

# **Elektromagnetická susceptibilita vybraných elektronických systémů**

Tomáš Jurník

---

Bakalářská práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

# Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš Jurík**  
Osobní číslo: **A17392**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Elektromagnetická susceptibilita vybraných elektronických systémů**  
Téma práce anglicky: **The Electromagnetic Susceptibility of Selected Electronic Systems**

### Zásady pro vypracování

1. Zpracujte rešerši týkající se oblasti metod zodolnění elektronických zařízení v prostředí se silným rušením, včetně testovacích postupů a metod měření.
2. Vyberte dostupný elektronický systém, který je vhodný pro aplikace zjištěné v rešeršní části práce, s důrazem na video systémy.
3. Sestavte měřicí a testovací pracoviště s použitím přístrojů a zařízení, které se vyskytují v laboratořích FAI UTB ve Zlíně.
4. Proveďte příslušné testy a měření a výsledky vyhodnotte.
5. Navrhněte opatření ke zvýšení odolnosti studovaného systému, případně je realizujte a potvrďte jejich účinnost.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN 61000-4-3 Ed.3 Elektromagnetická kompatibilita-měřicí technika-vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole-zkouška odolnosti.
2. Paul Clayton R.: Introduction to Electromagnetic Compatibility 2nd Edition, John Wiley & Sons 2006.
3. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility.
4. SVAČINA, J. Elektromagnetická kompatibilita. Brno: Vydavatelství VUT. 2002.
5. Sengupta Dipak L., Liepa Valdis V.: Applied Electromagnetics and Electromagnetic Compatibility, John Wiley & Sons, INC., 2006.

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce: 7. prosince 2019  
Termín odevzdání bakalářské práce: 25. května 2020

L.S.

---

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
děkan

---

Ing. Jan Valouch, Ph.D.  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. prosince 2019

---

**Jméno, příjmení: Tomáš Journík**

**Název bakalářské práce: Elektromagnetická susceptibilita vybraných elektronických systémů**

**Prohlašuji, že**

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

**Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně, dne 10.8.2020

Tomáš Journík, v.r

.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá elektromagnetickou kompatibilitou, jejími principy a vlastnostmi. Hlavní zaměření je na elektromagnetickou susceptibilitu vybraného elektronického systému. Teoretická část je věnována seznámení s teoretickou znalostí EMC. Praktická část se věnuje měření susceptibility video systému v GTEM cele a jeho z odolnění pro eliminaci případných nežádoucích jevů. Všechna naměřená data a zhodnocení jsou uvedena v této práci.

Klíčová slova: elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetická susceptibilita, GTEM cela, elektromagnetické vyzařování, elektronický systém, měření odolnosti

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with electromagnetic compatibility, its principles and properties. Main focus of the work is on electromagnetic susceptibility of a selected electronic device. The theoretical part is dedicated to basic knowledge of EMC. The practical part is about measuring susceptibility of the video system in the GTEM cell and its strengthening for elimination of an undesirable phenomenon. All measured results and data are presented in the thesis.

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic susceptibility, GTEM cell, electromagnetic emission, electronic system, measuring susceptibility

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce, docentovi RNDr. Vojtěchu Křesálkovi, CSc za získané poznatky a zkušenosti v této oblasti vědy. Dále děkuji svým kolegům, přátelům a rodině za podporu během studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA</b> .....	<b>12</b>
1.1 HISTORIE EMC .....	12
1.2 PŘÍKLADY PORUŠENÍ ZÁSAD EMC .....	12
1.3 NORMY V OBLASTI EMC .....	13
1.3.1 IEC (Internacional Electrotechnical Commission).....	13
1.3.2 ČNI – Český normalizační institut .....	14
1.3.3 Další normy .....	15
1.4 ČLENĚNÍ/ROZDĚLENÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY .....	16
1.4.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů .....	16
1.4.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů .....	16
1.5 ZÁKLADNÍ ŘETĚZEC EMC .....	16
1.5.1 Zdroj elektromagnetického rušení.....	17
1.5.2 Přenosové prostředí, elektromagnetická vazba .....	17
1.5.3 Rušený objekt, přijímač rušení.....	17
1.6 DĚLENÍ EMC .....	18
1.6.1 Elektromagnetická interference.....	18
1.6.2 Elektromagnetická susceptibilita.....	19
1.7 ZÁKLADNÍ POJMY EMC.....	20
<b>2 RUŠIVÉ SIGNÁLY, JEJICH ZDROJE A ŠÍŘENÍ</b> .....	<b>23</b>
2.1 PŘÍRODNÍ A UMĚLÉ ZDROJE INTERFERENCE .....	24
2.2 FUNKČNÍ A NEFUNKČNÍ ZDROJE INTERFERENCE .....	24
2.3 ROZDĚLENÍ DLE ČASOVÉHO PRŮBĚHU .....	25
2.4 ROZDĚLENÍ DLE ŠÍŘKY PÁSMA .....	25
2.5 ROZDĚLENÍ DLE KMITOČTU.....	25
2.6 ROZDĚLENÍ DLE ŠÍŘENÍ.....	26
2.7 PRŮMYSLOVÉ ZDROJE RUŠENÍ.....	26
2.8 VAZEBNÍ MECHANISMY PŘENOSU RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ .....	27
2.8.1 Galvanická vazba.....	27
2.8.2 Kapacitní vazba .....	28
2.8.3 Induktivní vazba .....	28
2.8.4 Vazba vyzařováním .....	29
2.9 ZPŮSOBY POTLAČENÍ RUŠENÍ .....	30
2.9.1 Odrušovací tlumivky .....	30
2.9.2 Odrušovací kondenzátory .....	31
<b>3 ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNĚNÍ</b> .....	<b>32</b>

3.1	ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY .....	32
3.2	ROZBOR ÚČINNOSTI ELEKTROMAGNETICKÉHO STÍNĚNÍ .....	33
3.2.1	Útlum odrazem .....	34
3.2.2	Absorpční útlum .....	34
3.2.3	Útlum vlivem mnohonásobného odrazu .....	35
3.2.4	Celková účinnost stínění .....	35
<b>4</b>	<b>VLIV OTVORŮ A TECHNOLOGICKÝCH NETĚSNOSTÍ NA CELKOVOU ÚČINNOST STÍNĚNÍ .....</b>	<b>37</b>
4.1	STÍNĚNÍ KOAXIÁLNÍCH KABELŮ .....	38
4.1.1	Prostupy koaxiálních kabelů .....	39
4.2	SPOJOVÁNÍ STÍNÍCÍCH PLOCH .....	40
4.3	GALVANICKÁ KOMPATIBILITA .....	42
<b>5</b>	<b>ZPŮSOBY A METODY MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ .....</b>	<b>44</b>
5.2	MĚŘENÍ NAPĚŤOVOU SONDOU .....	44
5.3	MĚŘENÍ PROUDOVOU SONDOU .....	45
5.4	MĚŘENÍ ABSORPČNÍMI KLEŠTĚMI .....	45
5.6	GTEM CELA .....	47
5.6.1	Konstrukce cely .....	48
5.6.2	Uživatelé GTEM cel .....	49
<b>6</b>	<b>AKČNÍ OUTDOOROVÁ KAMERA .....</b>	<b>50</b>
6.1	TECHNICKÉ PARAMETRY .....	51
6.1.1	Optický senzor .....	51
6.1.2	Maximální rozlišení videa .....	51
6.1.3	Video formát .....	52
6.1.4	Obrazový formát .....	52
6.1.5	Snímkovací frekvence .....	52
<b>7</b>	<b>ZAMĚŘENÍ PRÁCE (CÍL A PROČ) .....</b>	<b>53</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>54</b>
8.1	KONSTRUKCE A DESIGN STÍNÍCÍHO KRYTU .....	55
8.2	VYBAVENÍ PRO MĚŘENÍ .....	58
8.3	POSTUP MĚŘENÍ INTERFERENCE .....	61
8.3.1	Měření prostředí cely .....	62
8.3.2	Interference kamery .....	63
8.4	POSTUP MĚŘENÍ SUSCEPTIBILITY .....	65
8.4.1	Vyhodnocení .....	68
8.5	POSTUP MĚŘENÍ STÍNÍCÍHO KRYTU .....	69
8.5.1	Vyhodnocení .....	72
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>73</b>



<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>74</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>76</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>78</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>80</b>

## ÚVOD

V dnešní době můžeme mít zařízení, které může být negativně ovlivněno působením elektromagnetických rušivých signálů. Všechny tyto vlivy postupně mění prostředí okolo nás, které je stále více zahlceno nežádoucími rušivými vlivy různého charakteru. Touto oblastí se zabývá průřezová vědecká disciplína zvaná elektromagnetická kompatibilita (dále jen EMC). EMC se následně rozděluje na elektromagnetickou odolnost (EMS) a elektromagnetickou interferenci (EMI). Tyto dvě oblasti tvoří nerozdělitelný celek. Každé zařízení je nutno měřit, zkoušet a testovat jak z pohledu EMI, tak z pohledu EMS. K ovlivnění činnosti zařízení dochází v případě, že zařízení nesplňuje požadavky na odolnost. V případě dostatečné odolnosti je zařízení schopno efektivně a bez poruchy pracovat v prostředí s rušivými signály.

Rušivé projevy na činnosti zařízení se mohou negativně projevovat v součinnosti s jiným zařízením, celých systémů a v neposlední řadě mohou ovlivnit zdraví osob.

Cílem této bakalářské práce je seznámení se s teorií a problematikou EMC. Tato práce konkrétně řeší odolnost (susceptibilitu) vybraného kamerového systému vůči rušení, způsobeného VF elektromagnetickým polem. Součástí práce je tedy návrh stínícího krytu pro video zařízení za účelem eliminace vlivu rušení z hlediska výstupního záznamu kamery.

V teoretické části této bakalářské práce je věnována pozornost teoretickým znalostem problematiky EMC, základním pojmům a dělení pro obecnou orientaci v tomto tématu.

Praktická část obsahuje popis všech zařízení, která byla použita pro měření, návrh stínícího krytu a samotné měření elektromagnetické susceptibility vybraného video systému. Zkoušky byly provedeny v GTEM cele. Praktická činnost z hlediska měření byla provedena ve Vědecko-technickém parku při Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.

Výstupem této práce je krátký přehled problematiky EMC se zaměřením na susceptibilitu a její aplikaci. Uvedený měřicí postup v praktické části by mohl sloužit jako přibližný návod pro měření susceptibility vybraného systému bez a s použitím navrženého stínícího krytu pro laboratorní úlohy předmětu EMC na Fakultě aplikované informatiky UTB ve Zlíně.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Elektromagnetická kompatibilita (v anglickém jazyce „Electromagnetic Compatibility“) je schopnost zařízení nebo systému správně fungovat v prostředí s výskytem jiných zdrojů elektromagnetického záření (umělé nebo přírodní) a zároveň nenarušovat funkci okolních zařízení svou vlastní elektromagnetickou činností.

Z tohoto tedy vyplývá, že je to tzv. koexistence dvou a více systémů v elektromagnetickém prostředí bez závažného vzájemného ovlivňování za účelem dosažení bezproblémového provozu těchto systémů za všech předpokládaných okolností, které stanovují normy. [1]

### 1.1 Historie EMC

Problematicke EMC se dostalo větší pozornosti v šedesátých letech 20. století v USA, a to především v oblastech vojenského a kosmického průmyslu. V této době to byla doména zejména úzkého kruhu odborníků pracujících leteckém a kosmickém výzkumu. Sedmdesátá a osmdesátá léta 20. století znamenala prudký rozvoj mikroprocesorů a komunikační techniky, což způsobilo větší pronikání této problematiky do každodenních činností běžného života. Následně se tomuto oboru začalo dostávat čím dál větší pozornosti, a to zejména z důvodů technických, zdravotních, bezpečnostních, ale také i ekonomických. V minulosti došlo k několika tragickým nehodám na základě porušení zásad EMC. V dnešní době je tomuto oboru věnována velká pozornost, a to především díky prudkému nárustu všech možných systémů, které nějakým způsobem zasahují do radiového spektra. [1,2]

### 1.2 Příklady porušení zásad EMC

V roce 1967 došlo u Vietnamu k samovolnému spuštění zbraní na letadle, které se nacházelo na palubě letadlové lodi USS Forrestal. Příčinou byl radarový signál samotné lodi. Během incidentu zemřelo 134 námořníků.

V roce 1982 došlo k pádu pěti vrtulníků UH-60 Blackhawk v důsledku selhání elektroniky strojů, které se nacházely v blízkosti vysílače zdejší radiostanice. Zahynulo celkem 22 lidí.

V roce 1985 způsobil napěťový impulz zapnutého vysavače vyřazení systému pro dálkový přenos dat na orbitální stanici Spacelab. Později se ukázalo, že samotný vysavač nebyl testován na EMC.

V pražské nemocnici došlo k incidentu na jednotce intenzivní péče, kde měla souprava monitorovat dech, tep a teplotu pacientů. Spínání lokálních výkonových spotřebičů způsobovalo na EKG přidavné pulzy, jenž byly vyhodnocovány jako nesynchronní tep srdce. Nacházel se zde také vadný startér zářivkového svítidla, který se spínal každou sekundu a způsoboval hlášení o překročení meze tepů a následně blokoval měření. Výsledkem bylo vyměnění celého systému pro sledování pacienta vzhledem k nedostatečné odolnosti proti rušení a nahrazení jiným výrobcem. [2,3]

### 1.3 Normy v oblasti EMC

Cílem zavádění norem je vytvoření modelového příkladu anebo pravidla pro zajištění konzistence zařízení za účelem získání jednotností či povinné bezpečnosti všech výrobků. Zajímat nás bude pro tuto oblast nejvíce:

- Normy rušivého vyzařování
  - Mezní hodnoty rušivého vyzařování EMI,
  - Testovací metody pro zjišťování EMS,
- Normy elektromagnetické odolnosti
  - Mezní (minimální) hodnoty odolnosti,
  - Zkušební metody pro testování EMS,
- Normy pro odrušovací prostředky
  - Vlastnosti odrušovacích prostředků,
  - Zkoušky pro měření odrušovacích prostředků, [2,3]

#### 1.3.1 IEC (Internacional Electrotechnical Commission)

Po celém světě je celá řada organizací, které se zabývají normalizací EMC, každopádně všechny spadají pod Mezinárodní elektrotechnickou komisi IEC. Tato komise je zařazena pod ISO. Otázkami elektromagnetické kompatibility se zabývá převážně specializovaný výbor pro radiovou interferenci (CISPR). Tento výbor vznikl v 60. letech 20. století a slouží pro ochranu radiového a televizního vysílání. Patří k nejvýznamnějším autoritám v oblasti EMC.

Odborově je IEC rozdělena do tzv. technických komisí TC a dále do subkomisí SC, kde do problematiky EMC přispívají hlavně tyto tři.

- TC41 Measuring Relay and Protection Equipment,
- TC 65 Industrial Process Measurement and Control,
- TC 77 EMC between Electrical Equipment Industrial Networks,

Z těchto technických komisí je nejvýznamnější TC 77, která nejvíce ovlivňuje dění v EMC svou činností. [1,2]

### 1.3.2 ČNI – Český normalizační institut

Zabývá se revidováním již vytvořených ČSN norem a harmonizuje je s IEC a EN, vznikají tak následně ČSN IEC a ČSN EN normy. Z hlediska práce nás nejvíce zajímají tyto normy:

- 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 terminů,
- ČSN EN 61000-4-1: Elektromagnetická kompatibilita (EMC). Část 4: Zkušební a měřicí technika, Oddíl 1: Přehled zkoušek odolnosti. Základní norma EMC,
- 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 61000-4-7 ed.2: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-7: Zkušební a měřicí technika – Všeobecné směrnice o měření a měřících přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich,
- ČSN EN 50081-1: Elektromagnetická kompatibilita. Všeobecná norma týkající se vyzařování. Část první: Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu,
- ČSN EN 50082-1 ed.2: Elektromagnetická kompatibilita – Kmenová norma pro odolnost – Část 1: Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu.

### 1.3.3 Další normy

- Vojenské normy EMC – označované jako MIL-STD, vznik u amerických vojenských složek, následně převzalo NATO. Tyto normy jsou oproti civilním přísnější, jelikož vojenská technika často představuje špičku technického vývoje a používá se v nejrůznějších podmínkách. Normy berou ohled nejen na rušivé vyzařování každé vojenské techniky, ale také na odolnost celku a jednotlivých např. kamerových systémů vozidla. Hlavní rozdíl oproti civilním normám je ve vyhodnocování špičkových hodnot (peak detection), zatímco civilní dle metodiky CISPR berou v potaz detekci kvazi-špičkových hodnot (quasi-peak detection). [1,2]

## 1.4 Členění/rozdělení elektromagnetické kompatibility

Problematiku EMC můžeme klasifikovat dle celé řady kritérií, nicméně zde převládají zejména dvě hlavní oblasti. EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení. V následujících kapitolách si řekneme o každé z těchto hlavních oblastí. [2,3]

### 1.4.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

První oblast pojednává o celkovém elektromagnetickém znečištění životního prostředí, stanovení přípustných úrovní rušivých a užitečných elektromagnetických signálů z hlediska vlivu na živé organismy. Současné zdravotní limity jsou v tuto chvíli navrženy převážně na základě tepelných účinků záření na živý organismus. Netepelné účinky, jenž se pohybují podlimitních intenzitách EMP, které působí na imunitní, cévní a nervový systém nejsou v tuto chvíli zcela prokázány.

