavení VTP-ICT. Pro realizaci měření EMI je třeba využít měřicího přijímače, který zastává také funkci spektrálního analyzátoru, ten přijímá, vyhodnocuje a zaznamenává interference vystupující z měřeného zařízení v určitém frekvenčním rozsahu. Pro testy EMS je pak nutné využít společně s GTEM celou generátor signálu, který zde zajistí vznik vhodných rušivých signálů. Pro dosažení uniformity nebo také homogenity měřicího pole je zapotřebí nainstalovat do vnitřních prostor GTEM cely sondu pro měření intenzity elektrického pole v jednotlivých bodech komory, díky tomuto je pak možné získat reprodukovatelná měření. Aby bylo dosaženo potřebné intenzity generovaného pole, bude využito soustavy zesilovačů navržených pro tento účel, požadovaný účinek zesílení je zde volen reléovým spínacím panelem.



Obr. 28. Pracoviště GTEM cely

7.1.1 GTEM CELA FRANKONIA EMC-GTEM-250

Pro měření EMI i EMS bude použita GTEM cela od firmy FRANKONIA. Jedná se o nejmenší nabízený model této firmy. Jak již označení této cely napovídá, jedná se o model s výškou septa 250 mm, která umožňuje maximální velikost testovaného zařízení či systému o rozměrech 200x200x150 mm. Vnější rozměry cely jsou 1150x640x440mm, velikost dvířek pro umístění testovaných zařízení či systémů je 300x230mm. Běžný frekvenční rozsah udává výrobce GTEM cely od 10 kHz do 6 GHz.



Obr. 29. *emc-gtem-250* firmy FRANKONIA

K GTEM cele je možné připojit zařízení potřebná pro dané měření či testy pomocí vstupně/výstupního konektoru typu N pro koaxiální RF kabel. Nominální impedance cely je 50 Ω . Výrobce udává maximální kontinuální vstupní výkon v hodnotě 500W. Pulzně garantuje až 1kW. Pro napájení testovaných zařízení je možné použít stíněný zdroj střídavého napětí, který je součástí GTEM cely. Pomocí tohoto zdroje je možné napájet testovaná zařízení s maximálním proudovým odběrem 10 A. Nebo je zde možnost vést napájecí kabel společně s dalšími datovými pomocí penetračního panelu umístěného ze strany GTEM cely. [24]

7.1.2 Měřicí přijímač R&S ESPI

Tento měřicí přijímač od firmy Rohde&Schwarz bude využit pouze pro měření elektromagnetické interference kamerových zařízení. Tento produkt je navržen přímo pro účely měření v oblasti EMC. Skýtá v sobě tedy kromě funkce přijímače také funkci kvalitního spektrálního analyzátoru. Frekvenční rozsah tohoto přístroje je od 9 kHz až do 7GHz, s rozlišením frekvence 0,01Hz, což je plně dostačující pro prováděná měření. Tento přijímač je schopný měřit typem peak, quasi peak, průměr hodnot. Je možné jej připojit do sítě LAN, nicméně pro extrahování dat pro další analýzu bude využit port USB, pomocí kterého je možné data ukládat přímo na externí paměťové zařízení. [25]

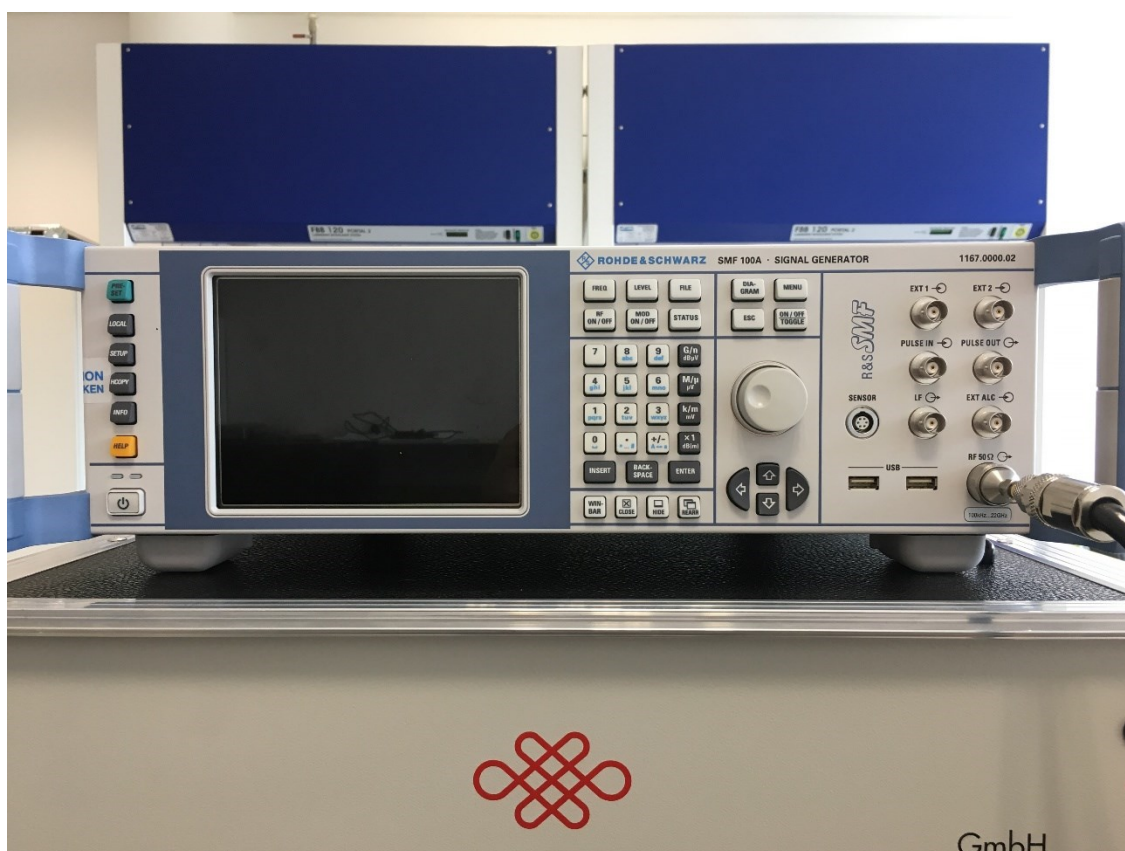


Obr. 30. Měřicí přijímač R&S ESPI

7.1.3 Generátor signálu R&S SMF 100A

Tento generátor signálu od firmy Rohde&Schwarz bude využit pro testy EMC vybraných kamerových systémů. Produkt je navržen pro širokou škálu použití, je však velice vhodným generátorem pro testy EMS. Maximální rozsah pracovní frekvence je od 100kHz až do 43,5 GHz, v případě použití frekvenčního násobiče. V základním sestavení je vrchní frekvenční

mez stanovena na 22 GHz. Použitím tohoto konkrétního generátoru je zajištěno vysoké přesnosti a opakovatelnosti všech prováděných testů. Zaručeno je to vysokým frekvenčním rozlišením (konkrétně 0,001 Hz). Doba potřebná ke změně frekvence je výrobcem garantovaná na maxi. 4ms. Generátor se vyznačuje také vysokým výstupním výkonem +25 dBm. S 3ms jako udávaným časem potřebným ke změně na požadovanou úroveň. Pomocí USB portů je možné ke generátoru připojit počítačovou klávesnici, myš, či přenosné paměťové médium USB. [26]



Obr. 31. Generátor signálu R&S SMF 100A

7.1.4 Sonda pro měření intenzity pole FRANKONIA EFS-10

Jedná se o velice malé zařízení, které bude při měření EMS umístěno vevnitř GTEM cely. Tato sonda snímá intenzitu elektrického pole ve třech osách (x,y,z). Tím zajišťuje okamžitý a přesný výstup aktuálních hodnot intenzity pole působící na zkoušené zařízení. Tento model sondy využívá pro přenos informace optického kabelu. Pro další zpracování informace je využito převodníku na rozhraní USB, odkud jsou data přenášena do PC s vyhodnocovacím softwarem WinEP600.

Frekvenční rozsah pro měření touto sondou je udáván výrobcem od 10 kHz do 9,25 GHz. Sonda je schopna měřit intenzitu elektrického pole v rozsahu 0,14 -500 V/m.

Napájení EFS-10 je zajištěno Lithiovou nabíjecí baterií, která je schopná udržet v sondu v provozu až po 80 hodin. Poté je nutné sondu nabít pomocí dodávaného nabíjecího doku. Odchylka je výrobcem udávána jako 0,01V/m. [24]



Obr. 32. Sonda pro měření intenzity pole EFS-10 společně s nabíjecí stanicí

7.1.5 Zesilovač FRANKONIA FLH-20B

Firma Frankonia nabízí značné množství modulárních zesilovačů. Liší se především určením a daným frekvenčním rozsahem. Vědeckotechnický park disponuje třemi zesilovači od této firmy. Konkrétně to jsou modely:

- FLG-10F Pro frekvenční rozsah 2,0 GHz – 6,0 GHz
- FLG-5A Pro frekvenční rozsah 0,8 GHz – 2,0 GHz
- FLH-20B Pro frekvenční rozsah 20 MHz – 1 GHz

Posledního jmenovaného modelu bude využito pro testy elektromagnetické odolnosti do frekvence 1 GHz. Zesilovač poskytuje výstupní výkon o velikosti 20 W. Vzhledem k vstupnímu příkonu 350 W. Tento zesilovač disponuje zabudovanou ochranou proti překročení proudu i napětí, stejně tak i proti překročení maximální provozní teploty. [24]

7.1.6 Reléový spínací panel zesilovačů FRANKONIA RSU

Tento panel od výrobce Frankonia slouží k přepínání mezi jednotlivými zesilovači. Čímž je možné snadno nastavit požadovaný frekvenční rozsah. Přepínat mezi jednotlivými relé je možné buď manuálně, nebo pomocí RS 232 rozhraní s využitím ovládacího softwaru. V tomto případě bude využito ovládání manuální. Frekvenční rozsah je garantován na 12,4 GHz. S maximálním příkonem pro frekvence do 1 GHz až 1 kW. [24]



Obr. 33. Zesilovače fy. FRANKONIA spolu s reléovým spínacím panelem RSU

7.2 Fixní IP Kamera SCAN SCM-SW5965FD-6HD

Pro účel posuzování elektromagnetické kompatibility byla zvolena fixní IP kamera v bullet provedení. Tato IP kamera je osazena také IR přísvitem, který by mohl být použit pro zlepšení kvality obrazu ve zhoršených světelných podmínkách uvnitř GTEM cely.

Hlavní důvod pro zvolení tohoto typu kamery je limitace maximální velikosti zkoušeného zařízení velikostí septa GTEM cely. Proto byla zvolena kamera v bullet provedení, jejíž velikost splňuje limitaci GTEM cely. Konkrétně tento model kamery byl zvolen kvůli výrobci, který pochází z čínského trhu a zastupuje značku CCTV kamerových systému SCAN. Jelikož výrobce nedeklaruje splnění jakékoliv certifikace pro evropský trh, představuje tato kamera ideální zařízení pro posouzení EMC.

Síťová kamera s modelovým označením: SCM-SW5965FD-6HD je osazena 1/3" CCD snímacím čipem, který disponuje rozlišením 1920 x 1080 obrazových bodů. Disponuje pouze optickým zoomem. Jak již bylo zmíněno, kamera je osazena IR přísvitem se snímačem intenzity světla snímané scény. Pokud je překročena minimální přípustná intenzita osvětlení snímané scény, je automaticky aktivován IR přísvit kamery. Kamera podporuje datový přenos po síti Ethernet s použitím síťového kabelu UTP/STP/FTP. Napájení kamery je zabezpečeno externím napájecím adaptérem, který transformuje střídavé napětí z rozvodné sítě na stejnosměrné napětí o velikosti 12 V s proudovým odběrem max. 1,5 A. Kameru je možné ovládat a konfigurovat přes prostředí v internetovém prohlížeči.

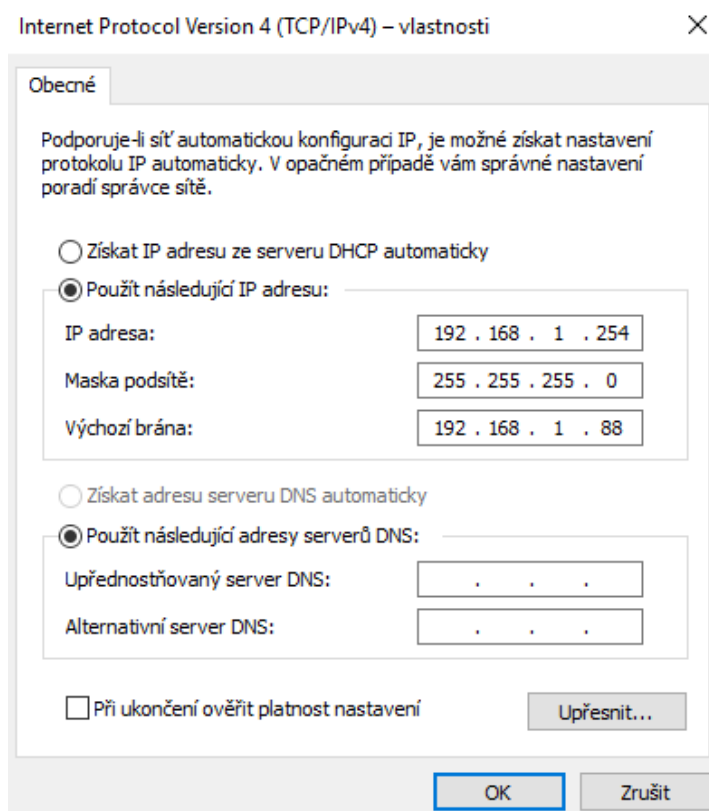


Obr. 34. Fixní bullet IP kamera SCAN

7.2.1 Uvedení kamery do provozu

K vybrané IP kameře není dodáván žádný software pro její nastavení, vše je možné nastavit přes webové rozhraní. V balení je obsažen zdroj napájení na 12 V. Po zapojení síťového kabelu do kamery a následném zapnutí napájení je funkčnost indikována na kontrolce u kabeláže.

