

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Testování EMC v automobilové technice**



## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá problematikou elektromagnetické kompatibility zaměřenou především na oblast automobilové techniky. Práce zahrnuje základní popis metod testování a certifikace elektromagnetické kompatibility a popisuje hlavní rozdíly mezi oblastí automobilové techniky a běžných elektrických či elektronických zařízení. Součástí je demonstrativní měření rušivých signálů na vedení pomocí umělé sítě některých elektrických komponent vozidla.

## **Klíčová slova**

Elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetický rušivý signál, testy celého vozidla, testy komponent vozidla, EMC normy

**Abstract**

The bachelor thesis deals with the electromagnetic compatibility focused primarily on automotive technology. The thesis includes basic description of the testing methods and certification of electromagnetic compatibility and describes the main differences between the areas of automotive technology and conventional electrical or electronic devices. Part of the bachelor thesis is focused on measurement of conductive emissions using artificial network of several vehicle components.

**Key words**

Electromagnetic compatibility, electromagnetic interference signal, whole vehicle testing, electronic sub-assembly testing, EMC norms

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 9.6.2014

Vojtěch Skřivan

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Skálovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>OBSAH.....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>ÚVOD.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>SEZNAM ZKRATEK.....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1 DEFINICE ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY.....</b>                    | <b>3</b>  |
| 1.1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA A JEJÍ VÝZNAM.....                    | 3         |
| 1.2 ČLENĚNÍ EMC .....   | 4         |
| 1.2.1 EMC biologických systémů.....                                       | 4         |
| 1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů a zařízení..... | 5         |
| 1.3 ZÁKLADNÍ ČLENĚNÍ PROBLEMATIKY EMC .....                               | 6         |
| 1.3.1 Elektromagnetická interference EMI.....                             | 6         |
| 1.3.2 Elektromagnetická susceptibilita EMS.....                           | 7         |
| 1.4 ZÁKLADNÍ POJMY EMC .....  | 7         |
| 1.5 EMC V AUTOMOBILOVÉ TECHNICE .....                                     | 8         |
| <b>2 MĚŘENÍ A TESTOVÁNÍ EMC.....</b>                                      | <b>10</b> |
| 2.1 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ .....   | 10        |
| 2.1.1 Šíření rušivých signálů.....  | 10        |
| 2.1.2 Rozdělení umělých rušivých signálů.....                             | 11        |
| 2.2 METODY MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ .....                                  | 12        |
| 2.2.1 Měření s umělou sítí (Artificial Mains Network).....                | 12        |
| 2.2.2 Měření napětovou sondou .....                                       | 13        |
| 2.2.3 Měření proudovou sondou.....  | 13        |
| 2.2.4 Měření absorpčními kleštěmi.....                                    | 14        |
| 2.2.5 Měření pomocí antén.....  | 15        |
| 2.3 TESTOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI.....                            | 16        |
| 2.3.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti .....                          | 17        |
| 2.3.2 Zkušební signály pro zkoušky EMS.....                               | 18        |
| 2.3.3 Testy elektromagnetické odolnosti .....                             | 18        |
| <b>3 EMC NORMY.....</b>   | <b>22</b> |
| 3.1 DRUHY NOREM EMC.....  | 22        |
| 3.2 PŘEHLED NOREM EMC .....   | 22        |
| 3.3 EMC NORMY PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL .....                              | 27        |
| <b>4 ZÁKLADNÍ ODLIŠNOSTI EMC V AUTOMOBILOVÉ TECHNICE.....</b>             | <b>29</b> |
| 4.1 ODLIŠNOSTI EVROPSKÉ CERTIFIKACE A ZPŮSOBU JEJÍHO DOSAŽENÍ.....        | 29        |
| 4.1.1 e- značka.....  | 30        |
| 4.2 ODLIŠNOSTI TESTŮ EMC V AUTOMOBILOVÉ TECHNICE .....                    | 31        |
| 4.2.1 Testy rušivého vyzařování.....                                      | 31        |
| 4.2.2 Testy rušivých signálů na vedení.....                               | 32        |
| 4.2.3 Testy elektromagnetické odolnosti vozidel a jejich komponent .....  | 32        |
| 4.2.4 Testy odolnosti vůči elektromagnetickým polím.....                  | 33        |
| 4.2.5 Testy odolnosti vůči elektrickým transientům .....                  | 34        |
| 4.2.6 Testy odolnosti vůči elektrostatickým výbojům .....                 | 34        |
| <b>5 MĚŘENÍ RUŠENÍ PO VEDENÍ.....</b>                                     | <b>35</b> |
| 5.1 POŽADAVKY SMĚRNICE CISPR 25.....                                      | 35        |
| 5.2 VLASTNÍ MĚŘENÍ.....   | 37        |
| <b>6 ZÁVĚR.....</b>   | <b>40</b> |
| <b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>   | <b>41</b> |

## Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku elektromagnetické kompatibility představující poměrně nový vědecký obor, jehož význam neustále vzrůstá s rozšiřujícím se množstvím elektrických či elektronických zařízení a systémů v našem okolí. Elektromagnetická kompatibilita zaručuje správné fungování zařízení nebo systému i v prostředí, ve kterém působí další zdroje elektromagnetického rušení, a zároveň svou vlastní činností nesmí toto zařízení či systém nepřipustně ovlivňovat okolí. Problematiku elektromagnetické kompatibility lze tedy rozdělit na dvě hlavní oblasti – elektromagnetické vyzařování a elektromagnetickou odolnost.

Okolní prostředí je plné signálů, které více či méně ovlivňují jak další elektrická či elektrotechnická zařízení, tak i živé organismy včetně lidstva samotného. K posouzení elektromagnetické kompatibility zařízení či systému bylo tedy sestaveno množství norem definující způsob a podmínky testování včetně přípustných mezí, zaručujících elektromagnetickou odolnost a přiměřené elektromagnetické vyzařování.

Bakalářská práce se dále zaměřuje na problematiku elektromagnetické kompatibility v automobilové technice. Vzhledem ke vzrůstajícímu množství elektrických či elektronických prvků vozidel je pravděpodobnost vzájemného rušení a ovlivňování vysoká. Význam elektromagnetické kompatibility v automobilové technice podtrhuje i skutečnost, že selhání některého z elektrických či elektronických prvků by mohlo vést k havárii vozidla a k ohrožení lidských životů. Tuto problematiku komplikuje i skutečnost, že je vozidlo mobilní a je tedy nutné zaručit jeho správné fungování ve všech možných prostředích a situacích, do kterých se může dostat.



## Seznam zkratek

|          |   |
|----------|---|
| EMC..... | Elektromagnetická kompatibilita                           |
| EMI..... | Elektromagnetická interference                            |
| EMS..... | Elektromagnetická susceptibilita                          |
| WV.....  | Vozidlo jako celek (Whole Vehicle)                        |
| ESA..... | Komponenty a subsystémy vozidla (Electronic Sub-Assembly) |
| ESD..... | Elektrostatický výboj                                     |

# 1 Definice elektromagnetické kompatibility

## 1.1 Elektromagnetická kompatibilita a její význam

Elektromagnetická kompatibilita je definována jako schopnost zařízení či systému vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetického záření, a zároveň vlastní činností elektromagneticky nepřipustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat rušivé signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení.

Elektromagnetická kompatibilita se začala vyvíjet jako samostatné vědecké odvětví až v šedesátých letech 20. století v USA a poměrně dlouhou dobou byla předmětem zájmu jen úzkého okruhu odborníků. Větší pozornost si elektromagnetická kompatibilita vyžádala v důsledku množství havárií a nehod způsobených nedodržením jejích požadavků. Události s často katastrofálními následky pouze podtrhují význam elektromagnetické kompatibility a možné riziko hospodářských škod, havárií a ohrožení lidského života a zdraví.

### 1967 - Požár na letadlové lodi USS Forrestal

Vlivem radarového signálu došlo k samovolnému spuštění zbraní letadla na palubě lodi. Nehoda si vyžádala 134 lidských životů.



Obr. 1.1.1 Požár na letadlové lodi USS Forrestal [8]

**1982 - Potopení britského křižníku Sheffield ve falklandské válce argentinským letadlem**

Příčinou bylo nedodržení elektromagnetické kompatibility mezi komunikačním zařízením lodi a jejím rádiovým obranným systémem, určeným k rušení navigace nepřátelských raket. Tento systém musel být v důsledku silného rušení při vlastní rádiové komunikaci křižníku vypnán. Právě v momentě vypnutí systému odpálilo argentinské letadlo raketu Exocet. Celkem dvacet lidí přišlo o život.

**1983 - Havárie v hutích na jihovýchodě USA**

Došlo k předčasnému převržení pánve s tekutou ocelí v důsledku rušení mikroprocesorového signálu zařízení jeřábu vysokofrekvenční vysílačkou.

**1984 - Zřícení stíhacího letounu NATO**

Příčinou havárie bylo elektromagnetické rušení řídicího systému letadla elektromagnetickým vlněním.

Význam elektromagnetické kompatibility začal prudce vzrůstat se zvyšujícím se množstvím elektrotechniky a jejím pronikáním do každodenního života. Zvláštní důraz je kladen na oblast automobilové elektrotechniky, jejíž selhání by mohlo vést k havárii vozidla a ohrožení lidských životů. [1] [2]

**1.2 Členění EMC**

Celkově lze problematiku elektromagnetické kompatibility rozdělit na dvě hlavní oblasti:

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

**1.2.1 EMC biologických systémů**

Toto odvětví se zabývá celkovým elektromagnetickým pozadím životního prostředí a zkoumá vliv užitečných a rušivých elektromagnetických signálů na živé organismy. Navzdory závažnosti této oblasti a jejím možném dopadu na lidstvo a jeho okolí, jsou výsledky v této oblasti nejednoznačné. Biologické účinky elektromagnetického pole jsou totiž ovlivněny charakterem elektromagnetického pole a skutečností, že každý člověk reaguje na působení

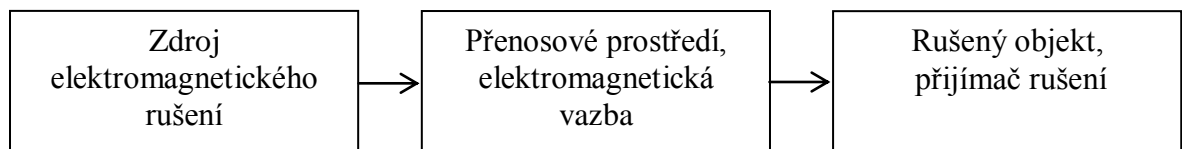
elektromagnetického pole jinak, na základě rozdílných adaptačních, kompenzačních a regeneračních schopností.

