


GTEM cela pro měření vyzařování elektronických systémů

Bc. Michal Běhůnek

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. Michal Běhůnek**
Osobní číslo: **A15190**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **GTEM cela pro měření vyzařování elektronických systémů**

Téma anglicky: **The Use of GTEM Cells for Measuring the Electromagnetic Interference of Electronic Systems**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Navrhněte měřicí soustavu s využitím měřících přístrojů v laboratořích FAI UTB.
3. Vyberte vhodný typ elektronického systému pro vybrané testy elektromagnetické kompatibility.
4. Provedte měření včetně vyhodnocení získaných výsledků.
5. Navrhněte opatření pro snížení vyzařování vybraného elektronického zabezpečovacího systému.

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. NOTHOFFER, A., BOZEC D., McCORMACK L. and ALEXANDER M. Measurement Good Practice Guide - The Use of GTEM Cells for EMC Measurements, GPG (65), National Physical Laboratory, July 2003. ISSN 1368-6550.
3. NOTHOFFER, 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.
4. NGU, Xavier. An assessment of a GTEM cell as a test environment using measurements and simulations. PhD thesis, University of Nottingham, July 2009.
5. SVAČINA, Jiří. Základy elektromagnetické kompatibility: přednášky. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2005, 155 s. ISBN 80-214-2864-3.
6. SENGUPTA, Dipak L a Valdis V LIEPA. Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility. Hoboken, N.J.: Wiley

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá elektromagnetickou kompatibilitou, jejími principy a vlastnostmi. Práce se zaměřuje na vyzařování elektronických přístrojů. Teoretická část je věnována seznámení se s teoretickými vlastnostmi EMC. V praktické části bylo měřeno vyzařování na několika elektronických zařízeních pomocí GTEM cely. Dále bylo zkoumáno, zda lze úplně utlumit vyzařování pomocí stínění. Všechny výsledky měření včetně vyhodnocení jsou uvedeny v práci. Na konci této práce jsou nastíněny možné postupy v pokračování výzkumu a měření podobné problematiky.

Klíčová slova: elektromagnetická kompatibilita, GTEM cely, elektronické zařízení, elektromagnetické vyzařování, měření vyzařování

ABSTRACT

This diploma thesis deals with electromagnetic compatibility, its principles and properties. The work focuses on the emission of electronic devices. The theoretical part is devoted to the theoretical features of EMC. In the practical part, radiation was measured on several electronic devices using GTEM cell. It has also been investigated whether shielding radiation can be completely dimmed. All the measurement results, including the evaluation, are presented in the paper. At the end of this work, possible procedures are described for the continuation of research and measurement of similar issues.

Keywords: electromagnetic compatibility, GTEM cell, electronic devices, electromagnetic emission, measuring emission

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce, docentovi RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc., za možnost spolupráce, a nové poznatky. Dále děkuji Ing. Stanislavu Kovárovi za jeho čas, vstřícnost a pomoc při měření vyzařování.

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

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	11
1.1 HISTORIE EMC	11
1.2 NORMALIZACE EMC	11
1.2.1 Normy v rámci ČR	12
1.3 DĚLENÍ PODLE DRUHU SYSTÉMŮ	13
1.3.1 EMC biologických systémů	13
1.3.2 EMC technických systémů a zařízení	13
1.4 DĚLENÍ EMC	13
1.4.1 EMI	14
1.4.2 EMS.....	14
1.5 ZÁKLADNÍ ŘETĚZEC EMC	14
1.5.1 Zdroje elektromagnetického rušení	15
1.5.2 Přenosové prostředí	15
1.5.3 Rušené zařízení	15
1.6 ZÁKLADNÍ POJMY EMC	15
2 RUŠIVÉ SIGNÁLY	18
2.1 INTERFERENCE – ZDROJE, TYPY	18
2.2 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ	20
2.3 VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ	21
2.3.1 Galvanická vazba	21
2.3.2 Kapacitní vazba	21
2.3.3 Induktivní vazba.....	22
2.3.4 Vazba vyzářováním.....	22
2.4 OMEZENÍ RUŠENÍ.....	22
3 ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNĚNÍ	24
3.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY	24
3.1.1 Účinnost elektromagnetického stínění	24
3.1.2 Útlum odrazem.....	25
3.1.3 Absorpční útlum.....	25
3.1.4 Útlum vlivem mnohonásobného odrazu	26
3.1.5 Celková účinnost stínění	26
4 GTEM CELA	28
4.1 POČÁTKY	28
4.2 KONSTRUKCE A VLASTNOSTI GTEM CELY	29
4.2.1 Cílové skupiny GTEM cel	31
4.2.2 Legislativa GTEM cel	31
5 WEB KAMERY	33

5.1	POČÁTKY	33
5.2	ROZMACH	34
5.3	TECHNIKA	34
5.3.1	Konstrukce	34
5.3.2	Princip záznamu obrazu	35
5.3.3	Kvalita obrazu	35
6	ROZHLAS	36
6.1	HISTORIE RÁDIA	36
6.2	PRINCIP FUNKCE.....	36
6.2.1	Amplitudová modulace AM.....	36
6.2.2	Frekvenční modulace FM	38
6.3	TRANZISTOROVÉ PŘIJÍMAČE	38
7	RASPBERRY PI.....	40
7.1	DŮVOD UVEDENÍ RASPBERRY PI NA TRH.....	40
7.2	KONFIGURACE A PŘÍSLUŠENSTVÍ.....	41
7.2.1	Srovnání modelů	42
7.2.2	Rozšiřující moduly	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
8	MĚŘENÍ EMI POMOCÍ GTEM CELY	46
8.1	VYBAVENÍ PRO MĚŘENÍ VYZAŘOVÁNÍ.....	46
8.1.1	Cela Frankonia GTEM 250	46
8.1.2	ESPI Test Receiver Rohde&Schwarz	47
8.1.3	Webkamera Genius FaceCam 2020	48
8.1.4	Radiopřijímač Edison R-202.....	49
8.1.5	MiniPC Raspberry Pi 3 model B.....	49
8.1.6	Wifi modul Wemos D1 mini.....	50
8.2	POSTUP MĚŘENÍ.....	51
8.3	DATA A PRŮBĚH MĚŘENÍ	53
8.3.1	Snížení vyzařování	57
8.4	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	60
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	70

ÚVOD

V dnešním světě plném elektrických a elektronických zařízení, vysílání na různých frekvencích, ale také přijímačů je nutné, aby všechna zařízení mohla fungovat bez změny vlastností. Touto problematikou se zabývá vědecko-technický obor elektromagnetická kompatibilita (dále jen EMC), která se dále rozlišuje na základě druhu zkoumání daných přístrojů, buď na elektromagnetické vyzařování nebo elektromagnetickou odolnost. Pokud zařízení příliš vyzařuje elektromagnetické pole, může ovlivnit ostatní zařízení, které nemají dostatečnou odolnost. Pokud odolnost mají dostatečnou, jsou schopny pracovat v prostředí, ve kterém se vyskytují rušivé signály bez vykazování zhoršených funkcí přístrojů nebo systémů. S problematikou se setkáváme jak v domácím, tak v průmyslovém prostředí. V domácím prostředí z velké části nemusí dojít ke ztrátám při nesprávné funkci nebo při rušení určitých zařízení, pokud však bude problém v průmyslovém prostředí, kde nesprávná funkce zařízení může vyvolat na konečném produktu vysoké škody, je nutné těmto problémům předcházet, a proto je vhodné věnovat pozornost těmto vlastnostem.

Téma EMC se nemusí zdát jako životně důležité, avšak bereme-li v potaz elektrické nebo elektronické zařízení potřebné ve zdravotnictví, letecké dopravě, zabezpečení objektů a podobně, je jasné, že tyto vlastnosti musí splňovat více než výborně. Na světě je známo mnoho nehod, které si vyžádaly i lidské oběti (např.: letecké havárie), za které mohly nedostatečně odrušené (odolné) přístroje, které pak vykazovaly nesprávnou činnost a vedly k leteckému neštěstí.

Cílem této diplomové práce je seznámit se s teorií problematiky EMC a s funkcí vybraných zařízení. Konkrétně je práce zaměřena na měření vyzařování elektromagnetických vln z elektronických zařízení v GTEM cele. Dále pak pokusit se o stínění naměřeného vyzařování. Všechna vybraná zařízení (nebo jejich ekvivalent či modifikace) je možné použít pro zabezpečovací systémy.

Teoretická část této diplomové práce je věnována rešerši teoretických vlastností v problematice EMC, jejím základním pojmům a dělení, bez kterých by nebylo možné se tomuto tématu dostatečně věnovat. Dále je pak v této části práce uvedeno seznámení se s předměty měření, které byly použity pro praktickou část.

Praktická část je zaměřena na návrh měřicí soustavy a výběr jednotlivých zařízení použitých pro měření a následné porovnání výsledků s využitím GTEM cely s využitím znalostí z teoretické části práce. Veškerá praktická činnost (kromě zpracování a hodnocení dat)

byla prováděna ve Vědecko-technickém parku při Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Další část měření byla věnována zkouškám na omezení či eliminaci vyzařování jednoho ze zařízení.

Jako výstup této práce by mohl být krátký přehled problematiky EMC zaměřený na vyzařování elektromagnetických signálů a stínění. Postup měření by pak mohl sloužit jako přibližný návod pro měření vyzařování v laboratorních úlohách pro předmět EMC na Fakultě aplikované informatiky UTB ve Zlíně.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Elektromagnetická kompatibilita neboli EMC (z anglického jazyka „Electromagnetic Compatibility“), je schopnost zařízení či systému vykazovat správnou funkci v prostředí, ve kterém jsou jiné zdroje elektromagnetických signálů, a to přírodních i umělých, a zároveň neomezovat svým působením ostatní přístroje ve správné funkci. [2]

1.1 Historie EMC

Zhruba v 60. letech minulého století se začalo mluvit o elektromagnetické kompatibilitě. Bohužel byla často zaměňována se spolehlivostí elektrických zařízení. Jeden ze zakladatelů této samostatné vědecko-technické disciplíny H. M. Schlike roku 1968 prohlásil: „*Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý - bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností*“. Postupným rozvojem a přibýtkem mnoha zařízení využívající k práci různé druhy signálů, různých kmitočtů, mu bylo dáváno za pravdu a bylo nutné se podle tohoto trendu zachovat. Proto bylo nutné testovat nové zařízení, a to jak na vyzařování, tak na odolnost elektromagnetických signálů. [1]

V minulosti, jak ve světě, tak i u nás je známo mnoho závažných havárií, u kterých bylo dokázáno, že by k nim při dodržování zásad elektromagnetické kompatibility nemuselo dojít. Proto je tato vědecko-technická disciplína velmi důležitá pro všechny, kdo využívají elektronická zařízení, a to je dnes naprostá většina.

1.2 Normalizace EMC

Existuje mnoho mezinárodních organizací zabývajících se normalizací EMC. Všechny organizace však zastřešuje Mezinárodní elektrotechnická komise IEC (Internacional Electrotechnical Commission). Tato komise je dále dělena na technické komise TC (Technical Committee). Nejdůležitější komise v rámci EMC jsou:

- TC 41 – Measuring Relay and Protection Equipment,
- TC 57 – Telecontrol,
- TC 65 – Industrial Process measurement and Control,
- TC 77 – EMC between Electrical Equipment Industrial Network.

Nejvlivnější z těchto komisí je bez pochyby TC 77, která „udává směr“ a normalizaci tohoto odvětví. [1]

V rámci České republiky jsou normy přejímány, upravovány nebo jen překládány z mezinárodních Českým normalizačním institutem. Dále tento úřad zkoumá a upravuje i stávající a starší normy dle norem mezinárodních.

1.2.1 Normy v rámci ČR

V České republice je mnoho norem zabývajících se elektrotechnikou a se zaměřením na EMC. Níže bude vypsán výběr z norem zabývajících se problematikou EMC (uvedené normy byly vybírány s ohledem na zaměření práce) :

- ČSN IEC 50 (161): Mezinárodní elektrotechnický slovník, kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita,
- ČSN IEC 1000-1-1: Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 1: Všeobecně. Díl 1: Použití a interpretace základních definic a termínů,
- ČSN IEC 1000-2-1: Elektromagnetická kompatibilita (EMC), část 2: Prostředí. Díl 1: Popis prostředí – elektromagnetické prostředí pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích,
- ČSN EN 61000-2-2: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 2-2: Prostředí - Kompatibilní úroveň pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí,
- ČSN EN 61000-2-4 ed. 2: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 2-4: Prostředí - Kompatibilní úroveň pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech,
- ČSN EN 61000-4-7 ed. 2: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-7: Zkušební a měřicí technika - Všeobecné směrnice o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich,
- ČSN EN 61000-4-3 ed. 3: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-3: Zkušební a měřicí technika - Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti,
- ČSN EN 55014-1 ed. 3: Elektromagnetická kompatibilita - Požadavky na spotřebiče pro domácnost, elektrické nářadí a podobné přístroje - Část 1: Emise. [1]

1.3 Dělení podle druhu systémů

EMC lze dělit nebo rozdělit podle mnoha faktorů. Jedno z nejzákladnějších dělení je však na EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení. Níže bude uveden stručný popis každého odvětví.

1.3.1 EMC biologických systémů

Jak již z názvu vyplývá, odvětví biologických systémů se zabývá živými organismy. A to konkrétně vlivy elektromagnetických signálů (funkčních, nežádoucích, přírodních, umělých) na organismus člověka. Kvůli působení těchto signálů je nutné monitorovat prostředí, ve kterém se lidé nacházejí z důvodů nepříznivých účinků na organismus. Každý jedinec samozřejmě různé hodnoty těchto signálů snáší jinak, a tak je těžké stanovit jednotlivé meze. Jedinečnost každého organismu spočívá v různé regeneraci, adaptaci či kompenzaci elektromagnetického pole.

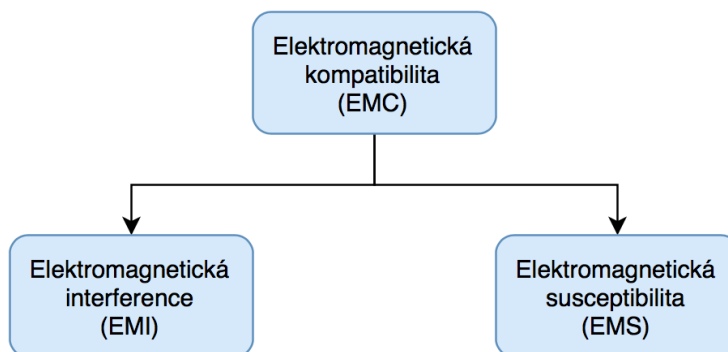
Obtížnost těchto testů je vysoká, proto existuje pouze málo studií pro určení prahových hodnot všech druhů signálů. Nejvíce jsou objasněny tepelné účinky u vysokofrekvenčních a mikrovlnných polí, které zahřívají tkáň. Naopak netepelné účinky dlouhodobého působení elektromagnetického pole na nervový, cévní nebo imunitní systém jsou téměř nedokazatelné. [1, 3]

1.3.2 EMC technických systémů a zařízení

Naopak oblast technických systémů a zařízení je daleko lépe měřitelná, proto je odvětví daleko více rozšířené. Tyto systémy nebo zařízení chápeme jako elektrotechnické, elektronické přístroje, prostředky a zařízení. Jednoduše řečeno veškeré „předměty“ využívající ke své správné funkci elektrické napájení nebo ty, které mohou být těmito zařízeními ovlivňovány. [1,3]

1.4 Dělení EMC

Jako další dělení celé EMC považujeme rozdělení na problematiku vyzařování a odolnosti systémů či zařízení – znázorněno na obrázku (Obr. 1.):



Obr. 1. Dělení EMC

Jak obrázek naznačuje, EMC obsahuje dvě složky. EMI (z angl. Electromagnetic Immunity) nebo jednoduše rušení/vyzařování a EMS (z angl. Electromagnetic Susceptibility) odolnost/imunita. [1]

1.4.1 EMI

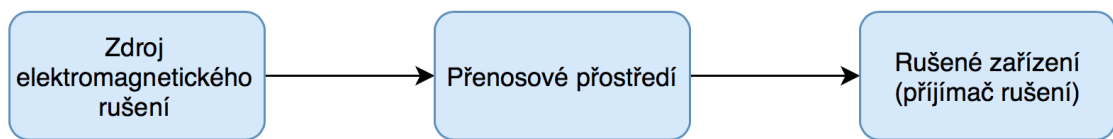
Elektromagnetická interference je velmi důležitá pro správné používání nejrůznějších elektronických zařízení či systémů. Pokud by například bylo zařízení, které by vyzařovalo nadstandardní rušení, ostatní systémy by mohly být nefunkční nebo vykazovat nesprávnou funkci. Proto je nutné veškerá zařízení podrobovat měření vyzařování, zda je v přípustné normě nebo ne. Není vhodné měřit až hotový výrobek, ale předcházet jeho velkým změnám a provádět měření již v průběhu vývoje. [2]

1.4.2 EMS

Elektromagnetická susceptibilita je minimálně stejně důležitá jako interference. Právě proto všechny výrobky musí projít testováním tzv. umělým rušením, aby byla ověřena funkčnost zařízení za předpokladu působení elektromagnetického pole. Tyto testy jsou dnes běžné a i dostupné. Odolnost lze testovat na pracovištích, které nemají možnost certifikace, ale jsou schopny nasimulovat podmínky jako u státních zkušeben. [2]

1.5 Základní řetězec EMC

Všechny zkoumané systémy nebo zařízení podléhají základnímu řetězci elektromagnetické kompatibility. Řetězec je uveden níže na obrázku (Obr. 2.):



Obr. 2. Základní řetězec EMC

Následně budou popsány všechny tři složky výše uvedeného řetězce. [1]