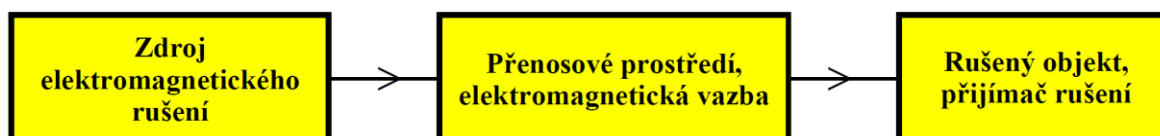
Testování v této oblasti je velmi obtížné, jelikož každý živý organismus snáší různé úrovně daných signálů jinak a ve výsledku je tedy těžké stanovit nějaké maximální hodnoty. Touto problematikou se zajímá Mezinárodní komise pro ochranu před ionizujícím zářením. Dle světové zdravotnické organizace WHO patří elektromagnetické záření mezi možné zdroje lidských karcinogenů. [2,3,7]

### 1.4.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Druhá oblast se zabývá EMC technických systémů a zařízení. Jde o vzájemné působení a koexistenci dvou a více technických prostředků, převážně tedy elektrotechnických a elektronických přístrojů a zařízení. [2,3]

## 1.5 Základní řetězec EMC

Řetězec poukazuje na vzájemnou provázanost všech 3 oblastí, které následně tvoří celkovou problematiku EMC. Tento řetězec je uveden na obrázku (Obr. 1):



Obr. 1 Řetězec dělení EMC [3]



### **1.5.1 Zdroj elektromagnetického rušení**

Tato oblast zahrnuje otázky vzniku rušení, jeho charakteru a také intenzity. Rušení dělíme na přírodní (přírozené) - sluneční elektromagnetické bouře, kosmické záření a na umělé zdroje rušení, které vznikají lidskou činností – přenos a distribuce elektrické energie, světelné spotřebiče, elektrické motory, sdělovací prostředky, svářecí technika apod. [2,3]

### **1.5.2 Přenosové prostředí, elektromagnetická vazba**

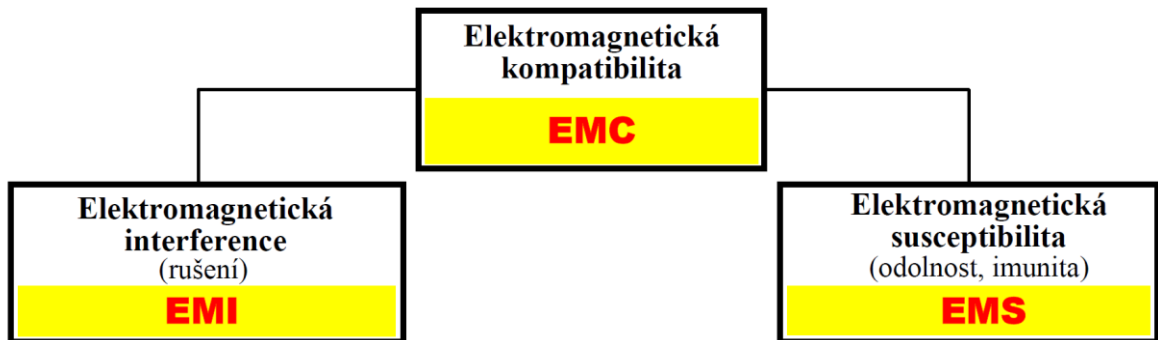
Druhá oblast řeší způsob, jakým se dostává rušení ze zdroje do ovlivňovaného zařízení. K tomuto přenosu může docházet několika způsoby a to prostorem, nebo po vedení. [2,3]

### **1.5.3 Rušený objekt, přijímač rušení**

Třetí oblast pojednává o samotném zařízení, které je rušením ovlivňováno. Zjišťujeme, jakým způsobem dochází k ovlivňování činnosti zařízení a současně zjišťujeme stupeň tohoto ovlivnění. Za tímto účelem jsou stanovena normou kritéria, která popisují bezporuchovou činnost až po destrukci přístroje nebo systému. [2,3]

## 1.6 Dělení EMC

EMC dělíme dále na problematiku vyzařování (EMI) a odolnosti (EMS) – dle obrázku (Obr. 2):



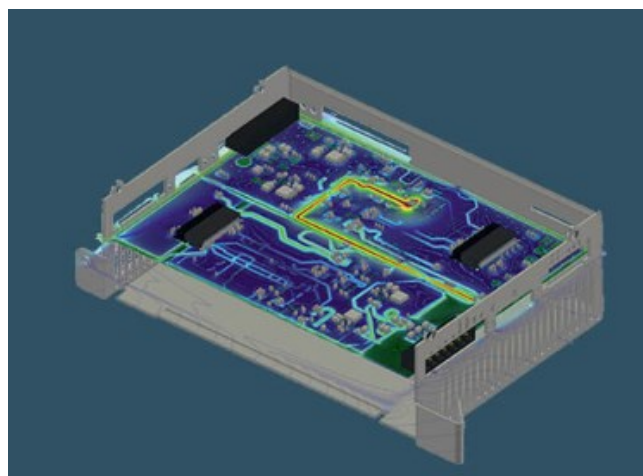
Obr. 2 Schéma dělení EMC [3]

### 1.6.1 Elektromagnetická interference

Elektromagnetická interference neboli elektromagnetické rušení, je to proces, kdy je signál generován zdrojem rušení a následně je přenášen prostřednictvím elektromagnetické vazby do systémů, které jsou rušeny. Hlavním cílem EMI je tak identifikace zdroje rušení, jeho charakter a velikost, popis měření signálů a identifikace parazitních a přenosových cest.

Toto nežádoucí rušení se případně odstraňuje pomocí technických prostředků a opatření, zejména na straně samotného zdroje rušení.

Tato oblast se tedy týká hlavně otázek, proč dané zařízení ruší a jak tento nežádoucí vliv mohou odstranit. EMI je výhodné dělat v průběhu vývoje, jelikož lze následně zařízení upravit, dle potřeb. Příklad můžeme vidět na obrázku (Obr. 3). [2,3,4]



Obr. 3 Příklad simulace EMI DPS [6]

### 1.6.2 Elektromagnetická susceptibilita

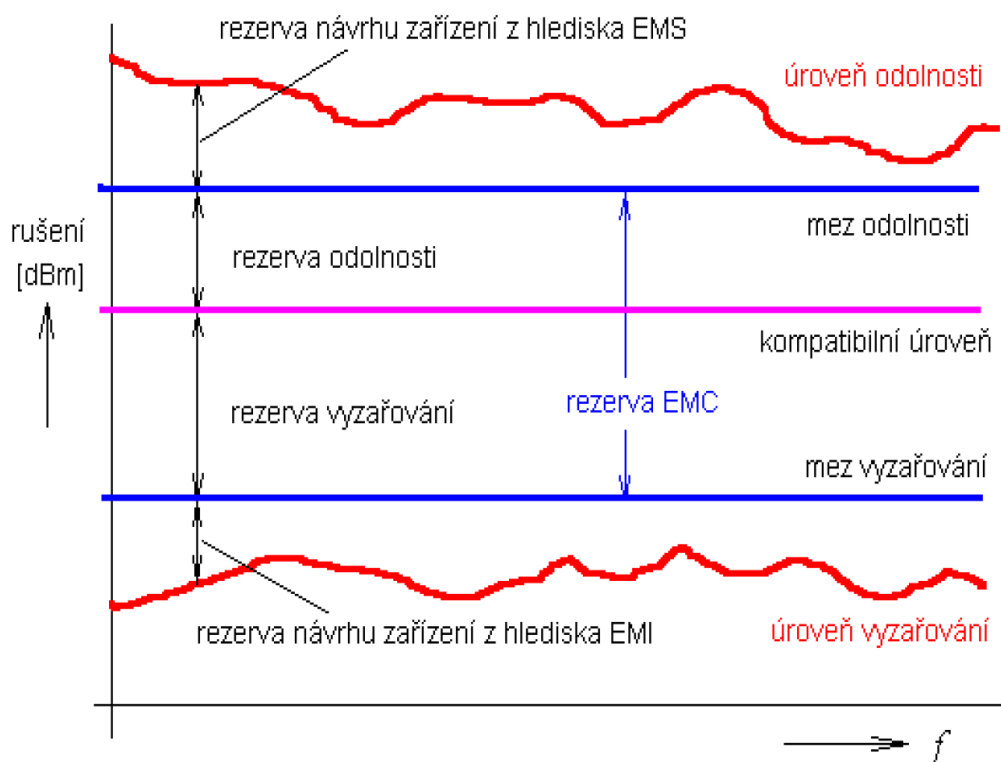
Zabývá se celkovým stavem zařízení či systému v rámci odolnosti proti rušení. Jde tedy o schopnost zařízení a systému pracovat v elektromagnetickém prostředí bez poruch anebo s přesně definovaným přípustným ovlivňováním. Z principu činnosti elektrotechnických zařízení nelze nikdy absolutně eliminovat vyzařování elektromagnetického pole, ale jde o to, aby eliminace byla v přípustných hodnotách.

Hlavní úlohou EMS je tedy pomocí technických opatření zajistit zvýšení elektromagnetické imunity proti zdrojům rušivých signálů a jejich vlivům. EMS se tak zaměřuje převážně na odstranění důsledků rušení (flikry, výpadky signálu, kolísání intenzity signálu apod.), bez odstranění jejich příčin.

Dnes již lze téměř každý výrobek otestovat na elektromagnetickou odolnost. Limitem může být snad jen velikost daného zařízení a potřebné vybavení zkušební laboratoře. K tomuto účelu slouží také různé počítačové simulace, které nám prakticky ověří stupeň EMC testovaného zařízení. [2,3,4]

## 1.7 Základní pojmy EMC

Kterékoliv elektrotechnické zařízení je zároveň zdrojem i přijímačem elektromagnetického rušení pracujícím v určitém elektromagnetickém prostředí. U všech zařízení je potřeba počítat s jejich negativním vlivem na okolní zařízení, jelikož každé z nich vysílá samo o sobě do okolí menší či větší rušivé signály. Jelikož není možné zaručit, že v daném prostředí nebudou působit žádné negativní vlivy, je třeba stanovit a dodržovat normy na tato zařízení pro dosažení správné funkčnosti všech přístrojů. Na obrázku (Obr. 4) můžeme vidět tyto vzájemné vztahy. [2,3]



Obr. 4 Charakteristika úrovní a mezi pro odolnost a vyzařování [2]

Úroveň vyzařování lze definovaně měřit např. v [dBm] v závislosti na kmitočtu. Prakticky každé zařízení bude vždy do okolí nějakým způsobem vyzařovat, otázkou zůstává míra tohoto rušení, které zařízení generuje. Často jde o různé měniče a tyristory uvnitř přístroje. Pro různá zařízení jsou stanoveny normy s přípustnou hodnotou vyzařování do okolí. Pro mez vyzařování platí, že je to maximální povolená úroveň vyzařování daná normou. V průběhu návrhu je možné samotné zařízení nechat na EMI změřit, abychom zjistili, v jakých úrovních se pohybujeme a jak velkou rezervu máme. [2,3,24]

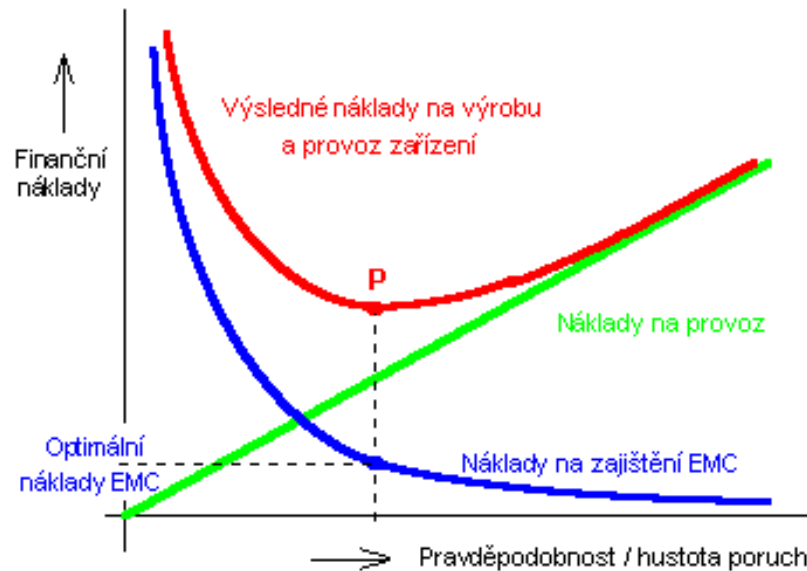
Pro úroveň odolnosti platí, že je to maximální úroveň rušení, které v daném kmitočtu působí na zařízení a jeho provoz není nepříznivě ovlivňován. Mez odolnosti je opět dána příslušnou normou a je to minimální požadovaná úroveň odolnosti zařízení. Rozdílem těchto dvou úrovní získáme rezervu návrhu jeho odolnosti z hlediska EMS.

Rezerva EMC je vyjádřena jako rozdíl mezi odolností a vyzařováním daného zařízení. Tato oblast je funkčním oborem zařízení z hlediska EMI a EMS.

Norma zavádí i pojem kompatibilní úrovně, což je maximální předepsaná úroveň celkového rušení, o kterém se dá předpokládat, že bude ovlivňovat přístroje a zařízení pracující v určitých podmínkách. Od této kompatibilní úrovně tak vzniká rezerva pro odolnost a vyzařování.

Z textu vyplývá, že pro úspěšné splnění všech požadavků na zařízení z hlediska EMC musí být úroveň vyzařování vždy nižší než zmíněná mez vyzařování. Úroveň odolnosti následně musí být vždy vyšší, než je minimální mez odolnosti. Zároveň je potřeba, aby mez odolnosti byla vyšší, než je mez vyzařování, jelikož jen díky tomu je dosažena dostatečná rezerva EMC zařízení.

Při návrhu zařízení nejsou dány specifické velikosti rezerv z hlediska EMI a EMS, a tak jejich míra zůstává čistě na uvážení výrobce zařízení. Pokud výrobce zvolí tyto rezervy příliš velké, pak vynakládá přehnané finanční prostředky na odrušení a stínění, a to se odrazí v ceně za vývoj, a i konečné ceně přístroje. Pokud ovšem zvolíme rezervy příliš malé, pak existuje riziko, že již hotové zařízení neprojde zkouškami EMC a musí být dodatečně odrušeno a zodlněno. Zde může pro výrobce nastat velký problém, jelikož již nemá možnost zařízení nějak výrazně mechanicky pozměnit a musí vynaložit velké technické a finanční úsilí pro splnění daných zkoušek, které jsou sami o sobě drahé. Je tedy nutné pracovat s myšlenkou EMC požadavků již na samém počátku projektu a průběžně ověřovat správnost řešení, která hodláme na zařízení provést. [2,3,24]

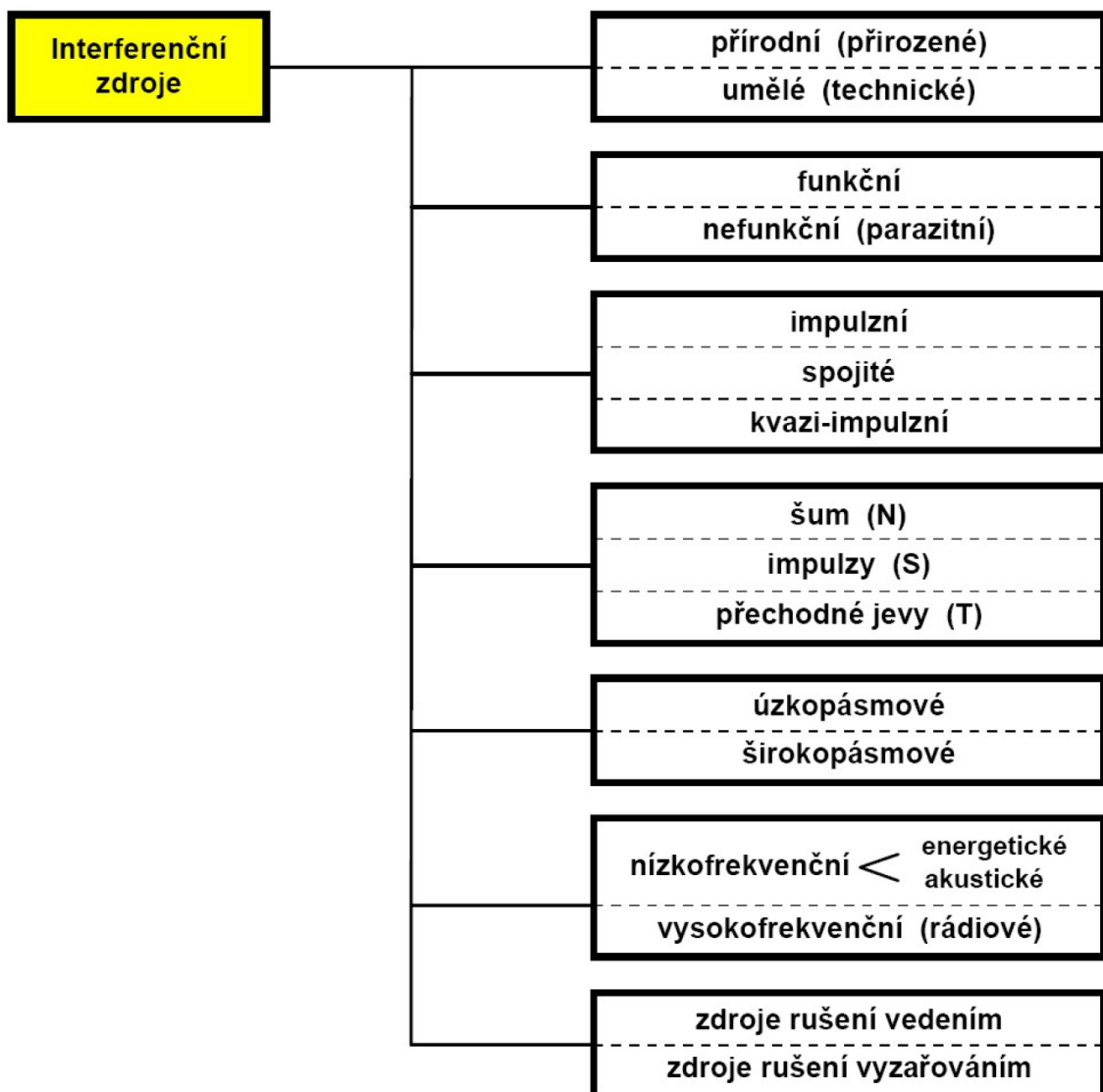


Obr. 5 Optimalizace peněžních nákladů pro zajištění EMC zařízení [2]

Na obrázku (Obr. 5) máme průběh znázorňující finanční náklady na výrobu a provoz technického zařízení, které je závislé na pravděpodobnosti a hustotě jeho poruch. V případě vyšší míry poruch daného zařízení rostou náklady na udržení jeho standardního provozu. Vlivem nedodržení zásad EMC narůstá pravděpodobnost poruch nepřímo úměrně investicím, které byly vloženy do zabezpečení EMC zařízení. V bodě P dosahují náklady na provoz daného zařízení svého minima. [2,3]

## 2 RUŠIVÉ SIGNÁLY, JEJICH ZDROJE A ŠÍŘENÍ

V předešlých částech jsme si řekli, že prakticky každý elektrotechnický systém lze pokládat jako zdroj elektromagnetického rušení a stejně tak i jako jeho přijímač. Z čistě praktických důvodů je ovšem vyčleněna skupina zařízení, u kterých vysoce převažuje schopnost generování rušivých signálů nad jejich nežádoucím příjmem. Tyto přístroje nazýváme jako interferenční zdroje anebo zdroj elektromagnetického rušení. V následujících kapitolách si tak postupně projdeme různé interferenční zdroje a jejich klasifikaci dle obrázku (Obr. 6). [2,3,12]



Obr. 6 Rozdělení zdrojů interference [2]

## **2.1 Přírodní a umělé zdroje interference**

Z hlediska potlačení zdroje rušení jsou pro nás klíčové především umělé interferenční zdroje rušení, které jsou způsobeny lidskou činností. Přírodní zdroje rušení je třeba brát jako nevyhnutelný problém, kterému nejsme schopni zabránit a jedinou možností je jen předejití následkům, které mohou být tímto zdrojem způsobeny. [2,3]

## **2.2 Funkční a nefunkční zdroje interference**

Funkční zařízení jsou taková, u kterých je žádoucí vytvářet kolem sebe elektromagnetické pole. Do této kategorie spadá sdělovací technika, generátory apod. Všechny ostatní, které během svého provozu vytváří parazitní(nežádoucí) rušivá napětí či pole nazýváme parazitní nebo nefunkční. [2,3]



### 2.3 Rozdělení dle časového průběhu

Dále lze interferenční zdroje rozdělit dle časového průběhu rušivého signálu. Jako impulzní rušení lze považovat signály s charakterem časové posloupnosti jednotlivých pulzů nebo přechodových jevů. Spojité rušení naopak působí kontinuálně. Kombinace těchto dvou druhů signálů se nazývá jako kvazi-impulzní.