Mezi nejvíce objasněné vlivy elektromagnetického pole patří tepelné účinky vysokofrekvenčních a mikrovlnných polí a netepelné účinky při déle trvající expozici elektromagnetického pole s relativně nízkou výkonovou úrovní. U vysokofrekvenčních a mikrovlnných polí dochází k ohřevu tkání vystavených vysokým úrovním elektromagnetického pole. Netepelné genetické či karcinogenní účinky nejsou zatím jednoznačně prokázány. Byly však popsány vlivy na centrální, srdečně cévní a imunitní systém.

Vzhledem k náročnosti posuzování biologických účinků elektromagnetického pole se příslušné hygienické normy ve světě velmi liší. V České republice se touto problematikou zabývá vyhláška č. 480/2000 Sb. s účinností od 1. 1. 2001, která stanovuje požadavky pro práci a pobyt osob v elektromagnetickém poli v kmitočtovém rozsahu 0 – 300 GHz. [1]

### 1.2.2 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů a zařízení

Tato oblast se zabývá vzájemnou koexistencí technických prostředků. Při zkoumání elektromagnetické kompatibility se využívá tzv. základního řetězce EMC.



Obr 1.2.2.1 základní řetězec EMC

#### 1. Zdroj elektromagnetického rušení

Zahrnuje zkoumání vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity u přírodních i umělých zdrojů rušení.

#### 2. Elektromagnetické přenosové prostředí, elektromagnetická vazba

Řeší způsob a cestu, kterou se rušení dostává do pozorovaného objektu.

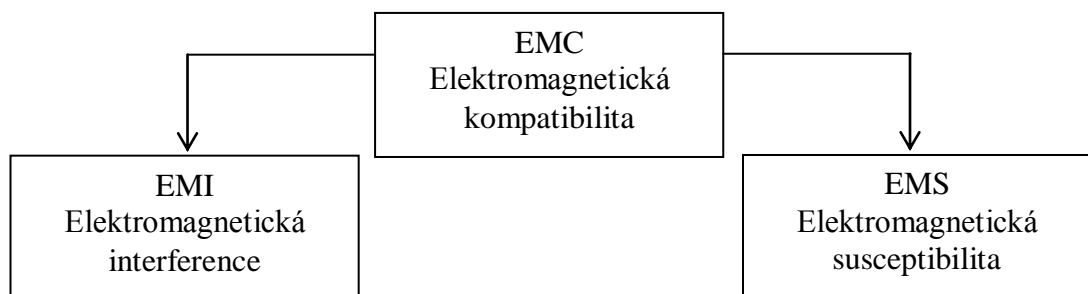
### 3. Rušený objekt, přijímač rušení

Zabývá se podrobnou specifikací rušivých signálů a vyvozováním elektromagnetické odolnosti.

Základní řetězec EMC je pouze modelem. Ve skutečnosti jsou souvislosti mezi jednotlivými částmi řetězce mnohem složitější, vzhledem k tomu, že každý systém nebo jeho část může být jak vysílačem, tak přijímačem elektromagnetického rušení. V reálných aplikacích se rovněž nikdy nejedná o působení jediného zdroje rušení a jediného rušeného objektu, ale několika systémů vzájemně se všestranně ovlivňujících. [1] [11]

#### 1.3 Základní členění problematiky EMC

Problematiku elektromagnetické kompatibility lze rozdělit na dvě hlavní oblasti dle následujícího schématu.



Obr 1.3.1 členění problematiky EMC

##### 1.3.1 Elektromagnetická interference EMI

Elektromagnetická interference je proces, při kterém se zdrojem generovaný rušivý signál, přenáší pomocí elektromagnetické vazby do rušených systémů. Řeší tedy především otázku příčin rušení a jejich odstraňování. Zabývá se identifikací zdrojů rušení, popisem měřených rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest.

Měření elektromagnetické interference představuje především měření rušivých signálů a jejich identifikaci. Zahrnuje řadu metod a postupů pro kvantitativní hodnocení vybraných parametrů především na rozhraní zdrojů a přijímačů rušení. [1]

### 1.3.2 Elektromagnetická susceptibilita EMS

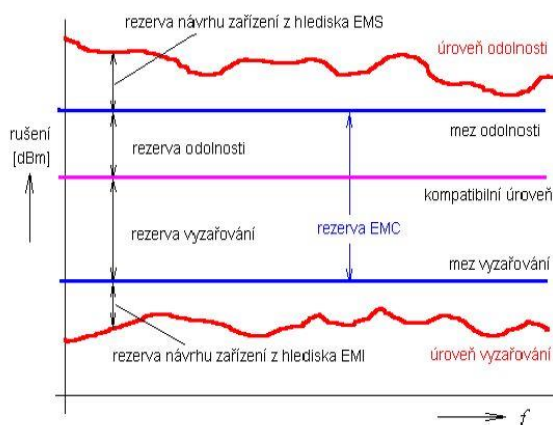
Elektromagnetická susceptibilita, tj. odolnost vůči rušení, vyjadřuje schopnost zařízení či systému pracovat bez poruch s přesně definovaným přípustným vlivem prostředí. Řeší tedy především otázku důsledků rušení a jejich odstraňování. Testování elektromagnetické odolnosti se provádí pomocí tzv. simulátorů rušení v průběhu vývoje i na hotových výrobcích.

Vzhledem k rozsáhlosti problematiky EMC jsou obě oblasti spojeny s řadou norem a předpisů, jež stanovují maximální meze a přípustné hodnoty rušivých signálů pro daný typ zařízení. V rámci Evropské unie vstoupila 1. 1. 1996 v platnost přísně sledovaná a sankciovaná direktiva č. 89/336/ECC zabývající se obecnými požadavky EMC pro uvedení stroje či zařízení na trh. Při nesplnění požadavků z této direktivy vyplývajících je prodej, vystavení i reklama zařízení zakázána a finančně sankciována. [1]

### 1.4 Základní pojmy EMC

Základní pojmy EMC jsou definovány v Mezinárodním technickém slovníku ČSN IEC 50 v kapitole 161 Elektromagnetická kompatibilita.

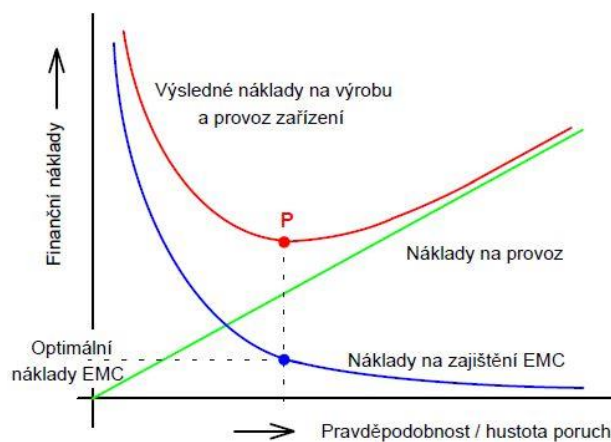
**Úroveň vyzařování** odpovídá rušení generovanému samotným konkrétním spotřebičem nebo zařízením. **Mez vyzařování** je maximální přípustná (normou povolená) úroveň vyzařování daného zařízení. **Úroveň odolnosti** odpovídá maximální úrovni rušení působící na dané zařízení. **Mez odolnosti** je nejnižší normou požadovaná úroveň odolnosti zařízení. **Kompatibilní úroveň** odpovídá maximální předepsané úrovni celkového rušení, o němž se předpokládá, že bude ovlivňovat přístroje či zařízení provozované v určitých podmínkách.



Obr. 1.4.1 Definice úrovní a mezí vyzařování [1]

Rozdíly mezi kompatibilní úrovní a mezi vyzařování a odolnosti určují rezervu (rozpětí) vyzařování a rezervu (rozpětí) odolnosti).

Rozdíl mezi mezi odolnosti a mezi vyzařování tvoří tzv. **rezervu (rozpětí) EMC**. S rostoucí rezervou EMC rostou náklady na odrušování, stínění apod. a tím roste i cena zařízení. S klesající rezervou EMC se zvyšuje riziko, že hotové zařízení nevyhoví zkouškám EMC a bude nutné jeho dodatečné odrušení. Obr. 1.4.2 zobrazuje průběh finančních nákladů na výrobu a provoz technického zařízení v závislosti na pravděpodobnosti či hustotě jeho poruch. [1]



Obr 1.4.2 Optimalizace finančních nákladů pro zajištění EMC zařízení [1]

## 1.5 EMC v automobilové technice

Postup certifikace elektromagnetické kompatibility v automobilové technice se významně liší od certifikace elektromagnetické kompatibility v komerční praxi. Odlišnosti vycházejí z několika skutečností. Protože je vozidlo mobilní, musí správně a bez poruchy fungovat ve všech možných prostředích a situacích, do kterých se může dostat. Nároky na elektromagnetickou kompatibilitu v automobilové technice jsou zvýšené i na základě skutečnosti, že selhání některého z elektronických prvků může mít vážné následky a vést i k havárii vozidla a ohrožení lidských životů.

Na konci dvacátého století dochází k velkému nárůstu počtu elektrických a elektronických systémů v automobilech, vlacích, lodích a dalších dopravních prostředcích. Elektronika se stává součástí nejen pohonného, ovládacího a řídicího systému, ale i navigačních,

informačních, bezpečnostních a zábavních prvků. V roce 2010 tvoří více než 30% ceny automobilu elektronické vybavení. Elektrické a elektronické komponenty pracují v kmitočtovém rozsahu od nuly do desítek GHz s výkonovými úrovněmi od jednotek mW do desítek W. Délka elektrické kabeláže moderního automobilu přesahuje 2500 metrů s celkovou vahou větší než 40 kg a počet elektrických kontaktů dosahuje několika tisíc.