1.5.1 Zdroje elektromagnetického rušení

Prvním členem EMC řetězce jsou zdroje rušení. Rušení může vznikat u různých spotřebičů jakými jsou např.: motory, reléové spínače, elektrické rozvody, oscilátory, svářečky atd. U těchto nejrůznějších zařízení bývá zkoumán charakter rušení, intenzita a spektrum rušení. Rušení může vzniknout lidským chování (výroba a přenos energie, vysílače, výkonové spotřebiče...) nebo přírodními jevy (elektrické procesy v atmosféře, sluneční záření...). [1,3]

1.5.2 Přenosové prostředí

Významným členem řetězce je také přenosové prostředí nebo také vazby mezi vysílačem a přijímačem rušení. Přenos může být pomocí kabelů ať už stíněných nebo nestíněných (datové, výkonové) nebo jen pomocí vzduchu v daném prostředí (rádiové vlny, televizní signál). I za předpokladu, že z vysílače bude signál bez rušení či šumu, může tyto negativní vlastnosti získat až při přenosu signálu. [1,3]

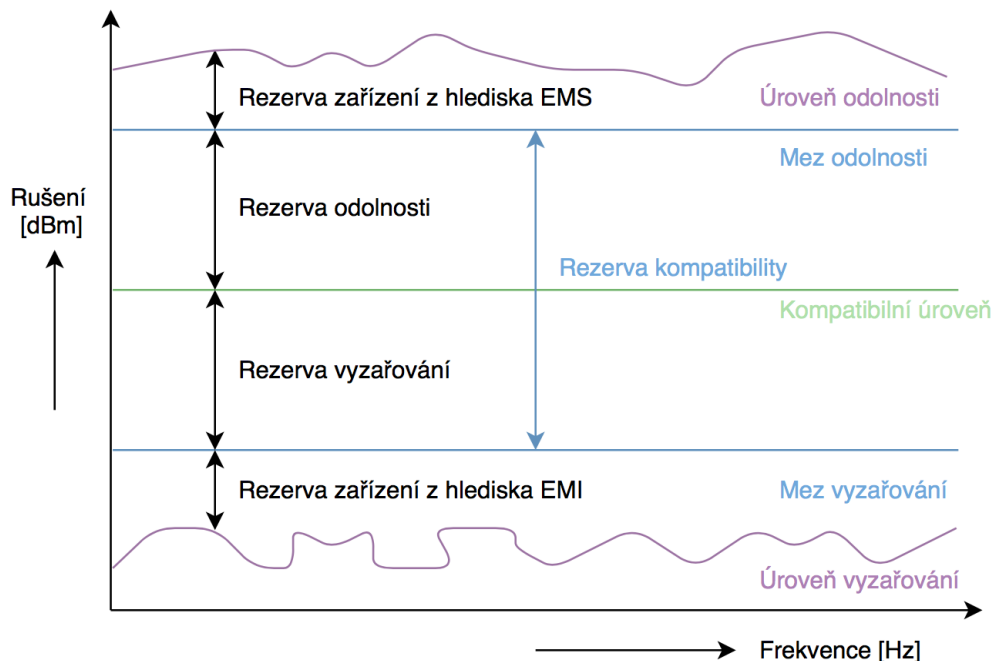
1.5.3 Rušené zařízení

Přijímače rušení jsou posledním členem základního řetězce. U přijímačů se už neřeší odkud rušení přišlo, nýbrž jaké následky rušení má, jak jej potlačit a jakou odolností koncové zařízení disponuje. [1,3]

1.6 Základní pojmy EMC

Všechny elektronické nebo elektrotechnické přístroje jsou zároveň zdrojem, ale i přijímačem rušení. Každé zařízení totiž (některé více některé méně) vyzařuje určité elektromagnetické pole nebo generuje či vysílá rušivé signály. Bohužel není možno každé zařízení umístit do prostředí kde nepůsobí žádné negativní vlivy, proto je nutné brát na vědomí, že zařízení je neustále ovlivňováno zařízeními ostatními. Aby bylo možné dosáhnout co největší kompatibility mezi jednotlivými přístroji, je nutné řídit se podle norem, které by

měly zaručit správnou funkčnost všech zařízení. Vzájemný vztah pro tyto dva parametry zařízení lze vidět níže (Obr. 3.). [4]



Obr. 3. Úrovně a meze odolnosti a vyzařování

Kde:

- jednotka dBm (př.: vyzařovaný výkon 1mW = 0dBm, 100mW = 20dBm)

Úroveň vyzařování je jasně změřitelná. Lze ji například měřit jako rušení v závislosti na frekvenci. Normami určená je pak maximální přípustná mez vyzařování určitého zařízení. Mezi úrovní vyzařování a maximální mezí pak vzniká určitá rezerva, se kterou se počítá při vývoji přístroje (je zřejmé, že přístroj nemůže pracovat na mezních hodnotách normy, už jen kvůli možnému vychýlení za horní mez). [1,4]

Naopak mez odolnosti je podle normy nejmenší hodnota rušení působícího na dané zařízení, kdy nevykazuje zhoršenou funkci. Na obrázku (Obr. 3.) lze vidět, že mezi skutečnou a minimální odolností (udávaná danou normou) vzniká rezerva, se kterou počítá již ve vývoji přístroje. [1,4]

Z výše uvedeného obrázku je zřejmé, že rozdíl mezních hodnot vyzařování a odolnosti, je rozpětím kompatibility elektromagnetického zařízení. To je funkční obor plné funkčnosti zařízení z hlediska EMI i EMS. Lze mluvit o kompatibilní úrovni neboli ještě přijatelném rušení i vyzařování pro „ideální“ funkčnost zařízení. Jednotlivé rozdíly mezi odolností / vyzařování a kompatibilní úrovní lze nazývat rezervou odolnosti / vyzařování. [1,4]

Tyto rezervy nejsou nijak udány normou nebo nařízením. Míra rezerv je vždy závislá pouze na výrobci. Proto se mohou rezervy velmi lišit. Důležitým aspektem při rozvrhování rezerv jsou finanční náklady, které mohou při dosažení dobrých výsledků v rámci EMC nepříjemně narůst. Proto je nutné zvážit do jaké míry je vhodné investovat do zlepšení EMC vlastností. Není však vhodné nad míru zvyšovat rezervy EMC, které by znamenaly vysoké finanční prostředky. Naopak není vhodné držet rezervy na hranici přípustnosti, protože i při mírné odchylce jednotlivých signálů působících na zařízení může vykazovat koncové zařízení nesprávnou funkci a nemusí být spolehlivé. Zvláště pokud se jedná o rozsáhlé systémy, které v případě nefunkčnosti mohou vyvolat vysoké hospodářské škody. Nejvhodnější je najít kompromis mezi cenou a vlastnostmi elektromagnetické kompatibility. Tímto přístupem by měla být zachována funkčnost zařízení v běžných prostředích, spolehlivost zařízení a zároveň přípustné náklady na výrobu. [1,4]

2 RUŠIVÉ SIGNÁLY

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, každý systém nebo zařízení lze považovat jak za přijímač, tak i za vysílač rušivých signálů. Zároveň se ale určité druhy zařízení chovají spíše jako zdroje nebo spíše jako přijímače. V této kapitole budou dále rozebrány právě zdroje rušení. [4]

2.1 Interference – zdroje, typy

Interferenční zdroje lze řadit do dvou kategorií a to:

- přírodní zdroje rušení,
- umělé zdroje rušení.

Vzhledem k tomu, že přírodní rušení nijak nelze ovlivnit a obklopuje veškeré prostředí (mimo speciální odstíněná pracoviště), není tak zkoumaným druhem rušení. Daleko více se proto věda zabývá zdroji umělými (Man made noise). [4,5]

Interferenčním zdrojem neboli zdrojem elektromagnetického rušení rozumíme zařízení takové, které vysílá signály a vytváří tak kolem sebe elektromagnetické pole. Tyto signály mohou být parazitní, ale také žádoucí (generátory, rádiové vysílače, televizní vysílače...). Na základě toho pak lze rozlišovat zdroje rušení na:

- funkční (užitečné),
- nefunkční (parazitní),

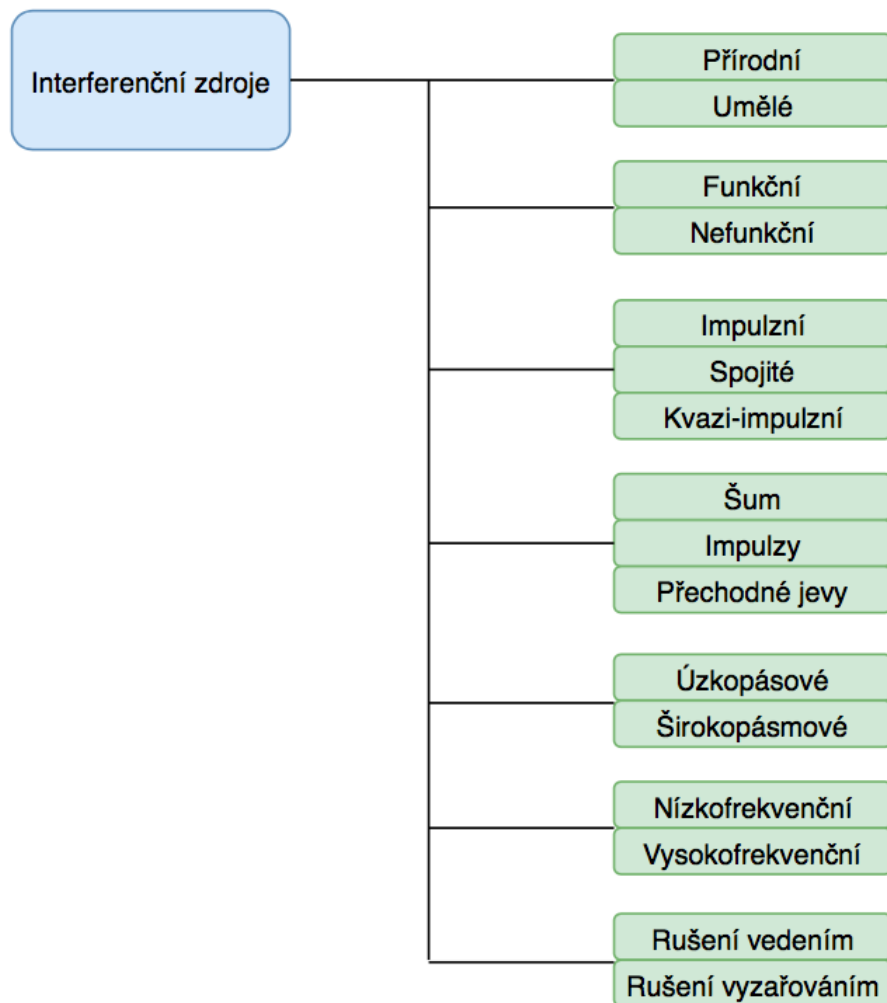
jako další dělení lze uvést typy signálů na základě jejich časového průběhu, a to na

- impulzní,
- spojité,
- kvazi-impulzní,

kde za impulzní lze považovat signály, které se vytvoří pouze na základě přechodového děje nebo mají svou časovou posloupnost. Naopak spojité typy signálů působí trvale. Kombinací těchto druhů pak vznikají kvazi-parazitní signály, chovající se současně jako impulzy, také však působí spojitě. Typický nežádoucí signál může být šum. Ten zkresluje tvar např. periodického signálu. Pokud je šum značný, může tvar signálu změnit, až do tvaru jiného. Za další parazitní signál lze považovat impulz. Impulzy jsou náhlé špičkové záporné i kladné hodnoty signálu ve velmi malém časovém úseku. Takové impulzy tvoří

např. kontaktní spínače, elektrostatické výboje a další. Další parazitní signály mohou být přechodné jevy. Tyto signály se objevují jako náhodné a jednorázové, které mohou vznikat od řádů milisekund, až po celé sekundy. Vznikají při náhlém nevyváženém zatížení sítě. Vzhledem k tomu, že všechny rušivé signály mohou vznikat v různých částí frekvenčního spektra, je nutné je rozlišovat, a to na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. Nízko frekvenční lze dále dělit na: energetické nízkofrekvenční – působící na napájení v rozmezí 0 až 2 kHz (problém u zařízení pracujícím s tvarem napájecího napětí) a akustické nízkofrekvenční – působící ve spektru 2 kHz až 10 kHz (vliv na informační systémy). Většina druhů rušivých signálů však spadá do kategorie vysokofrekvenčních signálů neboli rádiových, působící ve spektru 10 kHz až 400 GHz. [1,4,5]

V praxi je však vyhodnocování a rozlišování, jaký druh rušení působí na zkoumané zařízení velmi složité a někdy téměř nerozlišitelné. Aby bylo možné vyjádřit o jaký druh rušení se jedná, bylo stanoveno několik dodatkových vlastností signálů, na základě kterých lze signály normalizovat. V České republice se touto problematikou zabývá konkrétně norma ČSN EN 55014. Pro větší přehlednost je níže na obrázku (Obr. 4.) uvedeno celé rozdělení rušivých signálů: [1,4]



Obr. 4. Rozdělení zdrojů interference

2.2 Měření rušivých signálů

Při přítomnosti elektromagnetického rušení je nezbytné zjistit jak závažné (velké) vyzařování je. Proto je nutné tyto signály měřit. Druhů signálů je mnoho a na základě těchto typů vznikly různé měřicí metody, které vyhovují podle druhu rušení, testovaného zařízení a důvodu měření. Nejčastěji se používají tyto typy:

- měření s umělou sítí,
- měření napěťovou sondou,
- měření proudovou sondou,
- měření pomocí absorpčních kleští
- měření pomocí antén,

kdy se první čtyři měření používají po přenosu signálu po vedení. Pátý druh měření pomocí antén se využívá pro rušivé signály, které se přenáší pomocí magnetického nebo elektrického pole. Termín antény zde nejsou až tak přesné. Spíše jde o speciální sondy pracující na principu antén. Antény jsou pak využívány pro měření rušivých signálů přenášející se pomocí vyzařováním elektromagnetického pole. [1,6]

2.3 Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů

Přenosové prostředí, neboli vazební mechanismy rušivých signálů, tvoří prostřední část mezi vysílačem a přijímačem rušivých signálů. Proto mají značný vliv na celkový výsledek rušení či vyzařování. Tyto vazby jsou dělitelné do kategorií a to:

- technické provedení,
- fyzikální principy. [6]

Největší prioritou pro zkoumání a potlačení fyzikálních vazeb je vesměs část fyzikálních principů, podle kterých rozlišujeme čtyři druhy vazeb:

- galvanická,
- kapacitní,
- induktivní,
- vyzařováním. [6]

2.3.1 Galvanická vazba

Galvanická vazba vzniká po propojení dvou vodičů nebo elektrických systémů, kdy jejich proudové smyčky mají stejné úseky spojovacího vedení. Tímto se dva systémy (nebo vodiče) spojí a mají společnou impedanci, která se nejčastěji chová jako sériově spojené prvky R (rezistor) a L (cívka). Tato vazba může být vlivem společného napájecího zdroje, společného zemnicího systému nebo společného přívodu řídicích obvodů. Při nižších frekvencích se vazba chová spíše jako odpor a při vyšších spíše jako indukčnost. [1]

2.3.2 Kapacitní vazba

Vazba kapacitního charakteru vzniká na základě parazitních kapacit vznikajících mezi vodiči, částech obvodu nebo konstrukcí zařízení. Touto vazbou rozumíme elektrické pole vznikající mezi každými vodivými body obvodu. Z praxe pak vycházejí jednotlivé druhy kapacitních vazeb:

- kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů,
- kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem,
- kapacitní vazba vůči zemi. [1]

2.3.3 Induktivní vazba

Pokud jakýmkoliv vodičem prochází proud, vzniká kolem něho magnetické pole. V případě, že se v tomto poli vyskytuje vodič jiný, indukuje se v něm napětí. Napětí pak stoupá v závislosti na velikosti frekvence (čím vyšší frekvence, tím vyšší napětí). Tuto vazbu pak lze označovat jako parazitní induktivní vazbu. Tyto vazby pak jsou nebezpečné ve velkých skokových změnách proudu vyvolávajících magnetické pole. Při velmi strmých skocích se indukuje nepřiměřeně vysoké napětí, které ohrožuje ostatní obvody nebo prvky v obvodu. Omezení těchto parazitních vlastností lze za předpokladu omezení délky paralelně vedených vodičů co největší mezerou mezi těmito vodiči a co nejmenší proudové hodnoty (problém u silových kabelů). [1]

2.3.4 Vazba vyzařováním

Pokud je zdroj od přijímače rušení dostatečně vzdálen a galvanicky oddělen, tak může vznikat další druh vazby, a to vazba vyzařováním. V běžném prostředí jsou veškeré elektrické obvody či prvky vystaveny elektromagnetickému poli. Tyto pole pak mají parazitní vlastnosti na přenosu všech ostatních signálů. Mezi jednotlivá parazitní pole lze počítat blízké vysílače, atmosférické rušení, průmyslové rušení a jiné. Toto rušení pak prochází až do samotného zařízení (rušení rádia). Pokud působí na vodiče přístroje mikrovlny, ve vodičích to vyvolá indukci rušivého napětí, které pak putuje celým zařízením nebo systémem. Omezení takových vazeb lze pak odvodit podle poměru frekvence proti rozměrům vodičových částí přístrojů. [1]

2.4 Omezení rušení

V prostředí působí mnoho signálů, které nemusí být vhodné pro různá zařízení. Proto je vhodné předejít těmto nepříznivým vlivům a rušení omezit. Stejně pak lze zamezit i vyzařování v případě opačném. Všechny technické prvky, které pomáhají rušení omezovat nebo potlačovat, jsou rozdělovány do skupin podle druhu působení a jsou nazývány odrušovacími prostředky. Dělení:

- pasivní odrušovací prostředky,

- přepět'ové ochranné prvky,
- stínění. [6]

Pasivní odrušovací prostředky se nejčastěji používají téměř přímo se zájmovým zařízením. Podle požadavků pak lze tyto prostředky použít přímo na zdroji nebo naopak těsně před přijímačem rušení. Patří sem např.:

- odrušovací tlumivky,
- odrušovací kondenzátory,
- odrušovací filtry. [6]

Přepět'ová ochrana je velmi důležitá vzhledem k zachování zařízení, ale dokonce i pro zachování lidského zdraví. Pokud vznikne v síti, obvodě nebo v zařízení přepětí, což je skokové zvýšení úrovně napětí, které netrvá déle než stovky milisekund, zároveň ale špička napětí může dosahovat vysokého napětí, je ohroženo nejen zařízení, ale může ohrozit i obsluhu zařízení (stroje). Za prvky přepět'ové ochrany považujeme:

- bleskojistky,
- omezovací diody,
- varistory,
- plynové výbojky. [6]

Pro zvýšení odolnosti od rušení nebo snížení vyzařování může být použito stínění, a to na všech prvcích základního řetězce (viz. Kapitola 1.6). Lze odstínit zdroj rušení, přenosovou cestu (kabely) i přijímač rušení. Podle povahy zařízení pak lze stínění dělit na:

- elektromagnetické,
- elektrické,
- magnetické. [6]

Poznámka: Vzhledem k povaze práce bude dále rozebírán pouze elektromagnetický charakter omezování rušení.