Mezi nežádoucí signály řadíme i šum, který může ovlivňovat především tvar užitečného signálu a ve výsledku jej změnit až do jiné podoby. Šum jako rušivý signál má zejména periodický charakter. Impulzy jsou z časového hlediska velmi krátké a silné signály, které nabývají kladných a záporných hodnot. Tyto impulzy způsobuje např. elektrostatický výboj nebo jaderná exploze. Přechodové jevy jsou další v pořadí parazitních signálů. Jedná se o náhodné přechodové signály, které obvykle trvají od několika ms do několika sekund. Jsou způsobeny například zapínáním a vypínáním spotřebičů s velkým výkonem, kdy dochází k náhlým změnám zatížení energetické sítě. [2,3]

### 2.4 Rozdělení dle šířky pásma

Rušivé signály mohou vznikat v různé šířce kmitočtového spektra v závislosti na zdroji, proto je nutné rozlišovat také úzkopásmové a širokopásmové rušení. Díky správné analýze tohoto signálu jsme následně schopni nežádoucí části odfiltrout. Do úzkopásmového rušení patří zejména rozhlasové a televizní vysílače. Se širokopásmovým rušením se zase setkáme u průmyslových signálů a přírodního rušení. [2,3]

### 2.5 Rozdělení dle kmitočtu

Na základě obsazení kmitočtového spektra a fyzikálního působení lze rušení dále členit na nízkofrekvenční a vysokofrekvenční. Nízkofrekvenční dále dělíme na:

- Energetické - (od 0 kHz do 2kHz), které způsobuje zkreslení napájecího napětí
- Akustické – (od 2kHz do 10kHz), které ovlivňuje zejména informační techniku. Toto rušení je generováno prakticky všemi energetickými zdroji.

Vysokofrekvenční nebo také radiové rušení je od 10kHz do 400GHz. Původem tohoto rušení jsou prakticky všechny interferenční zdroje, jelikož jejich rušivé signály zasahují prakticky vždycky až do těchto kmitočtových oblastí. [2,3]

## 2.6 Rozdělení dle šíření

Pro potřebu „úspěšného rušení“ je potřeba existence cesty, kterou se šíří rušivý signál od zdroje k zařízení, které je ovlivňováno. Tyto rušivé signály se obecně šíří třemi způsoby:

- Kontaktně po vedení – napájecí vedení daného zařízení
- Bezkontaktně vazbou – blízké elektromagnetické pole mezi dvěma objekty či zařízeními.
- Vyzařováním do prostředí – elektromagnetické vlny, které se šíří mezi vzdálenými objekty, zejména vyšší kmitočty.

Určit přesnou klasifikaci zdroje rušení je tedy velmi problematické. Každý interferenční zdroj prakticky šíří rušivý signál jak prostorem, tak i po vedení. Dochází zde tedy k velkému prolínání. Komplikaci způsobují i velmi složité vazby mezi sdělovací, řídicí a informační technikou. [2,3]

## 2.7 Průmyslové zdroje rušení

V oblast průmyslu dochází ke spínání výkonných strojů a dalších zařízení, které mohou způsobovat problémy v napájecí síti, ale také ve svém okolí. Hlavními zdroji tohoto průmyslového rušení jsou:

- Zesilovače PWM a stejnosměrné pohony,
- Servopohony,
- Frekvenční měniče,
- Spínací stejnosměrné napájecí zdroje,
- Přepínání indukčních zátěží,
- Osvětlení, výbojky,
- Statická elektřina a elektrostatický výboj. [2,3,15]

## 2.8 Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů

V základním řetězci EMC jsme si uvedli, že přenos interferenčních signálů ze zdroje do přijímače závisí na elektromagnetickém vazebním prostředí, tzn. druhu a způsobu vazby mezi zdrojem a přijímačem. Tyto vazby lze dělit podle několika hledisek:

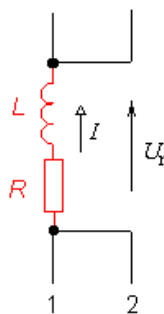
- Technické realizace,
- Fyzikálního principu.

Dále rozlišujeme čtyři druhy vazeb z hlediska fyzikálního principu, který je často k potlačení parazitních vazeb nejdůležitější:

- Galvanická,
- Kapacitní,
- Induktivní,
- Vyzařováním. [2,3]

### 2.8.1 Galvanická vazba

Vzniká při uzavření proudové smyčky, která má společné úseky vedení několika elektrických systémů. Je zde tedy stejná impedance vedení a tato impedance má podobu sériového obvodu RL. Vazba vzniká např. vnitřní impedancí společného napájecího zdroje, společným přívodem řídicích obvodů, nebo společným systémem zemnění. Pro nižší kmitočty se tato vazba chová jako odpor, naopak u vyšších kmitočtů jako indukčnost. Schéma vazby na obrázku (Obr. 7). [2,3]

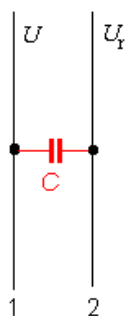


Obr. 7 Galvanická vazba [2]

### 2.8.2 Kapacitní vazba

K této vazbě dochází při vzniku parazitních kapacit mezi dvěma vodiči, částech obvodu či konstrukci zařízení. Kolem každého napájecího nebo signálového vedení vzniká elektrické pole. To lze chápat jako parazitní kapacitu mezi každým z vedených vodičů, které mají různý potenciál. Dochází k tomu právě při natahování energetických tras a signálních linek. Pro eliminaci kapacitní vazby využíváme stínění vodičů a zamezení jejich souběžnosti. V praxi existuje celá řada variant kapacitních vazeb dle druhu obvodu. Uvedeme si tyto tři nejpodstatnější:

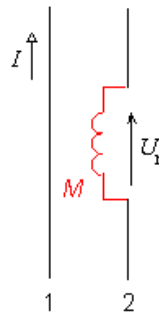
- Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů,
- Kapacitní vazba mezi obvody se společným vodičem,
- Kapacitní vazba vůči zemi. [2,3]



Obr. 8 Kapacitní vazba [2]

### 2.8.3 Induktivní vazba

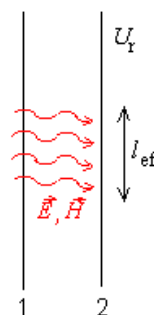
Máme-li vodič, kterým prochází elektrický proud, pak kolem takového vodiče vzniká magnetické pole, které je buď konstantní, nebo proměnné, a to dle časového průběhu proudu. Pokud se vodiče nachází v časově proměnném magnetickém poli, dochází k indukci napětí, které roste dle kmitočtu anebo v závislosti na růstu rychlosti časových změn proudu v primárním obvodu. Nebezpečí nastává převážně při rychlé skokové změně primárního proudu velké velikosti, kdy dojde k indukci vysokých napětí v obvodech uvnitř zařízení, které mohou být zničeny. Tuto vazbu lze omezit zmenšením délky souběžných vodičů, zvětšením vzdálenosti mezi nimi a zmenšením protékajícího proudu. Schéma indukivní vazby je zobrazeno na obrázku (Obr. 9). [2,3]



Obr. 9 Induktivní vazba [2]

#### 2.8.4 Vazba vyzařováním

V případě, že je zdroj od přijímače rušení dostatečně daleko a zároveň mezi nimi neexistuje galvanické propojení, pak můžeme téměř vyloučit kapacitní nebo induktivní vazbu a zaměříme pozornost na vazbu vyzařováním. Každé zařízení je zdrojem elektromagnetického pole a prostředí kolem nás je jím zaplněno a nelze se tak vyhnout jeho vlivům. Jako parazitní pole lze zařadit blízké vysílače, atmosférické rušení či různé průmyslové poruchy. Tento typ rušení se následně dostává do zařízení vším, co má parametry antény, nejčastěji pozorujeme tento jev u radiových přijímačů. Působením těchto elektromagnetických vln dochází k indukci rušivého napětí na vodičích přijímače. Toto napětí působí na obvody zařízení, kde se může sčítat nebo překrývat s užitečným signálovým napětím. Intenzita takového elektromagnetického pole závisí na vzdálenosti od zdroje a také jeho výkonu. K potlačení této vazby využíváme různých druhů stínících krytů a přepážek, které umísťujeme mezi zdroj a přijímač. Zeslabení je způsobeno absorpcí části energie vln materiálem a odrazem od tohoto materiálu. Velikost zeslabení je závislá na použitém materiálu přepážky, její tloušťce a kmitočtu signálu. [2,3]



Obr. 10 Vazba vyzařováním [2]

## 2.9 Způsoby potlačení rušení

Ze základního řetězce EMC (Obr. 1) vyplývá, že rušení lze omezit u všech tří oblastí, tedy u zdroje (vysílače), v objektu (přijímači) anebo na přenosové trase.

Nejvýhodnější způsob je potlačení u jeho zdroje, jelikož tím lze zaručit, že nebude docházet k rušení samotného přijímače, ale také dalších zařízení v okolí. V případě, že rušení a užitečný signál přichází na vstup přijímače na stejném kmitočtu, pak je zásah u zdroje rušení jediným způsobem odstranění tohoto rušení. Naopak zásah u zdroje je vyloučen v případě, že rušivý signál je užitečným signálem pro jiný druh zařízení (např. vysílání vysílače).

Všechny technické prostředky, které jsou využívány pro potlačování rušení bez ohledu na část řetězce se říká odrušovací prostředky. Tyto prostředky jsou používány jak pro potlačení rušivých signálů u zdroje, tak i ke zvýšení odolnosti přijímače.

- Odrušovací tlumivky a jednoprvkové filtry,
- Odrušovací kondenzátory a kondenzátorové filtry,
- Odrušovací filtry LC,
- Přepět'ové ochranné prvky (bleskojistky, plynové výbojky, varistory),
- Elektromagnetické, elektrické a magnetické stínění,

Volba použití těchto prvků závisí na požadavku, který druh rušení chceme odstranit. V případě omezení rušení po vedení se využívá odrušovacích tlumivek, kondenzátorů, odrušovacích kmitočtových filtrů LC a omezovačů přepětí. V případě špatné volby odrušovacích prostředků může nastat nejen nulový efekt tohoto prostředku, ale také zhoršení vlastností a umocnění dopadu rušení. Základem pro správnou volbu těchto prostředků je tedy dobrá znalost jejich parametrů, vlastností a také znalost vazeb a obvodů dle kmitočtu. [2,3]

### 2.9.1 Odrušovací tlumivky

Patří k nejnákladnějším a nejobjemnějším pasivním prvkům, které lze využít k odrušení. Jelikož se tlumivky zapojují do proudového okruhu, je nutné je uzpůsobit, dle protékajícího proudu daným obvodem. Zapojují se mezi výstup napájecí energetické sítě a napájecí vstup rušeného zařízení. Tlumivka představuje vysoký odpor, jelikož indukční reaktance se zvyšuje s rostoucím kmitočtem. Je tedy dobré ji využít v nízkoimpedančních systémech.

Požadavky na kvalitní odrušovací tlumivky by měly být následující:

- Malé rozměry a velká indukčnost,
- Minimální parazitní kapacity (vysoký rezonanční kmitočet),
- Mimo oblast síťových kmitočtů co největší činné ztráty,
- Tlumivka s feromagnetickým jádrem se nesmí přesycovat při proudech pro ni určených,
- Tvar a permeabilita jádra musí být takové, aby dosahovaly maximální indukčnosti s co nejmenším počtem závitů. [2,3]

### 2.9.2 Odrušovací kondenzátory

Používají se samostatně anebo jako kombinace tzv. kondenzátorového filtru, případně součást odrušovacího filtru LC nebo článku RC. Odrušovací kondenzátor je zapojen paralelně k vnitřní impedanci sítě a vstupní impedanci odrušovaného přístroje. Efektivní použití je pouze v případě, že vlastní reaktance je mnohem menší, než vnitřní impedance zdroje rušení a impedance napájecí sítě. Z toho plyne, že odrušovací kondenzátor se používá u vysokoimpedančních systémů. Kapacita kondenzátoru se volí na základě kmitočtového spektra rušení. Obecně platí, že čím nižší je dolní kmitočet potlačovaného pásma, tím větší by měla být kapacita kondenzátoru. [2,3]

Odrůšované kmitočtové pásmo	Doporučené hodnoty odrušovacích kondenzátorů
10 kHz - 0,5 MHz	5 - 4 - 2 - 1 - 0,5 $\mu$ F
0,5 - 6 MHz	0,5 - 0,25 - 0,1 $\mu$ F
6 - 30 MHz	100 nF až 1000 pF
nad 30 MHz	méně než 1000 pF

Obr. 11 Doporučené kapacity v závislosti na kmitočtu [2]

### 3 ELEKTROMAGNETICKÉ STÍNĚNÍ

Elektromagnetické stínění lze považovat jako jednu z nejdůležitějších forem odrušování v rámci EMC. Tato technika umožňuje jak snížení interference na straně zdroje, tak i zvýšení susceptibility na straně přijímače. Všechny konstrukční prostředky, které pomáhají dosažení těchto záměrů nazýváme jako stínící kryty nebo stínění. Stínění lze aplikovat na každou součástku, ale také v rámci funkčního bloku či celého systému. Tento druh opatření je jedním z nejefektivnějších způsobů elektromagnetické ochrany před výkonovým rušením s parametry kontinuálního nebo impulzního charakteru. K této metodě by mělo být přikročeno až po vyčerpání všech možných způsobů pro zajištění elektromagnetické kompatibility daného zařízení. Myslíme tím optimální návrh a konstrukci zařízení z hlediska EMC. [2,3]

#### 3.1 Základní charakteristiky

Efektivitu vlivu elektromagnetického stínění lze vyjádřit jako **koeficient stínění  $K_S$** . Definicí je poměr intenzity elektrického pole  $E_t$  v určitém bodě stíněného prostoru k intenzitě  $E_i$  ve stejném bodě beze stínění.

$$K_S = \frac{E_t}{E_i} \quad \text{nebo pro magnetické pole:} \quad K_S = \frac{H_t}{H_i} \quad (1)$$

V praxi je ovšem zavedenější logaritmická míra koeficientu, kterou nazýváme efektivnost či účinnost stínění se značkou SE (z angl. Shielding Effectivness).

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

Pokud vycházíme z toho, že je dopadající vlna homogenní a prostředí na obou stranách bariéry je stejné, pak obě definice SE jsou také stejné. A to proto, že impedanční charakteristika elektrického a magnetického pole je stejná. V případě stínění, které se nachází blízko zóně elektromagnetického pole anebo při rozdílném prostředí na obou stranách stínění jsou výsledky rozdílné. V tomto případě se užívá spíše prvního vzorce. [2,3,8]



### 3.2 Rozbor účinnosti elektromagnetického stínění

Účinnost elektromagnetického stínění  $SE$  [dB] je parametr, který vyjadřuje schopnost použitého materiálu omezit průchod vysokofrekvenčního signálu přes tuto bariéru. Při dopadu těchto elektromagnetických vln na bariéru dochází k částečnému odrazu, absorpci a mnohonásobným odrazům uvnitř materiálu (Obr. 12). Tento efekt lze popsat následujícím vztahem:

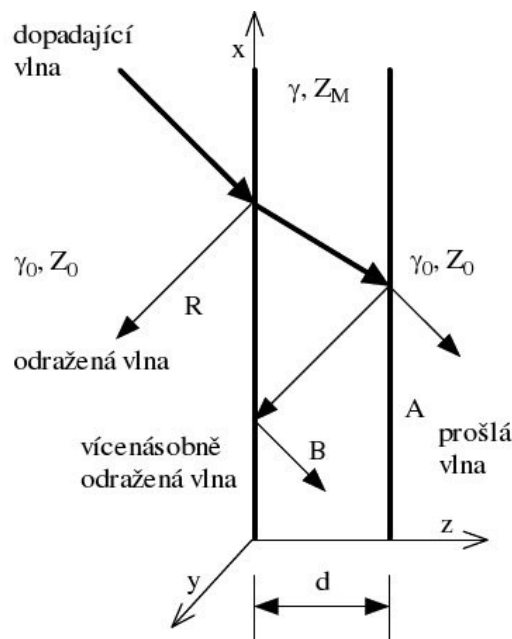
$$SE[dB] = R[dB] + A[dB] + M[dB] \quad (3)$$

$SE$  účinnost elektromagnetického stínění,

$R$  útlum odrazem,

$A$  absorpční útlum,

$M$  útlum vlivem několikanásobného odrazu. [2,3,8]



Obr. 12 Znárodnění chování vln při dopadu na překážku [8]

### 3.2.1 Útlum odrazem

Tento jev vzniká v důsledku částečného odrazu energie vlny, kde máme rozhraní dielektrika vzduchu  $Z_0$  a stínění  $Z_M$ . Na druhé straně dochází ke stejnému jevu v opačném směru, kdy vlna „opouští“ stínění  $Z_M$  a přechází do dielektrika vzduchu  $Z_0$ . Jev lze popsat následujícím vzorcem:

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

Po úpravě lze psát takto:

$$R = 20 \cdot \log \left| \frac{Z_0 + Z_M}{2Z_M} \cdot \frac{Z_0 + Z_M}{2Z_0} \right| = R_1 + R_2 [\text{dB}] \quad (5)$$

Kde  $R_1$  vyjadřuje „vstupní“ útlum na rozhraní představující vzduch – kov. „Výstupní“ rozhraní  $R_2$  je tedy kov – vzduch. Pokud je bariéra zhotovena z dobře vodivého materiálu a platí, že  $Z_0$  je mnohem větší než  $Z_M$ , pak výsledný útlum odrazem je přibližně: [2,3,8]

$$R \approx 20 \cdot \log \left| \frac{Z_0}{4Z_M} \right| [\text{dB}] \quad (6)$$

### 3.2.2 Absorpční útlum

Při průchodu elektromagnetické vlny bariérou o tloušťce  $t$  dochází k přeměně části energie vlny na energii tepelnou. V tomto případě je absorpční útlum takové překážky roven:

$$A = 20 \cdot \log |e^{\gamma t}| = 20 \cdot \log e^{\alpha t} = 20 \cdot \log e^{\frac{t}{\delta}} [\text{dB}] \quad (7)$$

Kde hodnota  $\delta$  je vzdálenost, kterou elektromagnetické pole pronikne do stínícího materiálu. Po převedení vzorce dostaneme konečný vzorec pro absorpční útlum: [2,3,8]

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

### 3.2.3 Útlum vlivem mnohonásobného odrazu

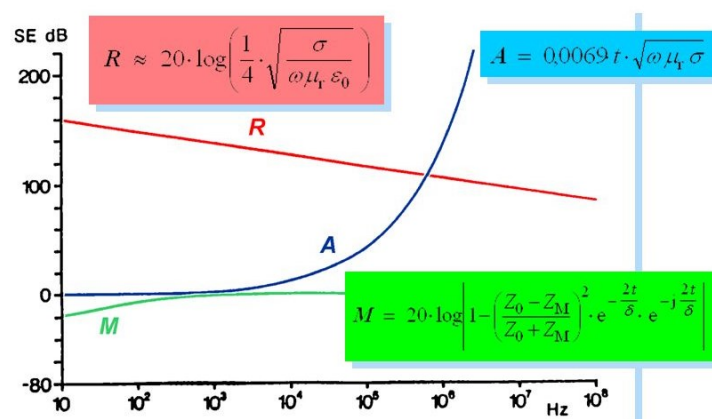
Při průchodu elektromagnetických vln vodivou stínící bariérou vzniká na přechodech impedancí jev nazývaný jako mnohonásobný odraz vln. U tohoto jevu může docházet k vektorovému sčítání vln, a to má negativní vliv na celkovou efektivitu stínění. V případě, že máme bariéru z dobře vodivého materiálu a impedance  $Z_0$  je výrazně větší, než impedance  $Z_M$  a zároveň je tloušťka  $t$  podstatně větší než hloubka vniku  $\delta$ , pak  $M \approx 0$  dB a lze tento jev prakticky zanedbat. Dostaneme tedy upravený základní tvar celkové účinnosti stínění:

$$SE = R + A \quad (9)$$

V případě, že jsou tyto parametry opačné a tloušťka bariéry je podstatně menší než hloubka vniku, pak hodnota  $M$  zmenšuje efektivitu navrženého stínění v řádech jednotek až desítek dB. [2,3,8]