Jelikož v tomto případě bude kamera zapojena přímo do PC, je nutné nastavit síťový adaptér tak, aby byla zajištěna funkčnost přenosu pomocí IPv4 protokolu. IP adresa kamery je z výroby dána jako: 192.168.1.88. Přihlašovací jméno a heslo je opět dáno z výroby jako: admin; admin.



Obr. 35. Nastavení síťového adaptéru pro kameru SCAN

Při nastavování parametrů kamery došlo po pár minutách provozu ke zkratu na transformátoru v napájecím zdroji kamery. Důsledkem toho bylo zničení napájecího zdroje dodávaného ke kameře. Porucha zdroje naštěstí neovlivnila funkčnost kamery. Po nahrazení původního zdroje náhradním proběhla další manipulace a konfigurace kamery bez problému.

7.3 Fixní IP kamera Vivotek FD8136-F3

Pro názorný příklad porovnání kvality oproti IP kameře z čínského trhu byla vybrána, fixní dome kamera značky Vivotek, která také splňuje požadavky na maximální velikost zařízení pro umístění do GTEM cely. Tato kamera se od předchozí liší také tím, že je napájena pomocí ethernetového kabelu pomocí technologie IEEE 802.3af PoE Class 1. [27]



Obr. 36. Fixní dome IP kamera Vivotek

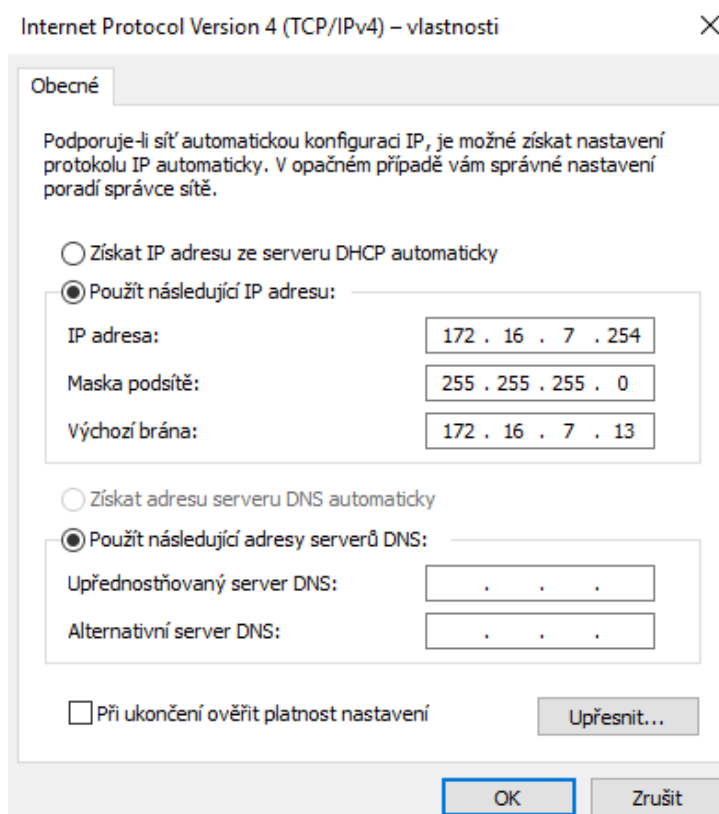
Kamera Vivotek je osazena CMOS čipem o velikosti $\frac{1}{4}$ " , o rozlišení 1 Megapixelu, který disponuje rozlišením 1280x800 pixelů při snímkové frekvenci 30fps. Zvolený typ F3 obsahuje objektiv s $f = 3.6$ mm. Přenášený videosignál je upraven ztrátovou kompresí H. 264.

Kamera umožňuje až 16-ti násobné digitální přiblížení obrazu a uložení záznamu na paměťovou kartu SD o maximální velikosti 16GB. Stejně jako přenos a záznam zvuku díky vestavěnému mikrofonu. [27]

7.3.1 Uvedení kamery do provozu

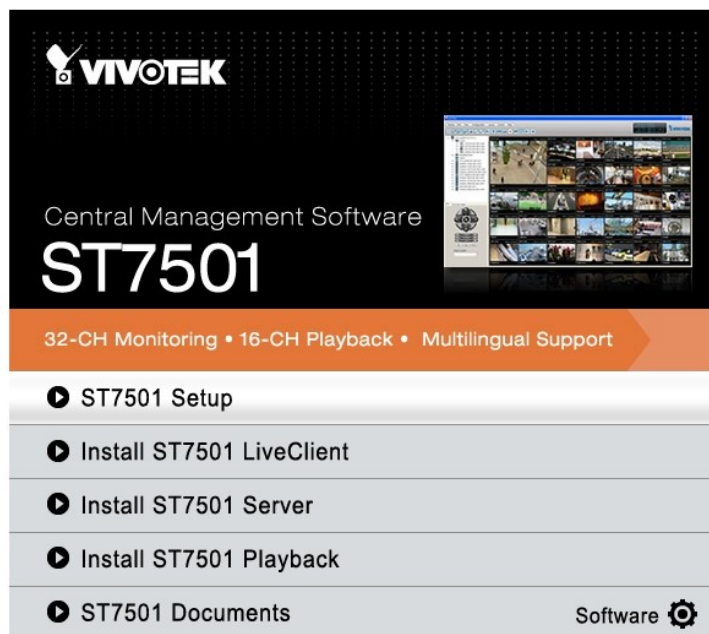
K této kameře je k dispozici kompletní manuál s parametry kamery. Po sejmutí krytu je možné nastavit naklopení kamerového modulu pomocí otočného šroubu. Ke kameře byl připojen UTP kabel, který je dále napojen na PoE Injektor zajišťující napájení kamery. Z tohoto injektoru je veden další UTP kabel do PC zajišťující obrazový výstup.

Po zapnutí napájení PoE injektoru se rozsvítí signalizace provozu přímo pod krytem IP kamery. IP adresa této kamery je výrobně nastavená na: 172.16.7.13, kdy pro první přihlášení není třeba zadávat přihlašovací jméno ani heslo. Po instalaci a spuštění dodávaného softwaru Installation Wizard 2 (IW2), byla vyhledána kamera v síti a proběhlo přihlášení pomocí internetového prohlížeče.



Obr. 37. Nastavení síťového adaptéru pro kameru Vivotek

Výrobce kamery společně s kamerou v balení dodává software sloužící k další správě kamery, záznamu či živého přenosu obrazu. Pro účely testů EMS byl použit ST7501 Live Client, který umožňuje sledování obrazu v reálném čase.



Obr. 38. Instalace softwaru kamery Vivotek

Pro ostření obrazu je ke kameře dodán speciální otočný nástavec, který je třeba umístit na objektiv kamery. Pomocí tohoto nástroje bylo provedeno zaostření obrazu vyhovující snímané scéně ležící blízko před objektivem, jako tomu bude v GTEM cele.



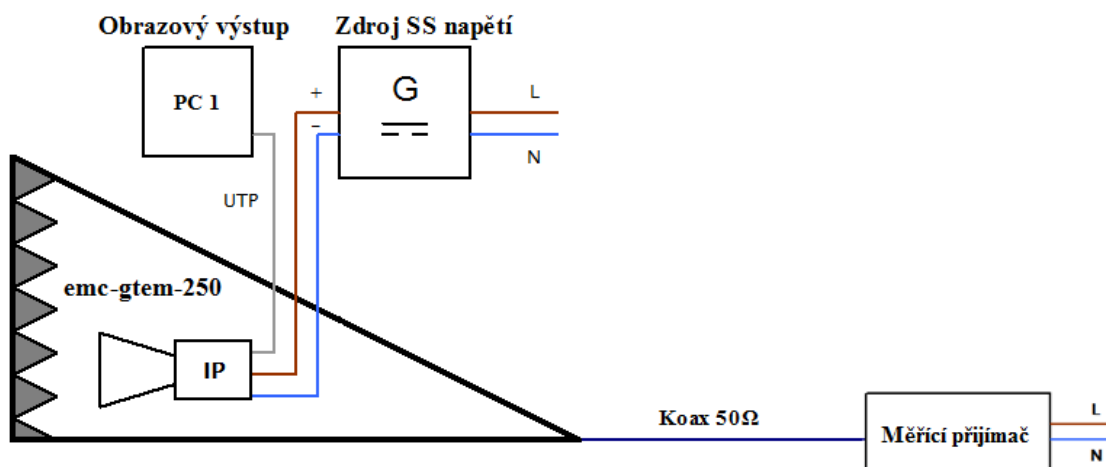
Obr. 39. Nastavení objektivu

8 MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ INTERFERENCE IP KAMER V GTEM CELE

Jelikož byly vybrány kamery s CCD a CMOS čipem, z nichž jedna není oficiálně certifikovaná pro evropský trh, bude provedeno měření elektromagnetické interference, následně budou provedeny testy elektromagnetické odolnosti.

Měření EMI bude provedeno podle následujícího schématu (Obr. 40.). IP kamera SCAN bude umístěna v plně provozním stavu v cele GTEM. Napájení kamery společně s UTP kabelem bude vedeno přes penetrační panel. Adaptér zajišťující zdroj stejnosměrného napětí bude umístěn vně GTEM cely.

Z výstupního konektoru typu N bude veden koaxiální kabel do blíže popsaného měřicího přijímače Rohde&Schwarz ESPI. V případě měření IP kamery VIVOTEK bude toto zapojení vypadat obdobně, pouze napájení bude v tomto případě realizováno UTP kabelem pomocí PoE.



Obr. 40. Schéma zapojení pro měření EMI IP kamery

Po dobu celého měření bude probíhat přenos obrazového signálu ze snímané scény do PC1 (Obr. 40.). Videosignál bude přenášen v nejvyšší možné kvalitě, u kamery VIVOTEK to bude při kompresi videosignálu H.264 při 30 fps v rozlišení 1280x800 pixelů. Naměřená data bude možné pozorovat pomocí displeje na měřicím přijímači po celou dobu měření. Data z měření budou vyexportována na připojené paměťové zařízení USB.

Pracovní body pro realizaci měření:

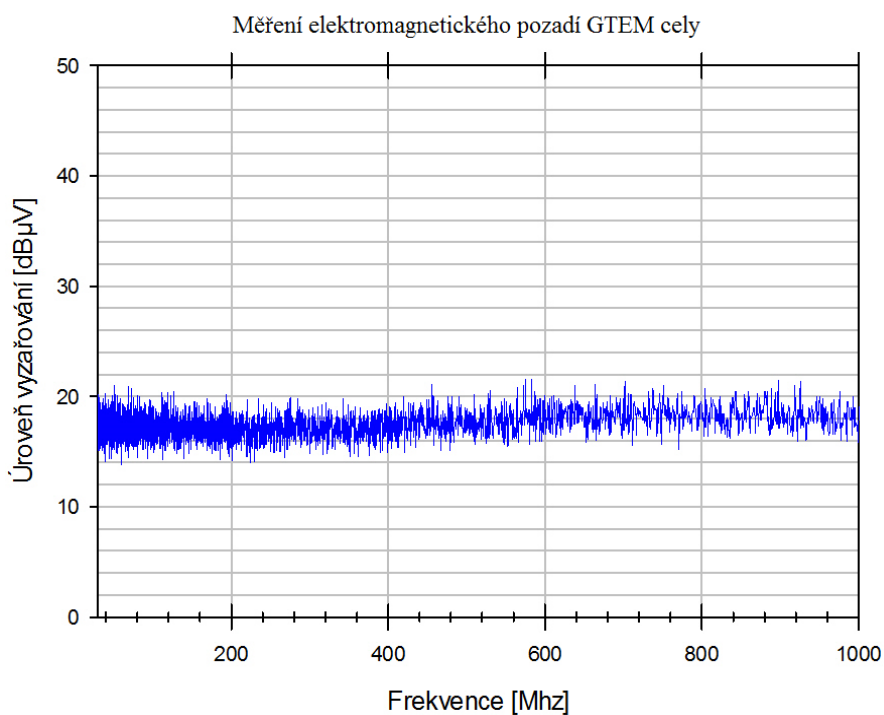
1. Návrh zapojení měřicí soustavy, vytvoření schématu zapojení pro měření vyzařování kamery v GTEM cele.
2. Umístění IP kamery do GTEM cely.
3. Zapojení veškeré kabeláže kamery a měřících přístrojů. (Obr. 40.)
4. Zapnutí zdroje kamery, její zprovoznění a nastavení obrazu.
5. Zvolení frekvenčního rozsahu a dalších parametrů měření na měřícím přijímači R&S ESPI . (Tab. 2.)
6. Zkušební měření pro ověření správného zapojení a správné funkčnosti měřících přístrojů.
7. Měření úrovně vyzařování v prázdné uzavřené GTEM cele – pozadí elektromagnetických signálů vstupujících do GTEM cely ve frekvenčním rozsahu ovlivňujícím měření.
8. Měření úrovně vyzařování v uzavřené GTEM cele po zavedení napájecího a UTP síťového kabelu kamery penetračním panelem (V případě IP kamery Vivotek pouze UTP kabel).
9. Měření úrovně vyzařování zapnuté kamery s datovým přenosem videosignálu do PC pomocí UTP kabelu.