3 ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNĚNÍ

Stínění proti působení elektromagnetického pole lze považovat za nejvýznamnější stínící techniku v rámci EMC. Stínění je konstruováno tak, aby bylo schopno zeslabovat pole rušivých signálů v daném prostoru (pomáhá zlepšení odolnosti nebo snižování vyzařování zařízení). Stínění lze uplatňovat jak v rámci jednotlivých součástí, tak v rámci celého zařízení či systému. Nejefektivnější je proti výkonovému rušení impulzního nebo spojitého průběhu. Stínění může být ideálním prostředkem k zlepšení EMC vlastností, musí brát ovšem zřetel na to, že stíněním se upravují vlastnosti zařízení pouze buď pro speciální účely nebo pokud při návrhu zařízení nebyla dostatečná rezerva a je potřeba „dohánět“ chyby z vývoji. [1,6]

3.1 Základní charakteristiky

Míru účinnosti stínění respektive působení elektromagnetického stínění se označuje jako koeficient stínění K_S . Ten je definován jako poměr intenzity elektrického pole E_t (v určitém bodě stíněného prostoru) k intenzitě E_i (dopadajícího na stejný bod beze stínění). Tento vzorec lze také využít pro poměry magnetického pole, čili H_t ku H_i . [1,6]

$$K_S = \frac{E_t}{E_i} \quad \text{případně} \quad K_S = \frac{H_t}{H_i} \quad (1)$$

V praxi se ovšem více využívá více logaritmické míry koeficientu, zvané účinnost stínění se značkou SE (z aj. Shielding Effectiveness). []

$$SE = 20 \cdot \log \frac{1}{|K_S|} = 20 \cdot \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

$$SE = 20 \cdot \log \frac{1}{|K_S|} = 20 \cdot \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right| \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

Za předpokladu, že je vlna homogenní a prostředí před i za stínící překážkou jsou stejné, tak díky stejné impedanční charakteristice elektrického i magnetického pole výsledky vzorců jsou totožné. Pokud však působí blízké elektromagnetické pole respektive za předpokladu různých prostředí před i za stínící podložkou, budou výsledky jiné. Pokud se tak stane, používá se první ze vzorců. [1,6]

3.1.1 Účinnost elektromagnetického stínění

Tuto účinnost vzdáleného elektromagnetického pole lze také zapsat vzorcem (lépe odpovídající fyzikálním zákonům):

$$SE = R + A + M \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

kde: SE – účinnost stínění, R - útlum odrazem, A – absorpční útlum, M – útlum vlivem několikanásobného odrazu. [1,7]

3.1.2 Útlum odrazem

Jev zvaný útlum odrazem vzniká při „vstupu“ částečného odrazu energie vlny mezi impedancí dielektrika – vzduchu (Z_0) a stínění (Z_M). Stejný jev se pak odehrává při „výstupu“ vlny a to opačně mezi stíněním (Z_M) a dielektrikem (Z_0). Tento efekt pak lze popsat vzorcem:

$$R = 20 \cdot \log \left| \frac{(Z_M + Z_0)^2}{4Z_0Z_M} \right| \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

ten lze pak po úpravě psát jako:

$$R = 20 \cdot \log \left| \frac{Z_0 + Z_M}{2Z_M} \cdot \frac{Z_0 + Z_M}{2Z_0} \right| = R_1 + R_2 \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

kde „vstupní“ útlum odrazem představuje R_1 a „výstupní“ R_2 . Za předpokladu, že stínění bylo vytvořeno z dobře vodivého materiálu (Z_0 je mnohem větší než Z_M) je celkový R přibližně:

$$R \approx 20 \cdot \log \left| \frac{Z_0}{4Z_M} \right| \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

a pokud přepíšeme vzorec (6):

$$R \approx 20 \cdot \log \left| \frac{Z_0}{2Z_M} \right| \quad [\text{dB}] \quad (8)$$

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

z čehož vyplývá, že majoritní útlum odrazem vzniká na „vstupním“ přechodu dielektrik a jen nepatrné vlnění přejde až k „výstupnímu“ přechodu (je téměř konstantní). Pokud tento poznatek lze převést do praxe znamená to, že nezáleží na tloušťce stínění nýbrž na vodivosti stínícího materiálu. Lze tedy vytvořit výborný stínící prvek o minimální tloušťce za předpokladu vysoké vodivosti materiálu. [1, 7]

3.1.3 Absorpční útlum

Pokud dojde k tepelným ztrátám při průchodu elektromagnetické vlny stíněním, nazývá se absorpční útlum. Za předpokladu, že stínění má tloušťku t , pak:

$$A = 20 \log e^{\frac{1}{\delta}} \text{ [dB]} \quad (11)$$

kde δ – hloubka vniknutí elektromagnetického pole do stínícího materiálu a při převedení vzorce lze dostat konečný vzorec absorpčního útlumu: [1, 7]

$$A = 8,69 \cdot \frac{1}{\delta} \text{ [dB]} \quad (12)$$

3.1.4 Útlum vlivem mnohonásobného odrazu

Při průchodu elektromagnetických vln stínícím materiálem vznikají na přechodech impedancí mnohonásobné odrazy vln. Tyto vlny se mohou vektorově sčítat a poté mít negativní vliv na celkový výsledek útlumu stínění. Pokud vybraný materiál na stínění má dobré vodivé vlastnosti a tloušťka stínění (t) je mnohem větší než hloubka vniku (δ), lze tento útlum zanedbat. Pokud je tomu však naopak, výsledný součet odrazů je značný a poníží celkový útlum stínění (v řádech jednotek až desítek dB). [1,7]

3.1.5 Celková účinnost stínění

Hodnota celkové účinnosti stínění vzniká součtem jednotlivých útlumů. Největší podíl zde pak mají útlum odrazem a absorpční útlum. Každý útlum, respektive hodnota jednotlivých útlumů je velmi úzce spjata s frekvenčním spektrem a zároveň úrovní vodivosti použitého materiálu. Příklady hodnot útlumu v závislosti frekvence na tloušťce stínění lze vidět v tabulce (Tab. 1.). Příklady jsou pro velmi tenké měděné vrstvy nanášené technologií napařování. [1,7]

Tab. 1. Účinnosti útlumu napařených měděných vrstev [1]

Tloušťka stínění [μm]	0,1		0,25		2,2		22	
Frekvence [MHz]	1	1000	1	1000	1	1000	1	1000
Útlum odrazem [dB]	109	79	109	79	109	79	109	79
Absorpční útlum [dB]	0,014	0,44	0,16	5,2	0,29	9,2	2,9	92
Mnohonásobné odrazy [dB]	-47	-17	-26	-0,6	-21	-0,6	-3,5	0
Účinnost stínění [dB]	62	62	83	84	88	90	108	171

Pro posouzení kvality stínění byla definována stupnice na základě celkového útlumu stínícího materiálu či krytu. Pro přehlednost a posouzení jednotlivých útlumů z tabulky (Tab. 1.) bude níže přiložena tabulka (Tab. 2.) s popisem hodnocení stínění na základě útlumu (v dB):

Tab. 2. Hodnocení účinnosti stínění [1]

Účinnost stínění [dB]	Hodnocení
0 - 10	Nedostatečné stínění
10 - 30	Stínění pro minimální požadavky
30 - 60	Stínění dostačující pro většinu běžných požadavků
60 - 90	velmi dobré stínění
90 - 120	Vysoce kvalitní stínění

4 GTEM CELA

Vzhledem ke zvyšujícím se nárokům jak na měření vyzařování zařízeních, tak na testování odolnosti zařízení, bylo nutné vyvinout bezpečné prostory neovlivňující okolí. Bezpečnými prostory se rozumí prostor, který „nepustí elektromagnetické záření mimo určený prostor (ovlivnění jak člověka tak přístrojů, systémů, zařízení...). Pro tento účel vznikly bezodrazové komory, které mohou být v různých velikostech, a to podle rozměrů testovaných zařízení. Od velkých hal (vojenská technika, el. generátory, nákladní automobily...), přes místnosti (měřicí systémy, soustavy, větší zařízení...), po pouze malé zkušební cely (jednotlivá zařízení, součástky, přístroje...). Právě pro poslední nejmenší skupinu vznikly tzv. TEM cely, dále pak pro jednotlivé speciální druhy měření byly odvozeny ostatní druhy: GTEM, WTEM a EUROTREM. Tato práce je však primárně věnována GTEM celám. [8,9]

4.1 Počátky

Menší zkušební komory neboli cely vznikly z důvodů testování menších zařízení v rámci EMC. Díky rozptylu elektromagnetického záření však nejenže vznikalo nehomogenní pole, ale při vyšších výkonech ohrožovalo samotnou obsluhu. Proto bylo nutné zkonstruovat elektromagneticky stíněný objekt (celu). Jako první plošně používaná byla Crawfordova komora, která byla představena již roku 1974 (viz. Obr. 5.). [8]



Obr. 5. Typy Crawfordových komor [1]

Bohužel tyto komory byly použitelné pouze v kmitočtovém pásmu 100 až 800 MHz. Při vyšších frekvencích, bylo zjištěno nedokonalé impedanční přizpůsobení, a tím vznikalo mnoho nežádoucích rezonancí čímž došlo ke znehodnocení výsledků měření a testování. Později se zjistilo, že lze tyto nežádoucí vlastnosti omezit vyplněním krajních prostorů a železných stěn absorpčním materiálem. Na základě těchto poznatků byla zkonstruována

v roce 1984 švýcarskou firmou Asea Brown Boveri Ltd. zcela nová, která již byla vyplněna absorpčním materiálem a vzhledem k vlastnostem polí byl pozměněn i tvar cely. Tato cela je nazývána jako GTEM z anglického Gigahertz-Transversal-Electromagnetic Cell, kterou lze vidět na obrázku (Obr. 6.) níže. [8,9]



Obr. 6. Příklad GTEM cely

4.2 Konstrukce a vlastnosti GTEM cely

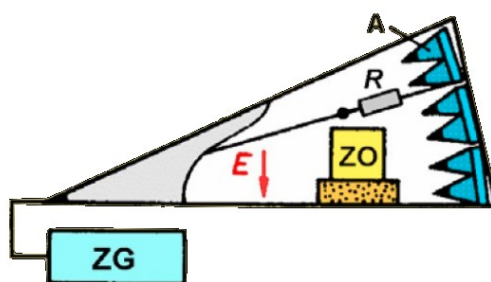
Na základě poznatků z předchozí kapitoly vyplývá, že nový typ konstrukce GTEM cely změnil i její vlastnosti a možnosti měření. Díky uzavřenému tvaru dlouhého pyramidálně se rozšiřujícího úseku koaxiálního vedení o pravoúhlém průřezu s nesymetricky umístěným vnitřním páskovým vodičem, jak lze vidět na obrázku (Obr. 6.), celu lze používat až do zhruba 8 GHz. Unikátní tvar zajišťuje vrcholový úhel pyramidálního koaxiálního vedení zhruba 15 stupňů a konstantní charakteristickou impedanci na celé délce 50 Ohmů. Impedanční přizpůsobení u vyšších spekter frekvencí umožňují absorpční jehlany na čelní straně cely. Naopak bezodrazovost v nízkých spektrech frekvencí zajišťuje vnitřní odporová síť (kde $R = Z_0$). [10,11,12]

Na obrázku (Obr. 7.) lze vidět otvor GTEM cely (vlevo) a detail na jehlanové absorbéry (vpravo).

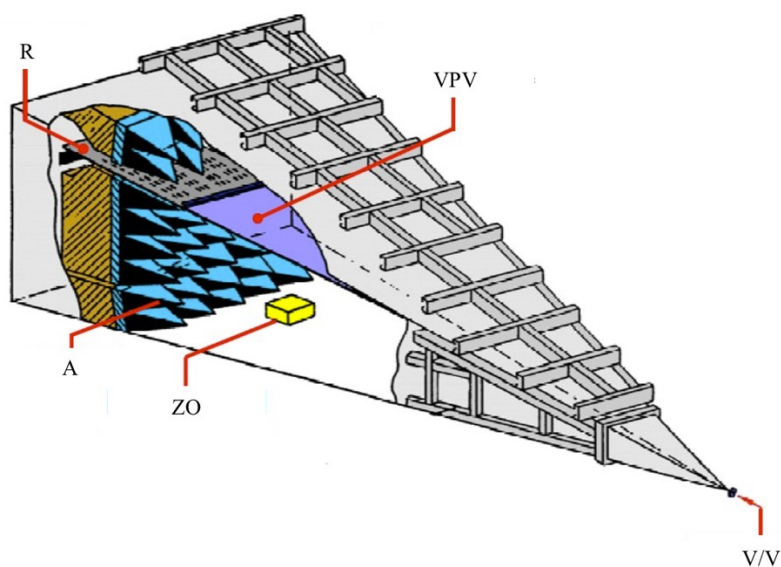


Obr. 7. Otvor a detail absorbérů GTEM cely

Pro lepší představu budou níže uvedeny obrázky (Obr. 8 – 9.) včetně popisu jednotlivých částí obecné GTEM cely.



Obr. 8. GTEM cely (schematicky) [1]



Obr. 9. GTEM cely (konstrukce) [1]

Kde: A – absorpční jehlany, R – odporová síť, ZO – zkoušený objekt, E – intenzita pole, ZG – zkušební generátor, VPV – vnitřní pásový vodič, V/V – vstup / výstup.

Hlavní přednosti GTEM komor plynou z dovednosti simulovat prostorové homogenní pole (až 200 V / m) v širokém spektru kmitočtů (běžně do 8 GHz), a to za předpokladů téměř nulových emisí mimo komoru. Podle předepsaných poměrů rozměrů lze konstruovat téměř jakékoliv velikosti komor (za speciálních podmínek lze dokonce sestavit modulární systém cely), ovšem vždy platí, že zkoumaný objekt, pro dodržení vlastností cely, nesmí přesáhnout jednu třetinu výšky zkušebního prostoru. Dále pak podle kombinování materiálu vnitřního vodiče dosahovat předem vypočítaných frekvenčních pásem (speciálně upravené komory až 18 GHz). [9,11,12]

Shrnutí hlavních výhod:

- vysoká prostorová homogenita simulovaného pole,
- široké pásma kmitočtů,
- pro vygenerování pole je potřeba o mnoho méně výkonu,
- neohrožení okolních zařízení a obsluhy díky nulovým emisím mimo komoru,
- variabilita rozměrů, modulární systém, mobilita,
- jednoduchost obsluhy,
- relativně nízké náklady pro zařízení pracoviště pro zkoušky EMC. [12]

GTEM cely jsou volně dostupné a lze je zakoupit od různých výrobců širokém výběru příslušenství, rozměrů, frekvenčních pásem atd. Dostupnost je možná i v České republice pomocí zastoupení světových firem na českém trhu s elektrotechnikou.

4.2.1 Cílové skupiny GTEM cel

Tyto kompaktní bezodrazové komory jsou vhodné pro využití na testování jednotlivých součástí při vývoji zařízení, příslušenství a drobné elektroniky. Ideálně pro interní použití ve firmách jako pomůcka pro optimalizaci a snížení nákladů výroby (odpadá nutnost pronájmu velkých certifikovaných komor), předcertifikační měření a jiné.

4.2.2 Legislativa GTEM cel

GTEM cely jsou navrhnuté a zkonstruované pro shodu s technickými požadavky normy IEC 61000- 4-20. V české republice ve znění:

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),

Dále lze provádět měření vyzařování podle:

ČSN EN 55022 ED. 3 Zařízení informační techniky – Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení – Meze a metody měření. [13]

Při dodržení velikosti zkoumaného objektu a zkušebního prostoru v poměru 1 / 3 vytváří homogenní pole, které nepřevyšuje nehomogennost o ± 1 dB a nepřesáhne změna kmitočtu ± 3 dB ve frekvenčním spektru 0 až 1 GHz. Což tyto hodnoty a podmínky předepisuje norma:

Norma ČSN EN 61000-4-3: Zkušební a měřicí technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – Zkouška odolnosti. [1,13]

5 WEB KAMERY

Ještě pár let zpátky si většina lidské populace již nedokázala představit svět bez každodenního telefonování. V dnešní době u majoritní části populace, už jen pouhé telefonování nestačí a používají raději video hovory. Aby bylo toto možné, je nutné používat zařízení, které bude přenášet obraz (ideálně s integrovaným mikrofonem). Právě pro tento populární typ hovorů vzniklo odvětví webkamer, které slouží k živému přenosu videa pomocí internetu. Dnešní webkamery jsou vybaveny dalšími nástroji a funkcemi pro ještě větší využitelnost, jako jsou například integrované mikrofony, možnosti záznamu videa, úpravy automatického jasu, HDR a další.