### 3.2.4 Celková účinnost stínění

Souhrnem lze celkovou účinnost stínění vyjádřit součtem jednotlivých útlumů. Největší roli zde hraje útlum odrazem, který je dominantní složkou zejména na nízkých kmitočtech magnetických i nemagnetických materiálů. Absorpční útlum se zvyšuje zase na vysokých kmitočtech a je výraznější pro magnetické kovové materiály. Pro mnohonásobné odrazy platí, že na nízkých kmitočtech je hodnota  $M$  záporná v případě malé tloušťky bariéry a velké hloubky vniku. S rostoucím kmitočtem se  $M \approx 0$  dB a jev přestává mít vliv na celkovou účinnost. [2,3,8]



Obr. 13 Kmitočtový průběh jednotlivých složek účinnosti stínění měděné desky o tloušťce  $t = 1\text{ mm}$  [2]

Na obrázku (Obr.14) vidíme příklad účinnosti útlumu různě tenkých měděných vrstev

tloušťka stínění	0,1 $\mu\text{m}$		1,25 $\mu\text{m}$		2,2 $\mu\text{m}$		22 $\mu\text{m}$	
Kmitočet [MHz]	1	1000	1	1000	1	1000	1	1000
Útlum odrazem $R$ [dB]	109	79	109	79	109	79	109	79
Absorpční útlum $A$ [dB]	0,014	0,44	0,16	5,2	0,29	9,2	2,9	92
Mnohonásobné odrazy $M$ [dB]	-47	-17	-26	-0,6	-21	0,6	-3,5	0
Účinnost stínění $SE$ [dB]	62	62	83	84	88	90	108	171

Obr. 14 Účinnost útlumu měděné destičky[2]

Na základě dlouholetých zkušeností a dle potřeb elektromagnetického stínění pro různá elektronická zařízení bylo stanoveno několik kategorií účinnosti  $SE$  dle dosažených hodnot, které jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 15). [2,3]

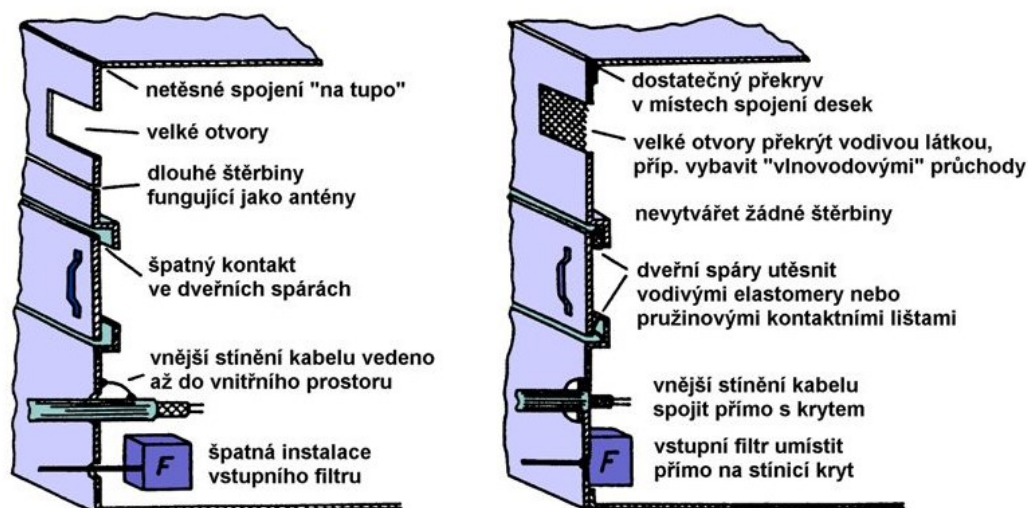
Účinnost stínění [dB]	Kategorie – hodnocení
0 ÷ 10	Nedostatečné stínění.
10 ÷ 30	Stínění pro minimální požadavky.
30 ÷ 60	Stínění dostačující pro většinu běžných požadavků.
60 ÷ 90	Velmi dobré stínění.
90 ÷ 120	Vysoce kvalitní stínění.

Obr. 15 Hodnocení účinnosti stínění [9]

## 4 VLIV OTVORŮ A TECHNOLOGICKÝCH NETĚSNOSTÍ NA CELKOVOU ÚČINNOST STÍNĚNÍ

Kromě požadované účinnosti stínění musí kryt zařízení splňovat i další technické požadavky. Máme na mysli otvory pro ventilaci, rozebíratelnost krytu, přístup ke vstupům a výstupům, otvory pro video a audio záznam apod. Těchto funkcí nelze dosáhnout, aniž bychom nenarušili celistvost a homogenitu stínícího krytu zařízení. Rozlišujeme tři druhy technických nehomogenit, které snižují účinnost stínění:

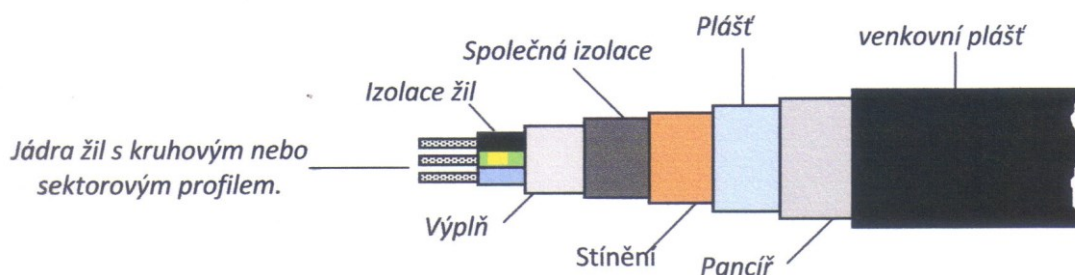
- Otvory, štěrby a další otevřené stínící plochy – jsou to dveře, okna, větrací otvory, netěsnosti mezi dotykovou plochou stínění a ovládací prvky,
- Špatně vodivé (vysokoimpedanční) části stínění – nedokonale vodivá spojení (koroze) a nevodivé průhledné plochy (sklo),
- Vnější přívodní kabely a přípojná vedení – všechny napájecí, signálové a datové kabely po kterých se mohou elektromagnetické signály dostat do zařízení. [2,3]



Obr. 16 Zásady konstrukce elektromagnetických stíněných krytů.  
Vlevo špatná konstrukce; vpravo zlepšená konstrukce [2]

#### 4.1 Stínění koaxiálních kabelů

Koaxiální kabely stíníme z důvodů potlačení vyzařování do okolí, a naopak i k lepšímu potlačení vnějších rušivých signálů, které by ovlivňovaly tento kabel. Tyto vlivy lze omezit využitím stínících prvků, které jsou implementovány na kabel pod jeho izolační vrstvu. Využívá se mnoha typů opletů a kompaktních stínění, nicméně nejčastěji se setkáme s dvěma vrstvami opletu, které musí být správně propojeny na obou koncích pro správnou efektivitu takového stínění. Vhodným způsobem, jak zamezit těmto problémům je také správný návrh vedení napájecí a datové kabeláže. [2,3]



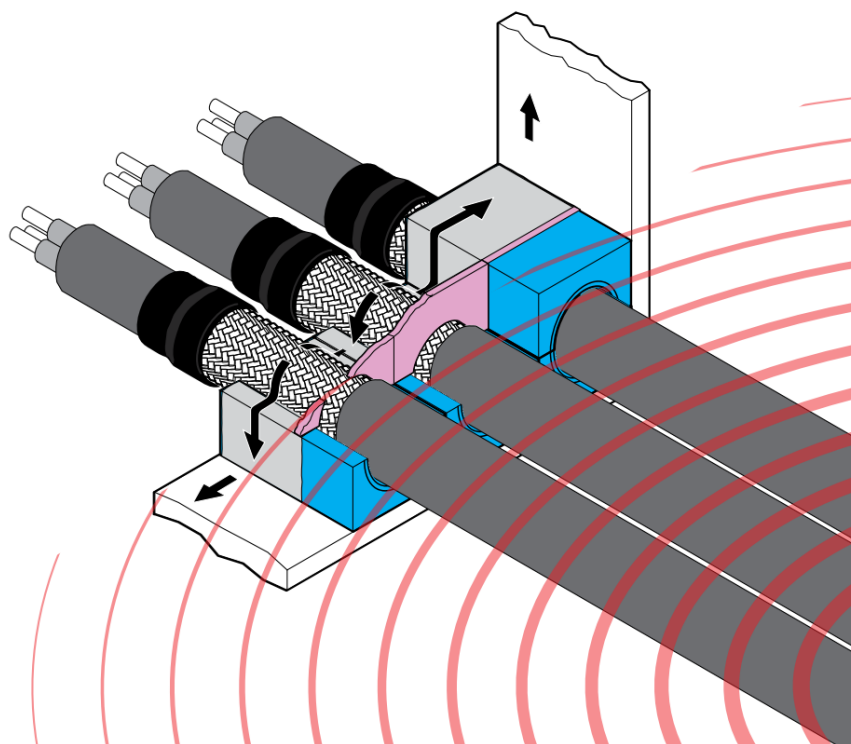
Obr. 17 Struktura koaxiálního kabelu [10]

Shielding Type			
Single Braid Shield (95% coverage)	Single Braid Shield (60%) + Foil Wrap (100%)	(2) Braids (60%) + (2) Foil Wraps (100%)	Conformable Cable
Approximate Shielding Effectiveness Value			
-55dB	-90dB	-110dB	-150dB

Obr. 18 Stínící efektivita v závislosti na použitém stínění [11]

#### 4.1.1 Prostupy koaxiálních kabelů

V případě zařízení je také potřeba počítat s prostupy, kterými povedeme koaxiální kabeláž. Na trhu najdeme několik výrobců, kteří přinášejí svá řešení pro tuto problematiku. Využívá se zde pryžových materiálů, vodivých folií a dalších speciálních materiálů. Tyto vstupové bariéry jsou následně vodivě spojeny s kostrou zařízení. [13,14]



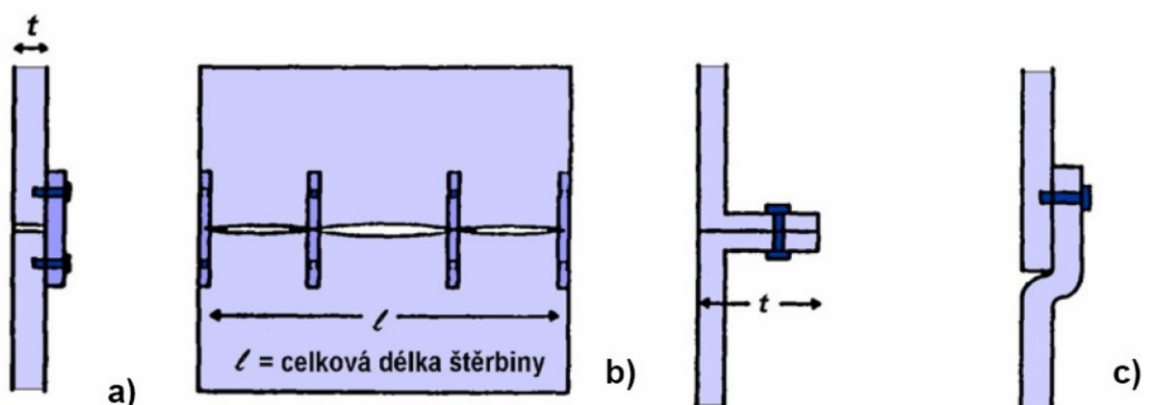
Obr. 19 Typy vstupových struktur pro koaxiální kabely [13]

## 4.2 Spojování stínících ploch

Z teorie, a hlavně praktických testů víme, že zásadní význam na kvalitu stínícího krytu mají otvory, štěrby a další konstrukční průchody, kterými narušujeme jinak kompaktní stínící plochu. Toto narušení může být úmyslné z následujících důvodů:

- Snadná demontáž,
- Odvětrávací otvory,
- Objektivy kamer,
- Kabely a vedení.

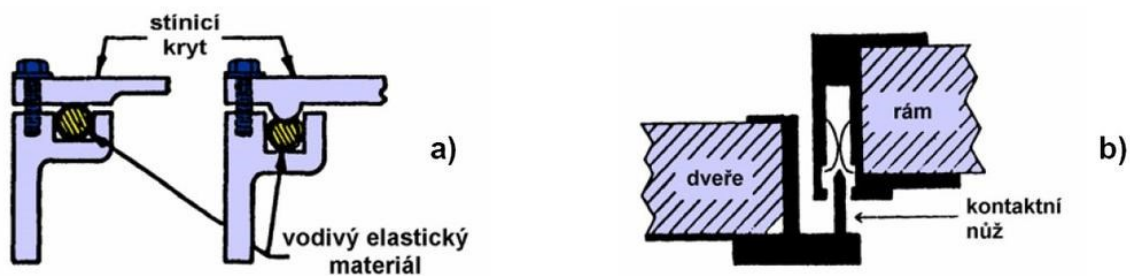
Zároveň na každém zařízení vznikají i neúmyslné štěrby, netěsnosti, a to převážně v místech spojů hlavního kovového krytu. Tento problém může vzniknout například při tzv. spojení „na tupo“, který je zobrazen na obr. 20 a). Tyto štěrby mohou dosahovat až několik desítek cm. Taková netěsnost může významně snižovat kvalitu stínění kovového krytu již od nízkých kmitočtů. Způsob pro potlačení takovéto netěsnosti je převážně v konstrukčním návrhu vlastního spoje těchto dvou ploch. Možné způsoby jsou zobrazeny na obr. 20 b) nebo obr. 20 c). U těchto spojů lze využít i dalších materiálů, které nám pomohou ke zlepšení vodivého spojení mezi těmito plochami. Jsou to různé pasty, silikony, pásky anebo těsnění, která jsou nanášena do místa spoje a zlepšují vyplnění tohoto spoje. [2,3]



Obr. 20 Nežádoucí štěrby při spojování stínícího krytu „na tupo“ (a) a návrhy pro zlepšení stínění překrytem (b,c) [3]



Nemusí se jednat jen o pevné spoje, kde dochází k problémům s celistvostí stínícího krytu. Tuto otázku je potřeba řešit i pro prvky, jako dveře a další otevírací přístupy. Pro tyto prvky je nutné v uzavřeném stavu maximálního stínícího účinku, který je v praxi dosahován různými typy pružinových kontaktů či pérových nožových kontaktů.



Obr. 21 Příklad řešení elektromagnetického těsnění pomocí vodivých elastomerů (a) a nožových kontaktů (b) [3]

Na obrázku (Obr. 22) můžeme vidět celou řadu prostředků pro řešení spojení ploch a dalších otvorů z hlediska elektromagnetické susceptibility. Podle montáže rozlišujeme styl samotného uchycení, materiál, a především mechanické provedení tohoto prostředku. [2,3]



Obr. 22 Různé typy stínících prostředků pro EMC [16]

### 4.3 Galvanická kompatibilita

Z hlediska využití stínících materiálů je potřeba řešit také to, v jakém prostředí se bude využívat a jaké environmentální vlivy na něj budou působit. V případě využití různých stínících materiálů hraje roli i galvanická koroze, tedy proces, kdy dva materiály mají rozdílný elektrický potenciál a může dojít ke vzniku galvanického článku.

Tři hlavní důvody galvanické koroze, které mají vliv na degradaci stínění jako takového (vznik impedančního skoku):

- Rozdíl galvanických potenciálů dvou dotýkajících se různých kovů,
- Existující elektrická cesta mezi dvěma různými materiály,
- Tekutina (vlhkost, sůl apod.) způsobující korozi materiálu. [17]

GROUP NUMBER	COMMON METAL SURFACES METALLURGICAL CATEGORY	ANODIC INDEX, V
1	Gold; Au-Pt alloys; wrought platinum; graphite carbon	0.00
2		0.05
3	Rhodium plating	0.10
4	Silver; high-silver alloys	0.15
5		0.20
6		0.25
7	Nickel; nickel-copper alloys; titanium, titanium alloys; Monel	0.30
8	Beryllium copper; low brasses or bronzes; silver solder; copper; Ni-Cr alloys; austenitic corrosion-resistant steels; most chrome-moly steels; specialty high-temp stainless steels	0.35
9	Commercial yellow brasses and bronzes	0.40
10	High brasses and bronzes; naval brass; Muntz metal	0.45
11	18% Cr type corrosion resistant steels; common 300 series stainless steels	0.50
12		0.55
13	Chromium or tin plating; 12% Cr type corrosion resistant steels; most 400 series stainless steels, i.e., 410 and some cast stainless steels	0.60
14	Terneplate; tin-lead solder	0.65
15	Lead; high-lead alloys	0.70
16	Wrought 2000 series aluminum alloys	0.75
17		0.80
18	Wrought gray or malleable iron; plain carbon and low-alloy steels; armco iron; cold-rolled steel	0.85
19	Wrought aluminum alloys except 2000 series cast Al-Si alloys; 6000 series aluminum	0.90
20	Cast aluminum alloys other than Al-Si; cadmium plating	0.95
21		1.00
22		1.05
23		1.10
24		1.15
25	Hot-dip galvanized or electrogalvanized steel	1.20
26	Wrought zinc; zinc die casting alloys	1.25
27		1.30
28		1.35
29		1.40
30		1.45
31		1.50
32		1.55
33		1.60
34		1.65
35		1.70
36	Wrought and cast magnesium alloys	1.75
37		1.80
38	Beryllium	1.85

Obr. 23 Anodický index jednotlivých materiálů [18]



## 5 ZPŮSOBY A METODY MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Tato oblast představuje jednu z nejdůležitějších částí problematiky EMC. Tato část představuje praktické ověření stupně EMC navrženého zařízení z hlediska vlastního rušivého vyzařování. Prakticky nelze dosáhnout dokonalé elektromagnetické kompatibility, a proto je potřeba stanovit maximální přípustné hodnoty rušivých signálů daného typu zařízení.

Všechna měření, testy, metody, postupy, podmínky a měřicí zařízení jsou jednoznačně předepsány a specifikovány mezinárodními normami z důvodu reprodukovatelnosti získaných výsledků a možnosti porovnání.