Tab. 2. Zvolené parametry na měřícím přijímači R&S ESPI pro měření EMI

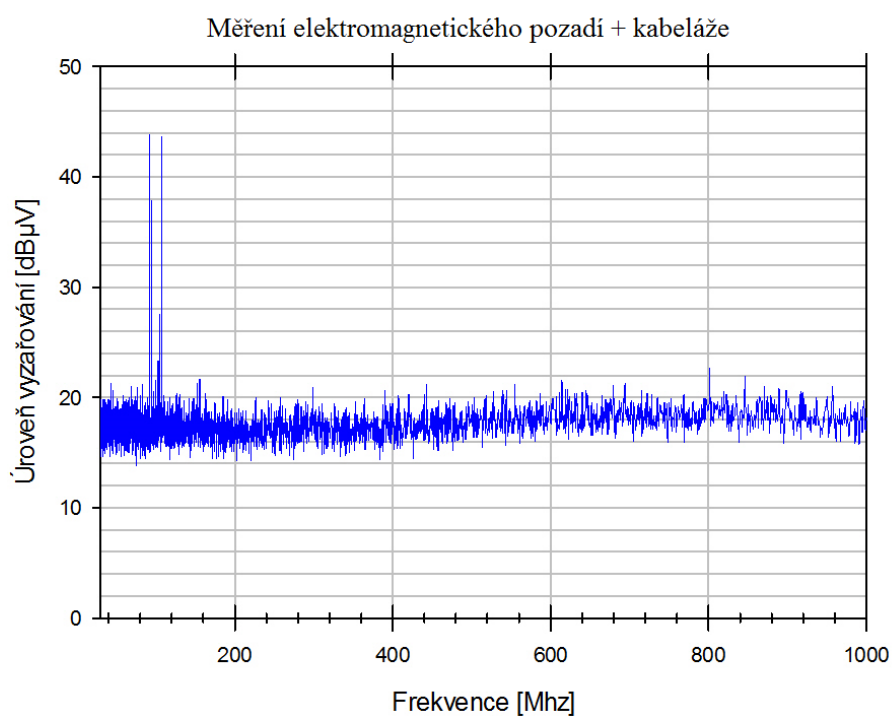
Parametr	Hodnota
Frekvenční rozsah měření	30 MHz – 1GHz
Stepsize	0,1%
Resolution bandwidth	9kHz
Meas Time	5ms
Auto Ranging	Vypnuto
RF Attenuation	30 dB
Preamp.	Zapnuto
Automatický Preamp.	Vypnuto

8.1 Naměřená data IP kamery SCAN

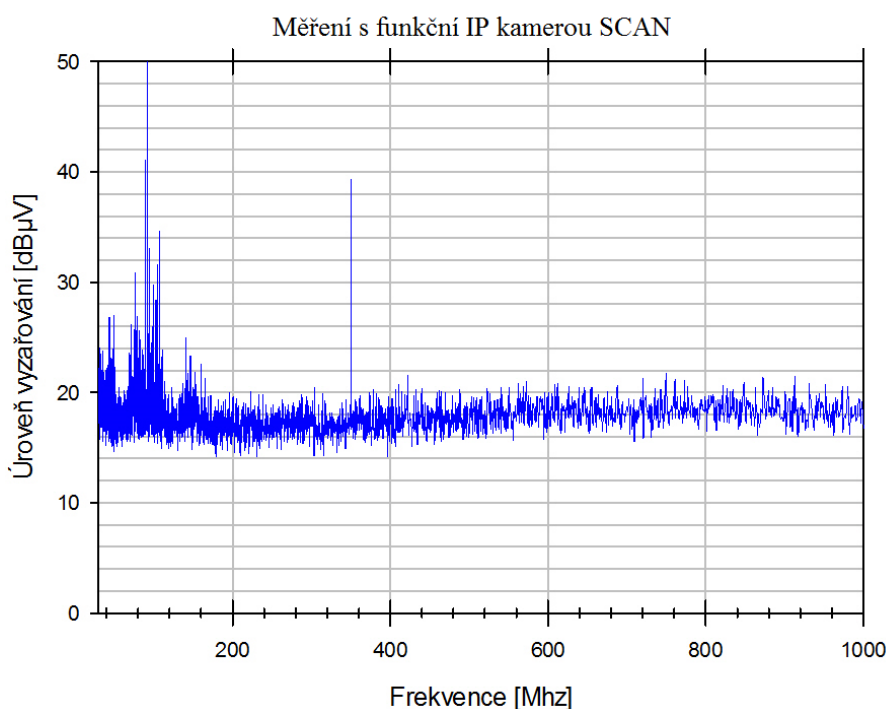
Všechna naměřená data vznikla z hodnot měření, která byla pro každý krok postupu provedena desetkrát. Všechny níže uvedené grafy byly zpracovány v programu SigmaPlot 13.0.



Obr. 41. Měření elektromagnetického pozadí GTEM cely



Obr. 42. Měření elektromagnetického pozadí + kabeláže



Obr. 43. Měření s funkční IP kamerou SCAN

8.1.1 Vyhodnocení

Před testováním elektromagnetické odolnosti bylo provedeno měření elektromagnetické interference kamer. To může být výhodné při testech EMS, pokud dojde ke zjištění toho, že kamera vyzařuje v jistém frekvenčním spektru. Což může způsobit část elektroniky kamery pracující na tomto kmitočtu. V tomto frekvenčním spektru by mohla být také více náchylná na působení rušivých elektromagnetických signálů při testech elektromagnetické odolnosti.

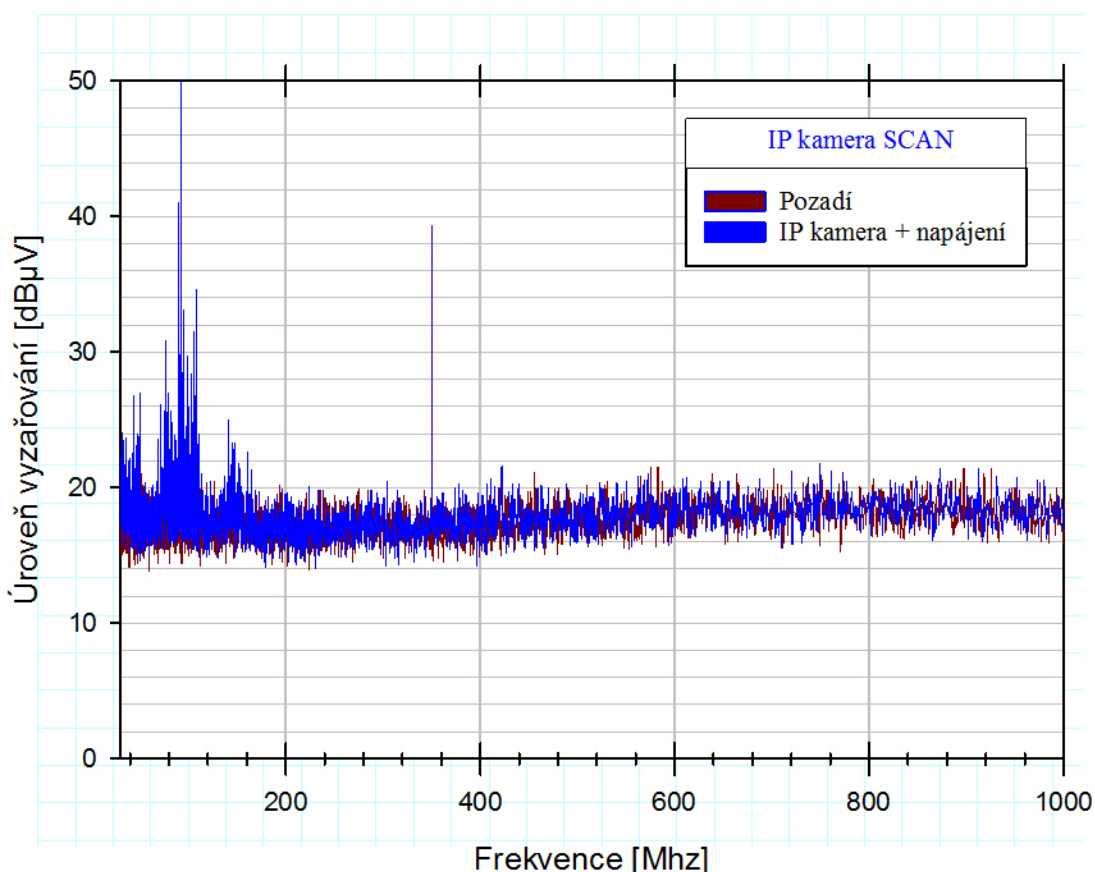
Pro zvýšení přesnosti měření bylo provedeno měření elektromagnetického pozadí GTEM cely, z čehož můžeme vyhodnotit stínící účinky GTEM cely, které jsou na velice dobré úrovni. Stínící vlastnosti jsou odpovídající velikosti množství naměřeného šumu uvnitř cely. (Obr. 41.).

Po zavedení kabeláže přes penetrační panel (napájecí a datový UTP kabel) se do měřicí soustavy dostaly frekvenční pásma rádiových signálů a to konkrétně v pásmech 50 – 100 MHz. Narušení těchto stínících vlastností tak dojde vzhledem k tomu, že přivedená kabeláž se chová jako druhotná anténa a díky přítomnosti této kabeláže vstupují rušivé signály do zastíněné GTEM cely.

Při měření vyzařování kamery SCAN ve funkčním zapojení, společně s přenosem obrazové informace pomocí UTP kabelu byla naměřená data složena z šumu odpovídajícímu prvnímu měření prázdné GTEM cely. V měření jsou dále obsaženy peaky v oblasti pásma rádiových signálů způsobené kabeláží vedenou přes penetrační panel. Úroveň vyzařování se při přenosu videosignálu v tomto frekvenčním pásmu ještě zvýší, může to být způsobené technologií přenosu dat přes síťový kabel, zároveň aktivitou vnitřních integrovaných obvodů ethernetového rozhraní v IP kameře.

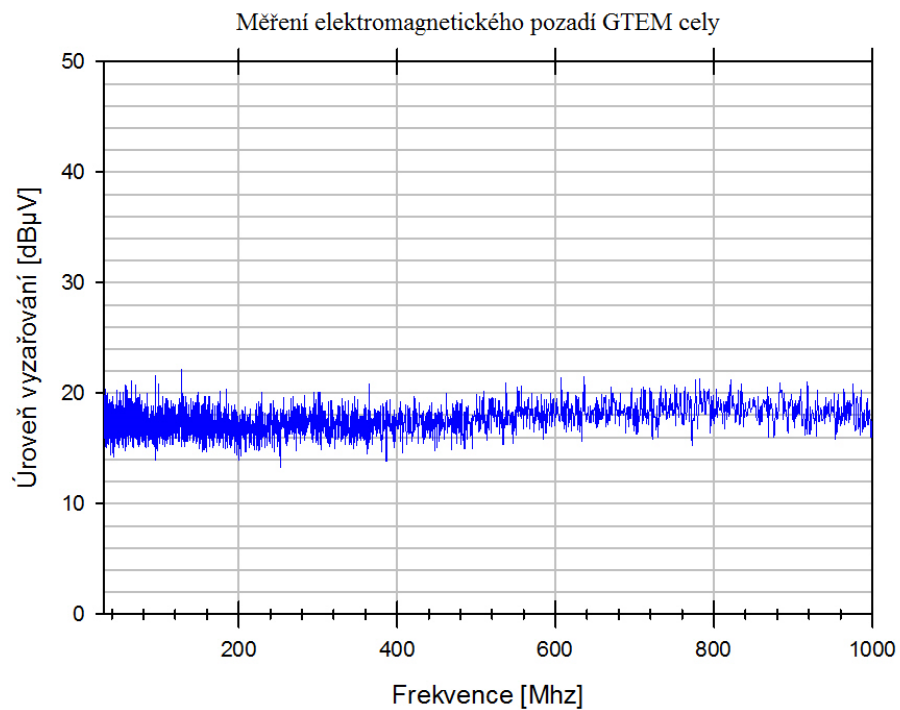
Oproti všem předchozím měřením se při měření s funkční kamerou vyskytuje peak v oblasti 350 Mhz, který značí právě funkční kmitočet některé z elektronických částí kamery. K tomuto faktu pak bude přihlédnuto při realizaci testů elektromagnetické odolnosti.

Na obrázku níže (Obr. 44.) můžeme vidět, rozdíl mezi elektromagnetickým pozadím vstupujícím ho prázdné GTEM cely a vyzařováním IP kamery SCAN.