Samozřejmě tento druh kamer není omezen pouze na tento druh použití, ale využívají se ve všech odvětvích, kde je potřeba veřejně sledovat situaci. Od lyžařských středisek, která mají sadu kamer s živým obrazem dostupným na jeho stránkách, a tak se člověk může podívat na počasí, počet lidí či sněhové podmínky, až po zkontrolování jídelny, zda je vhodná doba vyrazit na oběd bez vystávání ve frontách.

Příklad kamery pro video hovory (vlevo) a pro snímání objektu, přírody nebo pro počasí (vpravo) lze vidět na obrázku (Obr. 10.) níže.



Obr. 10. Webkamera pro video hovory a pro snímání prostoru [14,15]

5.1 Počátky

Jako první použití webkamery se datuje již roku 1991 na Cambridge University, kde byl vysílán obraz pouze přes pár místností a s téměř statickým obrazem (záběr na jedno místo), ale i tak byla první svého druhu a fungovala nepřetržitě téměř 10let. Od té doby bylo vy-

tvořeno nespočet webů, které nabízely záběry různých míst z celého světa a bylo tak možné se podívat živě co se děje ve městě několik tisíc kilometrů daleko. [16]

5.2 Rozmach

Největší zastoupení webových kamer vzniklo na základě komunikace mezi lidmi. IT firmy vytvářející HW začaly integrovat webkamery i mikrofony do notebooků, laptopů, monitorů a později do handheld zařízení. A tak nebyla nutnost dokupovat externí webové kamery, což umožnilo většině populace tyto služby využívat.

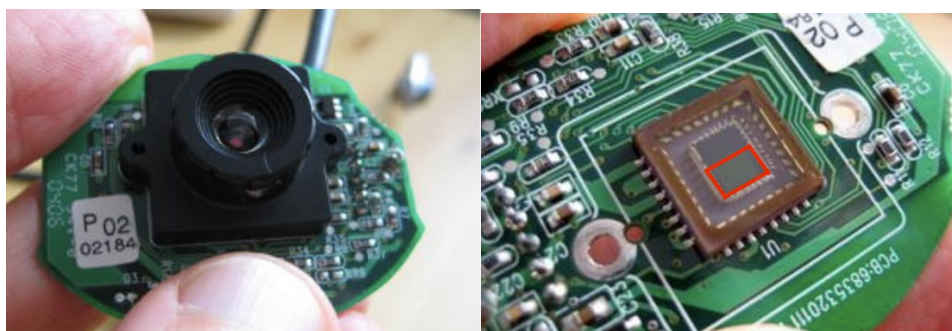
Dnes se tato komunikace využívá ve všech vrstvách společnosti, od mezilidských vztahů až po obrovské firemní giganty používající konferenční videohovory jako formu meetingu nezávazně na geologické pozici jednotlivců.

5.3 Technika

Webkamera je v podstatě digitální kamera, která místo ukládání záznamu na vnitřní úložní prostor popřípadě na paměťovou kartu, živě vysílá obraz přímo na internet. Pro záznam obrazu využívá miniaturní světlo-citlivou plochu neboli čip kamery. Při osvětlení čipu, pomocná elektronika vytvoří binární podobu obrazu a díky konverzi pak žádaný obraz. Pro tyto typy kamer se nejčastěji používají čipy, senzory CCD nebo CMOS.

5.3.1 Konstrukce

Srdcem celého zařízení je snímač a pomocná elektronika pro zpracování obrazu. Na obrázku (Obr. 11.) je vyobrazena celá deska plošných spojů včetně objektivu kamery, které pro tyto využití bývají plastové se závitem pro manuální zaostření objektu pozorování (vlevo). Pokud se objektiv sundá, lze vidět samotný snímací senzor (vpravo), kdy pouze červeně vyznačená oblast je světlo-citlivý materiál, zbytek je jen propojení k pomocné elektronice.



Obr. 11. Detail kamery a světlo-citlivého čipu [17]

5.3.2 Princip záznamu obrazu

Jak již bylo výše uvedeno, pro záznam se nejčastěji používají CCD nebo CMOS čipy. Každý z nich obraz zpracovává trošku jinak. Níže budou popsány oba typy záznamu.

CCD – záznam probíhá tak, že se dopadající světelné paprsky převádí na elektrický signál a ten dále posílá do pomocné elektroniky, kde dochází k digitalizaci (převod na binární soustavu) obrazu a rozdělení na jednotlivé pixely. [17]

CMOS – proti tomu je plně digitální a tak vytváří oba kroky přímo v čipu. Tudíž dopadající paprsky světla přímo rozebírá na jednotlivé pixely a zároveň převádí do binární soustavy. [17]

Výsledný proces je však ve výsledku stejný. Oba druhy čipů převádí přijímané světlo na jednotlivé pixely, kdy každý pixel obrazu má svůj záznam o světlosti a barvy v dlouhém binárním čísle, který se ukládá na paměťový čip kamery (pouze dočasně). [17]

CCD čip je vhodnější pro snímání tmavších scén díky své světelnosti, avšak je pomalejší a nákladnější na výrobu. Naopak CMOS je levný na výrobu a rychlejší, bohužel za cenu nižší kvality.

5.3.3 Kvalita obrazu

Jeden z nejdůležitějších parametrů těchto kamer je kvalita obrazu. Ta se dá posuzovat podle několika vlastností.

Rozlišení – udává jaký počet pixelů je schopna kamera rozlišit na jeden záběr. Tím vzniká různá kvalita obrazu. Jelikož u webkamer je potřeba rychlé odezvy pro komunikaci, bylo hodně používáno rozlišení nižší (640 x 480 pixelů), tak aby přenos obrazu byl po internetu nenáročný na datový přenos. Dnes už není problém používat HD kamery (1600 x 1200 pixelů), které díky chytré kompresi nejsou tak moc náročné na datový přenos a díky rychlostem běžně dostupného internetu mohou bez problémů fungovat.

Snímková frekvence – udávaná nejčastěji za sekundu, nezajišťuje jemnost obrazu, ale plynulost videopřenosu. Za předpokladu vysokého rozlišení s kombinací s malou frekvencí bude obraz kvalitní ovšem sekavý. Naopak pokud bude video plynulé, ale obraz bude nekvalitní, takže je nutné najít kompromis v těchto parametrech, aby bylo video co nejkvalitnější, nejplynulejší s rozumným datovým tokem. Ideální frekvence začíná zhruba na 30 snímcích za sekundu, pro kvalitnější kamery však není problém 50 – 60 snímků za sekundu.

6 ROZHLAS

V dnešní době každého obklopuje mnoho signálů (Wi-Fi, AM, FM rádia, TV signál, signály pro mobilní telefony). Avšak jako jeden z prvních vysílaných signálů byl radiosignál, který nás obklopuje více než 100 let. Pro odchyčení signálů podobného vysílání je vždy potřeba příslušný přijímač. Nejčastěji dnes používané jsou FM přijímače.

6.1 Historie rádia

Vysílání rozhlasu neboli hovorově rádia vzniklo na základě poznatků z telegrafní komunikace. Po prvních pokusech se ukázalo, že technické zázemí je dostatečné. Tím se odstartovala vlna rozhlasů a díky konstrukci „krystalky“ (velmi jednoduchý přijímač) s kombinací elektronek bylo možné zesílit přijímané vlny téměř do jakýkoliv úrovní.

V České republice bylo pravidelné rozhlasové vysílání zahájeno roku 1923, původně z propůjčeného stanu. Ve 30. letech 20. století již československé vlny dosahovaly do zahraničí. [18]

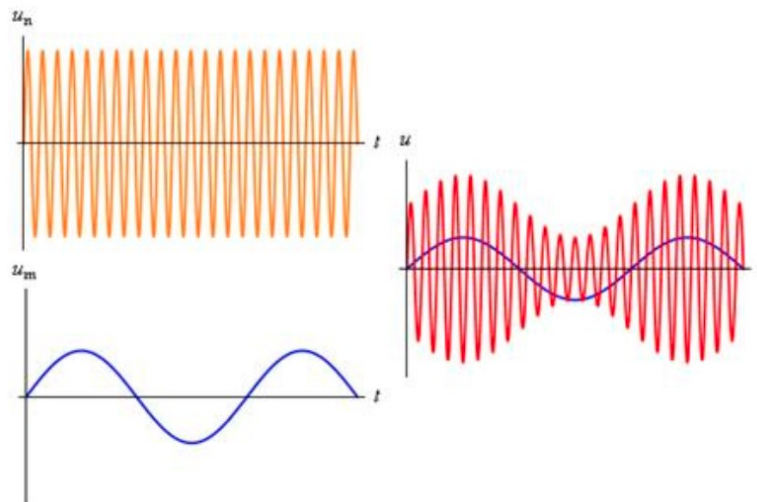
6.2 Princip funkce

Rádio neboli rozhlas, je forma jednostranného telekomunikačního přenosu zvuku. Rozhlasový signál, se šíří jako elektromagnetické vlnění, které má však daleko vyšší frekvenci než samotná zvuková informace. Informace se moduluje na vyšší nosnou frekvenci a při příchodu do přijímače se demoduluje a sestaví se zpět zvuková informace. Modulace je nezbytná, protože pro vyzařování elektromagnetického pole musí být velikost antény polovina nebo minimálně čtvrtina délky vlny. Což pokud bychom chtěli vysílat například na starších frekvencích AM (stovky kHz) by musela být anténa dlouhá až 3km, což je nereálné. [18]

6.2.1 Amplitudová modulace AM

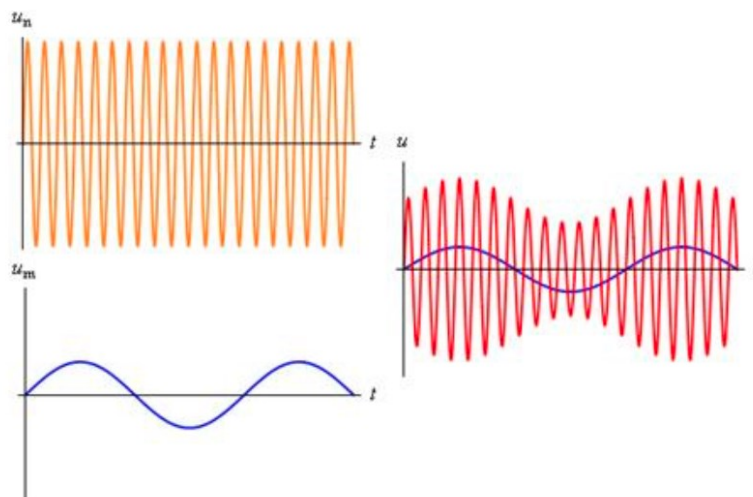
Jedna z nejčastěji používaných modulací je právě AM. Při této modulaci se mění původně stálá amplituda nosné vlny v rytmu přenášené informace. Pokud je přenášená informace o vyšším výkonu (hlasitější) pak také amplituda nosné vlny je větší a naopak. Tento jev nazýváme hloubkou modulace. Pokud však hloubka modulace přesáhne 100 %, zaniká nosná vlna a dochází ke zkreslení. Procento modulace pak znamená v jakém poměru se mění velikost nosné vlny. AM modulace se dále rozlišují podle využití postranních pásem.

AM DSB (Dual Side Band) – modulovaný signál obsahující obě postranní pásma a nosnou frekvenci ve shodě. Výsledný signál pak vypadá jako na obrázku (Obr. 18.), kdy žlutá vlna je nosná, modrá vlna reprezentuje informaci a červená je vlna modulovaná (platí i pro Obr. 13)



Obr. 12. AM DSB modulace [19]

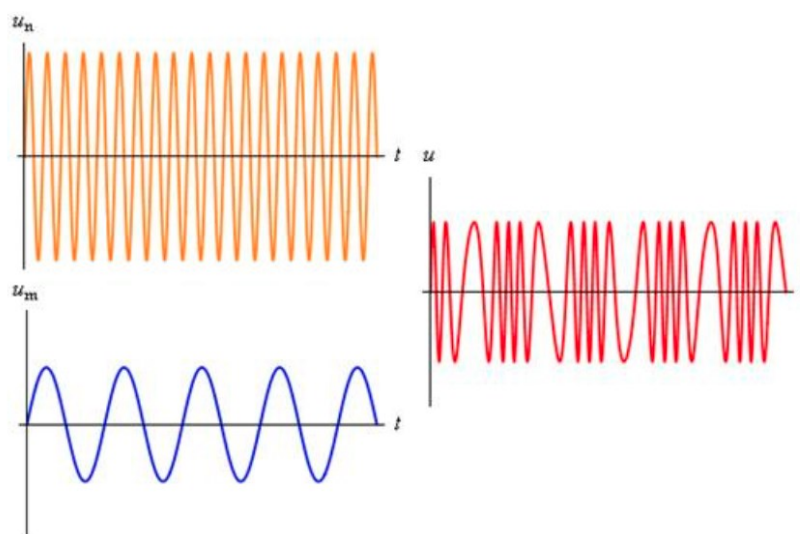
AM SSB (Single Side Band) – při této modulaci signál obsahuje pouze jedno postranní pásmo a signál nosné frekvence (lze vidět na Obr. 13.). AM SSB modulace je nejvíce využívána v oblasti telefonie, amatérského vysílání atd.



Obr. 13. AM SSB modulace [19]

6.2.2 Frekvenční modulace FM

Pro vysílání rozhlasu se kromě AM modulací používá FM modulace. Při použití této modulace se informace nemoduluje do amplitudy, ale do okamžité frekvence nosné vlny. Tím se však mění periodičita nosné vlny a je nutné tak stanovit frekvenční pásmo, ve kterém pak má demodulace probíhat. Díky znalosti maximální a minimální frekvence nosné vlny pak lze definovat frekvenční zdvih. Pokud frekvenční zdvih podělíme dvěma, dostaneme se na frekvenční odchylku. Čím je pak větší frekvenční zdvih, tím více se průběh nosné vlny vzdaluje od harmonického signálu, a tím je složitější tento průběh popsat. Proto byl každému vysílači frekvenční zdvih předepsán jako konstantní frekvenční kanál. Pokud se mluví u FM modulace o hloubce modulace (v procentech), znamená to poměr skutečné odchylky u vysílače ku maximální předepsané odchylce. Dále lze mluvit u této modulace o šířce pásma, které zabírá modulovaný signál. Příklad FM modulace lze vidět na obrázku (Obr. 14). [20]



Obr. 14. FM modulace [21]

6.3 Tranzistorové přijímače

Jak již z názvu vyplývá, jedná se o zařízení pro příjem rozhlasových vln, kdy jeho vnitřní elektronické obvody jsou založeny na tranzistorech. V těchto typech přijímačů bylo většinou tranzistorů několik, a to i různých druhů podle účelu funkce. Tranzistory byly využívány hlavně pro tyto účely:

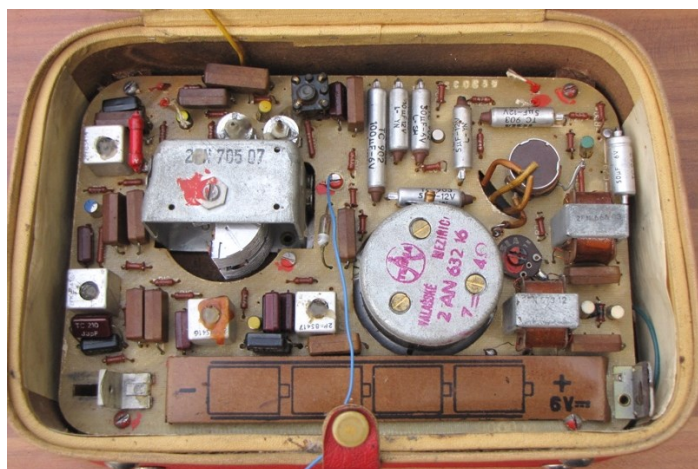
- kmitající směšovače,

- zesilovače mezifrekvenčních signálů,
- nízkofrekvenční zesilovače.

Díky vlastnostem tranzistoru (malé spotřebě), bylo možné vyrábět přenosné přijímače napájené pouze bateriemi (například 9 V ploché baterie). Do té doby byly pro zesilování využívány elektronky, které bylo nutné žhavit, měly vysokou impedanci a velkou spotřebu. Proto musely být napájeny z rozvodné sítě. Díky vynálezu tranzistoru bylo možné vzít si radiopřijímač kamkoliv a poslouchat jej pouze pod podmínkou signálu rozhlasu. Jedno z prvních přenosných tranzistorových rádií T-2800-B od výrobce TESLA z roku 1955, lze vidět na obrázku (Obr. 22.) níže. Uspořádání součástek pak na obrázku (Obr. 23.) pod ním.