*Obr. 1.5.1 Porsche 918 Spyder, poháněné kromě spalovacího motoru dvěma elektromotory, představující vozidlo s velkým množstvím nemodernějších elektrických a elektronických systémů [9]*

Vzhledem k takovému množství elektrických a elektronických systémů je pravděpodobnost vzájemného a vnějšího elektromagnetického ovlivňování velmi vysoká a důležitost problematiky elektromagnetické kompatibility tím narůstá. Při testování elektromagnetické kompatibility vozidla se testuje jak vozidlo jako celek, včetně nutných pevně zabudovaných elektrických, ovládacích příp. řídicích komponent, tak zvlášť jednotlivé komponenty určené pro volitelné zabudování do vozidla. [2] [6]



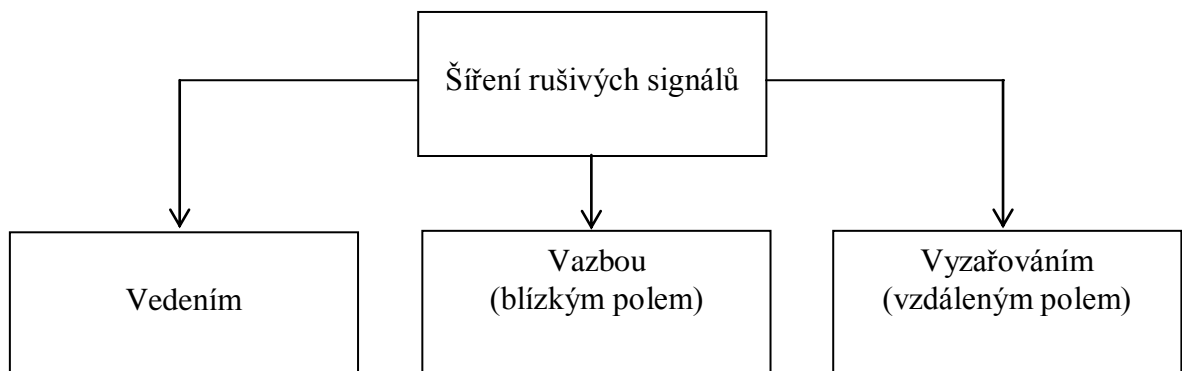
## 2 Měření a testování EMC

### 2.1 Měření rušivých signálů

Měření rušivých signálů představuje jednu ze základních částí problematiky elektromagnetické kompatibility. Všechna měření a testy, jejich metody, postupy, podmínky a použité měřicí přístroje jsou závazně předepsány a specifikovány příslušnými normami tak, aby byly jejich výsledky reprodukovatelné a vzájemně porovnatelné. Měření rušivých signálů značně komplikuje skutečnost, že samotné měřicí zařízení je současně zdrojem a přijímačem rušivých signálů. [1]

#### 2.1.1 Šíření rušivých signálů

Šíření rušivých signálů lze rozdělit do tří hlavních skupin dle následujícího schématu:



Obr 2.1.1.1 způsoby šíření rušivých signálů

##### 1. Přenos vedením

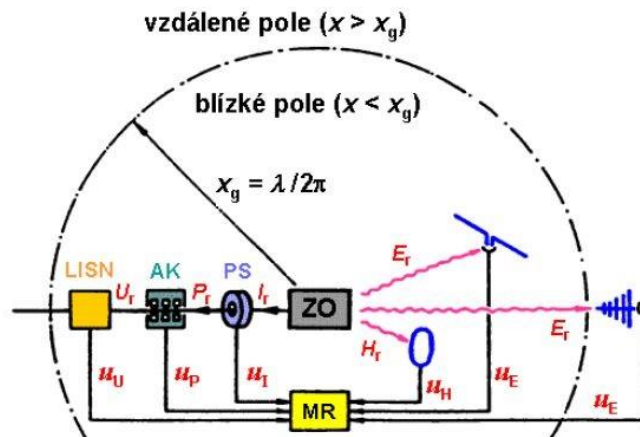
Měřenými veličinami charakterizujícími elektromagnetické rušení jsou rušivé napětí  $U_r$ , rušivý proud  $I_r$  příp. rušivý výkon  $P_r$ .

##### 2. Přenos elektrickou či magnetickou vazbou

Parazitní vazba je charakterizována intenzitou elektrického pole  $E_r$  příp. intenzitou magnetického pole  $H_r$ .

##### 3. Přenos vyzařováním

Uplatňuje se především mezi vzdálenými objekty na vyšších kmitočtech. Charakteristickými veličinami jsou intenzita elektrického pole  $E_r$  a intenzita magnetického pole  $H_r$ .



Obr. 2.1.1 Přehled způsobů měření rušivých elektromagnetických signálů [1]

Měřená veličina ( $U_r$ ,  $I_r$ ,  $P_r$ ,  $E_r$ ,  $H_r$ ) je snímána pomocí vhodného snímače (LISN – umělá zátěž vedení, AK – akumulární kleště, PS – proudová sonda, měřící anténa), který převede rušivý signál na napětí a to je následně přivedeno do MR (měřič rušení). Důležitým předpokladem správnosti výsledku je to, aby měřící zařízení reagovalo pouze na rušivé signály pocházející ze zkoušeného objektu (ZO). [1]

## 2.1.2 Rozdělení umělých rušivých signálů

### Šum

Jedná se o signály ovlivňující především tvar užitečného signálu. Obvykle má šum periodický charakter.

### Impulsy

Jde o rušivé signály impulzního charakteru s vysokým poměrem velikosti impulzů a doby jejich trvání. Příčinou jsou zejména spínací pochody.

### Přechodné jevy

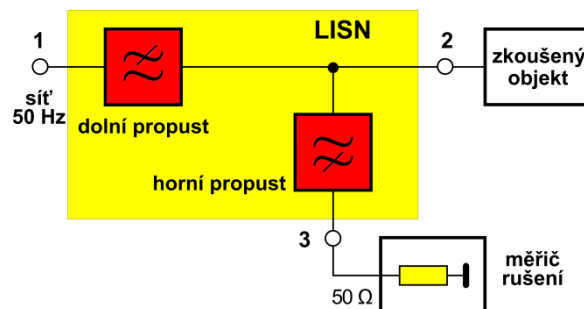
Jde o náhodné jednorázové rušivé signály trvající od několika milisekund po několik sekund. Příčinou je například náhlá změna zatížení sítě.

Z hlediska šířky kmitočtového pásma lze rušivé signály rozdělit na úzkopásmové rušení, odpovídající rozhlasovým signálům, a širokopásmové rušení, které je charakteristické pro průmyslové rušivé signály. [1]

## 2.2 Metody měření rušivých signálů

### 2.2.1 Měření s umělou sítí (Artificial Mains Network)

Měření umělou sítí, tj. umělá zátěž vedení LISN (Line Stabilizing Network), se využívá k měření rušivých signálů vznikajících v zařízení, které je napájené z rozvodné elektrické sítě a jehož rušivé signály vystupují právě tímto napájecím vedením.



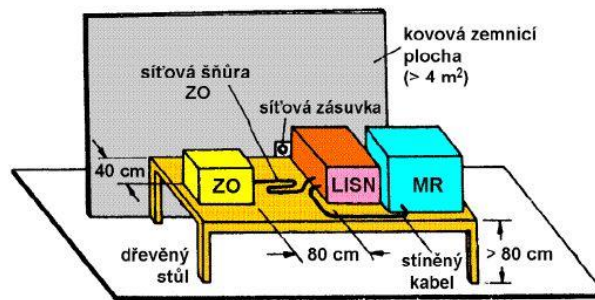
Obr. 2.2.1.1 Blokové schéma umělé sítě LISN [1]

Umělá síť LISN zajišťuje tři základní funkce:

1. Zajišťuje připojení měřicího zařízení k proměřovanému objektu pro celý rozsah měřených kmitočtů – funkce horní propusti.
2. Zajišťuje, že se na vstup měřicího zařízení dostanou pouze rušivé signály zkoušeného objektu, nikoli vnější napájecí sítě – funkce dolní propusti.
3. Zajišťuje impedanční přizpůsobení k výstupním svorkám měřiče rušení a definovanou hodnotu impedance na výstupních síťových svorkách.

Impedance na výstupních svorkách simuluje impedanci napájecí sítě v daném pásmu kmitočtů. Vzhledem ke složitosti jejího definování je tato impedance předepsaná normou. Často používaným prvkem umělé sítě LISN je tzv. standardní umělý operátor (umělá ruka).

Jedná se o obvod simulující vliv lidské ruky na zařízení při měření obvodu s umělou sítí. Obvod umělé ruky je tvořen sériovým spojením kondenzátoru 220 pF a odporu 510  $\Omega$ . Pro bezchybné a reprodukovatelné měření s umělou sítí LISN v kmitočtovém pásmu 10kHz až 30 kHz je nutné správné uspořádání měřicího pracoviště na základě mezinárodní normy CISPR 16. [1]



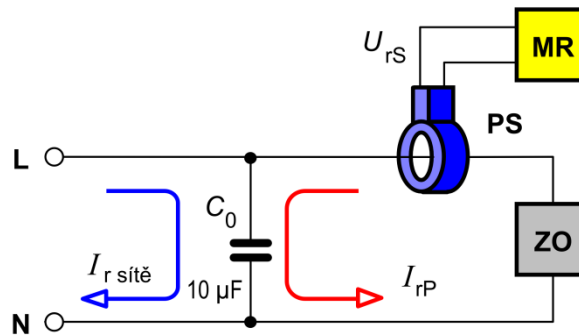
Obr. 2.2.1.2 Uspořádání pracoviště pro měření rušivého napětí na síťových svorkách zkoušeného objektu [1]

## 2.2.2 Měření napěťovou sondou

Napěťová sonda se používá k měření rušivých napětí na jiných místech než na napájecích svorkách a v místech, kde nelze použít měření s umělou sítí LISN. Využívá se především k diagnostickým měřením a k měření vysoko-impedančních obvodů, které by umělá síť svou vlastní impedancí nepřipustně zatěžovala. Napěťovou sondu tvoří kapacitně vázaný dělič napětí. [1]

## 2.2.3 Měření proudovou sondou

Proudová sonda slouží k měření rušivého proudu protékajícího vodičem bez jeho přerušení. Měřený vodič představuje jedno-závitové primární vinutí transformátoru. Sekundární vinutí tvoří vlastní proudová sonda – rozevratelný toroid. Po uzavření toroidu kolem měřeného vodiče je rušivý proud  $I_{rs}$  převeden na výstupu sekundárního vinutí na napětí  $U_{rs}$ .



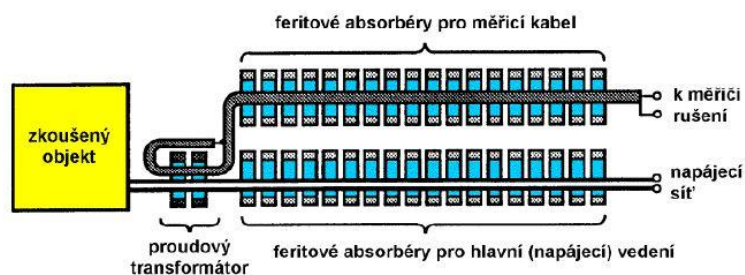
Obr. 2.2.3.1 Měření rušivého proudu pomocí proudové sondy [1]

Paralelně ke zkoušenému objektu ZO je připojen zkratovací kondenzátor  $C_0$ , který uzavírá vysokofrekvenční cestu a zamezuje průniku rušivých signálů z napájecí sítě.