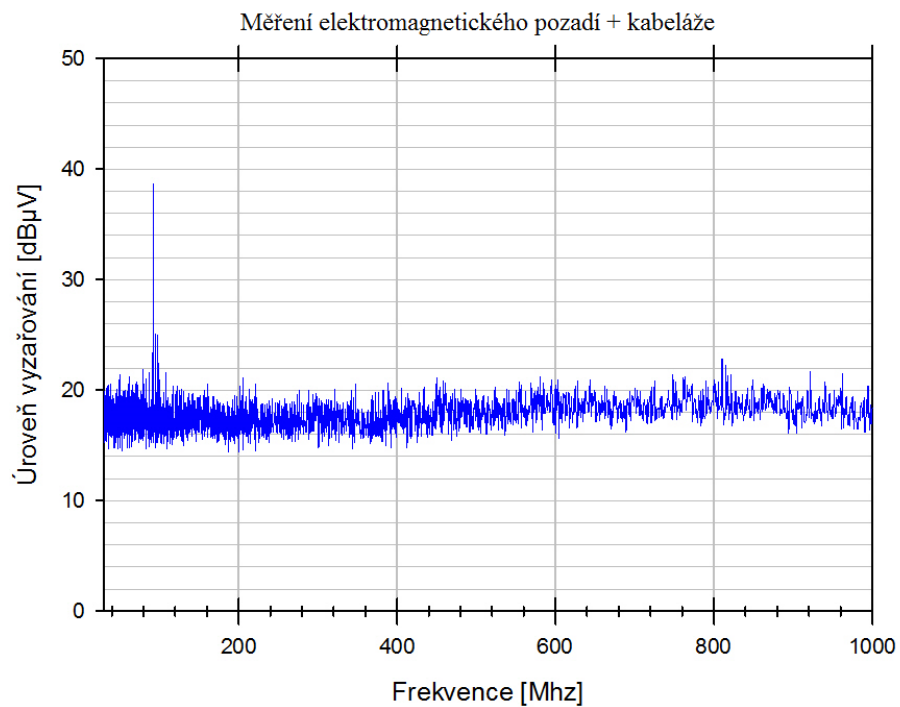


Obr. 44. Vyzařování IP kamery SCAN vzhledem k pozadí GTEM cely.

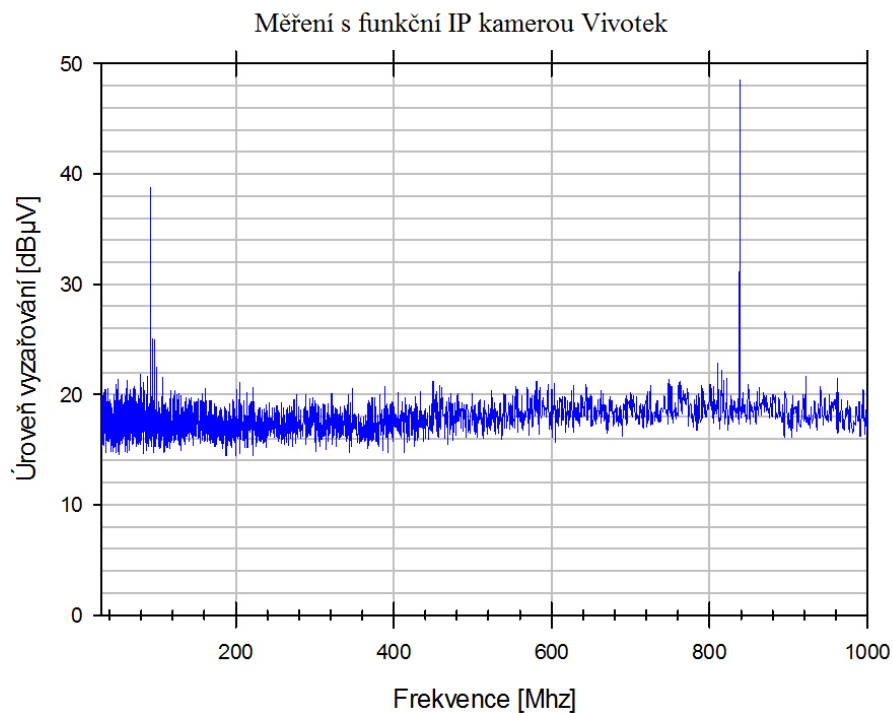
8.2 Naměřená data IP kamery VIVOTEK



Obr. 45. Měření elektromagnetického pozadí GTEM cely



Obr. 46. Měření elektromagnetického pozadí + kabeláže



Obr. 47. Měření s funkční IP kamerou VIVOTEK

8.2.1 Vyhodnocení

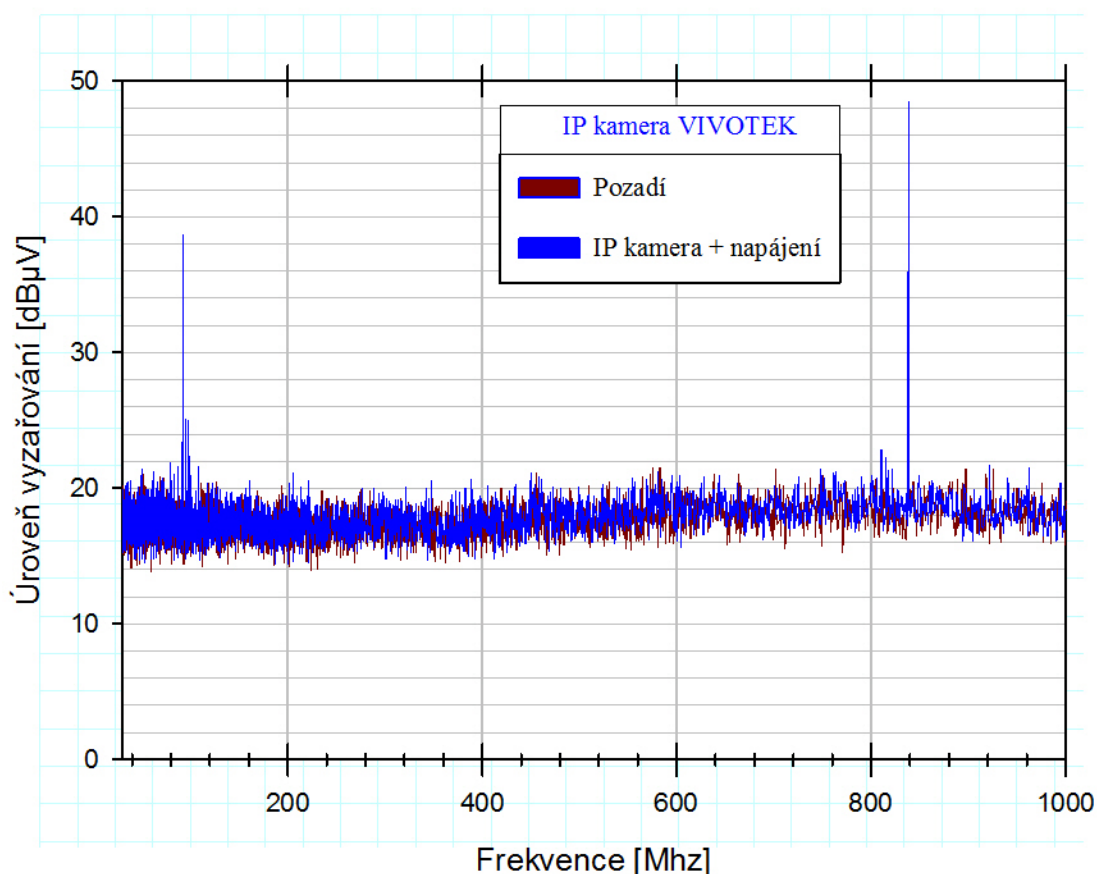
I v případě IP kamery VIVOTEK budou zohledněny výsledky měření elektromagnetické interference při testech elektromagnetické odolnosti tohoto zařízení.

Pro zvýšení přesnosti měření bylo znovu provedeno měření elektromagnetického pozadí GTEM cely, jelikož jednotlivá měření kamer proběhla s větším časovým rozestupem a tudíž mohlo dojít ke změně elektromagnetického pozadí vstupujícího do GTEM cely z okolí.

Z (Obr. 45.) můžeme vidět, že pozadí signálů vstupujících do uzavřené GTEM cely se prakticky nemění, naopak po zavedení UTP kabelu do uzavřené GTEM cely se opět při měření EMI objevují „peaky“ v oblasti rádiového spektra. Velikost a četnost těchto „peaků“ se nepatrně liší od prvních měření pro IP kameru SCAN. (Obr. 46.) To je způsobeno tím, že přes penetrační panel do GTEM cely vstupuje pouze UTP kabel na rozdíl od předchozího případu, kdy zde bylo nutné vložit také kabel pro napájení kamery.

Při posledním měření vyzařování kamery VIVOTEK ve funkčním uspořádání s přenosem videosignálu jsou opět data vyselektována ze všech předchozích měření. Z vyhodnocení grafu (Obr. 47.) je patrně vidět „peak“ ve frekvenční oblasti 820 Mhz, o úrovni vyzařování sahající až k hodnotě 50 dBµV.

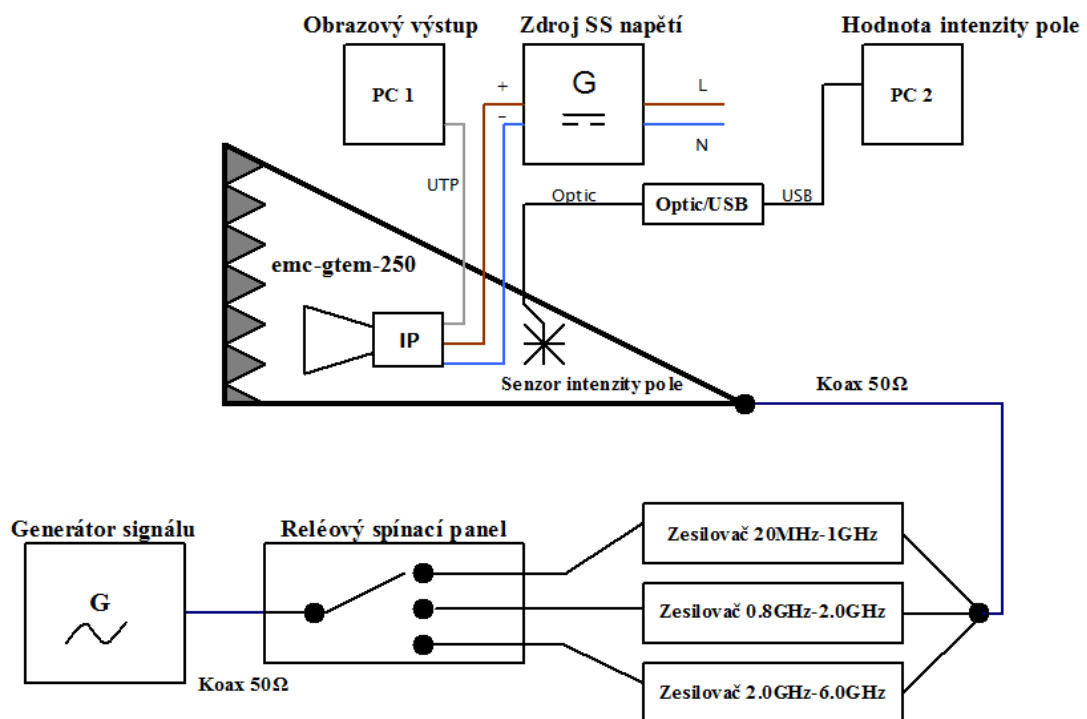
Jelikož se při žádném z provedených měření prázdné GTEM cely a měření s kabeláží tento „peak“ neprojevuje, je možné jej spolehlivě přiřadit k vyzařování samotné IP kamery. Opět zde může být příčinou vyzařování jedna z funkčních součástí kamery nebo také komunikační či napájecí rozhraní pomocí Ethernet kabelu. Frekvence, na které se vyskytuje největší „peak“ se liší oproti předchozí IP kameře značky SCAN. To může být způsobeno použitím jiného obrazového senzoru. IP kamera SCAN používá typ CCD, zatímco kamera VIVOTEK je osazena senzorem CMOS. Dalším možným důvodem může být právě jiný typ napájení kamery, kde je využito napájení pomocí PoE oproti předchozímu externímu vstupu napájení. Na obrázku níže (Obr. 48.) můžeme opět vidět rozdíl mezi elektromagnetickým pozadím prázdné GTEM cely a vyzařováním IP kamery VIVOTEK.



Obr. 48. Vyzařování IP kamery VIVOTEK vzhledem k pozadí GTEM cely.

9 TESTOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI IP KAMER V GTEM CELE

Testy EMS budou prováděny na již zmiňovaných IP kamerách značky SCAN a VIVOTEK. Tyto kamery byly zvoleny záměrně vzhledem k rozdílným obrazovým sensorům. Po měření EMI bylo provedeno přepojení měřící soustavy dle schématu níže (Obr. 49.). Toto schéma vyobrazuje konkrétní zapojení pro testování EMS IP kamery SCAN, která je napájena externím zdrojem, umístěným vně komory. V případě IP kamery značky VIVOTEK se bude schéma zapojení opět lišit pouze tím, že tato kamera bude napájena pomocí PoE po UTP kabelu, sloužícímu pro přenos dat.



Obr. 49. Schéma zapojení pro měření EMS IP kamery

Jak je vidět na schématu výše, IP kamera bude umístěna v GTEM cele společně s veškerou kabeláží potřebnou pro její funkci. Kabeláž bude vedena pomocí penetračního panelu. V blízkosti kamery bude umístěna již popsaná sonda pro měření intenzity pole firmy Frankonia EFS-10, která bude zajišťovat zpětnou vazbu intenzity pole působící na kamery. V případě tohoto zapojení bude nutné využít PC1 pro vyhodnocování obrazového výstupu z kamery v reálném čase.