Postup a volba vhodných měřicích zařízení je závislá na způsobu šíření rušení. Tyto rušivé signály a způsoby jejich přenosu jsme si popsali v kapitole (část 2.6). [2,3]

### 5.1 Měření s umělou sítí

Měření rušivých signálů, které vznikají u zařízení, které je napájeno z rozvodné sítě. Pro měření je použito takové umělé sítě, která simuluje impedanci vnější napájecí sítě ve které bude zařízení provozováno. Využívá se také tzv. standartního umělého operátoru (umělá ruka). Toto simuluje vliv lidské ruky, jenž drží při provozu dané zařízení (holící strojky, ruční nářadí apod.). [2,3]

### 5.2 Měření napět'ovou sondou

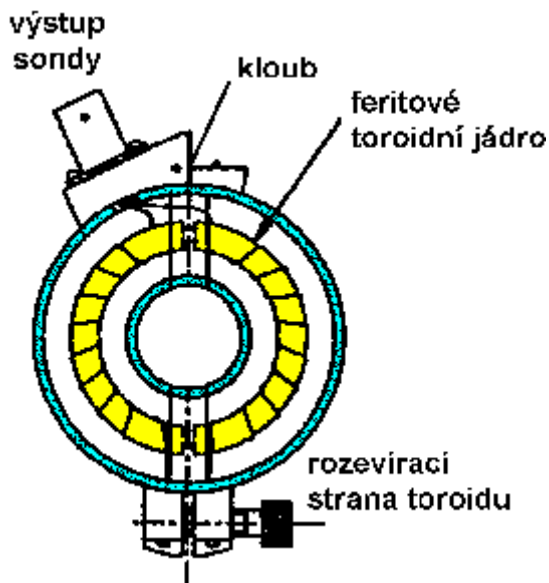
V případě měření rušivého napětí na jiném místě, jenž jsou napájecí svorky, můžeme měřit pomocí napět'ové sondy. Tato sonda umožní přímé připojení tohoto přijímače do zadaného bodu zkoumaného zařízení. [2,3]



Obr. 25 Příklad napět'ové sondy [3]

### 5.3 Měření proudovou sondou

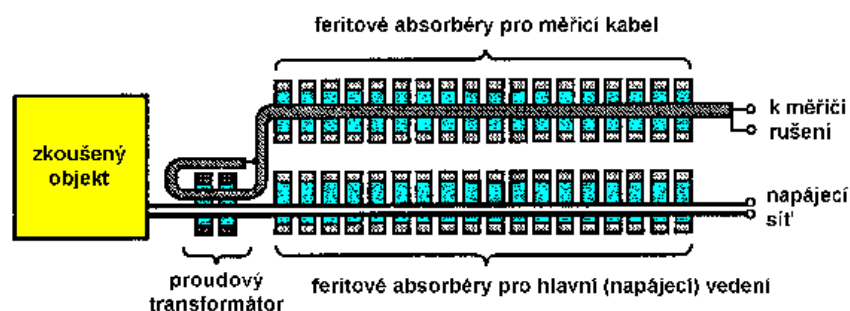
V případě měření rušivého elektrického proudu protékajícího vodičem, využijeme proudovou sondu. Tato sonda nenaruší trasu vedení, je pomocí rozebíratelného systému nasazena na měřené vedení. Sondy jsou konstruovány až do kmitočtu 1000 MHz, nicméně u těchto kmitočtů vznikají stojaté vlny rušivého vysokofrekvenčního signálu na měřeném vedení a je nutné umístit proudovou sondu vhodně, aby měřila maximální rušivý proud. [2,3]



Obr. 26 Konstrukce proudové sondy [3]

### 5.4 Měření absorpčními kleštěmi

Jde o kombinaci širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy (proudový transformátor) a feritového absorbéru (přizpůsobená zátěž). Použití od 30 MHz do 1000 MHz k měření výkonu rušivého signálu, jenž je vyzařován skrze připojené kabely a vedení zkoušeného zařízení. Hlavní předností tohoto zařízení je vysoká přesnost a reprodukovatelnost výsledků. [2,3]



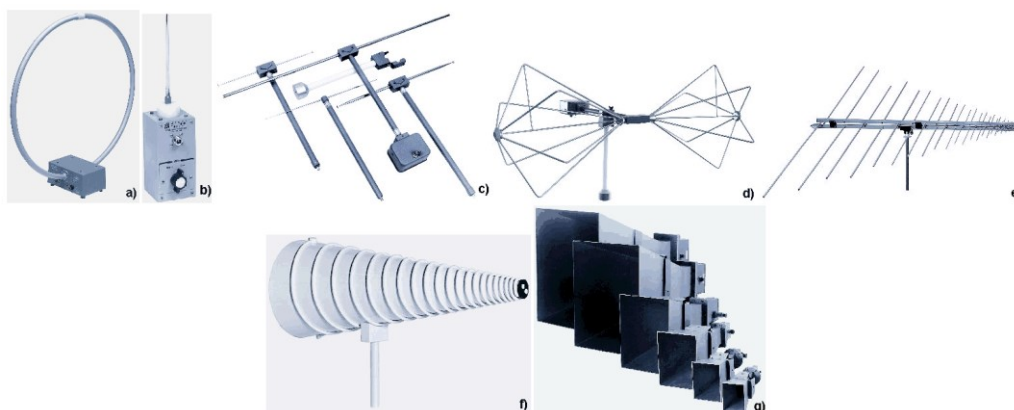
Obr. 27 Konstrukce absorpčních kleští [3]

## 5.5 Měření pomocí antén

Pomocí různých druhů měřících antén měříme zařízení, která vyzařují rušivé signály do okolního prostoru. Toto měření je zvláště významné od 300MHz a výše, jelikož realizace přímého měření rušivých napětí a proudů je pro tyto kmitočty velmi problematická. V praxi využíváme tyto typy antén, dle vhodného kmitočtu. Přehled je uveden v tabulce (Tab. 1) a vizuální náhled u obrázku (Obr. 27). [2,3]

Tab. 1 Seznam měřících antén pro EMI [3]

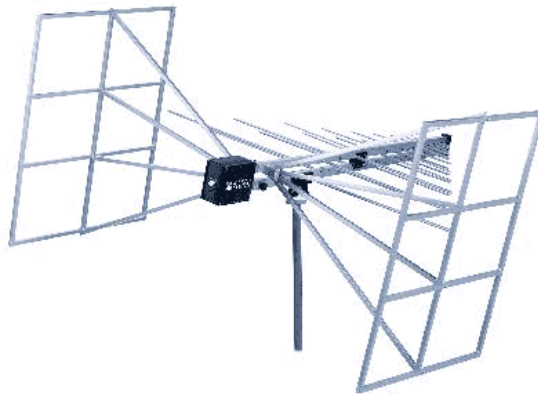
Druh antény	Rozsah kmitočtů	Měří složku
rámová (smyčková) anténa	9 kHz - 30 MHz	H
prutová anténa (monopól)	9 kHz - 30 MHz	E
symetrické (laděné) dipóly	30 MHz - 1000 MHz	E
Bikónická anténa	20 MHz - 300 MHz	E
logaritmicko-periodická anténa	200 MHz - 3000 MHz	E
kónicko-logaritmická anténa	200 MHz - 3000 MHz	E
složená širokopásmová anténa	30 MHz - 2000 MHz	E
trychtýřové antény	1 GHz - 40 GHz	E, H



Obr. 28 Měřící antény pro systémy EMI [3]

Snahou výrobců i uživatelů antén je měření pomocí širokopásmové antény, jenž by pokryla nejčastější využívaný rozsah měření pro EMI, tedy pásmo 30 MHz až 1÷2 GHz. Proto byly vyvinuty antény pod obchodním označením BiLog (Obr. 29), jenž jsou schopny pokrýt tento rozsah a měřit lze jednou anténou. Pro přesné měření tímto typem antény je potřeba

pravidelné kalibrace, a to ve srovnání s výsledky měření laděného symetrického dipólu, který slouží jako referenční anténa. [2,3]



*Obr. 29 Příklad širokopásmové antény typu „BiLog“ [3]*

## 5.6 GTEM cela

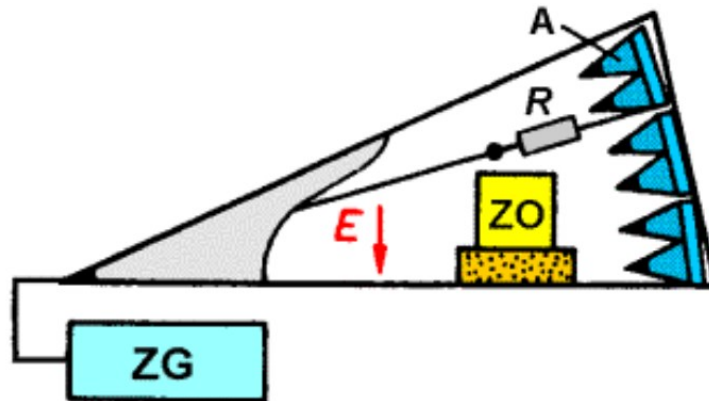
Základem každého správného měření jsou co možná nejlepší a nejstabilnější podmínky prostředí. K tomuto účelu byly v průběhu let konstruovány zkušební komory s cílem plnění požadavků na měření EMI a EMS. Postupně se tedy budovaly obří halové zkušebny, nicméně byla zde i otázka méně nákladného měření menších systémů a za tímto účelem vznikly první GTEM cely. Zkratka GTEM vychází z anglických slov (Gigahertz-Transversal-Electromagnetic Cell) a konstrukce je tedy vhodná pro měření frekvencí nad 1 GHz. [2,3]



*Obr. 30 Příklad GTEM cely Frankonia*

### 5.6.1 Konstrukce cely

Konstrukce GTEM cely se vyvíjela od prvotních návrhů Crafordovy komory z roku 1974. Postupně byla komora zdokonalována, přidaly se absorpční materiály a také tvar byl upraven. Tvar komory je dlouhý pyramidově se rozšiřující úsek koaxiálního vedení o pravoúhlém průřezu s nesymetricky umístěným vnitřním páskovým vodičem. [2,3]



Obr. 31 GTEM cely boční řez [3]

Na obrázku (Obr. 31) můžeme vidět boční řez GTEM celou, kde zkratky znamenají:

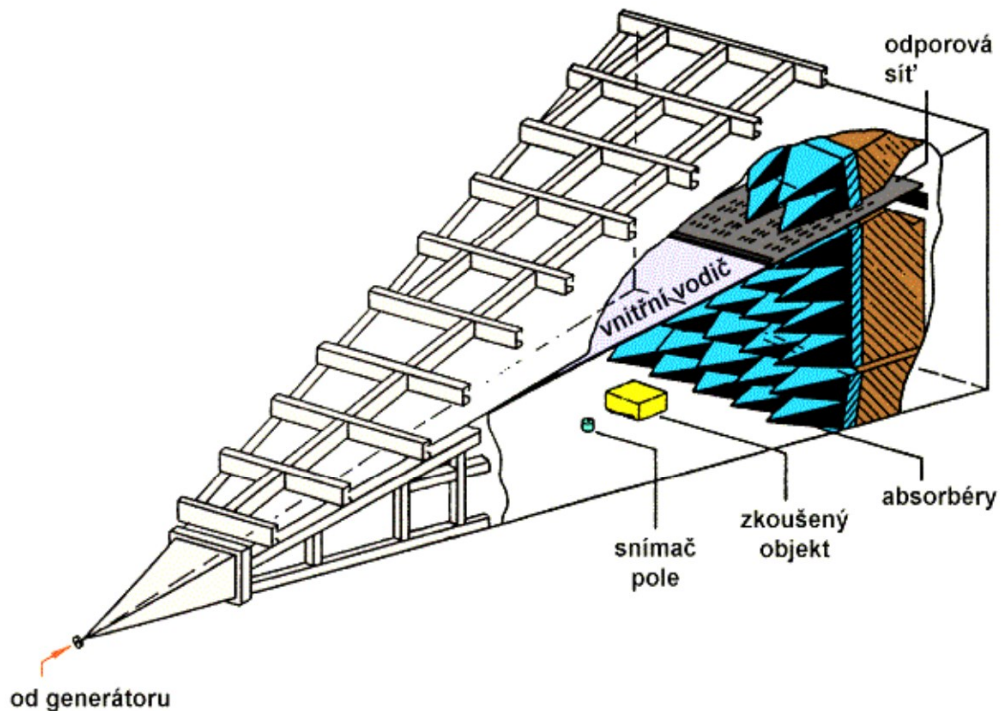
- A – absorpční jehlany
- R – odporovou síť
- ZO – zkoušený objekt
- E – intenzita pole
- ZG – zkušební generátor

Podél celé délky pyramidového koaxiálního vedení pod úhlem  $15^\circ$  je charakteristická impedance rovna  $50\Omega$ . Jehlany na čelní straně cely zajišťují širokopásmové impedanční přizpůsobení na vyšších kmitočtech, pro nižší kmitočty je zde odporová síť na konci vnitřního páskového vodiče, kde  $R=Z_0$  (Obr. 32). Díky tomuto uspořádání se tak v cele šíří postupná homogenní elektromagnetická vlna s mírně nulovou čelní vlnoplochou.

Hlavní výhodou těchto cel je schopnost simulovat harmonická pole až o velikosti  $200\text{V/m}$  ve spektru od  $0\text{Hz}$  do zhruba  $8\text{GHz}$ . Impulzová pole lze zkoušet až do velikosti několika  $\text{kV/m}$ .



Tyto komory lze konstruovat v jakýkoliv velikostech při dodržení předepsaných poměrů rozměrů. Platit musí ovšem vždy, že testovaný objekt nesmí přesáhnout 1/3 výšky zkušebního prostoru. [2,3]



Obr. 32 Konstrukce GTEM cely [3]

### 5.6.2 Uživatelé GTEM cel

Tyto cely si najdou své uplatnění u uživatelů, kteří potřebují otestovat menší zařízení anebo součástky zejména při vývoji před samotným testem u akreditované měřicí laboratoře.

Mezi hlavní výhody těchto komor z hlediska uživatele patří:

- Stálost, homogenita simulovaného pole,
- Minimální vyzařování mimo prostory komory,
- Široké spektrum použitých kmitočtů,
- Mobilita a variabilní rozměry,
- Jednoduchá obsluha,
- Nízké pořizovací a provozní náklady oproti jiným alternativám. [2,3]

## 6 AKČNÍ OUTDOOROVÁ KAMERA

Tato větev kamer byla dlouhou dobu v povědomí sportovních nadšenců a milovníků zážitků. Počátky akčních kamer lze datovat do roku 1960, kdy se jednalo o různé formy uchycení tehdejších rozměrných kamer například na helmu. První sériovou výrobu začala firma GoPro roku 2004. Poslední roky již došlo k velkému nárůstu běžných uživatelů po celém světě ve všech různých prostředích za účelem snímání zážitků, ale také měření, testování a v samotném filmovém průmyslu. Kamery jsou také využívány vojáky, výzkumníky a vědci pro jejich skvělé parametry záznamu, velikosti, ale také odolnosti hardwaru a elektroniky. Kamery značky Go Pro dokonce využívají astronauti na ISS, případně při jiných misích, což dokládá jak spolehlivý, a hlavně v očích NASA bezpečný produkt to je pro cestu do vesmíru. Příklad outdoorové kamery i s bezpečnostním obalem pro potápění můžeme vidět na obrázku (Obr. 33). [19,20,21]



*Obr. 33 Outdoorová kamera typu Go Pro HERO 4 [19]*

## 6.1 Technické parametry

Jedná se o digitální kameru, která ukládá záznam na SD kartu, kterou lze do kamery vložit. Toto zařízení lze také pomocí Wi-Fi technologie propojit s mobilním telefonem za využití aplikace dodané výrobcem. Toto propojení umožňuje měnit veškerá nastavení, live přenos obrazu a také přístup k uloženému záznamu. Konkrétní parametry jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2). [19]

Tab. 2 Parametry kamery [19]

<b>Kamera Go Pro Hero 4 Black</b>	
<b>Optický senzor</b>	CMOS
<b>Max rozlišení videa</b>	3840x2160
<b>Video formát</b>	H.264
<b>Obrazový formát</b>	JPEG
<b>Snímkovací frekvence</b>	Až 240 fps dle rozlišení

### 6.1.1 Optický senzor

Pro záznam obrazu je využito světlo citlivé plochy neboli čipu. Využívá se optický senzor typu CMOS, který najdeme u většiny digitálních fotoaparátů. Tato technologie je levnější na výrobu, a hlavně má nižší spotřebu energie než technologie CCD (pomalejší, nákladnější, vhodný na snímání tmavých scén). Rychlost přenášení dat je také vyšší. Dopadající paprsky světla jsou ihned rozebrány na jednotlivé pixely, které převádí do binární soustavy. [22]

### 6.1.2 Maximální rozlišení videa

První hodnota udává počet pixelů v řádku, druhá ve sloupci, vynásobením získáme celkový počet pixelů na snímku, které mohou mít různou barvu. Video je tak detailnější, což se u tohoto typu kamer hodí z důvodu zpomalených záznamů. Rozlišení lze měnit v závislosti na požadavcích uživatele a snímkovací frekvenci.[22]

### 6.1.3 Video formát

Formát H.264 je určen ke kódování videa a součást standartu MPEG-4. Tento formát se začal používat roku 2003 a dnes je již nahrazen novějšími typy. Jeho hlavní funkcí je přenášení obrazu ve vyšších kvalitách při nižší přenosové rychlosti. Tento formát má až 80 % kompresi oproti MJPEG formátu, který je nejčastěji používán u digitálních IP kamer. Také redukce chyb je u tohoto formátu vysoká. [22,23]

### 6.1.4 Obrazový formát

Jde o standartní JPEG, který je standartním formátem pro ukládání fotografií. Není vhodný pro profesionální úpravy fotografií, jelikož využívá komprese dat. [22]

### 6.1.5 Snímkovací frekvence

Určuje plynulost videozáznamu. Pro plynulý záznam se udává využití minimálně 30fps. Pokud budeme mít vysoké rozlišení a malý počet snímků za sekundu, bude se záznam sekát. V případě potřeby zpomaleného videa je vhodné využívat velké množství snímků za sekundu pro kvalitní záznam dané situace.[22]

## 7 ZAMĚŘENÍ PRÁCE (CÍL A PROČ)

Tato práce je věnována problematice odolnosti video systému. Elektromagnetické odolnosti se nevěnuje taková pozornost, jako elektromagnetické interferenci, jelikož je to oblast neustálého praktického testování a porovnávání výsledků po provedených patřičných změnách, které vycházejí z teorie a praxe.

Oblast video kamer byla zvolena pro svou četnost použití v různém prostředí s možností zaznamenání jejího ovlivnění vnějšími vlivy elektromagnetického rušení.

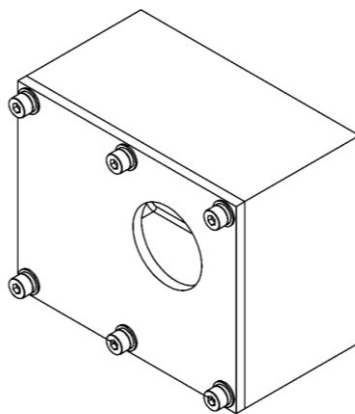
## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 8 MĚŘENÍ POMOCÍ GTEM CELY

Praktická část se věnuje elektromagnetické susceptibilitě vybraného elektronického systému, a to konkrétně akční kameře GOPRO HERO 4 BLACK. Pro tuto kameru byl navržen a vyroben stínící obal. Cílem bylo zjistit odolnost akční kamery a vliv na záznamy s a bez stínícího obalu od 20MHz do 2GHz při krocích 50MHz

Samotné měření bylo provedeno na pracovišti Vědeckotechnického parku u Fakulty aplikované informatiky ve Zlíně. Použito bylo zdejšího testovacího a měřícího vybavení, které bude popsáno v dalších kapitolách praktické části.

### 8.1 Konstrukce a design stínícího krytu



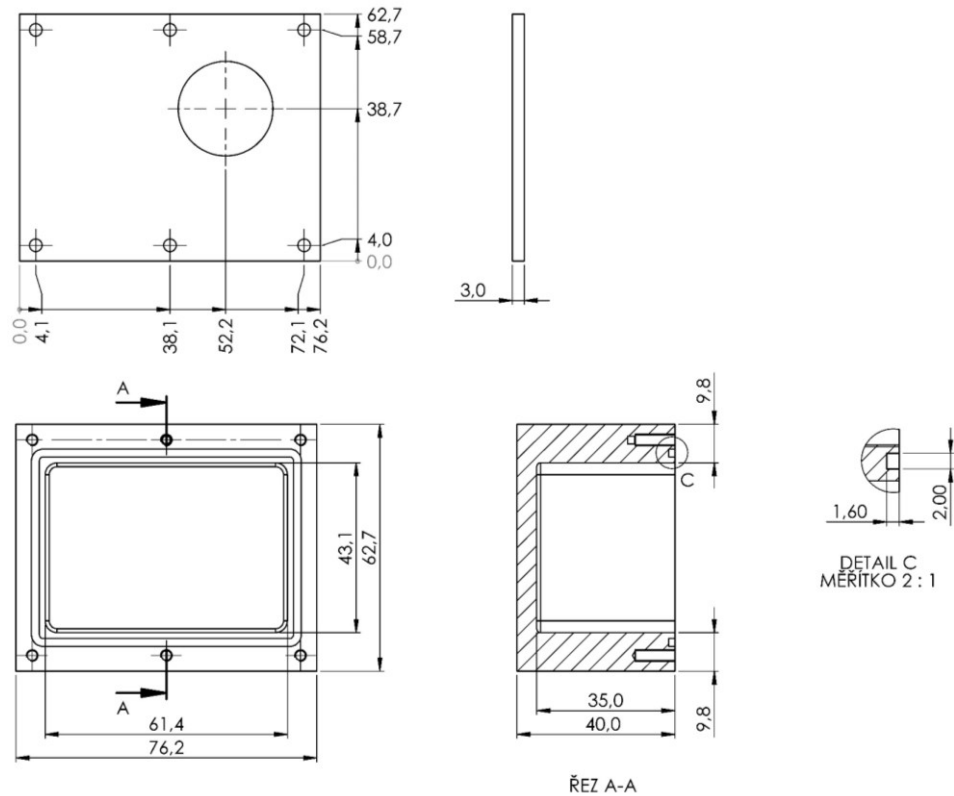
Obr. 34 Obecný drátový model stínícího krytu

Stínící kryt, který je zobrazen na obrázku (Obr. 34) byl zhotoven z hliníkového bloku, a to konkrétně materiálu AW-5083 s elektrickou vodivostí 28,5 %IACS. Na obrázku níže (Obr. 35) jsou i další vlastnosti tohoto materiálu. Hliník byl zvolen z hlediska dostupnosti, dobré vodivosti a odolnosti vůči korozi a také pro jeho snadnou možnost opracování.