Obr. 15. Tranzistorový přijímač TESLA T-2800 [22]



Obr. 16. Uspořádání součástek TESLA T-2800 [23]

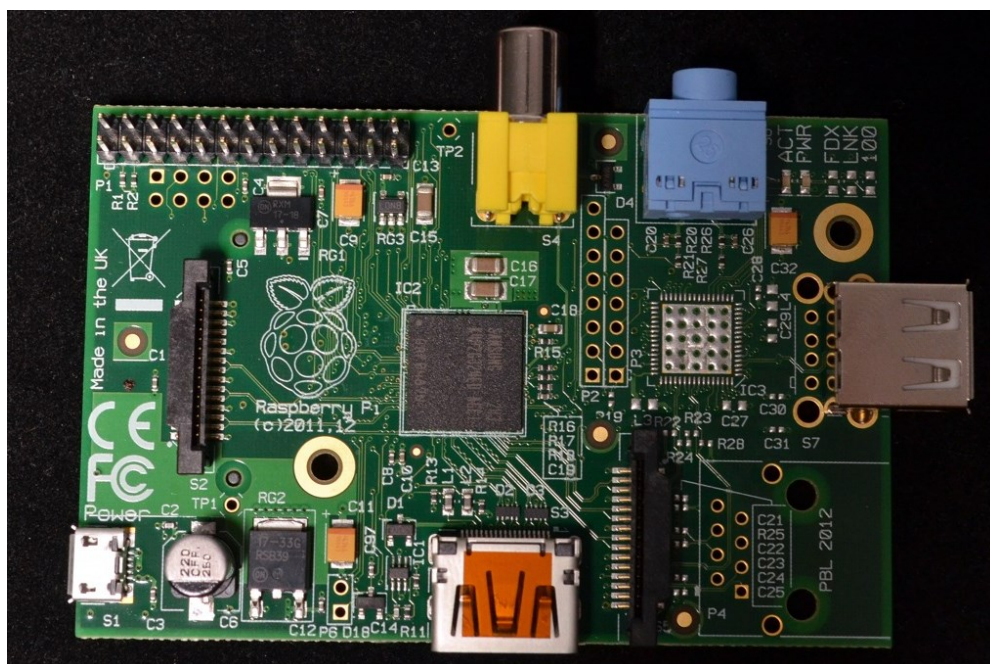
7 RASPBERRY PI

Výdobytkem dnešní doby je neustálá potřeba přenášet výpočetní výkon at' už v jakýchkoli variantách. Jedná se nejčastěji o mobilní (chytřé) telefony, notebooky, laptopy, tablety. Ovšem již se vyrábí i mini PC systémy, které mají veškeré vlastnosti stolního počítače v minimalizovaných rozměrech. Smyslem je, že v práci či doma máte pouze monitor a periferie a přenášíte „pouze“ onen mini počítač. Raspberry Pi však vzniklo pro daleko přírodnější vizi.

7.1 Důvod uvedení Raspberry Pi na trh

Zhruba od roku 2006 anglická nadace Raspberry Pi pracovala na tom, aby počítače a řízení pomocí nich bylo přístupné opravdu všem. Aby děti ve vývojových zemích mohly mít představu k čemu veškerá digitální technika je, jak se pomocí ní dají řešit různé problémy a jak ji lze uplatnit v práci. [24]

Aby to bylo možné provést, bylo nutné vyvinout osobní počítače v nejnižší možné ceně, rozměrech a využitelnosti plnohodnotného počítače. Na těchto počítačích měla být možnost řešit problémy, učit se s nimi a v neposlední řadě se i zabavit. Součástí bylo také vyvinout operační systém, který nebude náročný, avšak velmi přívětivý, výkonný a jednoduchý. Níže lze vidět jeden z prvních modelů (Obr. 17.). [24]

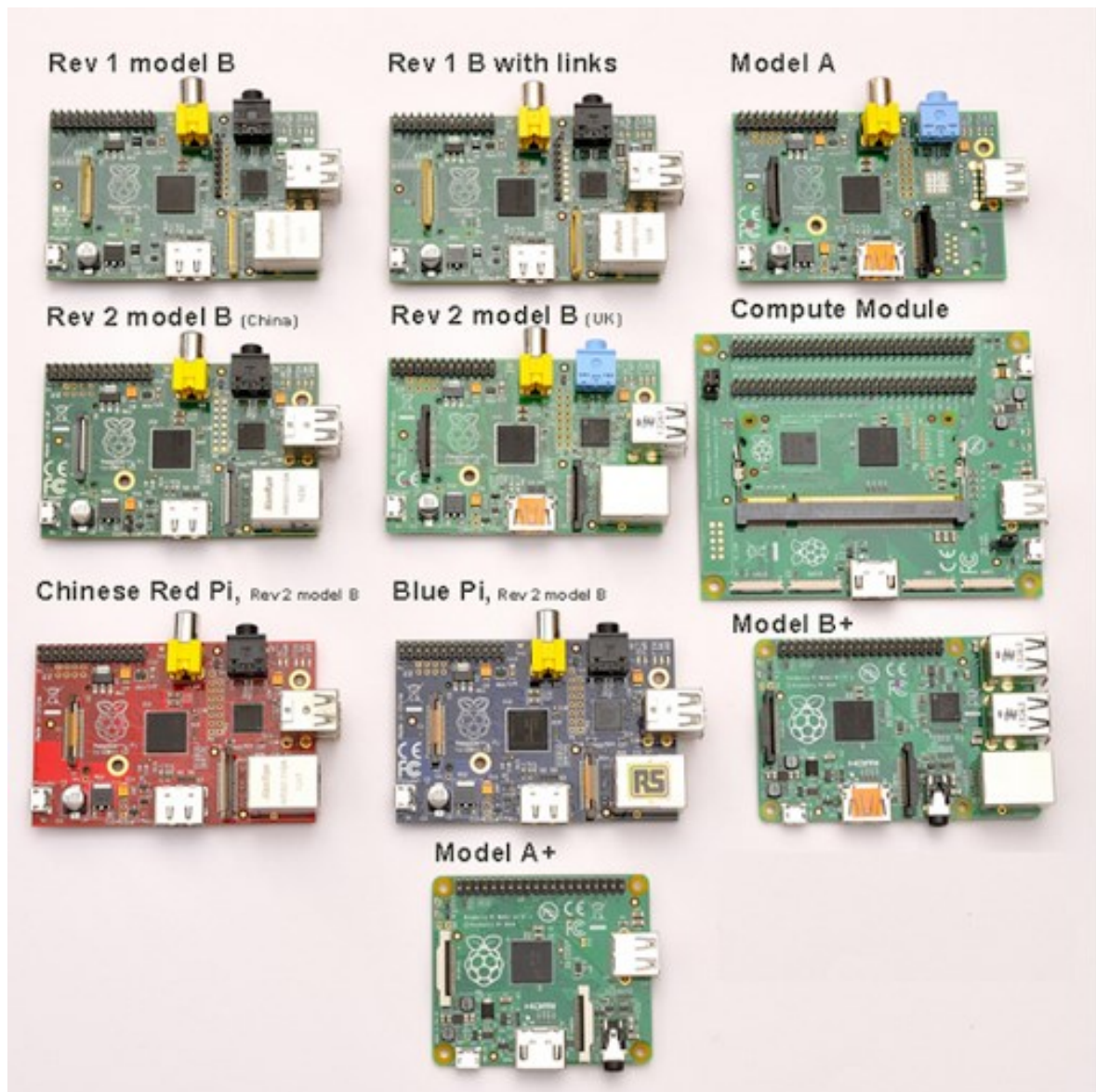


Obr. 17. Raspberry Pi model A [24]

Všechny všechny zařízení běží na vlastním systému RASPBIAN a jsou plně programovatelné včetně rozšiřujících modulů pomocí programovacího jazyka Python.

7.2 Konfigurace a příslušenství

Mikro osobní počítač, jak by se mohlo Raspberry Pi říkat, se prodává v několika různých modelech a konfiguracích za cenu zhruba od 670 Kč až do nejvýkonnějších modelů zhruba za 1100 Kč. Přehled modelů lze vidět na obrázku (Obr. 18.) níže. [24]



Obr. 18. Přehled modelů Raspberry Pi [25]

7.2.1 Srovnání modelů

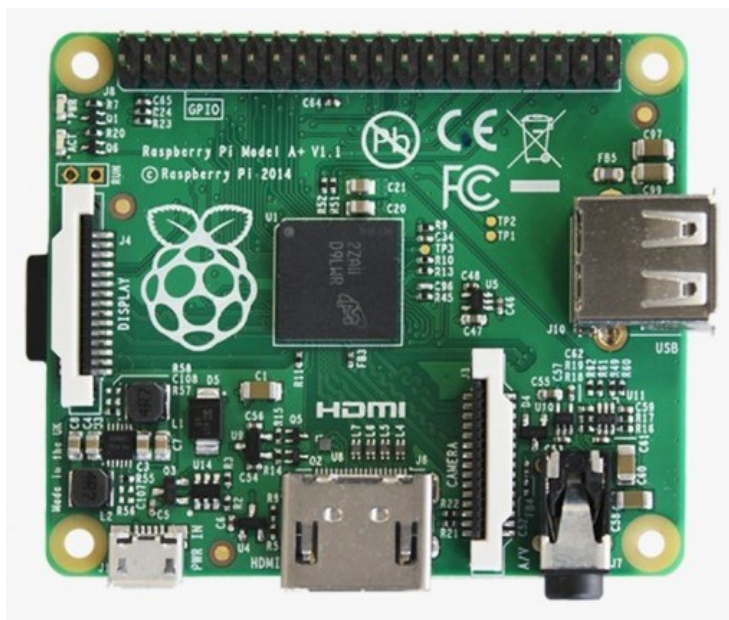
Vzhledem k celkem široké nabídce budou níže uvedeny specifikace a ceny pouze základního a nejvýkonnějšího modelu. Oba modely jsou vhodné pro základní, ale i pro pokročilé aplikace.

RASPBERRY PI MODEL A+ 256MB

Je základní model začínající na částce zhruba 670 Kč. Tato verze je pro začátek a testování naprosto dostačující. Specifikace viz tabulka (Tab. 3.) a ukázka počítače na obrázku (Obr. 19.) pod tabulkou:

Tab. 3. Specifikace Raspberry Pi A+ [26]

Název modelu:	Raspberry Pi model A+ 256MB
Procesor:	Broadcom ARM1176JZF-S (armv6k) 700 MHz
Grafická karta:	Broadcom VideoCore IV (Open GL ES 2.0)
Paměť RAM:	256 MB
Video výstup:	HDMI, Kompozitní RCA, DSI rozhraní pro připojení LCD panelu
Audio výstup:	3,5mm jack, HDMI, I2S audio
Úložiště:	SD/MMC/SDIO slot
Rozhraní:	1x USB 2.0, 8x GPIO, UART, I2Cm SPI,



Obr. 19. Fotografie Raspberry Pi A+ [26]

RASPERRY PI 3 MODEL B 1GB

Je nejnovější a plně vybavený model. Díky svému výkonu je vhodný i pro průmyslové prostředí, navíc disponuje i bezdrátovou konektivitou (WiFi a BlueTooth). Cenově se pohybuje lehce nad 1000 Kč. Pro porovnání jsou specifikace umístěny v tabulce (Tab. 4) a pod ní foto reálného produktu (Obr. 20).

Tab. 4. Specifikace Raspberry Pi 3 B [26]

Název modelu:	RASPERRY PI 3 MODEL B 1GB
Procesor:	Quad Core Broadcom BCM2837 64-bit ARMv8 1,2Ghz
Grafická karta:	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor
Paměť RAM:	1 GB
Video výstup:	HDMI, Kompozitní RCA, DSI rozhraní pro připojení LCD panelu
Audio výstup:	3,5mm jack, HDMI, I2S audio
Úložiště:	SD/MMC/SDIO slot
Rozhraní:	2x USB 2.0, 8x GPIO, UART, I2Cm SPI, Ethernet, WiFi, BlueTooth LE



Obr. 20. Fotografie Raspberry Pi 3 B [26]

7.2.2 Rozšiřující moduly

Vzhledem k rozšířenosti, oblíbenosti a možnostem tohoto zařízení je dostupné mnoho příslušenství, například krabičky, obaly, napájecí zdroje a jiné příslušenství a periferie. Ale

daleko zajímavější je však nepřeborné množství rozšiřujících modelů, které jsou určeny pro: učení testování, zábavu, ale i pro průmyslovou činnost. Mezi tyto moduly se řadí:

- audio moduly (HiFi, převodníky, MIDI),
- displeje (monochromatické s ovládáním, dotykové),
- moduly pro řízení (spínací obvody, reléové výstupy),
- moduly pro vstup / výstup
- senzory,
- LED moduly,
- moduly pro řízení / monitoring v reálném čase. [26]

Pozn.: Výše uvedené kapitoly (5.,6. a 7.) popisují vybraná elektronická zařízení pro hlavní měření a porovnání vyzařování různých druhů a principů funkce. Pro dodatečné zkušební měření stínění byl vybrán WiFi modul, který nespadal do hlavního měření, proto seznámení s ním je uvedeno až v praktické části této diplomové práce.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

8 MĚŘENÍ EMI POMOCÍ GTEM CELY

Praktická část této práce byla věnována měření vyzařování elektromagnetického pole různých typů elektronických zařízení pomocí GTEM cely. Jednalo se o zařízení, která fungují na odlišných principech, aby bylo možné porovnat jejich chování. Konkrétně šlo o tranzistorový rádio přijímač, webkameru, mini počítač a pro dodatečné měření WiFi modul.

Měření bylo prováděno na pracovišti Vědeckotechnického parku při Fakultě aplikované informatiky ve Zlíně, s použitím zdejšího dostupného vybavení, a to jak měřících přístrojů, tak měřených zařízení.

8.1 Vybavení pro měření vyzařování

Jako měřící soustava byla zvolena GTEM cela a receiver pro měření a záznam elektromagnetického vyzařování, kdy se do GTEM cely vložilo zkoumané zařízení a po zapojení kabelu do receiveru bylo možné zkoumat příslušné hodnoty.

Hlavním vybavením tedy byla GTEM cela značky Frankonia. Konkrétně se jednalo o model Frankonia GTEM 250, splňující normu IEC/EN 61000-4-20 a ESPI Test Receiver Rohde&Schwarz, který mohl pracovat v režimu spektrálního analyzátoru nebo v režimu přijímače. Pro účel měření byl používán jako přijímač elektromagnetických vln.

Jak již bylo výše uvedeno, jako zkoumané předměty byly vybrány:

- tranzistorový rádio přijímač značky Edison,
- webkamer značky Genius,
- minipočítač Raspberry Pi 2.

Pro dodatečné měření pak byl vybrán WiFi modul od firmy Wemos.

Všechny jmenované předměty budou blíže popsány níže.

8.1.1 Cela Frankonia GTEM 250

GTEM cela byla dodána do vědeckotechnologického parku firmou TECTRA a.s., zabývající se měřením, analýzou, kalibrací, diagnostikou a záznamem naměřených dat. Označení cely 250 značí, že pracovní prostor pro měřené nebo testované zařízení je do výšky 25 cm. Tento druh cely lze vidět na obrázku (Obr. 21.).



Obr. 21. GTEM cela Frankonia GTEM 250

Specifikace cely je uvedena v tabulce (Tab. 5.).

Tab. 5. GTEM Cela Frankonia GTEM 250 [27]

Pracovní frekvence:	0,1 MHz až 20 GHz
Maximální vstupní výkon:	Nepřetržitý max. 500W
Stínění:	Větší než 65 - 110 dB v závislosti na frekvencích
Délka absorbérů:	350 mm
Venkovní rozměry:	1250 mm x 640mm x 440mm (délka x šířka x výška)
Rozměr otvoru:	450 x 250 mm
Konstrukce:	Plně tepelně galvanizovaná pozinková nerezová ocel

8.1.2 ESPI Test Receiver Rohde&Schwarz

Přijímač pro měření a záznam dat z GTEM cely byl použit od firmy Rohde&Schwarz. Toto sofistikované zařízení lze používat v různých režimech. A to jako spektrální analyzátor nebo pouze jako přijímač. Zařízení primárně slouží právě pro EMC testování, proto je vhodné pro předcertifikační měření a vývoj elektronických zařízení. Díky tomu, že měřicí systém běžel na modifikovaném operačním systému Windows XP, bylo možné po dokončení měření exportovat jak záznam obrazu z displeje, ale také exportovat data ve formátu čitelného pro Microsoft Office Excel. Jako rozhraní pro přenos dat lze využít připojení pomocí sítě LAN nebo prosté nahrání souborů na přenosné úložiště připojitelné pomocí sběrnice USB. Přístroj pracuje ve frekvenčním spektru 9 kHz až 7 GHz, při vysoké citlivosti a to 0,1 Hz. Zapnutý přístroj lze vidět na obrázku (Obr. 22.). [28]



Obr. 22. ESPI Test Receiver Rohde&Schwarz

8.1.3 Webkamera Genius FaceCam 2020

Externí webová kamera jednoho z předních výrobců příslušenství k počítačům. Díky svému rozlišení a integrovanému mikrofону je vhodná jak pro videohovory, tak pro vyfocení určité scény. Součástí webkamery je i praktický stojan, který lze použít pro uchycení na okraj monitoru nebo pro postavení například na stůl. Napájení i datový přenos je řešen pomocí USB rozhraní. Bližší informace jsou uvedeny v tabulce (Tab. 6.). Pod tabulkou je pak zobrazena kamera na obrázku (Obr. 23.).

Tab. 6. Specifikace Genius FaceCam 2020 [29]

Rozlišení snímače:	2 MPx
Rozlišení videa:	1600 x 1200
Rozlišení snímku:	1600 x 1200
Zaostření obrazu:	Manuální
Konektivita:	USB
Zvukový vstup:	Integrovaný mikrofón
Kompatibilita OS:	Windows, MacOS



Obr. 23. Webkamera Genius FaceCam 2020

8.1.4 Radiopřijímač Edison R-202

Kapesní radiopřijímač lze díky svým rozměrům libovolně přenášet. Používání je omezeno pouze signálem příslušných stanic. K napájení je možné použít elektrickou síť, ale postačí i pouze dva monočlánky typu AA. Disponuje podsvíceným monochromatickým displejem, hodinami a automatickým vypnutím i spuštěním. Osahuje taktéž 3,5 mm jack konektor pro zapojení sluchátek či aktivních reproduktorů. Pro příjem stanic používá vlnové rozsahy FM / MW a SW. Radiopřijímač je zobrazen na obrázku níže (Obr. 24).