Obě IP kamery budou tedy podrobeny externím zkouškám elektromagnetické odolnosti vůči vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím. Pro nastavování potřebné intenzity elektrického pole bude využito PC2 se softwarem k WinEP600 dodávaného k sondě měřící intenzitu pole Frankonia EFS-10.

Zkušební signál bude zajištěn Generátorem signálu R&S SMF 100A, odkud pomocí Reléového spínacího panelu FRANKONIA RSU bude signál přiveden přes zesilovač firmy FRANKONIA FLH-20B s frekvenčním rozsahem do 1GHz do GTEM cely.

Pracovní body pro realizaci testů:

1. Návrh zapojení zkušební soustavy, vytvoření schématu zapojení pro testování elektromagnetické odolnosti kamery v GTEM cele.
2. Umístění IP kamery do GTEM cely.
3. Zapojení veškeré kabeláže kamery a zkušebních přístrojů. (Obr. 48.)
4. Zapnutí zdroje kamery, její zprovoznění a nastavení obrazu.
5. Manuální nastavování frekvence generovaného signálu.
6. Korekce výkonu zesilovače k dosažení požadované intenzity elektrického pole uvnitř cely GTEM měřeného sondou EFS-10 na hodnotu 10,(30)V /m.
7. Vyhodnocení změn kvality přenášeného obrazu na PC 1.
8. Opakování bodů 5-7 ve frekvenčním rozsahu 1-1000 MHz.
9. Odpojení výstupu generátoru signálu.
10. Posouzení funkčního kritéria.

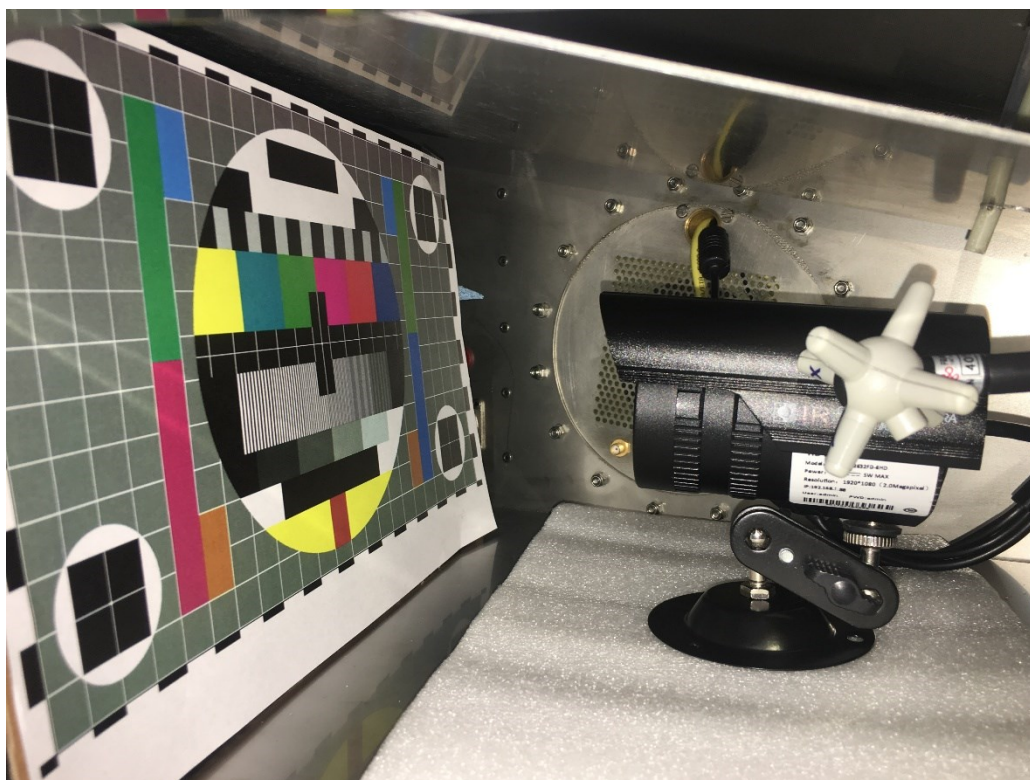


Obr. 50. Referenční snímek pro testované kamery

Obě testované kamery budou po celou dobu testů snímat referenční snímek umístěný v GTEM cele. Změny v obraze přenášeném v reálném čase budou brány jako ukazatel citlivosti kamery na rušení. Po provedení uvedených testů bude vyhodnocen vliv vysokofrekvenčního elektromagnetického rušení na funkčnost kamer.

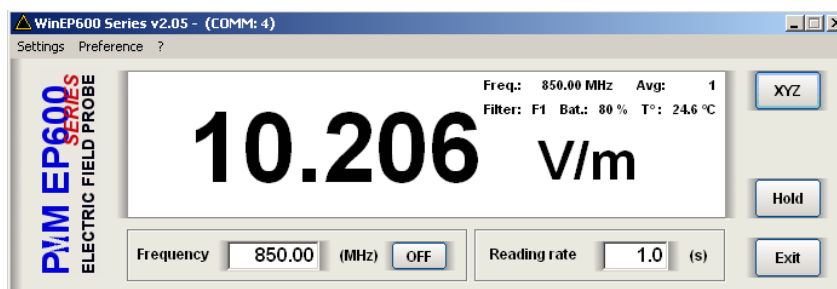
9.1 Testy elektromagnetické odolnosti IP kamery SCAN

Nejdříve byla podrobena testům odolnosti IP kamera čínské výroby, která bude vystavena intenzitě elektrického pole o hodnotě 10 a 30 V/m.



Obr. 51. Umístění IP kamery SCAN v GTEM cele při testech EMS

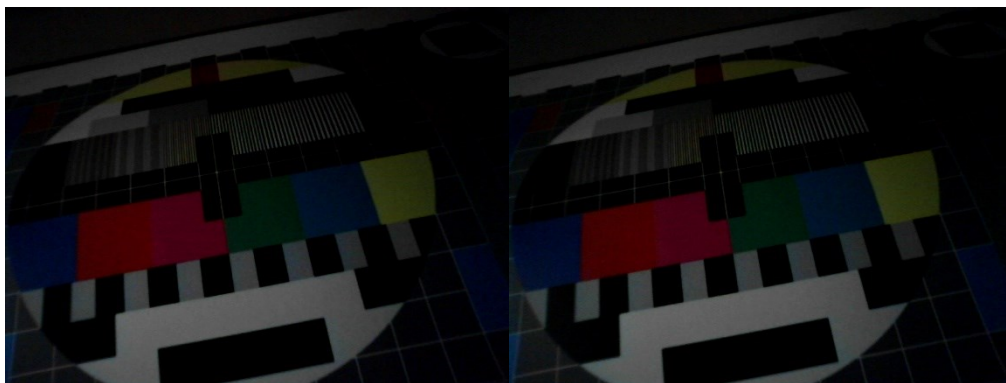
Intenzita elektrického pole bude nastavována se zpětnou vazbou pomocí softwaru WinEP600 firmy Frankonia. (Obr. 52.)



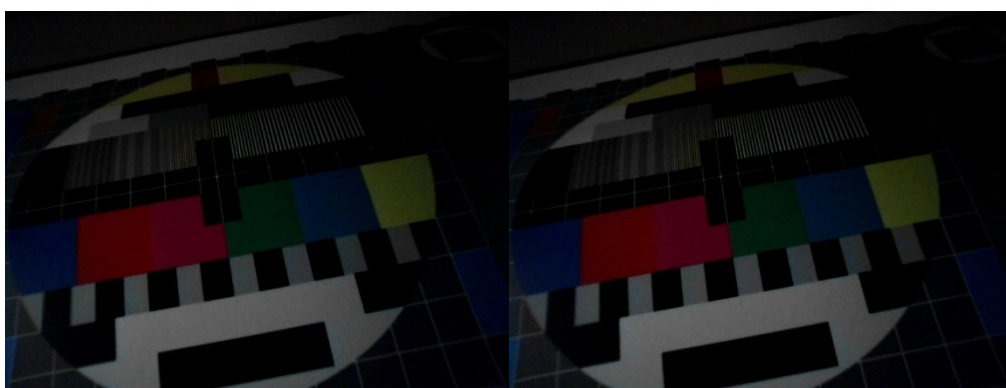
Obr. 52. Ukázka softwaru WinEP600

Tab. 3. Tabulka hodnot nastavených veličin pro testy
EMS IP kamery SCAN

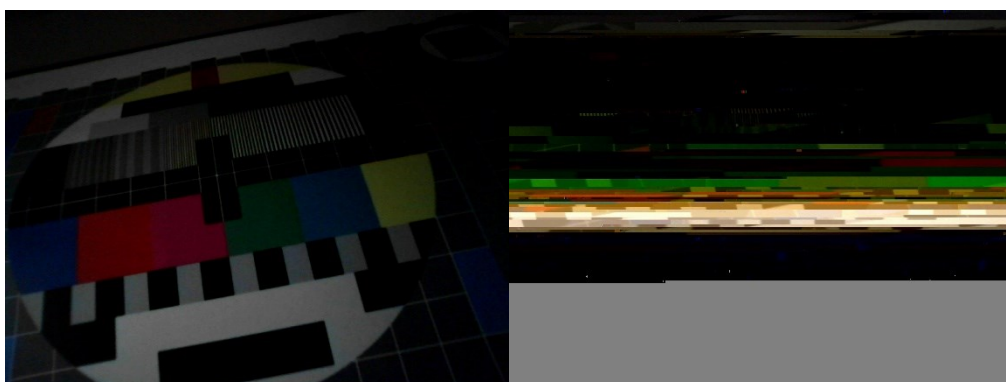
Frekvence [MHz]	Intenzita elektrického pole [V/m]
1	10,028
5	10,225
10	10,142
20	10,045
50	10,172
100	10,212
150	10,088
200	10,030
250	10,288
300	10,205
350	10,011
400	10,115
450	10,098
500	10,853
550	10,400
600	10,650
650	10,750
700	10,060
750	10,884
800	10,487
850	10,248
900	10,222
950	10,330
1000	12,659



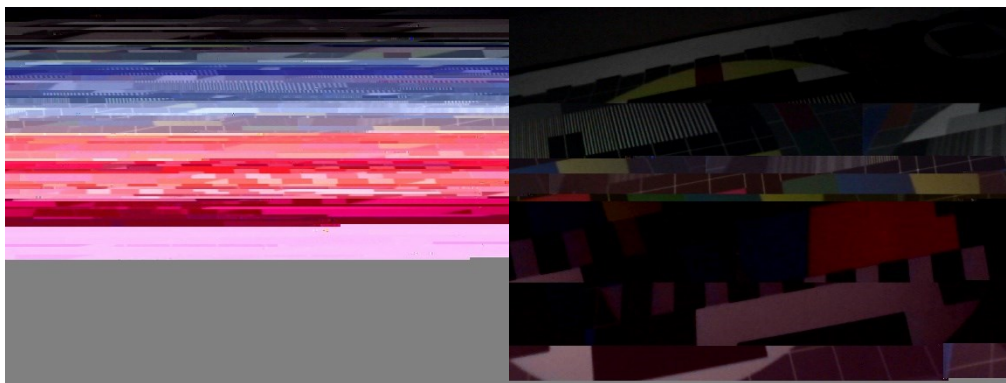
Obr. 53. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 1Mhz (vlevo) a 5Mhz (vpravo).



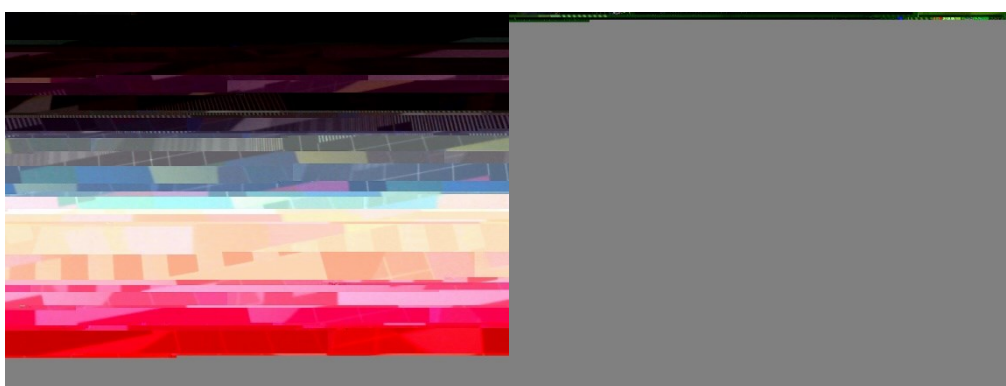
Obr. 54. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 10Mhz (vlevo) a 20Mhz (vpravo).



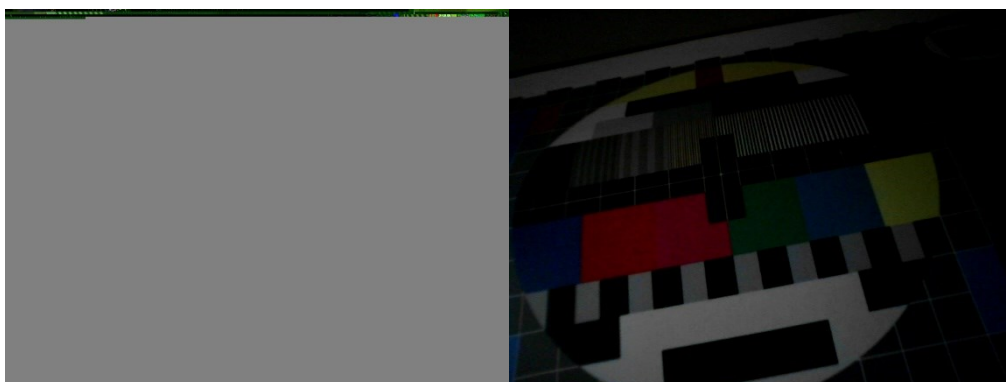
Obr. 55. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 50Mhz (vlevo) a 100Mhz (vpravo).