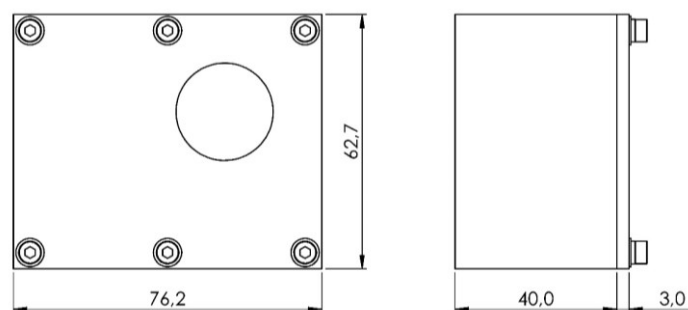
EN AW	ČSN	Chemické složení
5083	–	AlMg4,5Mn
<ul style="list-style-type: none"> <li>• je přirozeně tvrdý, nevytvrditelný, odolný mořské vodě</li> <li>• materiál je chemicky stálý</li> <li>• je dobře obrobitelný, lešitelný</li> <li>• dá se velmi dobře svářet</li> <li>• pevnost v tahu 270MPa (tvrdost cca70HBW)</li> </ul>		

Obr. 35 Vlastnosti použitého materiálu

Na obrázku (Obr. 36) a (Obr. 37) je zobrazen stínící kryt v drátovém modelu s kótami všech stran a děr. Je zde i detailní pohled (Detail C), který zobrazuje rozměry frézované drážky pro EMC elastomer. Vnitřní prostor je větší než rozměry samotné kamery, a to z důvodu vložení sondy EFS-10 a následné měření účinnosti stínění. Pro potřeby kamery je tento volný prostor vyplněn pěnovou výstelkou.



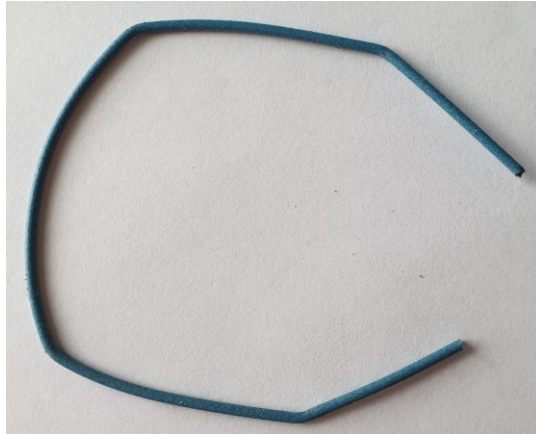
Obr. 36 Drátový model stínícího krytu včetně kótování a detailu drážky



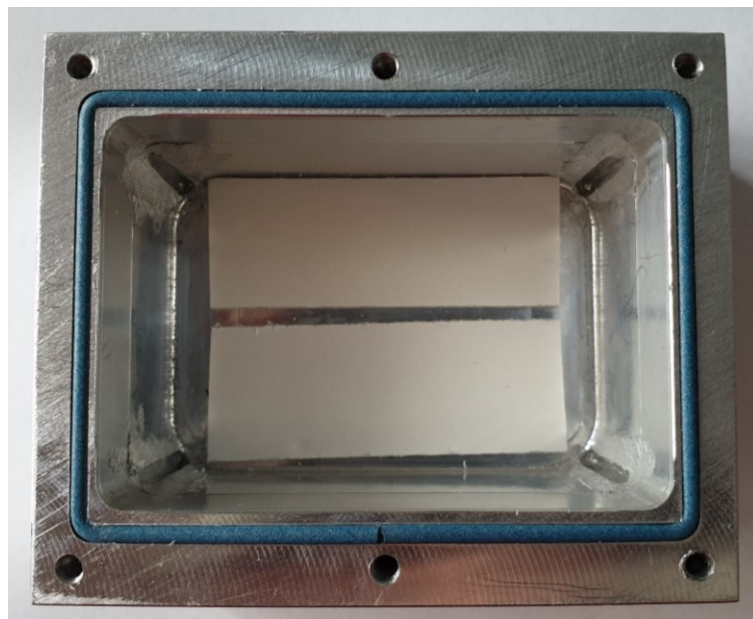
Obr. 37 Drátový model s pohledem na vnější rozměry krytu



Zvolený elastomer je zobrazen na obrázku (Obr. 38,39) a má označení: EMC 8863-0120-89 a jeho průměr je 2,0 mm. Kvalitu stínění zajišťuje do 120 dB při 10 GHz. Výrobce je firma Lairdtech a dostupný je i v jiném provedení.



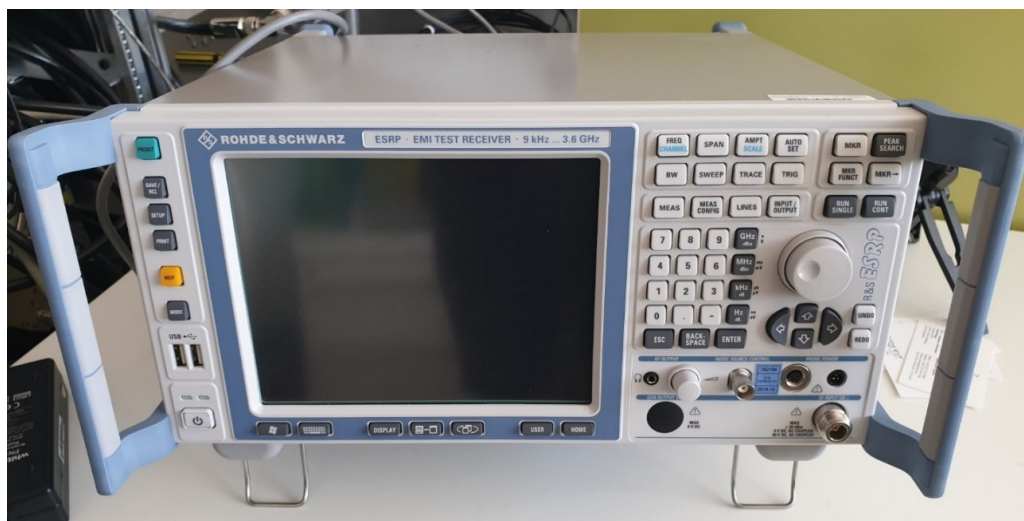
*Obr. 38 Stínící elastomer od firmy Lairdtech*



*Obr. 39 Stínící elastomer usazený v drážce krytu*

## 8.2 Vybavení pro měření

Pro měření byla použita zkušební GTEM cela značky Frankonia model 250, která vyhovuje normě ČSN EN 61000-4-20 a je zobrazena na obrázku (Obr. 30). Pro měření pozadí a interference zvolené kamery byl použit v režimu přijímače přístroj ESRP EMI Test Receiver od firmy Rohde&Schwarz, který je zobrazen na obrázku (Obr. 40). Jeho rozsah je od 9 kHz do 3.6 GHz.



Obr. 40 ESRP EMI Test Receiver od firmy Rohde&Schwarz

Sonda byla použita od firmy Frankonia pod označením EFS-10. Jedná se o sondu pro měření intenzity elektromagnetického pole. Obslužný program je WinEP600 Series v2.05, který je spuštěn na laboratorním notebooku. Její rozsah je od 10 kHz do 9.25 GHz a umožňuje měření intenzity od 0.14 V/m do 500 V/m. Je napájena vlastní baterií s výdrží až 80 hodin provozu. Její podoba je zobrazena na obrázku (Obr. 41).



Obr. 41 Sonda EFS-10 s propojovacím kabelem



Obr. 42 Obslužný program WinEP600 Series v2.05

Pro nastavení výstupního výkonu zesilovačů bylo použito signálního generátoru SMB 100A od firmy Rohde&Schwarz, který je zobrazen na obrázku (Obr. 43). Rozsah je od 100 kHz do 40GHz a výstupní úroveň +27dBm.



Obr. 43 Signální generátor SMB 100A od firmy Rohde&Schwarz

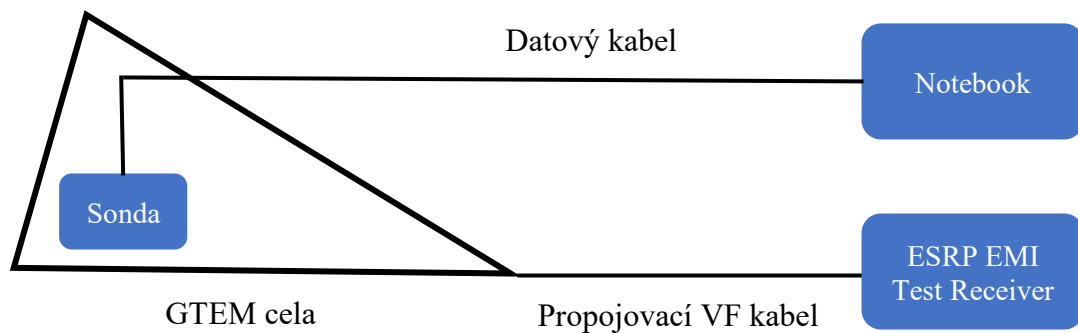
Pro zesílení tohoto generovaného signálu byly použity dva zesilovače od výrobce Frankonia. První použitý zesilovač FLH-20B má frekvenční rozsah 20 MHz až 1GHz a maximální výkon 20W. Druhý použitý s označením FLG-5A je od 800 MHz do 2 GHz s výstupním výkonem 5W. Oba jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 44).



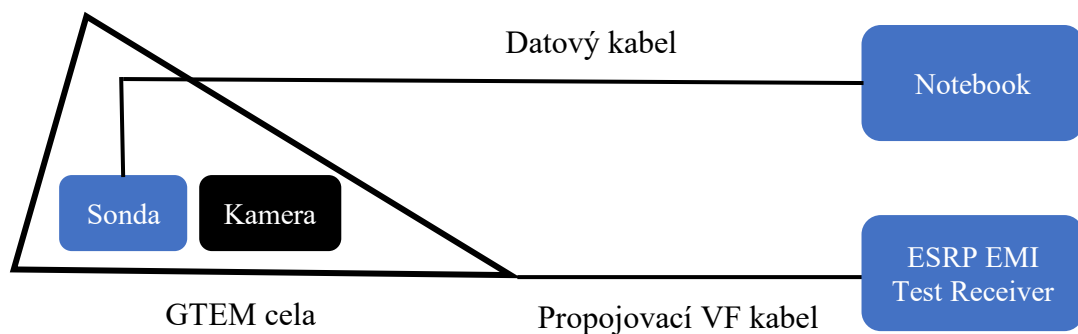
Obr. 44 Systém zesilovačů od firmy Frankonia

### 8.3 Postup měření interference

Před započítím měření byla provedena kontrola správné funkce a nastavení všech používaných zařízení. Následně bylo zapojeno měřící pracoviště dle obrázku (Obr. 45) a bylo změřeno elektromagnetické prostředí GTEM cely. V druhé části měření bylo zapojení dle obrázku (Obr. 46) s kamerou v GTEM cele za účelem změření její interference do okolí.



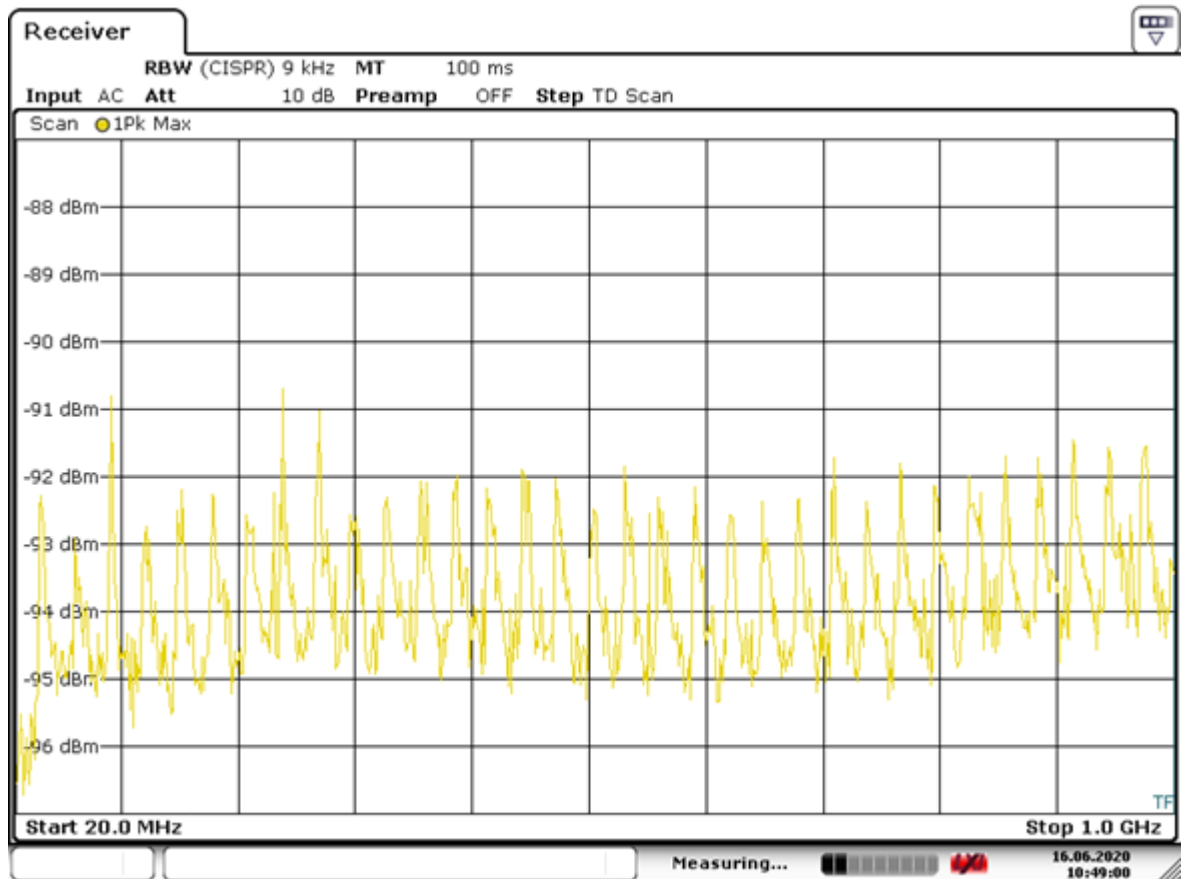
Obr. 45 Blokové schéma – měření prostředí GTEM cely



Obr. 46 Blokové schéma – měření interference kamery

### 8.3.1 Měření prostředí cely

Toto měření bylo provedeno ve frekvenčním spektru od 20MHz do 1GHz, jak je znázorněno na obrázku (Obr. 47). Měřený čas byl 100ms, rozlišení šířky pásma 9kHz, radiofrekvenční útlum nastaven na 10dB a funkce předzesilovače vypnuta.