Pro měření vysokofrekvenčních rušivých proudů protékajících po kovovém povrchu např. karoserií se využívají tzv. sondy povrchových proudů. Primární vinutí tvoří vlastní testovací povrch a sekundární vinutí tvoří sonda ve tvaru ploché cívky. Během měření se sonda postupně posouvá po povrchu měřené plochy ve směru kolmém k měřeným povrchovým proudovým čarám. V jednotlivých polohách se zaznamenávají dílčí proudy, jejichž součtem je následně dán celkový povrchový proud. [1]

## 2.2.4 Měření absorpčními kleštěmi

Absorpční kleště se používají k měření rušivého signálu vyzařovaného prostřednictvím přípojných kabelů a vedení v kmitočtovém pásmu od 30 do 1000 MHz. Absorpční kleště jsou tvořeny kombinací vysokofrekvenční proudové sondy (proudového transformátoru) a feritového absorbéru (přizpůsobené zátěže). Celkem je tvoří 60 feritových kroužků rozmístěných kolem měřeného kabelu a současně kolem měřícího kabelu. Feritové kroužky kolem měřeného kabelu plní funkci širokopásmového absorbéru výkonu rušivého signálu a zároveň slouží jako stabilizátor vysokofrekvenční impedance. Feritové kroužky rozmístěné kolem měřícího kabelu omezují nežádoucí vysokofrekvenční proud tekoucí po jeho povrchu do měřiče rušení.



Obr. 2.2.4.1 Konstrukce absorpčních kleští [1]

Hlavní výhodou při měření absorpčními kleštěmi je vysoká přesnost měření, snadná reprodukovatelnost výsledků a možnost plné automatizace měření. [1]

## 2.2.5 Měření pomocí antén

Měření pomocí antén se používá pro měření rušivých signálů vyzařovaných do okolního prostředí v kmitočtovém rozsahu od 10 KHz do 40000 MHz.

Tab. 2.2.5.1 Druhy antén a jejich použití [1]

| Druh antény                    | Rozsah kmitočtů [MHz] | Měřená složka |
|--------------------------------|-----------------------|---------------|
| Rámová (smyčková) anténa       | 0,009 - 30            | H             |
| Prutová anténa (monopól)       | 0,009 - 30            | E             |
| Symetrické (laděné) dipóly     | 30 - 1000             | E             |
| Bikónická anténa               | 20 - 300              | E             |
| Logaritmicko-periodická anténa | 200 - 3000            | E             |
| Kónicko-logaritmická anténa    | 200 - 3000            | E             |
| Složená širokopásmová anténa   | 30 - 2000             | E             |
| Trychtýřové antény             | 1000 - 40000          | E, H          |

V nejnižším kmitočtovém pásmu 9 kHz až 150 kHz je podstatně větší část rušivých jevů způsobována magnetickou složkou pole. K měření magnetického pole na těchto kmitočtech se využívají rámové a feritové antény. V pásmu 150 kHz až 30 MHz se pro měření rušivého magnetického pole používají stejné typy antén, zatímco pro měření rušivého elektrického pole se v tomto pásmu využívá prutové (tyčové) antény. Použití těchto antén je ale značně nepřesné při měření v blízkém poli rušivého zdroje, a tak se pro taková měření využívá symetrická dvojpólová anténa.

V kmitočtové oblasti 30 – 80 MHz se obvykle využívá symetrický půlvlnný dvojpól nastavený na délku odpovídající rezonančnímu kmitočtu. Ve vyšších pásmech se tento dvojpól používá jako přesná nebo kalibrační anténa. Její nevýhodou je poměrně náročné nastavení. Dipól musí být přizpůsoben pomocí přizpůsobovacího obvodu připojeného na vstup měřiče rušení prostřednictvím symetrizačního obvodu. Délka ramen dipólu musí být navíc nastavena na příslušný měřicí kmitočet.

Pro měření rušivých signálů v pásmu od desítek MHz do 2000 MHz se používají různé druhy širokopásmových antén: bikónické antény, logarimicko-periodické antény, kónicko-logaritmické antény, nebo složené širokopásmové antény, které představují kombinaci předchozích typů. V kmitočtovém pásmu od 30 do 300 MHz se nejčastěji využívá bikónické antény, která je určitým druhem širokého zkráceného dipólu. Nejpoužívanější anténou pro měření signálů v pásmu od 200 MHz až do 3000 MHz se stala logaritmicko-periodická anténa. Anténu tvoří řada vhodně fázově napájených rezonančních unipólů, jejichž délky a vzájemné vzdálenosti jsou pro sousední prvky v pevném poměru daném podílem logaritmů jejich rezonančních kmitočtů. Vzhledem k této konstrukci je tvar vyzařovacího diagramu a hodnota vstupní impedance konstantní ve většině pracovního pásma.

V oblasti GHz kmitočtů je možné využít kónicko-logaritmickou anténu, která je určena pro příjem kruhově polarizovaného elektromagnetického signálu. Pro EMC testy podle technických norem IEC či CISPR je ale nevhodná, neboť ty předepisují lineární polarizaci vyšetřovaného signálu. V této kmitočtové oblasti se tak obvykle využívají pyramidální kovové vlnovody tzv. trychtýřové antény. Nevýhodou těchto antén je poměrně malá šířka kmitočtového pásma. [1]

### 2.3 Testování elektromagnetické odolnosti

Elektromagnetická odolnost či susceptibilita EMS představuje druhou ze základních částí problematiky EMC. Vzhledem k tomu, že není nikdy možné odstranit všechny zdroje elektromagnetického rušení, je potřeba, aby dané zařízení dokázalo pracovat i za jejich přítomnosti. Z hlediska celkové elektromagnetické odolnosti se rozlišuje tzv. interní elektromagnetická odolnost – odolnost systému vůči rušivým zdrojům nacházejícím se uvnitř daného systému, a externí elektromagnetická odolnost – odolnost systému vůči vnějším zdrojům elektromagnetického rušení.

Problematika EMS rozlišuje tři druhy systémů:

1. Rozlehlé (distribuované systémy)
2. Lokální místní systémy
3. Systémy přístrojového typu

U všech těchto systémů je zkoumána vnitřní i vnější elektromagnetická odolnost. Vzhledem k tomu, že je prakticky nemožné nasimulovat všechny možné zdroje elektromagnetického rušení, uvažují se při testech EMS zdroje, které jsou nejpravděpodobnější a nejnebezpečnější pro chod daného zařízení. [1]

### 2.3.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti

K posouzení elektromagnetické odolnosti je potřeba definovat meze narušení jeho funkcí. Obecně lze tyto meze definovat kvalitativně nebo kvantitativně. Kvantitativní mez elektromagnetické odolnosti je stanovena jako dosažení určité hodnoty sledované veličiny. Využívá se hlavně ve vývojové fázi elektrického zařízení při zjišťování velikosti a tvaru rušivých signálů. Kvalitativní mez elektromagnetické odolnosti je stanovena posouzením změny provozního stavu či ovlivnění funkčnosti daného zařízení. Přípustné poruchy definuje norma ČSN EN 50082 rozlišující tři základní kritéria:

**Funkční kritérium A** – Zařízení musí během zkoušky pokračovat ve své činnosti dle svého určení. Není dovoleno žádné zhoršení činnosti zařízení či ztráta jeho funkce. [1]

**Funkční kritérium B** – Zařízení musí po skončení zkoušky pokračovat ve své činnosti dle svého určení. Během zkoušky je dovoleno zhoršení činnosti zařízení, není však dovolena změna aktuálního provozního stavu zařízení ani změna dat v paměti. Po skončení zkoušky není dovoleno žádné zhoršení činnosti zařízení ani ztráta jeho funkce. [1]

**Funkční kritérium C** – Je povolena dočasná ztráta funkce zařízení za předpokladu, že se tato funkce po skončení zkoušky odolnosti obnoví sama nebo může být obnovena činností řídicího systému či zásahem operátora dle specifikace v návodu k použití daného zařízení. [1]



### 2.3.2 Zkušební signály pro zkoušky EMS

Posuzování elektromagnetické odolnosti zařízení spočívá v jeho vložení do vhodného elektromagnetického prostředí. Nejvhodnějším řešením by bylo posuzovat elektromagnetickou odolnost v prostředí, kde bude dané zařízení pracovat. Elektromagnetické prostředí je ale časově náhodně proměnné a nelze v něm tedy zajistit reprodukovatelnost naměřených výsledků. Z toho důvodu byly pro zkoušky elektromagnetické kompatibility definovány zkušební signály simulující skutečné rušivé signály působící v reálném prostředí.

Zkušební signály jsou generovány pomocí generátoru zkušebních rušivých signálů, které lze realizovat ze čtyř základních průběhů.

1. úzkopásmový periodický zkušební signál
2. širokopásmový periodický zkušební signál
3. úzkopásmový neperiodický zkušební signál
4. širokopásmový neperiodický zkušební signál

Na základě volby kvantitativních parametrů uvedených čtyř signálů lze vytvořit prakticky libovolný zkušební signál pro testování elektromagnetické odolnosti. Metody testování mohou být přímé, kde generovaný zkušební signál napodobuje skutečný zdroj elektromagnetického rušení, nebo nepřímé, při nichž se zkušebním signálem napodobují rušivá napětí či proudy vyvolané primárním rušivým signálem ve zkoušeném zařízení. [1]

### 2.3.3 Testy elektromagnetické odolnosti

#### Zkoušky odolnosti vůči rušivým vlivům v energetické síti

Jde o zkoušky využívající signálů simulující poruchy v napájecí energetické síti. Jednou z hlavních částí je zkouška harmonickými složkami základního kmitočtu 50 Hz. Zkouška umožňuje posouzení elektromagnetické odolnosti vůči harmonickému nízkofrekvenčnímu rušení z napájecí sítě a rozvodny. Zkušební signál je tvořen kombinací několika spojitých harmonických průběhů superponovaných na síťové napětí 50 Hz. Mezi další zkoušky patří testy elektromagnetické odolnosti vůči krátkodobým poklesům či přerušení. Krátkodobé poklesy odpovídají náhodným snížením napájecího napětí přesahující 10% až 15% jeho nominální velikosti po dobu trvání 0,5 až 50 period základního kmitočtu 50 Hz. Krátká

přerušení odpovídají krátkodobým poklesům o 100% napájecího napětí. Do této skupiny se řadí také zkouška rázovým impulzem napětí/proudu 100/1300  $\mu$ s ověřující odolnost přístroje či systému vůči jevům vznikajícím v napájecí síti okamžitým přerušením proudu. Tyto přechodové jevy mají poměrně malou velikost, ale dlouhou dobu trvání, během které může dojít vlivem velkého množství energie k poškození zařízení. [1]