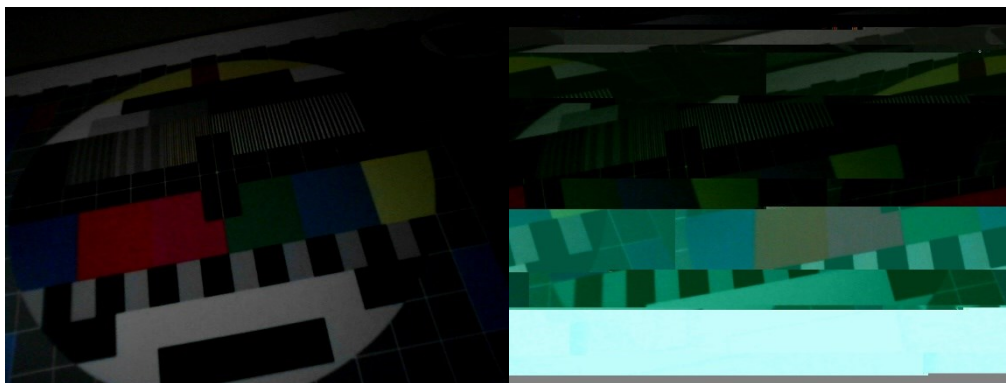
Obr. 56. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 150Mhz (vlevo) a 200Mhz (vpravo).



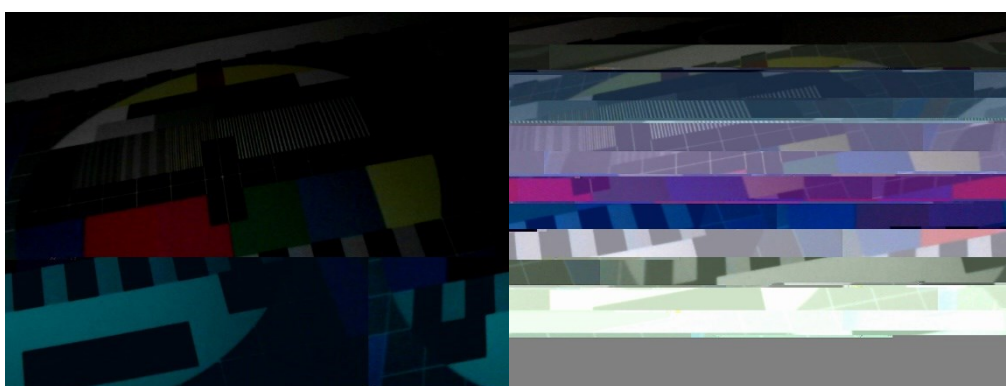
Obr. 57. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 250Mhz (vlevo) a 300Mhz (vpravo).



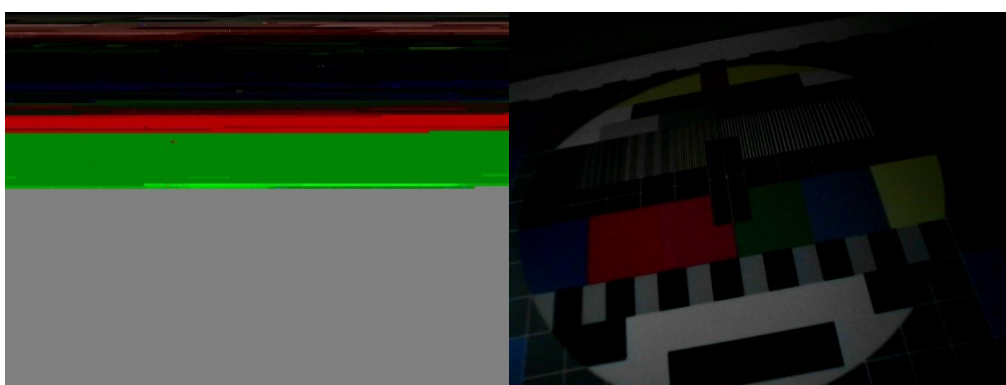
Obr. 58. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 350Mhz (vlevo) a 400Mhz (vpravo).



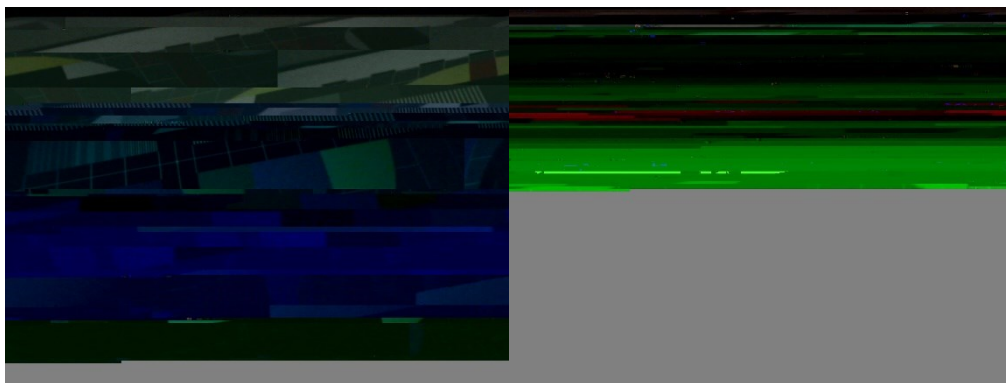
Obr. 59. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 450Mhz (vlevo) a 500Mhz (vpravo).



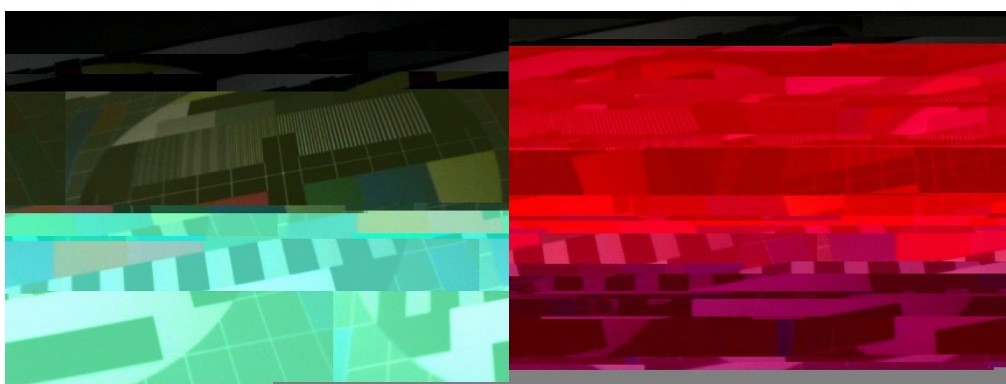
Obr. 60. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 550Mhz (vlevo) a 600Mhz (vpravo).



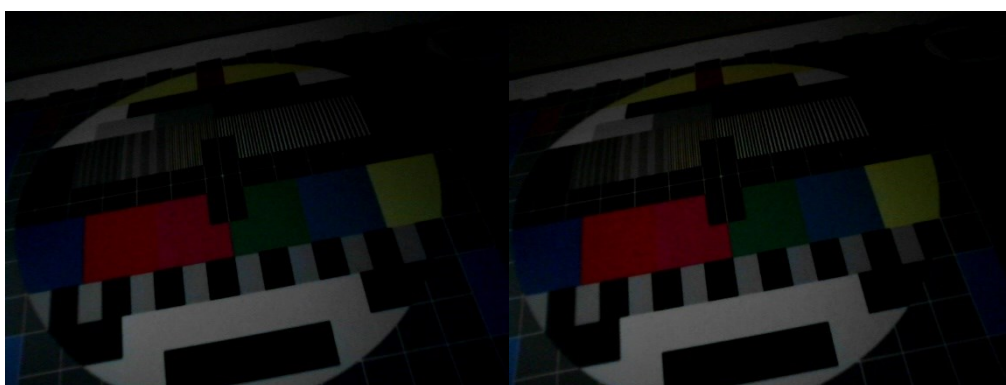
Obr. 61. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 650Mhz (vlevo) a 700Mhz (vpravo).



Obr. 62. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 750Mhz (vlevo) a 800Mhz (vpravo).



Obr. 63. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 850Mhz (vlevo) a 900Mhz (vpravo).



Obr. 64. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 950Mhz (vlevo) a 1000Mhz (vpravo).

9.1.1 Výsledky testů elektromagnetické odolnosti IP kamery SCAN

Kamera byla podrobena zkouškám elektromagnetické odolnosti vůči vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím o intenzitě elektrického pole 10 V/m, konkrétní hodnoty veličin při zkoušce jsou vyobrazeny v Tab. 3 výše. Vzhledem k možnosti analyzovat změny v obraze v reálném čase, bylo možné posoudit vliv působení elektromagnetického vysokofrekvenčního pole na kameru při jednotlivých krocích testu.

Jak je možné vidět na (Obr. 53-64.) výše, kamera při jistých frekvencích zcela ztrácela schopnost přenosu nepoškozeného videosignálu do vyhodnocovacího PC1. Při testech na frekvenci 300 MHz a 350 MHz přestala kamera pracovat úplně a bylo nutné test přerušit a provést manuální restart kamery. Po restartu začala kamera opět správně fungovat a komunikovat s vyhodnocovacím PC1. Při pokračování v těchto testech docházelo i nadále k poškození přenášeného obrazu, ale již nedošlo k úplnému selhání kamery. Po vyhodnocení chování kamery při působení vysokofrekvenčního elektromagnetického pole o intenzitě elektrického pole 10 V/m, bylo upuštěno od testů při vyšších hodnotách elektrického pole (30 V/m). Zde se potvrdila vhodnost provedení měření EMI před samotnými testy EMS, jelikož při vyhodnocení tohoto měření se zjistilo, že některá funkční část testované kamery pracuje právě na frekvenci 350 MHz. Při testech EMS pak právě došlo k úplnému výpadku videosignálu z této kamery v tomto frekvenčním pásmu.

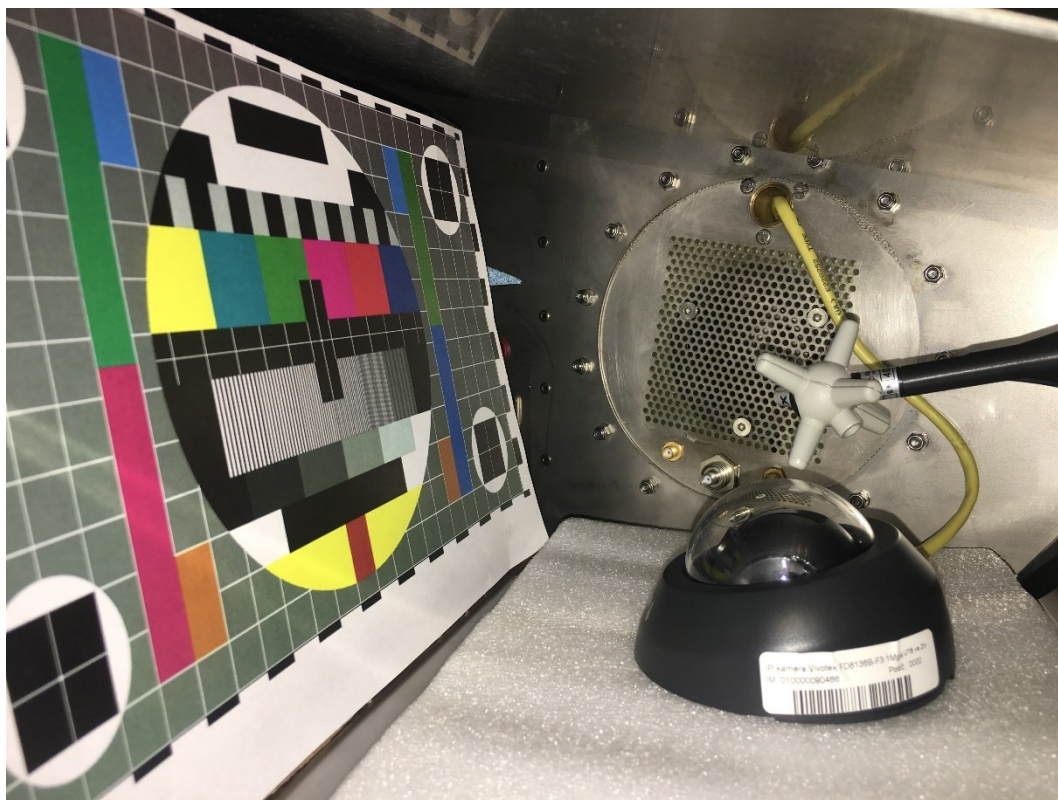
Vzhledem k charakteru testovaných zařízení není možné vyhodnotit kvantitativní mez odolnosti, proto bude vyhodnocována mez odolnosti kvalitativní (funkční). Vzhledem k definicím kvalitativním kritérií zmiňovaných v předchozích kapitolách je možné prohlásit, že IP kamera SCAN **splňuje funkční kritérium D**, jelikož při průběhu zkoušky nebyla funkce zařízení plněna vůbec dle specifikace. Po skončení zkoušky se funkce neobnovila automaticky, ale bylo potřeba ji obnovit jednoduchým zásahem operátora (resetem). Po ukončení testů nebylo zjištěno žádné trvalé narušení některé z funkčních částí kamery.