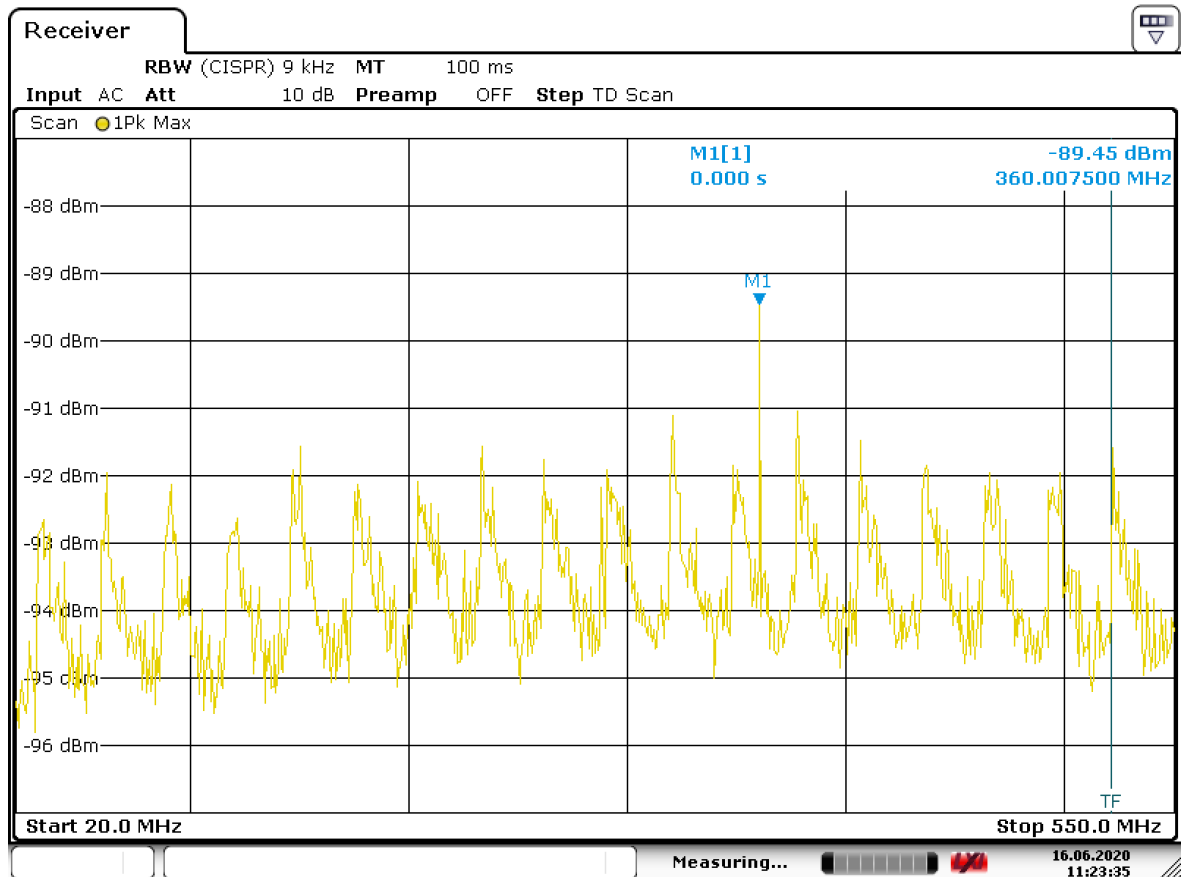


Date: 16.JUN.2020 10:49:01

Obr. 47 Měření interference akční kamery

### 8.3.2 Interference kamery

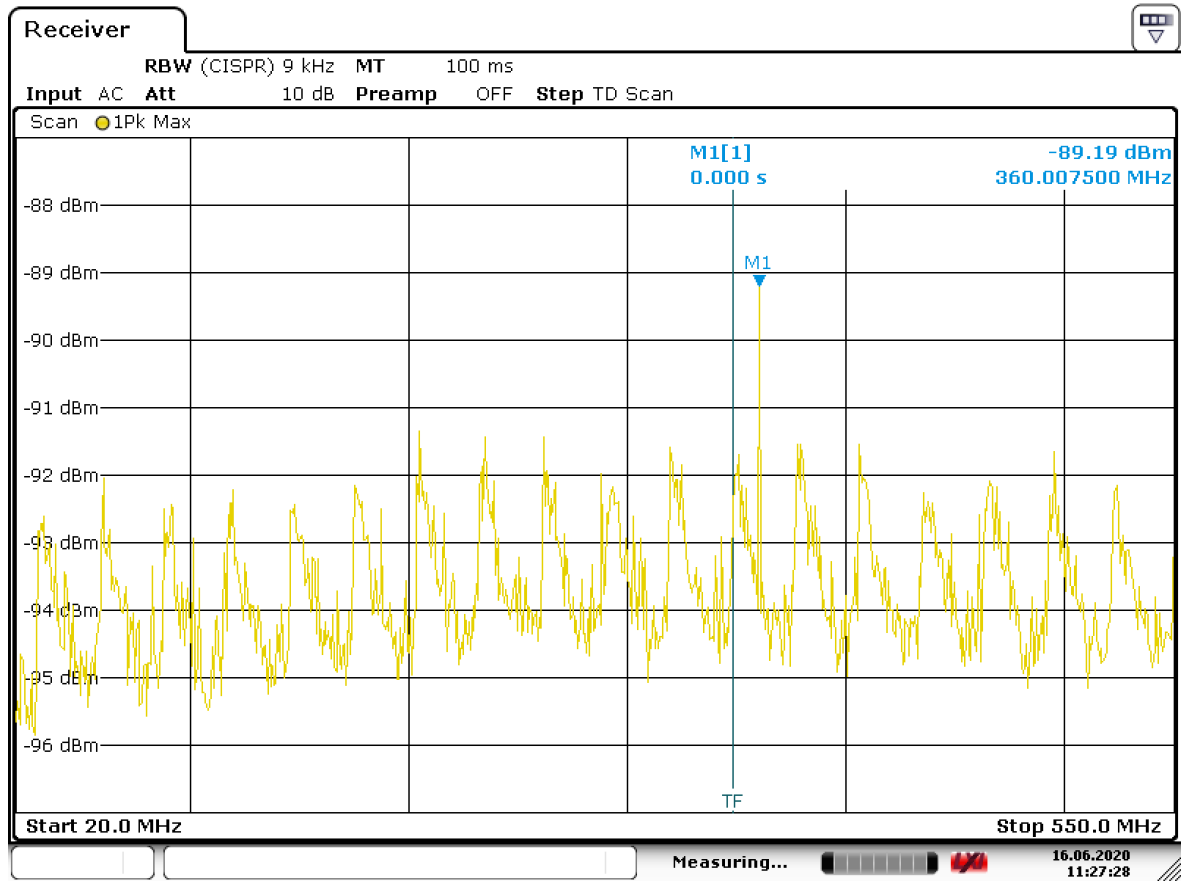
Při měření interference bylo pracoviště zapojeno dle obrázku (Obr. 46) s kamerou umístěnou uvnitř GTEM cely. Kamera byla umístěna na nevodivý materiál (pěnová výplň) a fixována pro zachování stejného místa pro každé měření. Nastavení přijímače bylo  $f_{start}=20\text{MHz}$ ,  $f_{stop}=550\text{MHz}$ , měřený čas byl 100ms, rozlišení šířky pásma 9kHz, radiofrekvenční útlum nastaven na 10dB a funkce předzesilovače vypnuta.



Date: 16.JUN.2020 11:23:36

Obr. 48 Interference kamery prvního měření

Na obrázku výše (Obr. 48) je marker 1, který je 2 dBm nad úrovní okolního prostředí a nachází se na kmitočtu 360 MHz. Pokus byl následně opakován a výsledek je vidět na obrázku (Obr. 49) Výsledek byl pro obě měření totožný, pro jistotu bylo na stránkách Českého telekomunikačního úřadu kontrolováno, zda na tomto kmitočtu není provozováno nějaké zařízení, které by mohlo vyzařovat a ovlivnit výsledek měření (Obr. 50). Po kontrole jsem došel k závěru, že se jedná o vnitřní elektroniku akční kamery Go Pro Hero 4 Black.



Date: 16.JUN.2020 11:27:29

Obr. 49 Interference kamery druhého měření

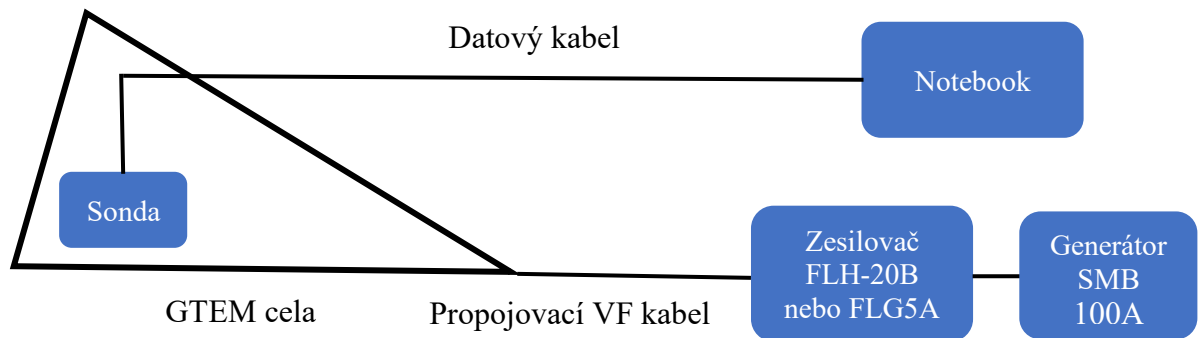
Pásmo	APLIKACE	
<a href="#">335.4 – 380 MHz</a>	Necivilní využití	Radary GPR/WPR (SRD)

Obr. 50 Využití radiového spektra od 335.4 MHz do 380 MHz



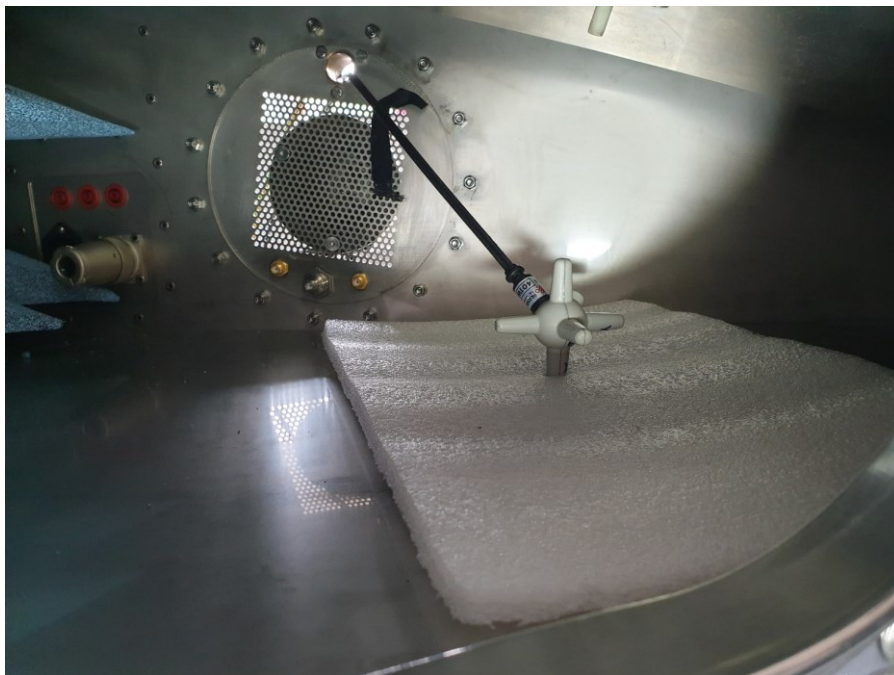
## 8.4 Postup měření susceptibility

Pro měření elektromagnetické susceptibility bylo využito zapojení zobrazeného na obrázku (Obr. 51).



Obr. 51 Blokové schéma – měření intenzity

Sondou EFS-10 byla měřena intenzita elektromagnetického pole  $T[V/m]$  uvnitř GTEM cely bez kamery či stínícího krytu (Obr. 52). Výstupní úroveň signálního generátoru byla nastavena konstantně na 6 dBm pro rozsah od 20 MHz do 2GHz s 50 MHz krokem. Naměřené hodnoty jsou zavedeny v tabulce (Tab. 3).

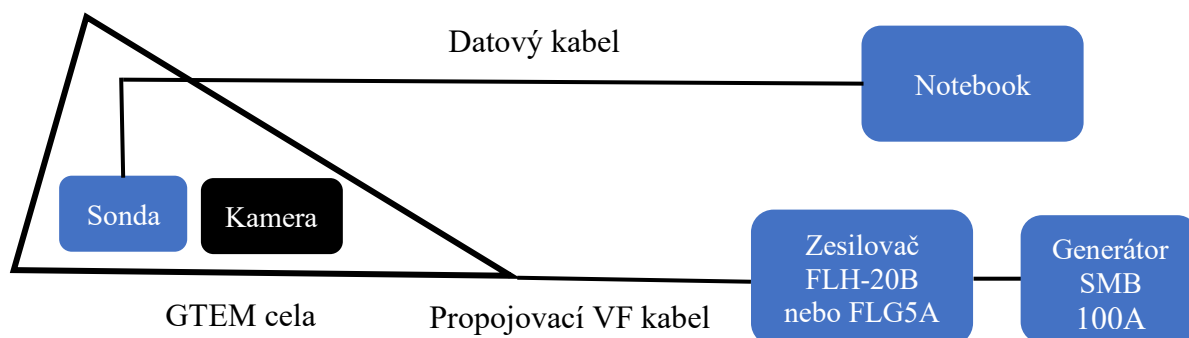


Obr. 52 Měření intenzity elektromagnetického pole uvnitř GTEM cely

Tab. 3 Intenzita elektromagnetického pole v GTEM cele dle kmitočtu

f[MHz]	T[V/m]	f[MHz]	T[V/m]	f[MHz]	T[V/m]	f[MHz]	T[V/m]	f[MHz]	T[V/m]
20	31	400	20	850	24	1300	13,6	1750	12,4
50	21	450	28,6	900	28	1350	11,1	1800	14,1
100	24	500	30,8	950	23	1400	11,5	1850	15,7
150	32	550	22,5	1000	13,5	1450	14,3	1900	10,6
200	26	600	21,8	1050	9,3	1500	16,1	1950	7,7
250	25	650	22	1100	9,9	1550	17,8	2000	4,9
300	33	700	27	1150	12,2	1600	17,4	-	-
350	21,7	750	26	1200	9,6	1650	13,7	-	-
<b>360</b>	<b>21,3</b>	800	19	1250	12,4	1700	11,8	-	-

Po tomto měření byla do GTEM cely umístěna zapnutá kamera, která je zobrazena na obrázku (Obr. 54), celé zapojení je zobrazeno na obrázku (Obr. 53). Záznam kamery byl nastaven v režimu Video + Photo. Záznam kamery byl spuštěn, ve stejný čas byly spuštěny stopky na mobilním telefonu a byl uzavřen otvor do GTEM cely s umístěným TV color testem, který je zobrazen na obrázku (Obr. 55). Změny frekvenčního výstupu z generátoru byly zaznamenány dle času na stopkách pro následné porovnání času s video záznamem.



Obr. 53 Blokové schéma – měření susceptibilitu kamery



*Obr. 54 Kamera uvnitř GTEM cely*



*Obr. 55 TV color tester zaznamenaný samotnou kamerou během rušení na kmitočtu 360 MHz*

Signální generátor byl nastaven na zvolenou počáteční kmitočet 20 MHz v kombinaci se zesilovačem FLH-20B. Frekvenční kroky byly nastaveny dle tabulky (Tab. 3) s výjimkou oblasti kolem 360 MHz, kde bylo naměřeno  $\pm 5$  MHz na každou stranu po 1 MHz. Po naměření oblasti interference kamery se pokračovalo v přeladování opět dle zmíněné

tabulky (Tab. 3) až do 2 GHz za použití dalšího samostatného zesilovače FLG-5A. Po naměření všech potřebných dat byl vypnut zesilovač a jeho signální generátor. Byl vypnut čas na stopkách a záznam kamery uvnitř GTEM cely. Následně byl porovnán kamerový záznam se záznamem časů a nastavených kmitočtů.

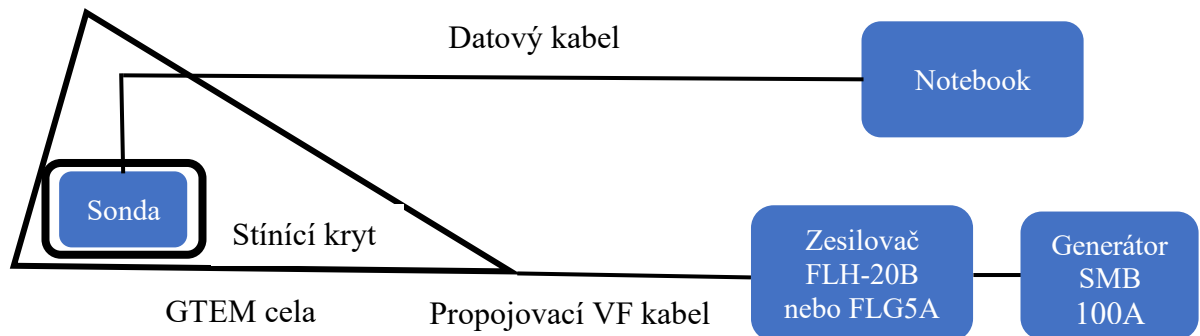
#### 8.4.1 Vyhodnocení

Bylo očekáváno projevení negativních důsledků rušení kamery v GTEM cele, a to zejména kolem kmitočtu 360 MHz. Po prohlédnutí záznamu a porovnání s časově frekvenční stopou bylo dosaženo závěru, že od 20 MHz do 2 GHz nemá elektromagnetické rušení vliv na činnost kamery a její záznam. V záznamu se neprojevoval žádný negativní vliv, jako výpadek obrazu, kostičkování, zamrznutí obrazu apod.

Z uvedených poznatků je zřejmé, že kamerou využívaný formát má kvalitní korekci a je schopen eliminovat vliv tohoto druhu elektromagnetického rušení.

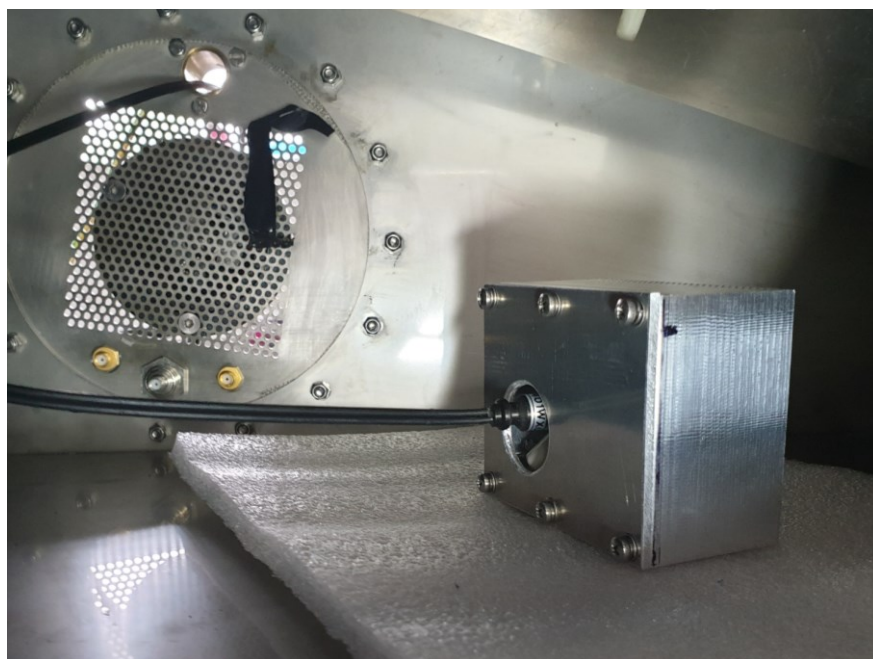
Po tomto výsledku bylo vyrobení stínícího krytu pro potřeby ochrany kamery nepotřebné, nicméně byl i tak vyroben a podroben testu.

## 8.5 Postup měření stínícího krytu



Obr. 56 Blokové schéma – měření stínícího krytu

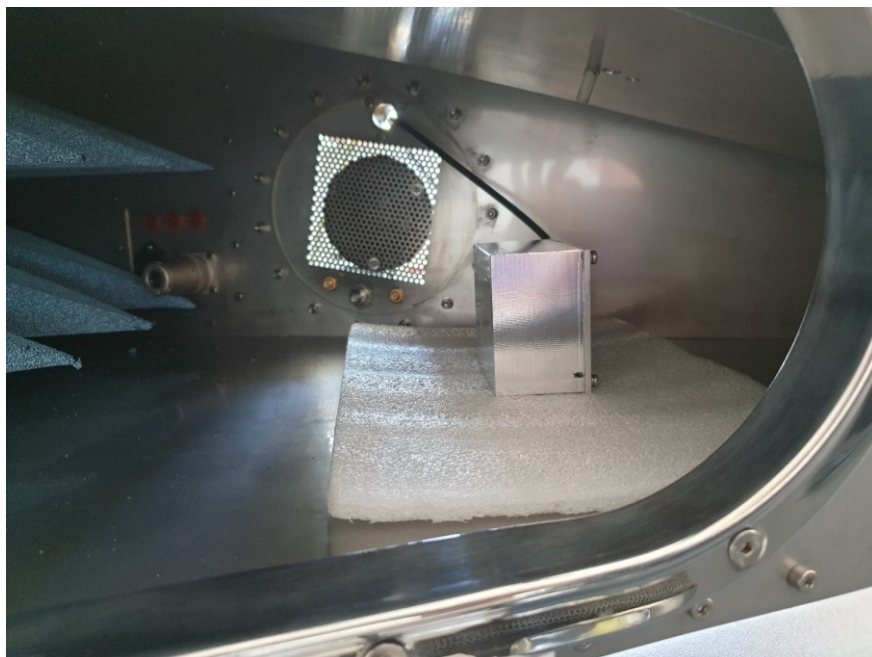
V posledním testu bylo využito naměřených hodnot z tabulky (Tab. 3), tedy intenzity elektromagnetického pole uvnitř GTEM cely. Zapojení pracoviště bylo provedeno dle obrázku (Obr. 56). Sonda byla následně uzavřena do stínícího krytu navrženého původně pro potřeby kamery. Všechny parametry zůstaly nastaveny stejně, jako u měření v bodě 8.4 a postup přeladování frekvence zůstal také stejný. Celý kryt se sondou byl následně vždy otočen o  $90^\circ$  proti výstupu ze soustavy zesilovačů tak, jak je zobrazeno na obrázcích (Obr. 57,58,59). Na obrázku (Obr. 60) je zobrazení výpisu obslužného programu uzavřené sondy o nulové intenzitě elektromagnetického pole při 1GHz ve všech třech osách.