### **Zkoušky odolnosti vůči vysokoenergetickým širokopásmovým impulzům**

Jde o zkoušky elektromagnetické odolnosti zabývající se rázovými impulsy s vysokou energií vznikajícími v atmosféře (blesk), při spínacích pochodech či poruchách v energetické vysokonapěťové síti apod. Kmitočtové spektrum těchto impulzů sahá až do oblasti 1 MHz a vysokým energetickým obsahem mohou způsobit škody i bez galvanické vazby pouze prostřednictvím elektromagnetické indukce. Tyto rázové impulzy se projevují různě v závislosti na impedanci zdroje a impedanci zkoušeného zařízení. V případě, že je vstupní impedance na napájecích svorkách v porovnání s impedancí zkoušeného zařízení velká, vytváří se na svorkách zkoušeného zařízení impulz proudu. V případě, že je vstupní impedance na napájecích svorkách malá, vytváří se na svorkách zkoušeného zařízení impulz napětí. [1]

### **Zkoušky odolnosti vůči nízkoenergetickým širokopásmovým impulzům**

Nízkoenergetické širokopásmové impulzy obvykle vznikají vlivem indukčnosti při spínacích pochodech v napájecích, signálových či datových sítích, vlivem odskakování kontaktů elektromechanických relé, případně při spínání vysokonapěťových vypínačů. Tyto impulzy obvykle nezpůsobí přímé poškození elektronického zařízení, ale svým širokým spektrálním rozsahem až do 200 MHz vytváří zdroj vysokofrekvenčního elektromagnetického rušení. Jsou charakteristické velmi nízkou náběžnou hranou, krátkou dobou trvání a poměrně malou celkovou energií. K simulaci tohoto rušení byl zvolen zkušební signál skládající se z rychlých elektrických přechodových jevů seskupených do přesně definovaných skupin impulzů. Takto generované impulzy patří k nejnebezpečnějším rušením v oblasti číslicových zařízení. Uspořádání zkušebního pracoviště a celkový průběh zkoušky jsou podrobně specifikovány směrnici ČSN EN 61000-4-4. [1]

### **Zkoušky odolnosti vůči tlumeným oscilačním vlnám**

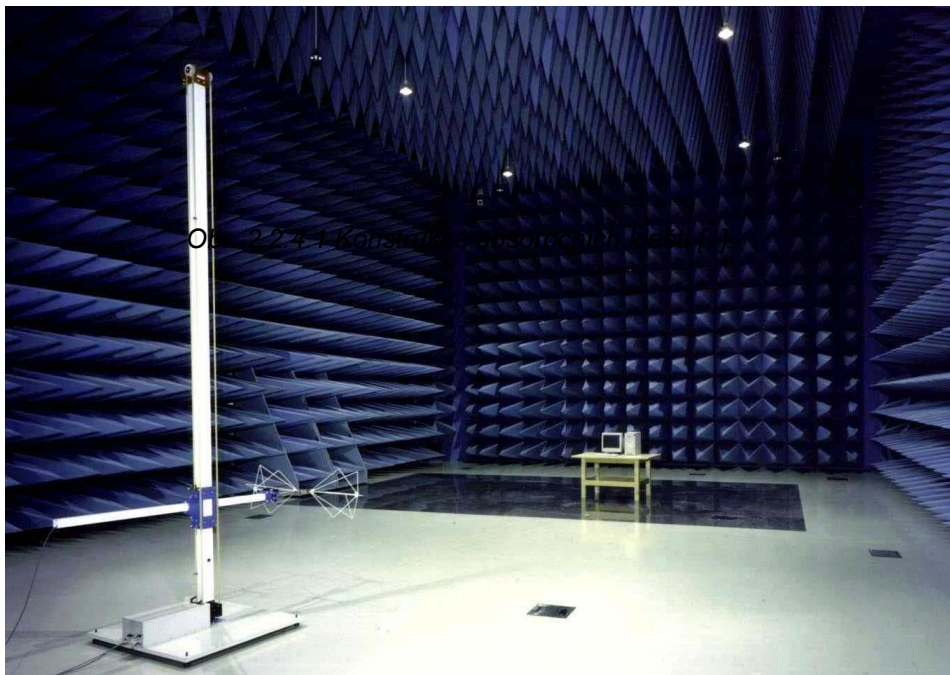
Zkoušky slouží k testování elektromagnetické odolnosti vůči přechodným oscilacím indukovaným v nízkonapěťových energetických sítích. Zdrojem těchto poruch jsou obvykle spínací a komutační obvody, případně obdobné poruchy v sítích vysokého a velmi vysokého napětí, které se v nízkonapěťových rozvodech projevují tlumenými oscilacemi v kmitočtovém rozsahu od 30 kHz do 2 MHz. Zkušební napětí tvoří exponenciálně tlumené kmity definované normou ČSN EN 61000-4-12. [1]

### **Zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým výbojům**

Zkoušky se zabývají elektrostatickými výboji ESD představující nebezpečné rušivé signály charakteristické vysokou hodnotou napětí elektrostatického impulzu a velkou šířkou rušeného spektra. Přesto, že je energie elektrostatického výboje poměrně malá, postačuje na poškození či narušení mikroelektrických polovodičových struktur o vysoké hustotě. Výboje vznikají především dotykem daného zařízení s obsluhou či jiným povrchem na jehož povrchu je naakumulován elektrostatický náboj, nebo přenosem elektromagnetickou indukci. Zkoušky odolnosti vůči elektrostatickým nábojům se provádí pomocí simulátoru ESD připojeného ke zdroji vysokého napětí a dalším kabelem k uzemňovací desce. Hlavní částí simulátoru ESD je akumulační kondenzátor, který se nabíjí ze zdroje stejnosměrného napětí. Mezi zkoušky se řadí zkouška přímým vybitím vzduchového výboje, která spočívá v přiblížení hrotu simulátoru ESD ke zkoušenému objektu, až v průrazné mezeře mezi hrotem a objektem klesne pod hodnotu napětí nabitého akumulačního kondenzátoru a dojde k jeho vybití přeskokem jiskry do daného objektu. Po doteku se zkoušeným zařízením se simulátor ESD od objektu oddálí a proces se nejméně desetkrát opakuje. Nevýhodou zkoušky je malá reprodukovatelnost výsledků z důvodu závislosti na vnějších vlivech. Z toho důvodu je často využívána zkouška kontaktním výbojem. Při tomto výboji se hrot simulátoru ESD přiloží na zkoušený objekt a sepnutím kontaktu se připojí vysoké napětí nabitého kondenzátoru. Skutečné rušivé elektrostatické náboje mohou však vyvolat změnu funkce či poruchu elektronického zařízení i případně, že zasáhnou blízký kovový předmět. K testování takových nábojů se využívá zkouška nepřímým výbojem, kde se simulátor ESD vybijí kontaktním výbojem do kovové desky v blízkosti zkoušeného objektu. [1]

### Zkoušky odolnosti vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím

Jde o rušivá elektromagnetická pole vznikající u sítí pozemních i družicových rozhlasových a TV vysílačů a mobilních radiokomunikačních služeb. Vzhledem k tomu, že tyto systémy není možné vypnout, je jedinou možností zvyšování elektromagnetické odolnosti vůči vysokofrekvenčním polím, s nimiž tyto systémy pracují. Kmitočtový rozsah zkušebních signálů pro tento typ zkoušek je velmi široký. Harmonická elektromagnetická pole nižších kmitočtů se přivádějí do zkoušeného obvodu pomocí vazebních obvodů příp. jsou injektována do přívodních kabelů pomocí kapacitních kleští. Základním principem zkoušek odolnosti vůči vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím je ozařování zkoušeného objektu příslušnými úrovněmi pole pomocí vhodných antén. Měření obvykle probíhá ve stíněných absorpčních prostorech, čímž se odstraní vliv vnějších polí na zkoušený objekt a ochrání se obsluhující personál a blízká elektronická měřící zařízení před vlivem vysokofrekvenčního signálu. [1]



Obr. 2.2.4.1 Bezodrazová komora [10]

## 3 EMC normy

### 3.1 Druhy norem EMC

V oblasti EMC rozlišujeme tři druhy norem:

#### 1. Základní normy (Basic Standards)

Řeší základní definici problému EMC a stanovují základní všeobecné podmínky a pravidla pro metody testování EMC. Nedefinují ale konkrétní limity rušení ani odolnosti.

#### 2. Všeobecné normy (Generic Standards)

Stanovují minimální požadavky a testovací metody pro zařízení pracující v daném prostředí. Požadavky určené těmito normami jsou základem pro hodnocení kvality zařízení. Všeobecné normy se při popisu testovacích metod a zkušebního uspořádání odkazují na normy základní.

#### 3. Normy výrobků (Product Standards)

Normy výrobků zahrnují požadavky EMC pro příslušný typ zařízení.