Přesná definice funkčního kritéria D: [4]

- **Funkční kritérium D** – *„jedna či více funkcí zařízení či systému během zkoušky (během rušení) není plněna vůbec či správně dle specifikace. Po skončení zkoušky se funkce zařízení neobnoví automaticky, ale musí být obnovena (jednoduchým) zásahem operátora (uživatele) dle návodu k použití zařízení (např. reset).“* Elektromagnetické rušení v tomto případě také ovlivní funkci zařízení či systému, po ukončení zkoušky je pro obnovení správné funkce vyžadován zásah operátora

9.2 Testy elektromagnetické odolnosti IP kamery VIVOTEK

Po provedení testů EMS na IP kamerě SCAN bylo přistoupeno k testování EMS IP kamery VIVOTEK. Umístění této kamery před provedením testů EMS v GTEM cele je možné vidět na obrázku níže (Obr. 65.)



Obr. 65. Umístění IP kamery VIVOTEK v GTEM cele při testech EMS

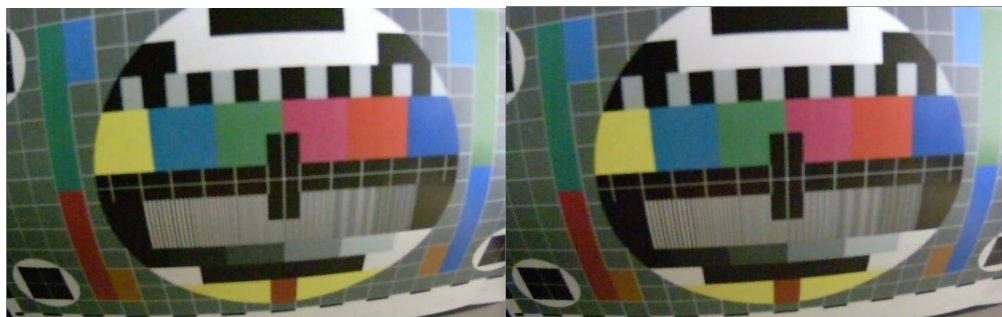
Vzhledem k přihlídnutí na reakci předchozí testované IP kamery při působení vysokofrekvenčních elektromagnetických vln budou provedeny testy EMS pouze při intenzitě elektromagnetického pole na hodnotě 10 V/m. A to především k tomu, aby případně nedošlo k nevratnému poškození testované kamery.

Konkrétní hodnoty nastavených veličin použitých při testech elektromagnetické odolnosti jsou obsaženy v Tab. 4. na následující straně.

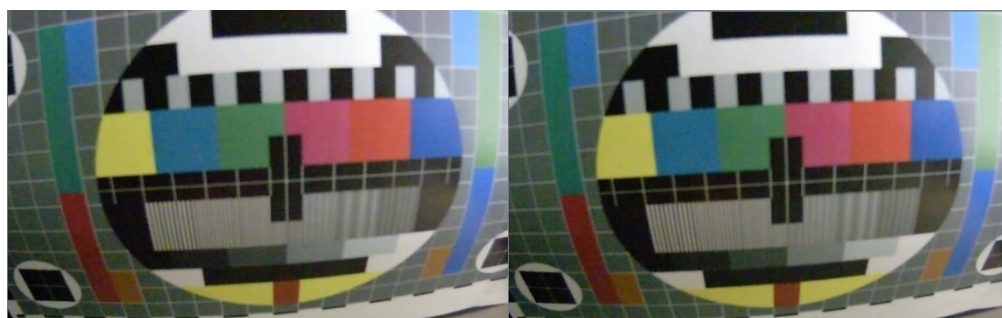
Tab. 4. Tabulka hodnot nastavených veličin pro testy
EMS IP kamery VIVOTEK

Frekvence [MHz]	Intenzita elektrického pole [V/m]
1	10,094
5	9,978
10	10,125
20	10,063
50	10,016
100	10,051
150	10,187
200	10,167
250	10,032
300	10,385
350	10,127
400	10,002
450	10,341
500	10,174
550	10,094
600	9,978
650	10,125
700	10,063
750	10,016
800	10,012
850	10,325
900	10,241
950	10,054
1000	10,098

Pro zachování přehlednosti byly vybrány pouze čtyři obrazové výstupy z kamery VIVOTEK. A to při frekvencích 50, 500, 750 a 1000 MHz. Vzhledem k tomu, že v průběhu celého testu nedošlo u žádného frekvenčního pásma k podstatným vadám na přenášeném obrazu.



Obr. 66. Obrazový výstup z kamery VIVOTEK při frekvencích 50Mhz (vlevo) a 500Mhz (vpravo).



Obr. 67. Obrazový výstup z kamery VIVOTEK při frekvencích 750Mhz (vlevo) a 1000Mhz (vpravo).

9.2.1 Výsledky testů elektromagnetické odolnosti IP kamery VIVOTEK

Kamera byla podrobena zkouškám elektromagnetické odolnosti vůči vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím o téměř totožné intenzitě elektrického pole, jako to bylo u přechozí testované kamery. Opět zde byla provedena analýza funkčního kritéria při testech pomocí aktuálního obrazového výstupu snímaného referenčního obrazu. Také bylo provedeno vyhodnocení zachování funkčnosti všech částí kamery po ukončení testu.

Během plynulých změn frekvence generovaného signálu, při zachování stejné intenzity elektrického pole nedocházelo u této testované kamery k žádným markantním změnám v přenášeném obraze. Ve frekvenčním pásmu od 50 MHz do 150 MHz docházelo ke vstupu mírného šumu do obrazu (Obr. 66.), který se při vyšších testovaných frekvencích již dále neobjevoval. Také došlo k mírné změně spektra barev na snímaném referenčním obrazu (Obr. 66-67.).

Po ukončení testů elektromagnetické odolnosti byla vyhodnocena funkčnost všech částí kamery, bez zjištění jakýchkoliv závad.

Vzhledem k výše jmenovaným změnám v obraze, je možné prohlásit, že IP kamera VIVOTEK **splňuje funkční kritérium B**, jelikož zařízení jako celek pracuje dle specifikace, dochází pouze k malým změnám ve snímaném obraze, které se po ukončení zkoušek EMS již dále v obraze neprojevují.

Přesná definice funkčního kritéria B: [4]

- **Funkční kritérium B** – *„zařízení/systém pracuje dle specifikace, některé jeho části však během zkoušky vybočí z povolených tolerancí (nenastane však změna provozního stavu zařízení či změna dat v paměti). Po skončení zkoušky se všechny funkce musí automaticky (tj. bez zásahu operátora) obnovit v původním rozsahu a kvalitě a ve vymezených tolerancích.“* Dochází tedy zde ke změně chodu zařízení či systému, po skončení testů EMS se však musí obnovit správný chod zařízení bez zásahu operátora.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a zrealizovat testy elektromagnetické odolnosti elektronických systémů s využitím GTEM cely, která je součástí Vědeckotechnického parku ve Zlíně. Předložená práce je koncipována na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část pojednává o obecné problematice elektromagnetické kompatibility, jejím základním členěním na elektromagnetickou interferenci a elektromagnetickou odolnost. Dále jsou v této části blíže popsány interferenční zdroje společně s vazebními mechanismy přenosu rušivých signálů. Podstatná část teoretické části se věnuje právě problematice elektromagnetické odolnosti, zkušebními signály pro zkoušky elektromagnetické odolnosti a obecné metodice těchto zkoušek.

V rámci využití GTEM cely při testech elektromagnetické odolnosti, byly v další části práce také blíže popsány speciální antény pro simulaci zkušebních elektromagnetických polí. Není zde opomenuta ani legislativa v oblasti elektromagnetické kompatibility. V této legislativní části jsou blíže popsány organizace zastřešující oblast normotvorby v problematice elektromagnetické kompatibility, následně jsou zde blíže specifikovány rozdíly v normách pro civilní a vojenskou sféru.

Pro testování elektromagnetické odolnosti v oblasti bezpečnosti jsem zvolil kamerové systémy, jelikož představují obrovský trend v bezpečnostních aplikacích. Zároveň se kamerový systém jevil jako nejvhodnější elektronické zařízení z hlediska vyhodnocení vlivu elektromagnetického rušení na toto zařízení. V závěru teoretické části jsou popsány typy kamerových systémů, jejich funkční prvky a přenosové cesty signálu. Těchto poznatků bylo využito při zpracování praktické části práce a při výběru vhodného typu kamerového systému.

V praktické části jsou uvedeny bližší specifikace konkrétně vybraných kamer. Pro testy a měření v GTEM cele byl záměrně zvolen IP kamerový systém. Jednak tento typ kamerového systému je dnes instalován v naprosté většině případů a zároveň představuje snadno realizovatelný a nastavitelný systém právě pro měření a testy v GTEM cele.

Pro testování elektromagnetické odolnosti byly záměrně vybrány dvě kamery, jelikož jedna z těchto kamer značky SCAN je určena pro čínský trh a výrobce nedeklaruje jakoukoliv certifikaci pro evropský trh. Jako druhé zařízení pro porovnání při testování elektromagnetické odolnosti byla zvolena kamera od výrobce VIVOTEK. Dalším faktorem pro výběr

těchto kamer bylo osazení rozdílným typem obrazových senzorů, stejně tak přihlédnutí k jejich velikosti vzhledem k limitaci rozměry GTEM cely.

Jelikož se jednalo o nové a nepoužité kamery, bylo přistoupeno k jejich zprovoznění, prvotnímu nastavení a ověření funkčnosti. Každá z těchto kamer využívala jiný zdroj napájení. Kameru od výrobce SCAN bylo nutné napájet pomocí externího zdroje napájení na 12V, kamera značky VIVOTEK však již využívala napájení pomocí „Power over Ethernet“ (PoE). Pro kameru SCAN nebyl dodán žádný software, stejně tak ani výrobce neuváděl jeho dostupnost na internetu. Proto bylo k veškerému nastavení a uživatelskému přístupu využito internetového prohlížeče. Naopak výrobce kamery VIVOTEK dodává potřebný software pro instalaci, nastavení a správu kamery přímo na CD společně s kamerou. Před realizací samotných měření a testů bylo provedeno nastavení kamer uvnitř GTEM cely. Při práci s kamerou SCAN došlo k poruše napájecího adaptéru dodávaného ke kameře, který nebylo již možné nadále využít. Tato porucha naštěstí nepoškodila kameru, která po nahrazení jiným zdrojem napájení odpovídajících parametrů i nadále fungovala.

Před realizací praktické části práce, konkrétně testování elektromagnetické odolnosti, bylo vhodné provést měření elektromagnetické interference těchto kamer za pomoci GTEM cely. Bylo tomu přistoupeno z důvodu vhodnosti zjištění, zda některé komponenty těchto kamer vyzařují ve frekvenční oblasti, pro kterou budou realizovány testy elektromagnetické odolnosti. Což by se mohlo jevit jako hodnotné vodítko pro realizaci těchto testů.

V první části realizace měření a testů byla navrhnutá měřicí soustava pro měření elektromagnetické interference, která je vhodná pro využití s GTEM celou. K sestavení této měřicí soustavy bylo využito komponentů, které jsou součástí Vědeckotechnického parku ve Zlíně. Bližším popisem těchto komponentů se zabývá první kapitola praktické části této práce.

Při měření elektromagnetické interference obou kamer byly zajištěny totožné podmínky. Bylo změřeno elektromagnetické pozadí samotné uzavřené GTEM cely, vliv zavedení kabeláže pro zprovoznění kamer na průběh měření. V poslední části byla provedena měření kamer v plně funkčním rozpoložení, která byla následně zpracována a vyhodnocena.

V další kapitole praktické části byla provedena změna v zapojení měřicí soustavy, pro možnost realizace testů elektromagnetické odolnosti. Testy byly provedeny ve frekvenčním pásmu od 1 MHz do 1 GHz. Kamery byly vystaveny elektromagnetickému poli o intenzitě elektrického pole 10 V/m.

Během celého testu bylo prováděno zaznamenávání a vyhodnocování změn v obraze snímaného testovanou kamerou, jelikož kamery snímaly referenční obrázek umístěný uvnitř GTEM cely. K zefektivnění celého testu by bylo vhodné využít generátoru signálu, který je schopen spolupracovat se softwarem dodávaným firmou Frankonia. Při použití generátoru signálu, který je kompatibilní s tímto softwarem, by bylo možno využít automatizovaného pře nastavování testovací frekvence stejně jako automatické regulace intenzity elektrického pole uvnitř GTEM cely. Při testech tyto veličiny musely být nastavovány a korigovány manuálně na generátoru signálu, což značně zvýšilo dobu potřebnou pro provedení testů.

Při využití manuálního nastavování veličin, byla výhodou možnost sledovat vliv působení vysokofrekvenčních elektromagnetických polí na výsledný přenášený videosignál. Při testech u kamery značky SCAN došlo ke značným změnám v obraze, přecházejícím až k jeho naprosté deformaci. Potvrdil se zde také fakt, že před provedením testů elektromagnetické odolnosti je vhodné provést měření na elektromagnetickou interferenci testovaného zařízení. Jelikož měřením EMI bylo zjištěno, že některá funkční část kamery pracuje na kmitočtu 350 MHz. Právě při testování odolnosti na této frekvenci (300-350 MHz) docházelo k naprostému selhání kamery a bylo nutné test přerušit. Po manuálním restartu a opětovném uvedení do provozu kamera nadále fungovala, ale i při testování ve vyšších frekvenčních pásmech docházelo ke značným poruchám obrazu. Data z testů byla vyhodnocena a kameře bylo přiděleno funkční kritérium třídy D.