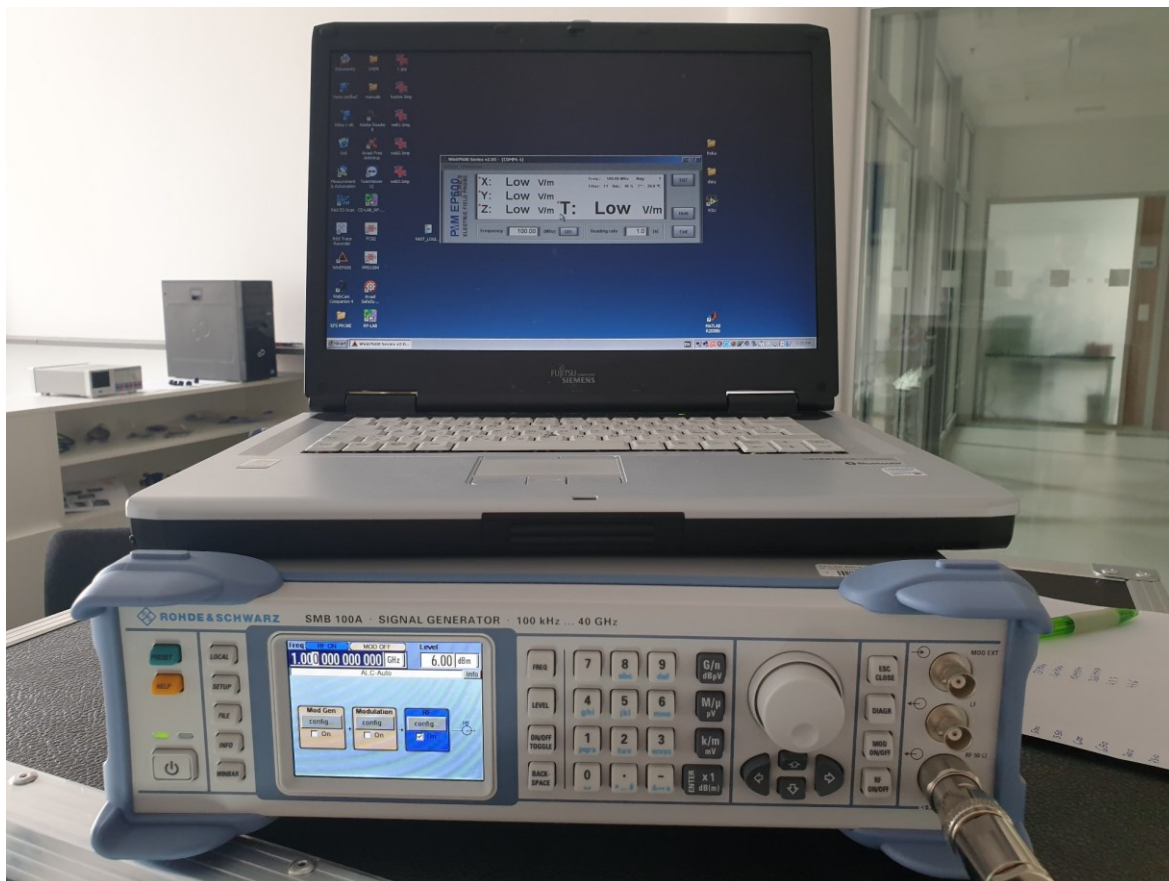
Obr. 57 Sonda uzavřena v krytu, umístěna zadní stranou vůči výstupu



*Obr. 58 Sonda uzavřena v krytu, umístěna boční stranou vůči výstupu*



*Obr. 59 Sonda uzavřena v krytu, umístěna přední stranou vůči výstupu*



*Obr. 60 Nulová intenzita elektromagnetického pole uvnitř krytu při 1GHz*

### 8.5.1 Vyhodnocení

Během celého měření byla sledována výsledná intenzita elektromagnetického pole měřeného sondou uvnitř krytu za pomoci programu WinEP600 Series v2.05. Po dobu tohoto testování nebylo naměřeno žádných hodnot v ose X, Y, Z a tedy i celkové T bylo nulové. Z hlediska odstínění vnitřního prostoru krytu se tedy dá konstatovat, že je efektivní a funguje tak, jak byl navržen.



## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo obeznámit se s problematikou EMC, a to zejména v oblasti elektromagnetické susceptibility. Tato problematika je zaměřena na testování zařízení, systémů podle standardizovaných postupů, které jsou stanoveny v příslušných harmonizovaných normách. Pro praxi jedním z nejdůležitějších testů je zkouška zařízení při působení VF elektromagnetického pole, která je předmětem normy ČSN EN 61000 4-3.

Celá oblast elektromagnetické susceptibility je celkově mladší částí EMC, a to z důvodů méně věnované pozornosti. Akademická sféra se zabývá spíše interferencí, o které existuje mnoho publikací. Ačkoliv je odolnost důležitější, není tolik předmětem zájmu z důvodu potřeb testování a praktického zkoušení. To vše také ztěžují neustále se vyvíjející možnosti a aplikace v oblasti elektroniky a neustále se rozšiřující kmitočtového pásma, ve kterém daná zařízení pracují. Nadále se rozšiřuje výkonové spektrum zařízení a rozšíření použitých druhů materiálů. Nasazení těchto zařízení v dosud neznámém prostředí atp.

Zkušebny a laboratoře obvykle nedisponují zkušebními přípravky a vhodnými testery, které jsou finančně velmi náročné.

Pro splnění cílů této práce byl vybrán vzorek video systému Go Pro Hero 4 Black, který byl podroben testování ve smyslu výše uvedené normy ČSN EN 61000 4-3. Jelikož byl od počátku předpokládán negativní vliv na tento video systém, byl navržen stínící kryt pro potřeby zvýšení odolnosti tohoto zařízení. Zařízení bylo vystaveno vyšším hodnotám elektromagnetického pole, než co by požadovala norma. Lze konstatovat, že navržený stínící kryt plně vyhověl požadavkům a cílům, které byly stanoveny pro vypracování této práce.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] PAUL, Clayton R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. ISBN 9780471755005.
- [2] DŘÍNOVSKÝ, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: přednášky*. V Brně: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2010. ISBN 978-80-214-4202-3.
- [3] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: principy a poznámky*. Brno: Vysoké učení technické, 2001. Připojujeme se k Evropské unii. ISBN 80-214-1873-7.
- [4] SENGUPTA, Dipak L. a Valdis V. LIEPA. *Applied Electromagnetics and Electromagnetic Compatibility*. New York, United States: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey., 2005. ISBN 9780471165491.
- [5] *IEEE transactions on electromagnetic compatibility*. New York: Institute of electrical and electronics engineers, 1964-. ISSN 0018-9375.
- [6] Simulation Tools for Electromagnetic Interference. *Reveal the World We Live In* [online]. Cleveland, Ohio: Clare Scott, 2020 [cit. 2020-07-20]. Dostupné z: [https://blogs.3ds.com/simulia/simulation-tools-for-electromagnetic-interference/?utm\\_source=facebook&utm\\_medium=socialnetwork&utm\\_content=Simulation-Tools&utm\\_campaign=simulia-blog&linkId=80213889](https://blogs.3ds.com/simulia/simulation-tools-for-electromagnetic-interference/?utm_source=facebook&utm_medium=socialnetwork&utm_content=Simulation-Tools&utm_campaign=simulia-blog&linkId=80213889)
- [7] Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus. *Elektro.tzb-info.cz* [online]. Ing. Ivo Novák, MBA, 2011 [cit. 2020-07-20]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/13319-ucinky-elektromagnetickeho-pole-na-lidsky-organismus>
- [8] Měření elektromagnetické stínící účinnosti planárních materiálů v pásmu 100 kHz až 1,5 GHz. *Access server* [online]. České vysoké učení technické v Praze, FEL: L. Vojtěch, J. Hájek, 2010 [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <http://access.fel.cvut.cz/view.php?nazevclanku=mereni-elektromagneticke-stinici-ucinnosti-planarnich-materialu-v-pasmu-100-khz-az-15-ghz&cisloclanku=2010030006>
- [9] Vliv otvorů a technologických netěsností na celkovou účinnost stínění. *ELUC* [online]. [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1029>
- [10] Kably a vodiče. *ELEKTROTECHNICKÉ MATERIÁLY 1* [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/353/08.html>
- [11] Understanding Coaxial Cable Terms, Specifications and Applications. *Coaxicom* [online]. 2015 [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <https://coaxicom.com/understanding-coaxial-cable-terms-specifications-and-applications/>
- [12] EMC v technické praxi II: Rušivé signály, jejich zdroje a šíření. *AUTOMA* [online]. Karel Künzel, Jaroslav Žáček, 2006, **2006**(03) [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/emc-v-technicke-praxi-ii-rusive-signaly-jejich-zdroje-a-sireni-2006\\_03\\_30991\\_751/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/emc-v-technicke-praxi-ii-rusive-signaly-jejich-zdroje-a-sireni-2006_03_30991_751/)

- [13] Electromagnetic shielding test. *Roxtec* [online]. [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <https://www.roxtec.com/in/the-roxtec-way/certified-protection/electromagnetic-shielding-test/>
- [14] Zajímavost - Speciální vývodky pro kvalitní připojení stínění kabelu. *Automatizace.hw.cz* [online]. Antonín Vojáček, 2009 [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/zajimavost-specialni-vyvodky-pro-kvalitni-pripojeni-stineni-kabelu>
- [15] Nebud'te obětí elektrického rušení a EMI. *Control Engineering Česko* [online]. Jeb Moulton, 2016 [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <http://www.controlengcesko.com/hlavni-menu/artikuly/artikul/article/nebudte-obeti-elektrickeho-ruseni-a-emi/>
- [16] EMI/RFI SHIELDING PRODUCTS. *Tech-Etch* [online]. 2018 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.tech-etch.com/shield/>
- [17] How to Reduce Galvanic Corrosion Using Conductive Filler Systems. *Parker* [online]. Sealing & Shielding Team, 2019 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <http://blog.parker.com/how-to-reduce-galvanic-corrosion-using-conductive-filler-systems>
- [18] EMI Catalog. *LairdTech* [online]. [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <http://assets.lairdtech.com/home/brandworld/files/EMI-CAT-Essentials%201213.pdf>
- [19] GoPro Hero4 Black specs. *Cnet* [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/products/gopro-hero4-black/specs/>
- [20] History and evolution of action cameras. *Pevly* [online]. Zach, 2015 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://pevly.com/action-camera-history/>
- [21] NASA Astronaut Forgets GoPro SD Card on Spacewalk, Internet Has a Field Day. *Science Alert* [online]. SIGNE DEAN, 2018 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.sciencealert.com/nasa-spacewalk-iss-forgot-gopro-sd-card-livestream>
- [22] Senzorika pro vizualizaci technologické scény. *Technická Univerzita v Liberci Fakulta Strojní* [online]. 2019: Vlastimil Hotař, 2019 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/ksr/podklady/ARS-8.Kamery-3.pdf>
- [23] Robust Error Detection Methods for H.264/AVC Videos. *Universitat Politècnica de Catalunya - EPSC Technical University of Vienna - INTHFT Institute of Communications and Radio-Frequency Engineering* [online]. Vienna: Eva Rodriguez Rodriguez, 2008 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6134/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [24] ČSN EN 61000-4-3 ed. 3: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-3: Zkušební a měřicí technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A	Absorpční útlum
CCD	Charged Coupled Device
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques; <i>Mezinárodní výbor pro radiovou interferenci v rámci IEC</i>
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
ČSN	Česká technická norma
dB	Decibel
dBm	Decibel milliwatt
$E_i$	Intenzita elektrického pole dopadajícího na stínící přepážku
EMC	Electromagnetic Compatibility; <i>Elektromagnetická kompatibilita</i>
EMI	Electromagnetic Interference; <i>Elektromagnetická interference</i>
EMP	Electromagnetic Pulse; <i>Elektromagnetický impulz</i>
EMS	Electromagnetic Susceptibility; <i>Elektromagnetická susceptibilita</i>
$E_t$	Intenzita elektrického pole
GHz	GigaHertz
GTEM	Gigahertz Transverse Electromagnetic (Cell); <i>Speciální typ elektromagnetické komory</i>
H.264	typ formátu kódování videa
$H_i$	Intenzita magnetického pole dopadajícího na stínící přepážku
$H_t$	Intenzita magnetického pole
Hz	Hertz
IACS	International Annealed Copper Standard;
IEC	International Electrotechnical Commission; <i>Mezinárodní elektrotechnická komise</i>
ISO	International Organization for Standardization; <i>Mezinárodní organizace pro normalizaci</i>

JPEG	Typ ztrátové komprese pro ukládání obrázků
kHz	KiloHertz
K <sub>s</sub>	Koeficient stínění
kV/m	Kilovolt na metr
LC	Odrušovací filtr složený z cívky a kondenzátoru
M	Útlum vlivem několikanásobného odrazu
MHz	MegaHertz
MIL-STD	Military Standarts; vojenské normy
mm	Milimetr
ms	Milisekunda
NATO	North Atlantic Treaty Organization; <i>Severoatlantická aliance</i>
MPEG-4	Metoda definující kompresi a uložení zvukových a obrazových dat
R	Útlum odrazem
RC	Odrušovací filtr složený z rezistoru a kondenzátoru
RF	Radio Frequency
SE	Shielding Effectivness; <i>efektivnost (účinnost) stínění</i>
TC	Technical Committee; <i>technická komise IEC</i>
USA	United States of America; <i>Spojené státy americké</i>
V/m	Volt na metr
WHO	World Health Organization; <i>Světová zdravotnická organizace</i>
Z <sub>0</sub>	Impedance vzduchu
Z <sub>m</sub>	Impedance kovu
δ	Hloubka vniknutí elektromagnetického pole do kovového materiálu
Ω	Ohm
μ	Micro

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Řetězec dělení EMC [3].....</i>	16
<i>Obr. 2 Schéma dělení EMC [3] .....</i>	18
<i>Obr. 3 Příklad simulace EMI DPS [6].....</i>	18
<i>Obr. 4 Charakteristika úrovní a mezi pro odolnost a vyzařování [2].....</i>	20
<i>Obr. 5 Optimalizace peněžních nákladů pro zajištění EMC zařízení [2] .....</i>	22
<i>Obr. 6 Rozdělení zdrojů interference [2] .....</i>	23
<i>Obr. 7 Galvanická vazba [2] .....</i>	27
<i>Obr. 8 Kapacitní vazba [2].....</i>	28
<i>Obr. 9 Induktivní vazba [2] .....</i>	29
<i>Obr. 10 Vazba vyzařováním [2].....</i>	29
<i>Obr. 11 Doporučené kapacity v závislosti na kmitočtu [2] .....</i>	31
<i>Obr. 12 Znázornění chování vln při dopadu na překážku [8] .....</i>	33
<i>Obr. 13 Kmitočtový průběh jednotlivých složek účinnosti stínění měděné desky o tloušťce <math>t = 1\text{mm}</math> [2].....</i>	35
<i>Obr. 14 Účinnost útlumu měděné destičky[2] .....</i>	36
<i>Obr. 15 Hodnocení účinnosti stínění [9].....</i>	36
<i>Obr. 16 Zásady konstrukce elektromagnetických stíněných krytů. Vlevo špatná konstrukce; vpravo zlepšená konstrukce [2] .....</i>	37
<i>Obr. 17 Struktura koaxiálního kabelu [10] .....</i>	38
<i>Obr. 18 Stínící efektivita v závislosti na použitém stínění [11] .....</i>	38
<i>Obr. 19 Typy propustových struktur pro koaxiální kabely [13].....</i>	39
<i>Obr. 20 Nežádoucí štěrby při spojování stínícího krytu „na tupo“ (a) a návrhy pro zlepšení stínění překrytem (b,c) [3] .....</i>	40
<i>Obr. 21 Příklad řešení elektromagnetického těsnění pomocí vodivých elastomerů (a) a nožových kontaktů (b) [3].....</i>	41
<i>Obr. 22 Různé typy stínících prostředků pro EMC [16] .....</i>	41
<i>Obr. 23 Anodický index jednotlivých materiálů [18].....</i>	42
<i>Obr. 24 Kompatibilita kovů dle prostředí, tmavě modrá agresivní prostředí, světle modrá normální prostředí a šedá kancelářské prostředí [18] .....</i>	43
<i>Obr. 25 Příklad napěťové sondy [3] .....</i>	44
<i>Obr. 26 Konstrukce proudové sondy [3] .....</i>	45
<i>Obr. 27 Konstrukce absorpčních kleští [3] .....</i>	45
<i>Obr. 28 Měřicí antény pro systémy EMI [3] .....</i>	46
<i>Obr. 29 Příklad širokopásmové antény typu „BiLog“ [3].....</i>	47
<i>Obr. 30 Příklad GTEM cely Frankonia .....</i>	47

<i>Obr. 31</i> GTEM cela boční řez [3].....	48
<i>Obr. 32</i> Konstrukce GTEM cely [3].....	49
<i>Obr. 33</i> Outdoorová kamera typu Go Pro HERO 4 [19].....	50
<i>Obr. 34</i> Obecný drátový model stínícího krytu.....	55
<i>Obr. 35</i> Vlastnosti použitého materiálu.....	55
<i>Obr. 36</i> Drátový model stínícího krytu včetně kótování a detailu drážky.....	56
<i>Obr. 37</i> Drátový model s pohledem na vnější rozměry krytu.....	56
<i>Obr. 38</i> Stínící elastomer od firmy Lairdtech.....	57
<i>Obr. 39</i> Stínící elastomer usazený v drážce krytu.....	57
<i>Obr. 40</i> ESRP EMI Test Receiver od firmy Rohde&Schwarz.....	58
<i>Obr. 41</i> Sonda EFS-10 s propojovacím kabelem.....	58
<i>Obr. 42</i> Obslužný program WinEP600 Series v2.05.....	59
<i>Obr. 43</i> Signální generátor SMB 100A od firmy Rohde&Schwarz.....	59
<i>Obr. 44</i> Systém zesilovačů od firmy Frankonia.....	60
<i>Obr. 45</i> Blokové schéma – měření prostředí GTEM cely.....	61
<i>Obr. 46</i> Blokové schéma – měření interference kamery.....	61
<i>Obr. 47</i> Měření interference akční kamery.....	62
<i>Obr. 48</i> Interference kamery prvního měření.....	63
<i>Obr. 49</i> Interference kamery druhého měření.....	64
<i>Obr. 50</i> Využití radiového spektra od 335.4 MHz do 380 MHz.....	64
<i>Obr. 51</i> Blokové schéma – měření intenzity.....	65
<i>Obr. 52</i> Měření intenzity elektromagnetického pole uvnitř GTEM cely.....	65
<i>Obr. 53</i> Blokové schéma – měření susceptibility kamery.....	66
<i>Obr. 54</i> Kamera uvnitř GTEM cely.....	67
<i>Obr. 55</i> TV color tester zaznamenaný samotnou kamerou během rušení na kmitočtu 360 MHz.....	67
<i>Obr. 56</i> Blokové schéma – měření stínícího krytu.....	69
<i>Obr. 57</i> Sonda uzavřena v krytu, umístěna zadní stranou vůči výstupu.....	69
<i>Obr. 58</i> Sonda uzavřena v krytu, umístěna boční stranou vůči výstupu.....	70
<i>Obr. 59</i> Sonda uzavřena v krytu, umístěna přední stranou vůči výstupu.....	70
<i>Obr. 60</i> Nulová intenzita elektromagnetického pole uvnitř krytu při 1GHz.....	71

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Seznam měřících antén pro EMI [3] .....</i>	46
<i>Tab. 2 Parametry kamery [19] .....</i>	51
<i>Tab. 3 Intenzita elektromagnetického pole v GTEM cele dle kmitočtu.....</i>	66