### 3.2 Přehled norem EMC

Tab. 3.2.1 Všeobecné elektrotechnické normy [3]

| Označení normy | Název normy  |
|----------------|--|
| EN 50160       | Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě. |

Tab. 3.2.2 Všeobecné normy EMC – elektromagnetické prostředí [3]

| Označení normy | Název normy   |
|----------------|---|
| IEC 50         | Mezinárodní elektrotechnický slovník.<br>Kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita.   |
| IEC 1000-1-1   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 1: Všeobecné informace.<br>Oddíl 1: Použití a interpretace základních definic a pojmů. |
| EN 50081-1     | EMC. Všeobecné normy týkající se vyzařování.<br>Část 1: Obytné prostory, obchodní prostory a prostory lehkého průmyslu.               |
| EN 50081-2     | Část 2: Průmyslové prostředí.   |
| EN 50082-1     | EMC. Všeobecné normy týkající se odolnosti.<br>Část 1: Obytné prostory, obchodní prostory a prostory lehkého průmyslu.                |
| EN 50082-2     | Část 2: Průmyslové prostředí.   |

Tab. 3.2.3 EMC – nízkofrekvenční rušení [3]

| Označení normy | Název normy   |
|----------------|---|
| IEC 1000-2-1   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 2: Prostředí.<br>Oddíl 1: Elektromagnetické prostředí pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích.          |
| IEC 1000-2-2   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 2: Prostředí.<br>Oddíl 1: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí.   |
| IEC 1000-2-3   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 2: Prostředí.<br>Oddíl 3: Popis prostředí vyzařovaných jevů a jevů šířených vedením nevztahujících se k síťovému kmitočtu.                         |
| IEC 1000-2-4   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 2: Prostředí.<br>Oddíl 4: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením v průmyslových závodech.                                   |
| IEC 1000-2-6   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 2: Prostředí.<br>Oddíl 6: Určování úrovně emise nízkofrekvenčních rušení šířených vedením v síťovém napájení průmyslových závodů.                  |
| IEC 1000-2-12  | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 2: Prostředí.<br>Oddíl 12: Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích vysokého napětí. |
| EN 61000-3-2   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 3: Meze.<br>Oddíl 2: Meze pro emise harmonického proudu spotřebičů, které mají vstupní fázový proud $\leq 16$ A.                                   |
| EN 61000-3-3   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 3: Meze.<br>Oddíl 3: Omezování kolísání napětí a blikání v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem $\leq 16$ A.        |
| EN 61000-3-4   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 3: Meze.<br>Oddíl 4: Meze pro emise harmonického proudu spotřebičů, které mají vstupní fázový proud $\geq 16$ A.                                   |
| EN 61000-3-5   | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 3: Meze.<br>Oddíl 5: Omezování kolísání napětí a blikání v rozvodných sítích nízkého napětí pro zařízení se jmenovitým proudem $\geq 16$ A.        |

|              |  |
|--------------|--|
| EN 61000-3-6 | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 3: Meze.<br>Oddíl 6: Odhad emisních limitů harmonického proudu v soustavách VN. |
| EN 61000-3-7 | Elektromagnetická kompatibilita (EMC).<br>Část 3: Meze.<br>Oddíl 7: Odhad emisních limitů pro kolísání zátěže v soustavách VN. |

Tab. 3.2.4 EMC – vysokofrekvenční rušení [3]

| Označení normy | Název normy   |
|----------------|---|
| EN 55011       | Meze a metody řešení charakteristik elektromagnetického rušení od průmyslových, vědeckých a lékařských vysokofrekvenčních zařízení.   |
| EN 55013       | Meze a metody řešení charakteristik rádiového rušení způsobeného rozhlasovými a televizními přijímači a přidruženými zařízeními.  |
| EN 55014       | Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného zařízením s elektrickým pohonem, tepelným zařízením pro domácnost a podobné účely, elektrickým náradím a podobnými elektrickými přístroji. |
| EN 55015       | Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného elektrickými svídky a podobným zařízením.  |
| EN 55022       | Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobených zařízeními informační techniky.  |
| EN 55102-1     | Požadavky na EMC pro koncové ISDN.<br>Část 1: Požadavky na vyzařování.  |
| CISPR 12       | Meze a metody měření charakteristik vf rušení motorovými vozidly, motorovými čluny a zařízeními poháněnými zážehovými motory.   |
| CISPR 18-1     | Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení VN.<br>Část 1: Popis jevů.   |
| CISPR 18-2     | Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení VN.<br>Část 2: Metody měření pro určení limit.   |
| CISPR 18-3     | Charakteristiky rušení od venkovních vedení a zařízení VN.<br>Část 3: Praktické způsoby omezení vzniku vysokofrekvenčního šumu.   |
| CISPR 23       | Stanovení mezních hodnot pro průmyslové, vědecké a lékařské přístroje.  |

Tab. 3.2.5 EMC – odolnost vůči rušení [3]

| Označení normy | Název normy  |
|----------------|--|
| EN 61000-4     | Elektromagnetická kompatibilita (EMC)<br>Část 4: Zkušební a měřicí techniky.   |
| EN 61000-4-1   | Oddíl 1: Přehled zkoušek odolnosti. Základní norma EMC.  |
| EN 61000-4-2   | Oddíl 2: Elektrostatický výboj - zkouška odolnosti.  |
| EN 61000-4-3   | Oddíl 3: Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - zkouška odolnosti.   |
| EN 61000-4-4   | Oddíl 4: Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny impulzů - zkouška odolnosti.  |
| EN 61000-4-5   | Oddíl 5: Rázový impulz - zkouška odolnosti.  |
| EN 61000-4-6   | Oddíl 6: Odolnost proti rušením šířeným vedením indukovaným vysokofrekvenčními poli.   |
| EN 61000-4-7   | Oddíl 7: Všeobecný pokyn o měření a měřicích přístrojích harmonických a meziharmonických pro rozvodné sítě a zařízení připojovaná do nich. |
| EN 61000-4-8   | Oddíl 8: Magnetické pole síťového kmitočtu - zkouška odolnosti.  |
| EN 61000-4-9   | Oddíl 9: Pulzy magnetického pole - zkouška odolnosti.  |
| EN 61000-4-10  | Oddíl 10: Tlumené kmity magnetického pole - zkouška odolnosti.   |
| EN 61000-4-11  | Oddíl 11: Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - zkouška odolnosti.   |
| EN 61000-4-12  | Oddíl 12: Oscilační vlny - zkouška odolnosti.  |
| EN 61000-4-14  | Oddíl 14: Kolísání napětí - zkouška odolnosti.   |
| EN 61000-4-15  | Oddíl 15: Měřič blikání - specifikace funkce a dimenzování.  |
| EN 61000-4-16  | Oddíl 16: Zkouška odolnosti proti nesymetrickým rušením šířeným vedením v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 150 Hz.                              |
| EN 61000-4-17  | Oddíl 17: Zvlnění na stejnosměrném napájecím vstupu - zkouška odolnosti.   |
| EN 61000-4-24  | Oddíl 24: Zkušební metody pro ochranné prostředky pro rušení HEMP šířené vedením - základní norma EMC.                                     |
| EN 61000-4-28  | Oddíl 28: Kolísání síťového kmitočtu - zkouška odolnosti.  |
| EN 61000-4-30  | Oddíl 30: Testovací a měřicí metody pro měření kvality napájení.   |
| EN 55020       | Měření odolnosti rozhlasových a televizních přijímačů a doplňkových zařízení.  |

Tab. 3.2.6 EMC – společné pro odolnost a vysokofrekvenční rušení [3]

| Označení normy | Název normy  |
|----------------|--|
| CISPR 16       | Specifikace CISPR pro přístroje a měřicí metody na měření rádiového rušení.  |
| CISPR 16-1     | Specifikace metod a přístrojů na měření rádiového rušení a odolnosti vůči rádiovému rušení.<br>Část 1: Přístroje na měření rádiového rušení a odolnosti vůči rádiovému rušení. |



|            |   |
|------------|---|
| CISPR 16-2 | Specifikace metod a přístrojů na měření rádiového rušení a odolnosti vůči rádiovému rušení.<br>Část 2: Metody měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti vůči rušení. |
|------------|---|

Tab. 3.2.7 EMC – normy výrobků a skupin výrobků [3]

| Označení normy | Název normy  |
|----------------|--|
| EN 50083-2     | Kabelové distribuční systémy pro televizní a rozhlasové signály.<br>Část 2: Elektromagnetická kompatibilita pro jednotlivé části.  |
| EN 50091-1     | Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS).<br>Část 1: Požadavky EMC - nízkofrekvenční a vysokofrekvenční rušení.   |
| EN 50091-2     | Zdroje nepřerušovaného napájení (UPS).<br>Část 1: Požadavky EMC - odolnost.  |
| EN 55103-2     | Elektromagnetická kompatibilita : Norma pro skupinu výrobků - audio, video, audiovizuální přístroje a řídicí přístroje zábavného osvětlení pro profesionální použití.<br>Část 2: Odolnost. |
| EN 60118-13    | Sluchadla.<br>Část 13: Elektromagnetická kompatibilita.  |
| EN 60601-1-2   | Elektrické přístroje pro zdravotnictví.<br>Část 1: Všeobecné požadavky na bezpečnost.<br>Oddíl 2: Elektromagnetická kompatibilita. Požadavky a zkoušky.                                    |
| EN 61326-1     | Elektrické měřicí, řídicí a laboratorní zařízení: Požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC).<br>Část 1: Všeobecné požadavky.   |
| EN 61547       | Zařízení pro všeobecné osvětlovací účely - EMC: Požadavky na odolnost.   |
| IEC 939-1      | Vysokofrekvenční odrušovací filtry úplné.<br>Část 1: Všeobecné požadavky.  |
| IEC 939-2      | Vysokofrekvenční odrušovací filtry úplné.<br>Část 2: Částkové specifikace. Výběr zkušebních metod a všeobecné požadavky.   |
| IEC 940        | Používání kondenzátorů, rezistorů, tlumivek a úplných filtrů na potlačení vysokofrekvenčního rušení.   |

### 3.3 EMC normy pro automobilový průmysl

První evropská směrnice týkající se motorových vozidel a jejich přířevů 70/156/EEC vznikla v roce 1970. Nezahrnuje však problematiku EMC. V roce 1972 pak vzniká první evropská směrnice pro potlačování elektromagnetického rušení od zážehových motorů 72/245/EEC. V roce 1995 vzniká evropská směrnice pokrývající problematiku EMC pro většinu elektrického příslušenství vozidla a vozidla jako celku 95/54/EC. Tato směrnice poprvé začleňuje problematiku automobilové EMC do legislativy Evropské unie a dalších evropských zemí. Nejnovější evropskou směrnicí zabývající se EMC vozidel a jejich elektrotechnického/elektronického vybavení představuje směrnice 2004/104/EC. Směrnice byla v následujících letech několikrát rozšířena a doplněna (2005/49/EC, 2005/83/EC) až do své nynější podoby 2006/28/EC. Tuto směrnicí musí od 1. 1. 2009 splňovat všechna automobilová vozidla včetně vozidel dříve vyrobených. Směrnice se v oblasti testů rušivého vyzařování velmi úzce odvolává na mezinárodní normy CISPR 25 a CISPR 12 a v oblastech testování elektromagnetické odolnosti na normy Mezinárodní organizace pro normalizaci ISO 7367, ISO 11451 a ISO 11452.

Normy svázané s posuzováním elektromagnetické kompatibility v automobilovém průmyslu zahrnují dvě oblasti. Testování EMC vozidla jako celku včetně nutných pevně zabudovaných elektrických, ovládacích a řídicích komponent – WV (Whole Vehicle) a EMC komponent a subsystémů určených pro volitelné zabudování – ESA (Elektronic Sub-Assembly).