Při testech elektromagnetické odolnosti kamery VIVOTEK byly zjištěny jen nepatrné změny v obraze snímaného kamerou, které se vyznačovaly zejména mírnou změnou barevnosti snímané scény a mírného šumu ve frekvenční oblasti 50-150 MHz. Po vyhodnocení všech dat z testů elektromagnetické odolnosti bylo této kameře přiděleno funkční kritérium třídy B.

Přínos této práce spočívá v prokázání důležitosti problematiky elektromagnetické kompatibility u hojně využívaných bezpečnostních kamer. Zároveň můžeme vyhodnotit, že mnohem nižší pořizovací cena kamerového systému z čínského trhu s sebou může nést mnohem nižší spolehlivost a funkčnost tohoto systému jako celku. Pokračování této práce by mohlo být zaměřeno na dokázání vhodnosti provedení měření EMI, které může sloužit jako vodítko před testy EMS. Stejně tak by bylo zajímavé zjistit, jak reaguje kamera mírnými změnami v obraze na působení elektromagnetických polí i při nižších intenzitách elektrického pole, než které byly použity při testech odolnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky*. Brno: Vysoké učení technické, 2001. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 80-214-1873-7.
- [2] VACULÍK, Emil a Polina VACULÍKOVÁ. *Elektronická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vřrušení : ČSN-ČSN EN-ČSN IEC-ČSN CISPR-ČSN ETS*. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-716-9568-8.
- [3] ČSN IEC 1000-1-1. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 1: Všeobecně. Díl 1: Použití a interpretace základních definic a termínů*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [4] DRŽÍNOVSKÝ, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: přednášky*. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2010. ISBN 978-80-214-4202-3.
- [5] PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2006. ISBN 978-0471755005.
- [6] OTT, Henry W. *Electromagnetic compatibility engineering*. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2009. ISBN 978-0-470-18930-6.
- [7] BĚLÍKOVÁ, Martina. *Testování a měření parametrů elektromagnetické kompatibility poplachových systémů*. Zlín, 2013. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [8] ČSN EN 61 000-4-11. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) Část 4: Zkušební a měřicí technika Oddíl 11: Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [9] ČSN IEC 1000-1-1. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 1: Všeobecně. Díl 1: Použití a interpretace základních definic a termínů*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [10] ČSN EN 61 000-4-4. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4: Zkušební a měřicí technika - Oddíl 4: Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny impulsů - zkouška odolnosti - Základní norma EMC*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [11] ČSN EN 61 000-4-12. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-12: Zkušební a měřicí technika - Tlumená sinusová vlna - Zkouška odolnosti*. 2. Praha: Český normalizační institut, 2007.

- [12] ČSN EN 61 000-4-18. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-18: Zkušební a měřicí technika - Tlumená oscilační vlna - Zkouška odolnosti*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [13] ČSN EN 61 000-4-2. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) Část 4: Zkušební a měřicí technika Oddíl 2: Elektrostatický výboj - zkouška odolnosti. Základní norma EMC*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [14] ČSN EN 61 000-4-6. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-6: Zkušební a měřicí technika - Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli*. 3. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [15] ČSN EN 61000-4-3. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-3: Zkušební a měřicí technika - Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti*. 2. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [16] ČSN EN 61000-4-20. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-20: Zkušební a měřicí technika - Zkoušky emise a odolnosti ve vlnovodech s příčným elektromagnetickým polem (TEM)*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [17] VALOUCH, Jan. ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA – VOJENSKÝ VÝZNAM A LEGISLATIVA. *OBRANA A STRATEGIE*. 2004, , 1-9.
- [18] How the IEC is organized for EMC. *International Electrotechnical Commission* [online]. Ženeva: IEC, 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: http://www.iec.ch/emc/iec_emc/
- [19] ADÁMEK, Milan. *Kamerové systémy: Materiály k předmětu A9KAS*. Zlín, 2015.
- [20] NILSSON, Fredrik. *Intelligent network video: understanding modern surveillance systems*. Second edition. ISBN 978-146-6555-211.
- [21] Konstrukce IP kamery [online]. [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://elektro.tzbinfo.cz/10480-princip-cinnosti-typy-a-komunikacni-rozhrani-ip-kamer>
- [22] Princip činnosti, typy a komunikační rozhraní IP kamer. *Tzbinfo* [online]. Zlín: Ing. Jiří Ševčík, 2013 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://elektro.tzb-info.cz/>
- [23] *Síťové kamery* [online]. Praha: Axis, 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://www.axis.com/cz/cs/products/network-cameras>
- [24] FRANKONIA GROUP, EMC Test Equipment 2, dostupné na <http://www.frankoniagroup.com/cms/>
- [25] *Test Receiver R&S®ESPI*. 1. Mnichov: Rohde & Schwarz, 2009.
- [26] *Signal generator R&S SMF 100A* 1. Mnichov: Rohde & Schwarz, 2009.

- [27] VIVOTEK FD8136. *Vivotek* [online]. 2017 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z:
<http://www.vivotek.com/fd8136/#specifications>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AM	Amplitudová modulace.
CCD	Charge-coupled device.
CCTV	Closed Circuit Television.
CECELEC	Comité Européen de Normalisation en Electrotechnique.
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques.
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor.
CPU	Central processing unit.
DRAM	Dynamic Random Access Memory.
DVR	Digital videorecorder.
EIA	Electronic Industries Association.
EMC	Electromagnetic compatibility.
EMI	Electromagnetic immunity.
EMS	Electromagnetic susceptibility.
ESD	Electromagnetic discharge.
ETS	European Telecommunication Standard.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute.
EU	Evropská unie.
FTP	File Transfer Protocol.
GTEM	Gigahertz Transverse Electromagnetic cell.
IEC	International Electrotechnical Commission.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IR	Infrared.
ISO	International Organization for Standardization.
ITU	International Telecommunications Union.

LAN	Local area network.
MIL-STD	Military standards.
NN	Nízké napětí.
NVR	Network video recorder.
PAL	Phase alternating line.
POE	Power over ethernet.
PTZ	Pan-tilt-zoom.
PVC	Polyvinylchlorid.
PZTS	Poplachové zabezpečovací a tísňové systémy.
STP	Spanning Tree Protocol.
TEM	Transverse-electromagnetic.
UTP	Unshielded Twisted Pair.
VTP	Vědeck- technický park.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Základní řetězec EMC [1]</i>	14
<i>Obr. 2. Členění elektromagnetické kompatibility [1]</i>	15
<i>Obr. 3. Rozdělení interferenčních zdrojů [1]</i>	17
<i>Obr. 4. Kmitočtové spektrum vybraných zdrojů rušení [1]</i>	19
<i>Obr. 5. Typy vazebních mechanismů pro přenos rušivých signálů [1]</i>	20
<i>Obr. 6. Galvanické vazby společnou impedancí [1].....</i>	20
<i>Obr. 7. Schéma kapacitní vazby galvanicky oddělených obvodů [1]</i>	21
<i>Obr. 8. Schéma kapacitní vazby mezi obvody se společným vodičem [1]</i>	22
<i>Obr. 9. Schéma kapacitní vazby vůči zemi [1]</i>	22
<i>Obr. 10. Princip vazby vyzařováním (a), vliv vložené stínící přepážky (b) [1]</i>	24
<i>Obr. 11. Úrovně a meze elektromagnetické odolnosti a vyzařování [1]</i>	25
<i>Obr. 12. Typy vstupu rušivých signálů do testovaného zařízení [4].....</i>	31
<i>Obr. 13. Periodický úzkopásmový zkušební signál [4].....</i>	32
<i>Obr. 14. Periodický širokopásmový zkušební signál [4]</i>	33
<i>Obr. 15. Neperiodický úzkopásmový zkušební signál [4].....</i>	33
<i>Obr. 16. Neperiodický širokopásmový zkušební signál [4]</i>	33
<i>Obr. 17. Obecné schéma testování EMS [7]</i>	34
<i>Obr. 18. Zkušební signál s 80% AM. [4]</i>	38
<i>Obr. 19. Schéma bez odrazové komory pro měření EMS vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím. [4].....</i>	39
<i>Obr. 20. TEM komora [4].....</i>	42
<i>Obr. 21. Konstrukce GTEM cely [4]</i>	43
<i>Obr. 22. Organizace v normalizaci EMC [18] (upravil Hromada)</i>	46
<i>Obr. 23. Schéma Analogového kamerového systému</i>	50
<i>Obr. 24. Schéma IP kamerového systému.....</i>	51
<i>Obr. 25. Schéma IP kamery [21]</i>	51
<i>Obr. 26. Ukázka fixních IP kamer, a) standardní kamera, b) panoramatická kamera, c) kamera do výbušného prostředí, d) dome kamera [23]</i>	54
<i>Obr. 27. Ukázka otočných PTZ IP kamer, a) Dome PTZ kamera, b) Standardní PTZ kamera s IR přísvitem. [23].....</i>	55
<i>Obr. 28. Pracoviště GTEM cely.....</i>	57
<i>Obr. 29. emc-gtem-250 firmy FRANKONIA.....</i>	58

<i>Obr. 30. Měřicí přijímač R&S ESPI</i>	59
<i>Obr. 31. Generátor signálu R&S SMF 100A</i>	60
<i>Obr. 32. Sonda pro měření intenzity pole EFS-10 společně s nabíjecí stanicí</i>	61
<i>Obr. 33. Zesilovače fy. FRANKONIA spolu s reléovým spínacím panelem RSU</i>	62
<i>Obr. 34. Fixní bullet IP kamera SCAN</i>	63
<i>Obr. 35. Nastavení síťového adaptéru pro kameru SCAN</i>	64
<i>Obr. 36. Fixní dome IP kamera Vivotek</i>	65
<i>Obr. 37. Nastavení síťového adaptéru pro kameru Vivotek</i>	66
<i>Obr. 38. Instalace softwaru kamery Vivotek</i>	67
<i>Obr. 39. Nastavení objektivu</i>	67
<i>Obr. 40. Schéma zapojení pro měření EMI IP kamery</i>	68
<i>Obr. 41. Měření elektromagnetického pozadí GTEM cely</i>	70
<i>Obr. 42. Měření elektromagnetického pozadí + kabeláže</i>	70
<i>Obr. 43. Měření s funkční IP kamerou SCAN</i>	71
<i>Obr. 44. Vyzařování IP kamery SCAN vzhledem k pozadí GTEM cely</i>	72
<i>Obr. 45. Měření elektromagnetického pozadí GTEM cely</i>	73
<i>Obr. 46. Měření elektromagnetického pozadí + kabeláže</i>	73
<i>Obr. 47. Měření s funkční IP kamerou VIVOTEK</i>	74
<i>Obr. 48. Vyzařování IP kamery VIVOTEK vzhledem k pozadí GTEM cely</i>	75
<i>Obr. 49. Schéma zapojení pro měření EMS IP kamery</i>	76
<i>Obr. 50. Referenční snímek pro testované kamery</i>	77
<i>Obr. 51. Umístění IP kamery SCAN v GTEM cele při testech EMS</i>	78
<i>Obr. 52. Ukázka softwaru WinEP600</i>	78
<i>Obr. 53. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 1Mhz (vlevo) a 5Mhz (vpravo)</i>	80
<i>Obr. 54. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 10Mhz (vlevo) a 20Mhz (vpravo)</i>	80
<i>Obr. 55. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 50Mhz (vlevo) a 100Mhz (vpravo)</i>	80
<i>Obr. 56. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 150Mhz (vlevo) a 200Mhz (vpravo)</i>	81
<i>Obr. 57. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 250Mhz (vlevo) a 300Mhz (vpravo)</i>	81

<i>Obr. 58. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 350Mhz (vlevo) a 400Mhz (vpravo).</i>	81
<i>Obr. 59. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 450Mhz (vlevo) a 500Mhz (vpravo).</i>	82
<i>Obr. 60. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 550Mhz (vlevo) a 600Mhz (vpravo).</i>	82
<i>Obr. 61. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 650Mhz (vlevo) a 700Mhz (vpravo).</i>	82
<i>Obr. 62. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 750Mhz (vlevo) a 800Mhz (vpravo).</i>	83
<i>Obr. 63. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 850Mhz (vlevo) a 900Mhz (vpravo).</i>	83
<i>Obr. 64. Obrazový výstup z kamery SCAN při frekvencích 950Mhz (vlevo) a 1000Mhz (vpravo).</i>	83
<i>Obr. 65. Umístění IP kamery VIVOTEK v GTEM cele při testech EMS</i>	85
<i>Obr. 66. Obrazový výstup z kamery VIVOTEK při frekvencích 50Mhz (vlevo) a 500Mhz (vpravo).</i>	87
<i>Obr. 67. Obrazový výstup z kamery VIVOTEK při frekvencích 750Mhz (vlevo) a 1000Mhz (vpravo).</i>	87

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Nejvyšší přípustné hodnoty záření pro biologické systémy [1]</i>	<i>13</i>
<i>Tab. 2. Zvolené parametry na měřícím přijímači R&S ESPI pro měření EMI.....</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 3. Tabulka hodnot nastavených veličin pro testy EMS IP kamery SCAN.....</i>	<i>79</i>
<i>Tab. 4. Tabulka hodnot nastavených veličin pro testy EMS IP kamery VIVOTEK</i>	<i>86</i>