Obr. 24. Radiopřijímač Edison R-202

8.1.5 MiniPC Raspberry Pi 3 model B

Raspberry Pi 3 model B je plně hodnotný počítač o velikosti zhruba platební karty, pracující na vlastním operačním systému. Disponuje několika rozšiřujícími porty jako je sběrnice USB, síťový port LAN, video výstup pomocí HDMI a další. Pro rozšiřující moduly je

připravena speciální sběrnice, která je plně programovatelná pomocí jazyka Python. Model s takovou konfigurací v rámci nabídky je vrcholný model. Specifikaci použitého modelu lze vidět v tabulce (Tab. 7.). Na obrázku (Obr. 25.) pak fotografii reálného modelu.

Tab. 7. Parametry Raspberry Pi 3 model B [26]

Název modelu:	RASPBERRY PI 3 MODEL B 1GB
Procesor:	Quad Core Broadcom BCM2837 64-bit ARMv8 1,2Ghz
Grafická karta:	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor
Paměť RAM:	1 GB
Video výstup:	HDMI, Kompozitní RCA, DSI rozhraní pro připojení LCD panelu
Audio výstup:	3,5mm jack, HDMI, I2S audio
Úložiště:	SD/MMC/SDIO slot
Rozhraní:	2x USB 2.0, 8x GPIO, UART, I2Cm SPI, Ethernet, WiFi, BlueTooth LE



Obr. 25. Raspberry Pi 3 model B

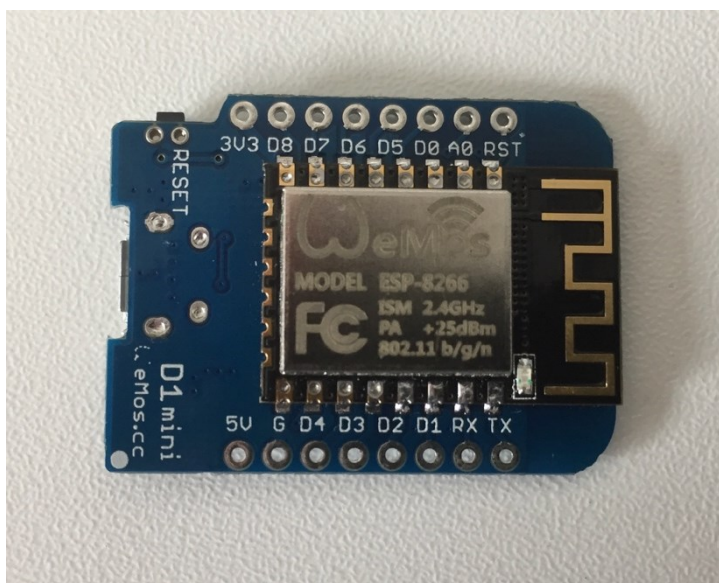
8.1.6 Wifi modul Wemos D1 mini

WiFi Modul D1 mini od společnosti Wemos, je miniaturní zařízení poháněné čipem ESP-8266EX, využívané jako rozšiřující modul pro vysílání WiFi signálu pro mini PC typu Arduino, Raspberry Pi a podobná zařízení. Pracuje na frekvenci 2,4 GHz, proto je vhodný i pro vysílání signálu pro všechna zařízení používající standartní WiFi pásma. Díky jeho velikosti je možné tento modul zabudovat v podstatě do jakéhokoli zařízení a umožnit tak jeho bezdrátovou správu. Lze ho využít např. pro:

- domácí automatizaci,
- chytré zásuvky, osvětlení,

- dětské monitorování (tzv. „chůvičky“),
- nositelnou elektroniku,
- průmyslové i domácí senzory,
- IP kamery. [30]

Tento modul lze vidět na obrázku (Obr. 26.), kde je viditelný hlavní obvod ESP-8266 a jeho anténa pro vysílání WiFi signálu.



Obr. 26. WiFi modul Wemos D1 mini

Pro vysílání signálu na frekvenci 2,4 GHz je použit CMOS zesilovač, který je digitálně kalibrován pro vyšší linearitu výkonu a posiluje signál až o 19,5 dBm. [30]

Tento čip podporuje širokou škálu rozšíření, při napojení na příslušné porty (viz. Obr. 26.), jako je dálkové ovládání pomocí infračerveného záření, analogově digitální převodník a další digitální vstupy a výstupy. [30]

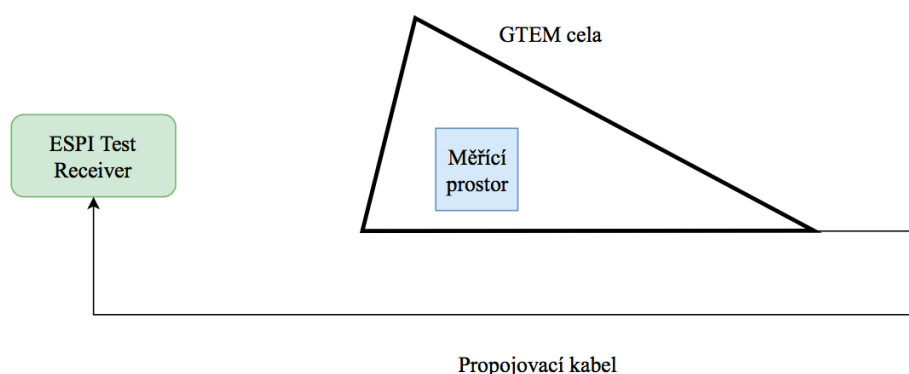
8.2 Postup měření

Postup měření vyzařování elektronických zařízení začínal zkontrolováním funkčnosti všech prostředků potřebných pro dosažení cílů měření. Po provedení bylo na řadě patřičné zapojení GTEM cely s ESPI Test Receiverem pomocí koaxiálního kabelu. Viz schéma zapojení (Obr. 26.), kdy měřící prostor sloužil pro uložení jednotlivých měřených zařízení. Všechna zařízení byla položena na nevodivou vrstvu materiálu, aby byly splněny požadavky pro měření.

Ihned po zapojení mohlo proběhnout testovací měření. Měření u všech zařízení probíhalo ve stejných krocích, a to:

- zapojení testovacího receiveru a GTEM cely,
- nastavení rozsahu a parametrů měření (Tab. 8.)
- měření vyzařování prostředí v prázdné cele,
- měření vyzařování kabeláže (potřebné pro chod zařízení),
- měření vyzařování zařízení v plném chodu.

Všechna měření byla prováděna opakovaně pro ověření správných dat. Měření byla ukládána na externí úložiště pomocí USB rozhraní, ve formátu čitelném pro MS Excel pro další zpracování výsledků měření.



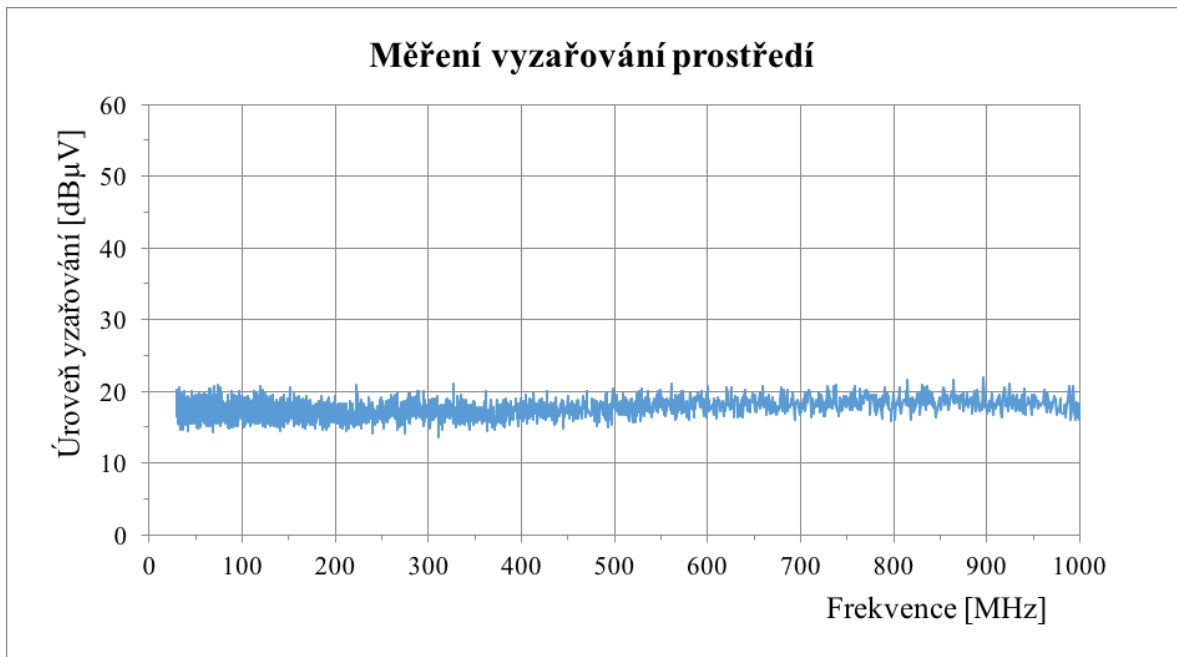
Obr. 27. Blokové schéma měřicí soustavy

Tab. 8. Nastavení parametrů měření

Začátek skenování na frekvenci:	30 MHz
Konec skenování na frekvenci:	1 GHz
Startovací frekvence:	30 MHz
Koncová frekvence:	1 GHz
Velikost kroku:	0,1 %
Měřený čas:	5 ms
Rozlišení šířky pásma:	9 kHz
Radiofrekvenční útlum:	30 dB
Předzesilovač:	Zapnut

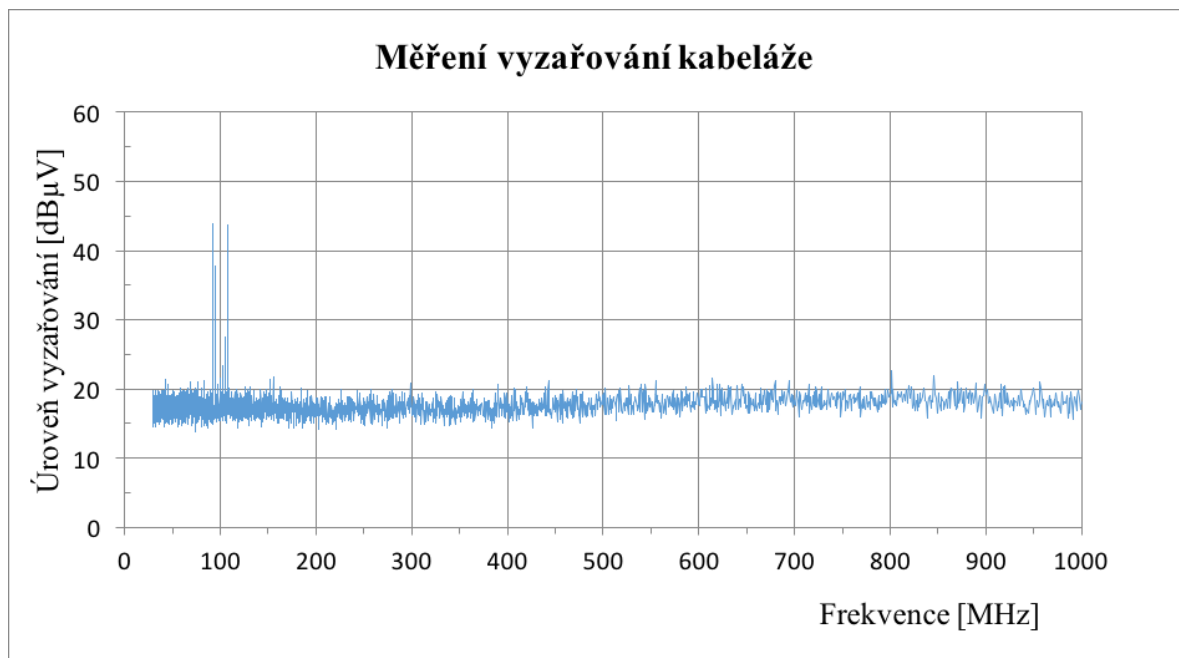
8.3 Data a průběh měření

Měřena data byla získávána pomocí připojeného ESPI testeru (ve funkci přijímače), k GTEM cele. Nastavení parametrů bylo pro všechna měření stejné (viz. Tab. 8.). Před měřením každého zařízení bylo provedeno měření prostředí cely (Obr. 27.).



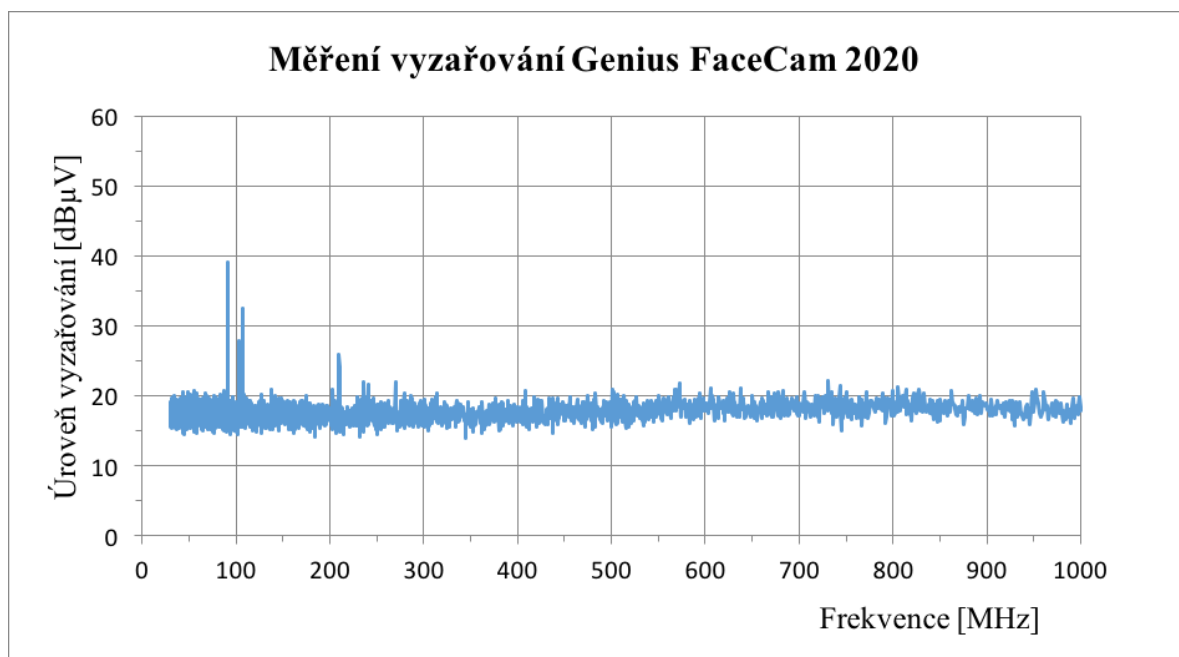
Obr. 28. Měření vyzařování prostředí

Tudíž do GTEM cely nebylo vloženo žádné zařízení. Pokud zařízení používalo pro komunikaci či napájení kabely, bylo provedeno měření další (Obr. 28.). Teprve poté došlo na měření jednotlivých zařízení.



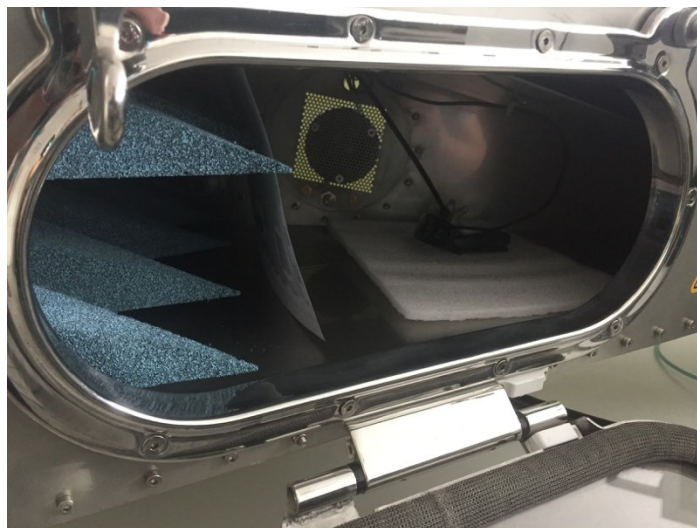
Obr. 29. Měření vyzařování kabeláže

Na obrázku výše (Obr. 28.) lze vidět, že kolem frekvence 100 MHz je zaznamenáno vyzařování o úrovni přes téměř 45 dB μ V, které lze vidět i na měřeních dalších, kde jsou použity kabely. Kabely jsou totiž nestíněné a prochází z vnějšího prostředí do GTEM cely. Proto mimo celu signál zachytí (podobné vlastnosti jako antény) a po vedení se signály dostanou až dovnitř cely.