Testy EMC zahrnující jak oblast celých vozidel, tak elektronických komponent a subsystémů lze pak rozdělit do následujících skupin:

- testy rušivého vyzařování (radiated emissions)
- testy rušivých signálů na vedení (conducted emissions)
- testy odolnosti vůči elektromagnetickým polím (radiated immunity)
- testy odolnosti vůči rušivým signálům na vedení – vůči elektrickým transientům (conducted immunity)
- testy odolnosti vůči elektrostatickým výbojům ESD (ESD immunity)

Tab. 3.3.1 Normy pro testování EMC vozidel a jejich komponent užívané v Evropě [2]

|           | conducted  | test   | radiated                           | test   |
|-----------|------------|--------|------------------------------------|--------|
| emissions | 2006/28/EC | ESA/WV | 2006/28/EC<br>CISPR 12<br>CISPR 25 | ESA/WV |
| immunity  | 2006/28/EC | ESA/WV | 2006/28/EC                         | ESA/WV |
|           | ISO 7637   | ESA    | ISO 11451                          | WV     |
|           |            |        | ISO 11452                          | ESA    |
| ESD       | ISO 10605  |        |                                    | ESA/WV |

Na území Severní Ameriky jsou uznávané testy a normy pro automobilový průmysl americké společnosti SAE (Society of Automotive Engineers). Tyto normy nejsou závazné, ale jsou ověřeny dlouholetou praxí a oficiálně využívány všemi velkými automobilovými výrobci. Normy SAE jsou obsahově ekvivalentní s mezinárodně uznávanými normami CISPR 12, CISPR 25, ISO 7637, ISO 11451, ISO 11452 a ISO 10605.

Tab. 3.3.2 Normy pro testování EMC vozidel a jejich komponent užívané v USA [2]

|           | conducted                    | test   | radiated              | test |
|-----------|------------------------------|--------|-----------------------|------|
| emissions | SAE J1113-41<br>SAE J1113-42 | ESA/WV | SAE J1113-41          | ESA  |
|           | SAE J551-1                   | WV     | SAE J551-2,4          | WV   |
| immunity  | SAE J1113-11<br>SAE J1113-12 | ESA    | SAE J1113<br>ISO11452 | ESA  |
|           | SAE J551-13                  | WV     | SAE J551-12           | WV   |
| ESD       | SAE J1113-13                 |        |                       | ESA  |
|           | SAE J551-15                  |        |                       | WV   |

Kromě mezinárodně uznávaných automobilových norem zahrnujících oblast EMC si téměř každý větší automobilový výrobce vytváří normy vlastní. Vznikají tak normy EMC výrobců vozidel (VM – Vehicle Manufacturers) a normy MEC výrobců subsystémů vozidel (OEM – Original Equipment Manufacturers). Tyto normy obvykle podléhají obchodnímu tajemství a nejsou veřejně přístupné. Jejich meze jsou přísnější než meze stanovené v oficiálních normách. Např. společnost BMW využívá své vlastní normy řady GS, společnost Volkswagen své normy řady TL, společnost Ford své normy řady ARL a podobně i další výrobci a společnosti využívají své vlastní řady norem. [2] [6] [11]

## 4 Základní odlišnosti EMC v automobilové technice

Mezi postupem certifikace EMC v automobilové technice a postupem certifikace běžných elektronických či elektrotechnických produktů existují významné legislativní, deklarační a technické rozdíly. Meze a parametry testů EMC v automobilové technice zohledňují skutečnost, že selhání některého z důležitých komponentů ve vozidle by mohlo způsobit havárii vozidla a ohrožení lidských životů. Problematika EMC v automobilové technice se komplikuje i tím, že je vozidlo mobilní a musí tak obstát v mnoha různých prostředích, do kterých se může dostat. [2]

### 4.1 Odlišnosti evropské certifikace a způsobu jejího dosažení

Výrobce, dovozce či prodejce běžných elektronických či elektrotechnických produktů musí prokázat svou shodu se základní evropskou směrnicí EMC 2004/108/EC. Výrobce, dovozce či prodejce vozidel či jeho komponent musí prokázat svou shodu se směrnicí 2006/28/EC zabývající se EMC vozidel a jejich elektrotechnického/elektronického vybavení. [2]

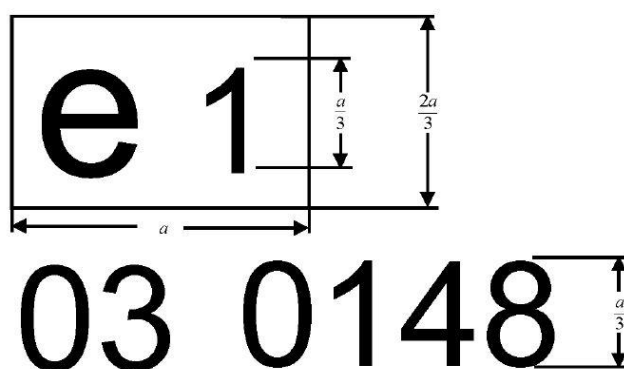
Výrobce či dovozce běžného elektrotechnického či elektrického produktu si může sám stanovit potřebná kritéria, testy a příslušné harmonizované evropské normy EMC pro daný produkt a zvolit postup dosažení své certifikace. Výrobce či dovozce vozidel či jeho komponent musí dodržet všechny přípustné meze a předepsané testovací metody dle směrnice 2006/28/EC. [2]

Certifikace běžného elektrotechnického či elektrického produktu dle směrnice 2004/108/EC je možná posouzením jeho výrobcem, příp. kompetentním orgánem. Výrobce vozidel či jeho komponent musí vždy poskytnout výsledky vlastních testů EMC tzv. schvalovacímu orgánu, jehož technická služba zkoušky zkontroluje, případně znovu provede. V České republice tvoří schvalovací orgán Ministerstvo dopravy ČR. Jeho technickými službami jsou Elektrotechnický zkušební ústav Praha a TÜV SÜD Auto CZ s.r.o. Praha. V případě, že je zkušební laboratoř výrobce či dovozce certifikována dle normy ISO 17025, může technická služba testy zjednodušit. [2]

Znakem úspěšné certifikace běžného elektrotechnického či elektrického produktu dle směrnice 2004/108/EC je značka CE. V případě vozidla či jeho komponent musí výrobce či dovozce po schválení schvalovacím orgánem opatřit vozidlo či jeho komponent tzv. e- značkou pro tzv. schválení typu. [2]

#### 4.1.1 e-značka

Touto značkou musí být vybavena všechna vozidla (WV) a všechny subsystémy a komponenty určené pro provoz ve vozidlech (ESA) pro evropský trh. Značka musí být připevněna k hlavní části ESA takovým způsobem, aby byla čitelná a nesmazatelná. Značka schválení na ESA nemusí být připevněna v případě elektrických či elektronických systémů pevně zabudovaných ve vozidle s uděleným schválením dle směrnice 2004/104/EC (2006/28/EC). Značka není požadována ani pro náhradní díly, pokud jsou řádně označené identifikačním číslem jako náhradní díl a pokud jsou identické a vyrobené stejným výrobcem jako originální díl, pro který je vozidlo již typově schváleno.



$$a \geq 6 \text{ mm}$$

Obr. 4.1.1.1 Značka schválení typu - e-značka [5]

Číslo v horní části značí kódové označení země, která vystavila toto schválení (Česká republika – 8). První z čísel ve spodní části vyjadřuje pořadové číslo poslední významnější technické novelizace výchozí směrnice 72/245/ECC. Druhé z čísel ve spodní části představuje tzv. základní registrační číslo schváleného produktu (vozidla či ESA) přidělené příslušným schvalovacím orgánem. [2] [5]

## 4.2 Odlišnosti testů EMC v automobilové technice

### 4.2.1 Testy rušivého vyzařování

Základem pro testy rušivého vyzařování u běžných elektronických či elektrotechnických produktů je směrnice EN 55022, zatímco pro testy EMC v automobilové technice je to směrnice 2006/28/EC, která se v mnoha kritériích liší.

*Základní technické odchylky testů EMC běžných elektronických či elektrotechnických produktů dle směrnice EN 55022 a testů EMC v automobilové technice dle směrnice 2006/28/EC [2]*

| Testy dle EN 55022   | Testy dle 2006/28/EC  |
|--|---|
| Měřicí anténa je umístěna 10 m od testovaného objektu (příp. 3 m s následným přepočtením výsledků), výška se mění od 1 m do 4 m. | Pro celá vozidla zůstává, pro ESA je anténa ve vzdálenosti 1 m od měřeného objektu. Výška antény je konstantní. |
| Testovaný objekt je umístěn na dřevěném otáčivém stole 80 cm nad zemní referenční rovinou.                                       | ESA je umístěno 5 cm nad pevným stolem s vodivým povrchem, 1 m nad zemní referenční rovinou.                    |
| Testované objekty jsou členěny do dvou tříd A, B dle prostředí použití s různými mezerami rušení.                                | Není zavedeno žádné třídění testovaných objektů (vozidel ani ESA) dle prostředí použití.                        |
| Existují jediné (stejně) meze rušení pro širokopásmové i úzkopásmové měření.   | Jsou zavedeny dva druhy měření (širokopásmové a úzkopásmové) s odlišnými mezemi rušení.                         |
| Používá se pouze kvazi-špičková (QP) detekce.  | Používá se kvazi-špičková detekce pro úzkopásmové rušení a špičková detekce pro širokopásmové rušení.           |

Měření elektromagnetické kompatibility dle směrnice 2006/28/EC se provádí v kmitočtovém pásmu 30 MHz až 1 GHz pro testy WV (na základě normy CISPR 12) a v pásmu od 150 KHz do 960 MHz pro vyzařování elektrických či elektronických komponent ESA (na základě normy CISPR 25). Pro WV i ESA se navíc rozlišují testy pro širokopásmové a úzkopásmové rušení, ke kterým se vztahují rozdílné meze. Typický zdroj širokopásmového rušení ve vozidle představuje zážehový systém motoru. Typickým zdrojem úzkopásmového rušení je např. mikroprocesorový řídicí systém vozidla. Požadavky norem výrobců vozidel se v mnoha případech odlišují od požadavků směrnice 2006/28/EC. Výrobci ESA často rozšiřují kmitočtové pásmo měření až do 2 GHz (pro pokrytí pásem GSM 1,8 a 1,9 GHz), příp. až do 5 GHz (pro zahrnutí technologií Bluetooth). [2] [6] [7]

#### 4.2.2 Testy rušivých signálů na vedení

Testy rušivých signálů na vedení se zabývají možnými nežádoucími interferencemi mezi elektrickými či elektronickými komponenty vozidla. Výchozí normou popisující testy a emisní meze pro napájecí i signálová vedení vozidla je směrnice CISPR 25. V normě jsou specifikovány dvě metody měření – měření pomocí umělé sítě LISN na napájecích vedeních a měření pomocí proudové sondy na signálových a řídicích vedeních. Definované jsou meze pro úzkopásmové rušení (kvazi-špičková detekce) i pro širokopásmové rušení (špičková detekce). Měření probíhá v kmitočtovém rozsahu 150 kHz až 108 MHz. Druhou výchozí normou testů rušivých signálů je norma ISO 7637 zabývající se rušivými signály na přívodních vedeních a dalších spojích připojených k napájecímu vedení vozidla. [2] [6]

#### 4.2.3 Testy elektromagnetické odolnosti vozidel a jejich komponent

Vzhledem k neustále narůstajícímu množství vnějších zdrojů elektromagnetického rušení patří testy odolnosti celých vozidel (WV) příp. jejich elektrických či elektronických komponent (ESA) mezi nejdůležitější testy elektromagnetické kompatibility. Testy musí zaručovat dostatečnou elektromagnetickou odolnost vozidla ve všech prostředích, do kterých se může vozidlo dostat.