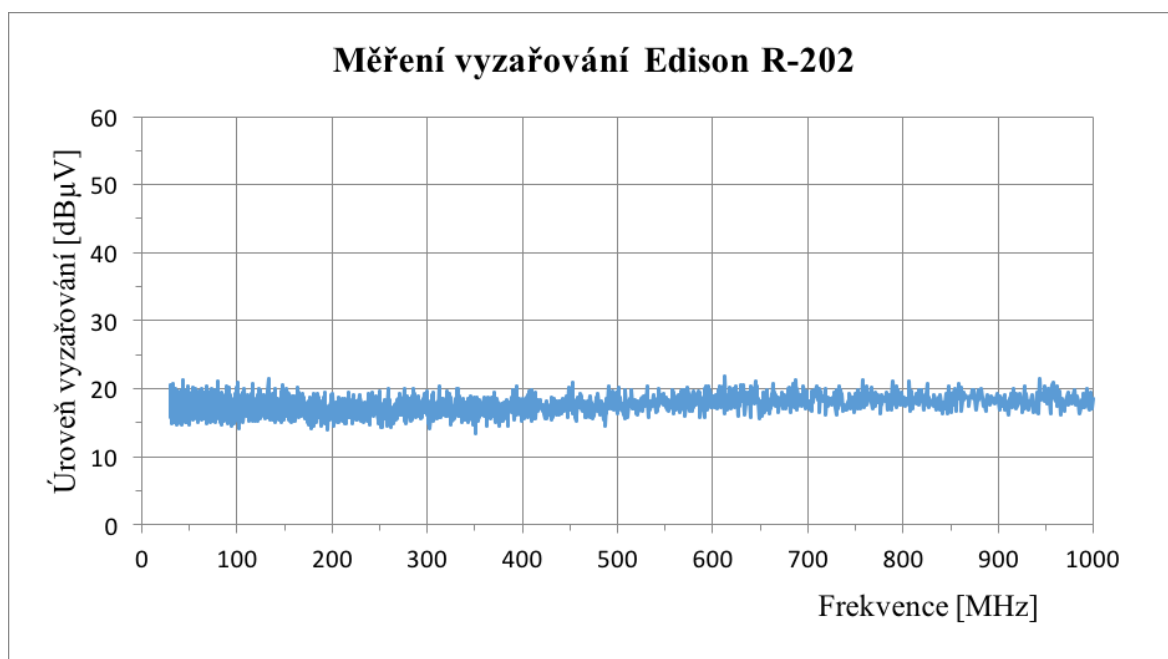


Obr. 30. Měření vyzařování webkamery

Na grafu výsledku měření (Obr. 29.) webkamery lze vidět kromě radiového signálu zvýšené hodnoty pouze kolem 200 MHz. Na podobné taktovací frekvenci může pracovat vnitřní elektronika kamery, nebo je zde zaznamenán datový přenos po kabelovém propojení s PC. Webkamera uvnitř cely je vyobrazena na obrázku (Obr. 30.)



Obr. 31. Webkamera uvnitř GTEM cely

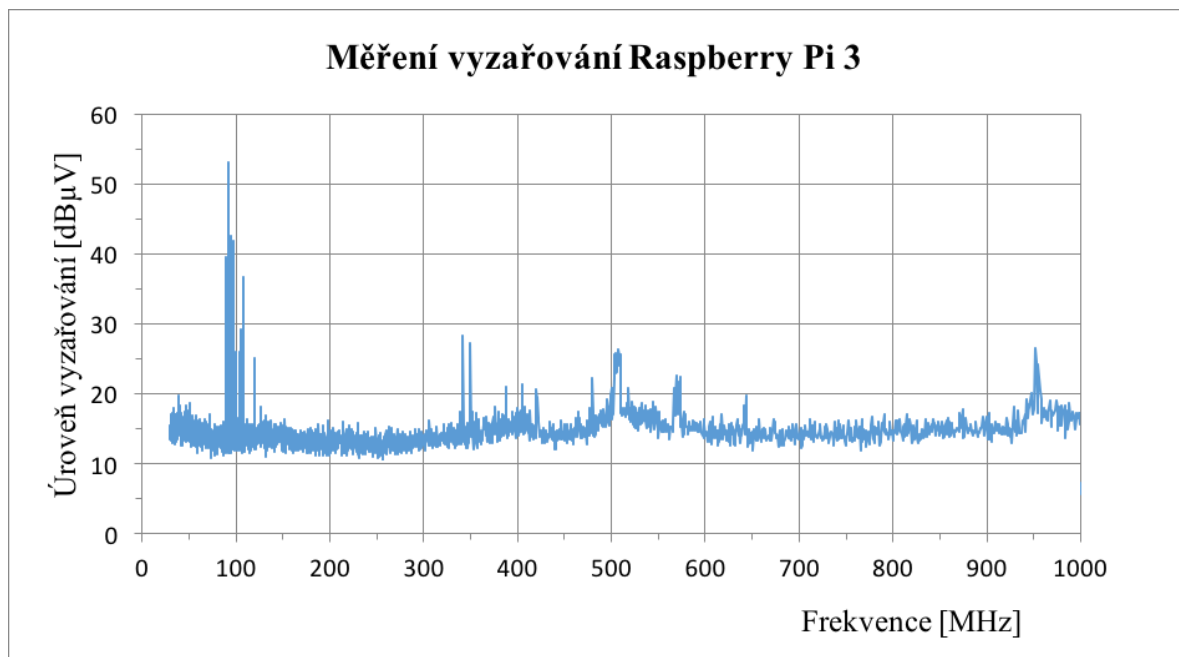


Obr. 32. Měření vyzařování radiopřijímače

Obrázek (Obr. 31.) zobrazuje vyzařování kapesního FM přijímače, kde díky využití napájení pomocí baterií (absence kabelů – antén), není zaznamenáno žádné zvýšené vyzařování. Dokonce ani oscilátor, který by měl kmitat zhruba kolem 90 MHz. Níže lze vidět FM přijímač Edison před měřením (Obr. 32.).

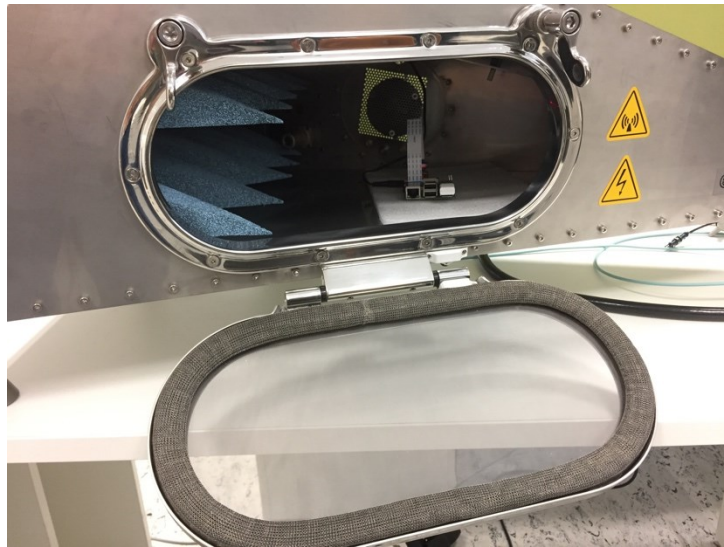


Obr. 33. Radiopřijímač uvnitř GTEM cely



Obr. 34. Měření vyzařování mini PC

Při měření Raspberry Pi bylo bez jakéhokoliv krytu a vyžadovalo více připojených kabelů, proto se lze domnívat, že díky většímu počtu kabelů bylo do GTEM cely přivedeno také silnějšího signálu rozhlasových stanic. Další zvýšené vyzařování by měly patřit pracovním frekvencím několika elektronických obvodů, jako mohou být radiče, procesory, paměti a další. Bohužel nebylo možné dohledat podle výkyvů přesné součástky, protože od známých referenčních kmitočtů se lišily. Raspberry Pi před měřením lze vidět níže (Obr. 34.)



Obr. 35. Raspberry Pi uvnitř GTEM cely

Naměřené vyzařování elektromagnetického pole v jednotlivých zařízeních bylo ve velmi slabých úrovních. Nejvíce se projevovalo pouze jako šum. Nejvyšší úroveň patřila nechtěnému záření rozhlasových vysílačů z vnějšku cely, které se dostávalo dovnitř pomocí kabeláže. Tedy ani jedno ze zařízení nevykazovalo špatné vlastnosti elektromagnetické kompatibility.

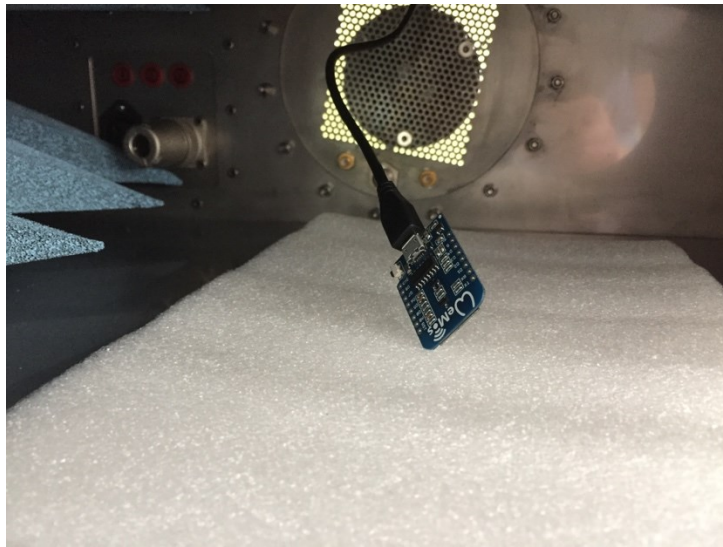
Na žádném zařízení proto nebylo vhodné vyzkoušet stínění elektromagnetických vln pro potlačení nebo dokonce eliminaci vyzařování. Proto bylo vybráno zařízení, které má jako primární funkci právě tyto vlny vyzařovat, viz. kapitola níže.

8.3.1 Snížení vyzařování

Jak bylo uvedeno výše, všechna vybraná zařízení, v rámci vyzařování elektromagnetických vln, dopadla více než dobře a nebylo nutné ani vhodné použít stínící prostředky pro potlačení nebo eliminace vyzařování. Pro použití stínění byl vybrán WiFi modul Wemos.

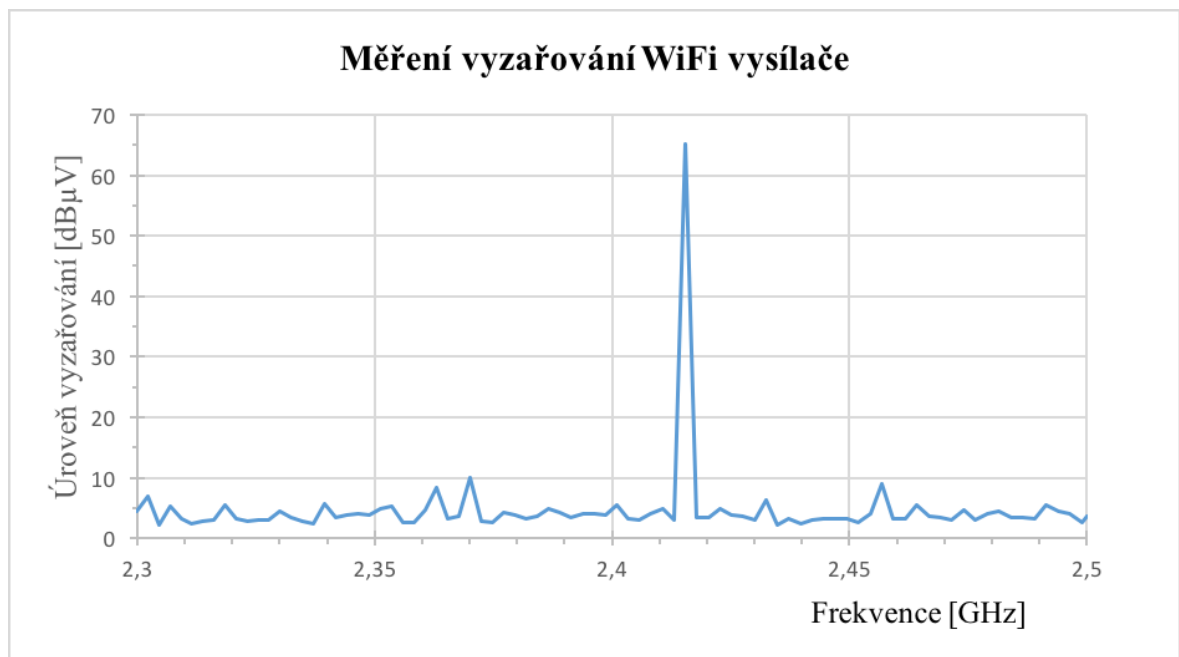
Měření funkčního signálu

Modul využívá napájení pomocí konektoru mikro USB, tudíž bylo možné, že se pomocí kabelu do cely dostanou opět radiové vlny. Jelikož bylo v zájmu zkoumat WiFi signál, který běží na frekvenci 2,4 GHz, byly upraveny parametry měření na jiné kmitočtové pásmo proti předchozím měření. Pásmo bylo nastaveno na rozsah 2,3 až 2,5 GHz. Tím mělo být zajištěno, že bude na testovacím přijímači zobrazen pouze užitečný signál. Modul připraven pro měření je vyobrazen na obrázku (Obr. 36.), kde lze vidět také napájecí kabel, který by neměl mít vliv na měření užitečného signálu vysílače.



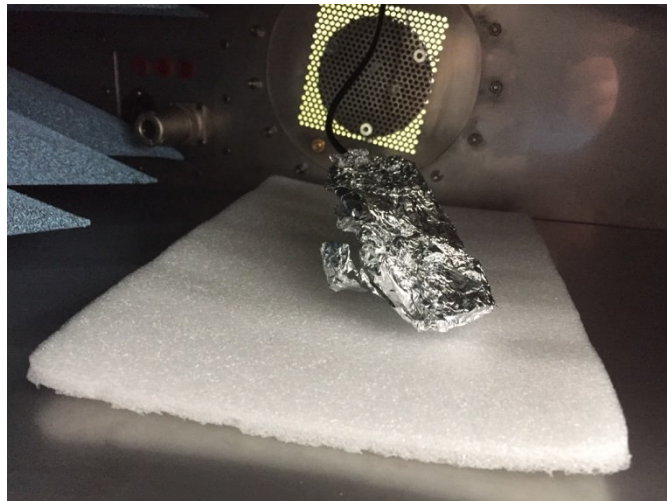
Obr. 36. Wifi modul v GTEM cele

Naměřený signál lze vidět na obrázku (Obr. 37.), kde dominuje špičkový signál kolem 65 dB μ V při frekvenci 2,41 až 2,42 GHz. Na základě tohoto měření lze stanovit sílu signálu při použití modulu bez vnějšího krytu.

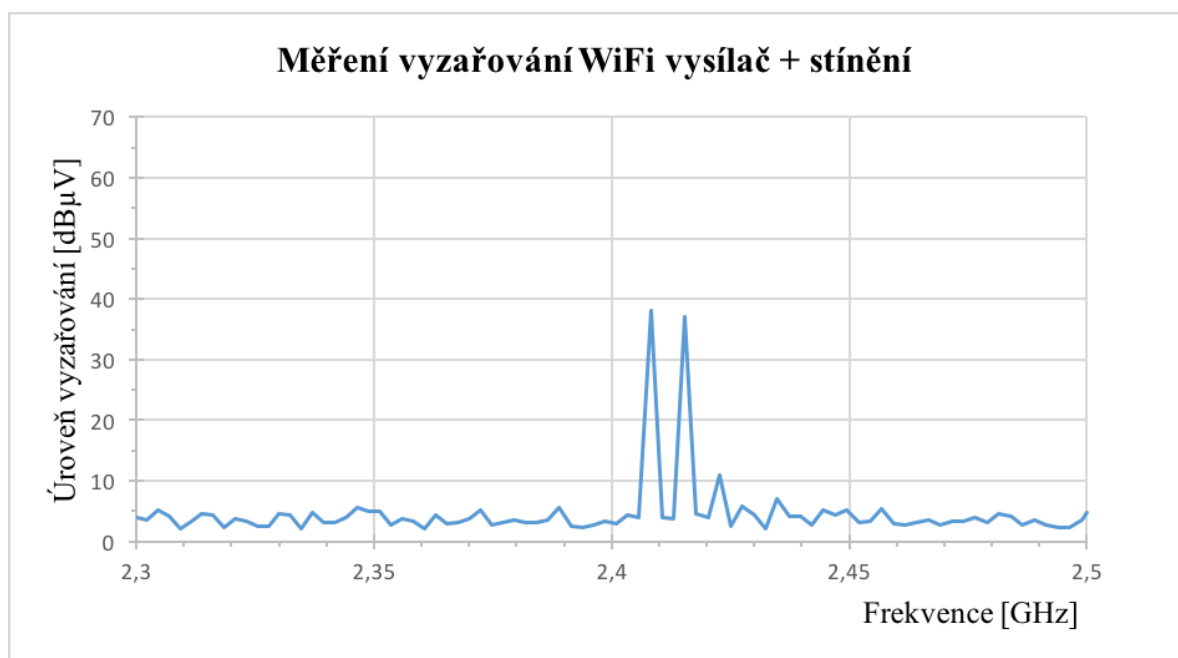


Obr. 37. Měření funkčního signálu vysílače WiFi

Jako jednoduché stínění by podle fyzikálních zákonů měl stačit vodivý materiál, proto byl WiFi modul obalen vrstvou hliníkové fólie (Obr. 38.). Po té bylo provedeno další měření i se stínícím materiálem (Obr. 39.).



Obr. 38. WiFi modul obalen vodivým materiálem



Obr. 39. Měření vyzařování stíněného vysílače

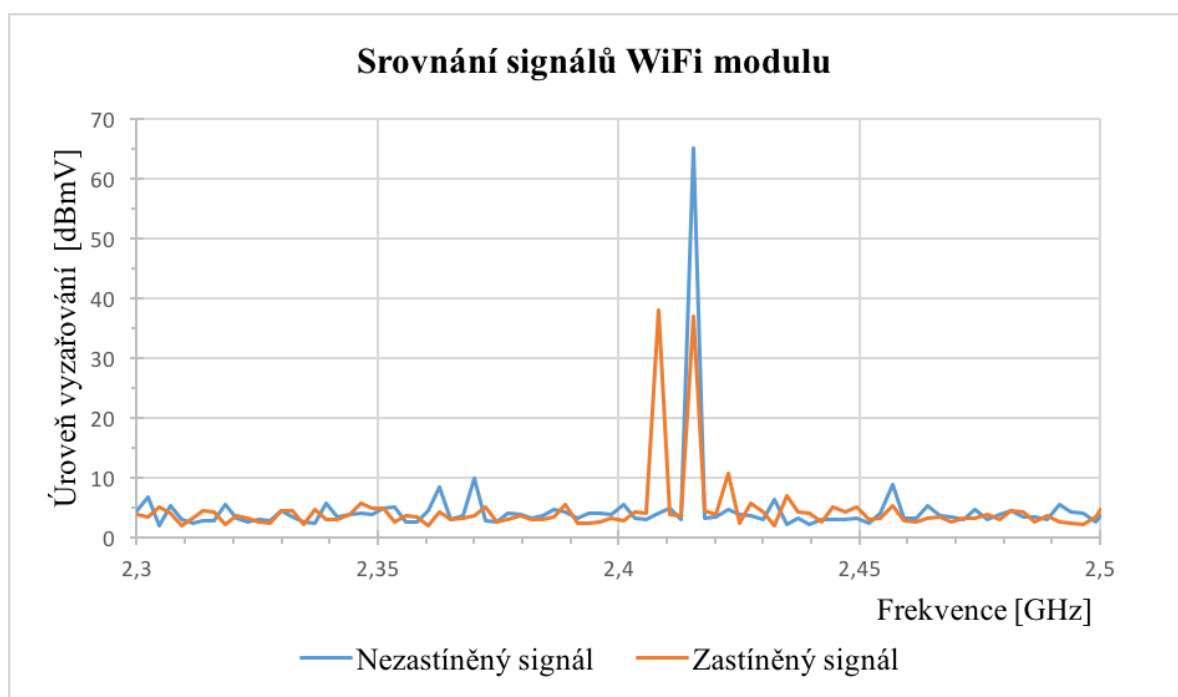
Výše je zobrazen výsledek měření se stínící hliníkovou fólií. Proti obrázku (Obr. 37.) lze vidět, že špičky ve vyzařování jsou dvě. To může být způsobeno druhem konkrétního vysílaného signálu. Útlum byl na jednu vrstvu materiálu značný, a to více než 20 dB μ V. Proto bylo provedeno další měření, kdy byly přidány další vrstvy vodivého materiálu, avšak útlum vysílaného signálu byl stále stejný. Výsledek tedy byl, že nezáleží na tloušťce materiálu avšak na vodivosti, jako to uvádí teorie o stínění. Nicméně byl funkční signál pouze potlačen a ne úplně eliminován.

8.4 Vyhodnocení výsledků

Z naměřených výsledků je zřejmé, že GTEM cela je vhodná pro měření vyzařování, avšak by bylo vhodné eliminovat rušení z okolí putující po kabeláži, a to používáním stíněných kabelů a zastíněním průchodky pro kabeláž. Díky těmto opatřením, by mohlo být měření nezatížené nechtěnými signály. Avšak to platí pouze pro nižší kmitočtová pásma. Pokud by měření probíhalo ve vyšších kmitočtech, kde nepůsobí vysílání rozhlasu, nebo např. pásma pro mobilní telefony, měření bude bezproblémové.

Dvě zkoumaná zařízení ze tří, vyzařovala pouze v minimálních hodnotách, třetí zařízení a to konkrétně Raspberry Pi, vykazovalo vyšší hodnoty, které byly i tak přijatelné natolik, aby neovlivňovaly ostatní zařízení. Při použití zařízení v praxi bývá většinou uložen do speciálního krytu, který vyrábí firma přímo na míru podle druhu modelu. Lze předpokládat, že tento kryt vyzařování ještě sníží. Celkově lze říci, že vyzařování bylo dosti podobné a jevílo se spíše jako šum prostředí.

Pro problematiku stínění bylo vybráno zařízení pro vysílání funkčního signálu v úzkém frekvenčním spektru a to kolem 2,4 GHz. K tomuto účelu bylo pozměněno zkoumané frekvenční pásmo pouze od 2,3 do 2,5 GHz. Jako stínicí materiál byla vybrána hliníková fólie, do které byl modul zabalen a utěsněn. I když útlum byl znatelný, došlo pouze k potlačení signálu a nikoliv k eliminaci. Srovnání lze vidět na obrázku (Obr. 40.).



Obr. 40. Srovnání úrovní signálu WiFi

Dále bylo zjištěno, že při uzavření libovolného zařízení do vodivého krytu vzniká tzv. Faradayova klec, která by mohla posloužit pro eliminaci signálu avšak pokud by byla testována odolnost zařízení. Pokud signál vychází zevnitř vzniká mezi vysílačem (anténou) a krytem kapacitní vazba a signál se šíří dál. Signál je mnohokrát odražen a tím také oslaben. Vzhledem k síle signálu však není odrazů tolik, aby se signál ztratil zcela, absorboval do materiálu nebo se přeměnil například na tepelné záření.

ZÁVĚR

Problematika EMC se rozmachem elektrických a elektronických systému dostala do povědomí nejen odborníků ale i široké veřejnosti, která při nedodržování zásad EMC pozorovala nesprávné funkce přístrojů požívané v domácnosti, ale i v průmyslu. Aby těmto případům bylo předcházeno, bylo nutné sestavit normy a v nich jasné dovolené hodnoty, kterými by se měli řídit veškerí výrobci splňující světové certifikace nutné pro možný prodej zařízení. Jelikož zabezpečovací systémy využívají také elektrických a elektronických zařízení pro svou správnou funkci je nutné, aby byly i výrobky určené k těmto účelům elektromagneticky kompatibilní. Proto přední světový výrobci zabezpečovací techniky mají vždy EMC laboratoře pro vývoj.

Nabyté znalosti z teoretické části práce zaměřené na řešení problematiky EMC a zařízení vybraných pro měření vyzařování, byly využity pro návrh, sestavení a měření vyzařování pomocí GTEM cely Frankonia GTEM 250, připojené k testovacímu přijímači ESPI Test Receiveru Rohde&Schwarz. Jako měřená zařízení byly vybrány: Webkamera Genius, FM rádiový přijímač Edison a mini PC Raspberry Pi. Všechny prostředky poskytl Vědecko-technologický park při UTB. Výsledky měření vyzařování na těchto zařízeních pak sloužily k porovnání jednotlivých úrovní a druhů vyzařovaných signálů. Všechny zařízení vyzařovala pouze malé úrovně signálů. Dalším bodem praktické části bylo zastínit vyzařování jednoho ze zařízení. Bohužel vzhledem k výsledkům měření vyzařování ani jedno ze zařízení nevyhovovalo k tomuto účelu. Proto bylo vybráno zařízení další, a to WiFi vysílač Wemos, který vyzařoval dostatečnou úroveň signálu pro zkoumání stínění, i za předpokladu, že bude stíněn funkční signál. Pro účel měření se ukázala volba jako více než vyhovující. Pro stínění bylo využito hliníkové fólie, ale ukázalo se, že signál nelze úplně eliminovat, ale pouze potlačit.

Téma EMC má velmi široké možnosti zkoumání, a tak by bylo vhodné pokračování v odborné činnosti například sestavením elektrického nebo elektronického zařízení, které by mělo nízko a vysoko frekvenční generátory (pro pokrytí co největšího frekvenčního spektra), vyzařující elektromagnetické vlny. Pomocí stejné měřicí sestavy by tak mohly být zkoumány jednotlivé frekvence vyzařování a odolnosti, materiály pro stínění a další vlastnosti z oblasti EMC. Podobných experimentů by pak mohlo být využito v předmětu EMC na Fakultě aplikované informatiky UTB ve Zlíně.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility [i.e. compatibility]: přednášky*. Vyd. 2. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2005. ISBN 80-214-2864-3.
- [2] PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2006. ISBN 04-717-5500-1.
- [3] SENGUPTA, Dipak L a Valdis V LIEPA. *Applied electromagnetics and electromagnetic compatibility*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006, xxii, 486 p. ISBN 9780471165491.
- [4] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility: Základní pojmy a členění oboru EMC*. *Elektrorevue* [online]. 2000, (25/2000), 1.0 - 1.3 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/00025/index.html>
- [5] OTT, Henry W. *Electromagnetic compatibility engineering*. Hoboken, N.J.: John Wiley, c2009. ISBN 978-0-470-18930-6.
- [6] VACULÍKOVÁ, Polina a Emil VACULÍK. *Elektromagnetická kompatibility elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení : ČSN-ČSN EN-ČSN IEC-ČSN CISPR-ČSN ETS*. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-716-9568-8.
- [7] DŘÍNOVSKÝ, Jiří. *Elektromagnetická kompatibility: přednášky*. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2010. ISBN 9788021442023.
- [8] NOTHOFER, A., BOZEC D., McCORMACK L. and ALEXANDER M. *Measurement Good Practice Guide - The Use of GTEM Cells for EMC Measurements, GPG (65)*, National Physical Laboratory, July 2003. ISSN 1368-6550.
- [9] NGU, Xavier. *An assessment of a GTEM cell as a test environment using measurements and simulations*. PhD thesis, University of Nottingham, July 2009.
- [10] 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.

- [11] ICHELN, Clemens. *The Construction and Application of a GTEM Cell*. Helsinki, 1997. Masters Thesis. Technical University of Hamburg.
- [12] *SciencePG - Internacional Journal of Materials Science and Applications: A GTEM chamber design with frequency flexibility using metamaterial concepts on the septum* [online]. 2013, (20130202.13) [cit. 2017-05-08].
- [13] Konstrukční normy: Elektromagnetická kompatibilita. *Fyzikálně technický zkušební ústav, státní podnik* [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.ftzu.cz/informace/zakladni-konstrukcni-normy/emc/>.
- [14] WebCam Genius. In: *Cloudinary: Image And Video Management In The Cloud* [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: https://n1.sdlcdn.com/imgs/a/c/8/1148328_1375861195_image1-bf3ce.jpg
- [15] Waterproof Webcam. In: *Ebay: Waterproof Webcam* [online]. 2016 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: [http://i.ebayimg.com/00/s/Mzc1WUwMA==/z/Dp4AAMXQVERSsSXj/\\$_3.JPG?set_id=2](http://i.ebayimg.com/00/s/Mzc1WUwMA==/z/Dp4AAMXQVERSsSXj/$_3.JPG?set_id=2).
- [16] DEVANEY, Erik. The History of the Webcam. *Techwalla* [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://www.techwalla.com/articles/the-history-of-the-webcam>.
- [17] WOODFORD, Chris. Webcams. In: *Explain That Stuff* [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.explainthatstuff.com/webcams.html>.
- [18] KŘÍŽOVÁ, Dita a Miroslav KRUPIČKA. Historie rozhlasu v kostce. *Rozhlasová historie* [online]. 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.rozhlas.cz/archiv/historie/>
- [19] Encyklopedie fyziky: Amplitudová modulace. *Fyzika J. Reichl* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/print/1389-amplitudova-modulace>
- [20] Elektronika: Frekvenční modulace. *Fyzikální sekce Matematicko-fyzikální fakulty UK* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/elektronika/kap5/5_2.html

- [21] Encyklopedie fyziky: Frekvenční modulace. *Fyzika J. Reichl* [online]. [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1390-frekvencni-modulace>
- [22] TESLA T-2800. In: *Muzeum historických rádií* [online]. 2012 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://www.dolni-cermna.cz/wp-content/uploads/2011/12/17_Prijimac-TESLA-2800B-T58_IMG_4054_k.jpg
- [23] TESLA T-2800 - Uspořádání součástek. In: *Nostalgia Radio* [online]. 2016 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://nostalgyradio.cz/files/original/1447858364_83078.JPG
- [24] Raspberry Pi [online]. UK: RASPBERRY PI FOUNDATION, 2016 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org>.
- [25] MiniPC: Přehled modelů Raspberry Pi. In: *MiniPC* [online]. 2016 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://4headed.wordpress.com/2016/06/02/prehled-modelu-raspberry-pi/>.
- [26] RASPBERRY PI 3 MODEL B 1GB. *E-Shop MINIDROID* [online]. 2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://eshop.minidroid.cz/vsechno-pro-raspberry-pi/470-raspberry-pi-3-model-b.html>.
- [27] GTEM - ITALIA. *Brochure GTEM 250: GTEM 250*. Rimini Italy, 2009.
- [28] R&S ® *ESPI EMI Test Receiver: Specifications*. 06.00. Germany, 2009.
- [29] Web cameras specifications: Genius FaceCam 2020. In: *MobileSpecs* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://mobilespecs.net/webcam/Genius/Genius_FaceCam_2020.html.
- [30] *ESP8266EX: Datasheet*. 4.3. Espressif Systems IOT Team, 2015. Dostupné také z: <http://download.arduino.org/products/UNOWIFI/0A-ESP8266-Datasheet-EN-v4.3.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Absorbční útlm
AM	Amplitudová Modulace
CCD	Charged Coupled Device cm Centimeter
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
ČSN	Česká technická norma
dB	Decibel
E_i	Intenzita elektrického pole dopadajícího na stínící přepážku
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
E_t	Intenzita elektrického pole
FM	Frekvenční modulace
GHz	GigaHertz
GTEM	Gigahertz Transverse Electromagnetic
HDMI	High Definition Multimedia Interface
HDR	High Dynamic Range
H_i	Intenzita magnetického pole dopadajícího na stínící přepážku
H_t	Intenzita magnetického pole
HW	HardWare
Hz	Hertz
IT	Information Technology
kHz	KiloHertz
KS	Koeficient stínění
LED	Light Emitting Diode
M	Útlum vlivem několikanásobného odrazu

MHz	MegaHertz
MIDI	Musical Instruments Digital Interface
mm	Milimeter
MPx	Mega Pixel
PC	Personal computer
Př.	Příklad
R	Útlum odrazem
RF	Radio Frequency
SE	Shielding Effectivness
TC	Technical Commission
TEM	Transverse Electromagnetic
TV	Televize
USB	Universal Serial Bus
Wi-Fi	Wireless Fidelity
Z_0	Impedance vzduchu
Z_m	Impedance kovu
δ	Hloubka vniknutí elektromagnetického pole do kovového materiálu
μ	Micro

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Dělení EMC</i>	14
<i>Obr. 2. Základní řetězec EMC</i>	15
<i>Obr. 3. Úrovně a meze odolnosti a vyzařování</i>	16
<i>Obr. 4. Rozdělení zdrojů interference</i>	20
<i>Obr. 5. Typy Crawfordových komor [1]</i>	28
<i>Obr. 6. Příklad GTEM cely</i>	29
<i>Obr. 7. Otvor a detail absorbérů GTEM cely</i>	30
<i>Obr. 8. GTEM cela (schematicky) [1]</i>	30
<i>Obr. 9. GTEM cela (konstrukce) [1]</i>	30
<i>Obr. 10. Webkamera pro video hovory a pro snímání prostoru [14,15]</i>	33
<i>Obr. 11. Detail kamery a světlo-citlivého čipu [17]</i>	34
<i>Obr. 12. AM DSB modulace [19]</i>	37
<i>Obr. 13. AM SSB modulace [19]</i>	37
<i>Obr. 14. FM modulace [21]</i>	38
<i>Obr. 15. Tranzistorový přijímač TESLA T-2800 [22]</i>	39
<i>Obr. 16. Uspořádání součástek TESLA T-2800 [23]</i>	39
<i>Obr. 17. Raspberry Pi model A [24]</i>	40
<i>Obr. 18. Přehled modelů Raspberry Pi [25]</i>	41
<i>Obr. 19. Fotografie Raspberry Pi A+ [26]</i>	42
<i>Obr. 20. Fotografie Raspberry Pi 3 B [26]</i>	43
<i>Obr. 21. GTEM cela Frankonia GTEM 250</i>	47
<i>Obr. 22. ESPI Test Receiver Rohde&Schwarz</i>	48
<i>Obr. 23. Webkamera Genius FaceCam 2020</i>	49
<i>Obr. 24. Rádio přijímač Edison R-202</i>	49
<i>Obr. 25. Raspberry Pi 3 model B</i>	50
<i>Obr. 26. WiFi modul Wemos D1 mini</i>	51
<i>Obr. 27. Blokové schéma měřící soustavy</i>	52
<i>Obr. 28. Měření vyzařování prostředí</i>	53
<i>Obr. 29. Měření vyzařování kabeláže</i>	54
<i>Obr. 30. Měření vyzařování webkamery</i>	54
<i>Obr. 31. Webkamera uvnitř GTEM cely</i>	55
<i>Obr. 32. Měření vyzařování radiopřijímače</i>	55

<i>Obr. 33. Radiopřijímač uvnitř GTEM cely</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 34. Měření vyzařování mini PC.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 35. Raspberry Pi uvnitř GTEM cely.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 36. Wifi modul v GTEM cele</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 37. Měření funkčního signálu vysílače WiFi</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 38. WiFi modul obalen vodivým materiálem.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 39. Měření vyzařování stíněného vysílače.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 40. Srovnání úrovní signálu WiFi</i>	<i>60</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Účinnosti útlumu napařených měděných vrstev [1]</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 2. Hodnocení účinnosti stínění [1]</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 3. Specifikace Raspberry Pi A+ [26].....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 4. Specifikace Raspberry Pi 3 B [26]</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 5. GTEM Cela Frankonia GTEM 250 [27]</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 6. Specifikace Genius FaceCam 2020 [29]</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 7. Parametry Raspberry Pi 3 model B [26].....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 8. Nastavení parametrů měření</i>	<i>52</i>