Testy odolnosti v automobilové technice vycházející z příslušných norem ISO se rozdělují podle tzv. aplikační skupiny zařízení:

**Aplikační skupina I** zahrnuje důležité elektrické či elektronické komponenty, které musí vykazovat správnou činnost při každém možném druhu elektromagnetického rušení a jejichž selhání by mělo zásadní dopad na bezpečnost a správné fungování vozidla. Do této skupiny patří např. řídicí pohonná jednotka, systém ABS, chladicí systém vozidla, vnější osvětlení apod.

**Aplikační skupina II** zahrnuje elektrické či elektronické komponenty, jejichž selhání nenaruší základní bezpečný chod vozidla. Do této skupiny patří např. zábavní technika, klimatizace, vnitřní osvětlení apod.

Z obvyklých pěti tříd odolnosti A až E popsaných v normách ISO se při posuzování elektromagnetické kompatibility v automobilové technice používají pouze dvě, a to třída A (pro aplikační skupinu I) a třída C (pro aplikační skupinu II). [2] [6]

#### 4.2.4 Testy odolnosti vůči elektromagnetickým polím

Testy odolnosti vůči elektromagnetickým polím jsou založeny na normách ISO 11451 pro testy WV a ISO 11452 pro testy ESA. Norma ISO 11452 definuje dvě hlavní metody pro měření elektromagnetické odolnosti ESA: metodu proudové injektáže pomocí kapacitní kleštiny, vazebního obvodu či proudového transformátoru v pásmu 1 až 400 MHz a metodu přímého ozařování v bezodrazové komoře, příp. na volném prostranství v kmitočtovém pásmu 20 MHz až 2 GHz. Meze vyplývající z těchto norem jsou mnohem přísnější než meze stanovené pro běžné elektronické či elektrotechnické produkty. [2] [6]

Hlavní odchylky oproti běžným normám:

Zvýšení horního kmitočtu měření z 1 GHz na 2 GHz. Většina výrobců automobilů ale provádí testy elektromagnetické odolnosti v mnohem širším kmitočtovém pásmu s horním kmitočtem až 10 GHz. [2]

Testovací úroveň pro testy celých vozidel je 30 V/m v 90% kmitočtového pásma. Pro testy elektrických či elektronických komponent se využívají testovací úrovně 200 V/m a vyšší podle použité metody testu dle normy ISO 11452. [2]

Pro testy WV i ESA se využívá dvojí modulace zkušebního harmonického signálu: amplitudová modulace s modulací 1 kHz a hloubkou modulace 80% v rozsahu kmitočtu 20 – 800 MHz a pulzní šířková modulace s šířkou pulzu 577  $\mu$ s a periodou 4,6 ms v kmitočtovém pásmu 800 MHz – 2 GHz. [2]

Pro testování celých vozidel se používá jen vertikální polarizace testovacího pole, pro testování ESA se využívá obou polarizací. [2]



#### 4.2.5 Testy odolnosti vůči elektrickým transientům

Testy odolnosti vůči elektrickým transientům se zabývají elektromagnetickou odolností komponent vozidla při jeho běžném provozu. Rušivý signál představují elektrické impulzy vznikající při chodu motoru a vozidla jako celku. Testovací impulzy jsou definovány dle normy ISO 7637 a jsou odvozeny od reálných průběhů vznikajících v kabeláži vozidla. [2]

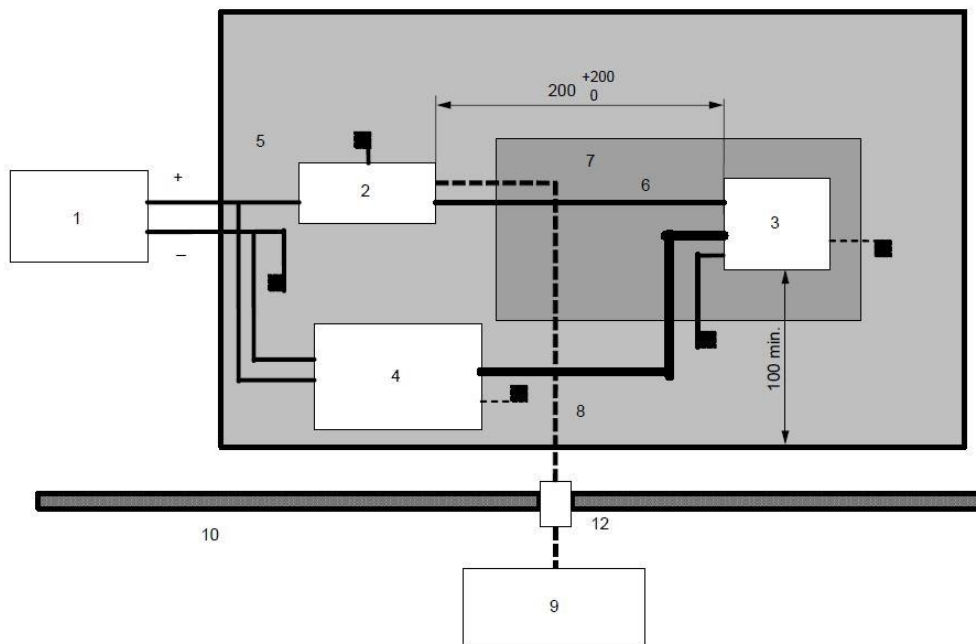
#### 4.2.6 Testy odolnosti vůči elektrostatickým výbojům

V automobilové technice byly vyvinuty odlišné modely vybíjení elektrostatických výbojů než u běžných elektrických či elektronických produktů na základě skutečnosti, že je vozidlo izolováno od země. Vybíjení zde totiž neprobíhá z nabitého kapacitoru (člověka) do země, ale z nabitého kapacitoru (člověka) do jiného nabitého kapacitoru (vozidla nebo jeho komponenty). Místo obvyklé normy ISO 61000-4-2 se v automobilové technice využívá normy ISO 10605, která specifikuje celkem dva modely ESD. Simulace vybití náboje z člověka sedícího uvnitř vozidla a simulace výboje mezi vně stojícím člověkem a vozidlem. Testy komponent a subsystémů ESA se realizují přímým vybitím vzduchovým výbojem i konstantním výbojem. Výboje se realizují do všech míst uvnitř vozidla, která jsou obsluze přístupná. Testy celého vozidla se realizují pouze vzduchovým výbojem s vozidlem vodičě připojeným k referenční zemi. [2] [6]

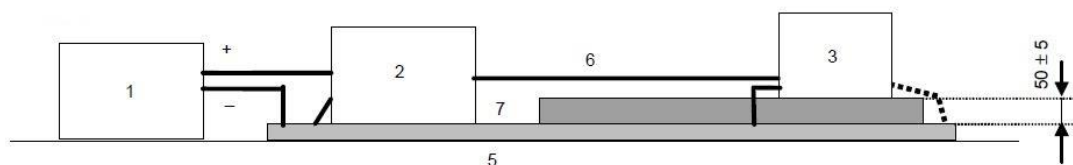
## 5 Měření rušení po vedení

### 5.1 Požadavky směrnice CISPR 25

Měření rušení po vedení pomocí umělé sítě se opírá o směrnici CISPR 25, respektive o normu ČSN EN 55025, definující meze a postupy pro měření vysokofrekvenční rušení v kmitočtovém rozsahu od 150 KHz do 2500 MHz. Jedná se o napěťovou metodu spočívající v porovnávání naměřených hodnot rušivého signálu na vedení s mezí definovanou normou. Pomocí napěťových měření je možné charakterizovat elektromagnetické vyzařování pouze na jednom vedení. Tato testovací metoda není použitelná pro měření přeneseného rušivého signálu např. různými anténními strukturami na deskách plošných spojů nebo pro měření efektivity stínění. Z toho důvodu není možné pomocí napěťových měření zcela charakterizovat elektromagnetické vyzařování měřeného objektu. Na obr. 5.1.1 a 5.1.2 je zobrazeno předepsané uspořádání při měření rušivých signálů po vedení s místním uzemněním napájecího vedení dle normy CISPR 25.



Obr. 5.1.1 Testy rušivých signálů na vedení – napájecí vedení místně uzemněno – pohled ze shora [4]



Obr. 5.1.2 Testy rušivých signálů na vedení – napájecí vedení místně uzemněno – pohled z boku [4]

- |                    |                                   |
|--------------------|-----------------------------------|
| 1 napájecí zdroj   | 7 podložka s nízkou permitivitou  |
| 2 umělá síť        | 8 vysoce kvalitní koaxiální kabel |
| 3 měřený objekt    | 9 měřicí přístroj                 |
| 4 simulátor zátěže | 10 stínící stěna                  |
| 5 zemní podložka   | 11 přepážkový konektor            |
| 6 napájecí vedení  |                                   |

Norma CIPR 25 dále definuje nastavení měřicího přístroje pro jednotlivá kmitočtová pásma pro detekci špičkovou, kvazi-špičkovou a detekci průměru (tab. 5.1.1).

Tab. 5.1.1 Nastavení měřicího přístroje pro některé kmitočtové rozsahy [4]

| Služba                       | Frekvenční rozsah [MHz] | špičková detekce |        |             | kvazi-špičková detekce |        |             | detekce střední hodnoty |        |             |
|------------------------------|-------------------------|------------------|--------|-------------|------------------------|--------|-------------|-------------------------|--------|-------------|
|                              |                         | BW v -6dB        | krok   | doba trvání | BW v -6dB              | krok   | doba trvání | BW v -6dB               | krok   | doba trvání |
| AM vysílání a mobilní služby | 0,15 - 30               | 9 kHz            | 5 kHz  | 50 ms       | 9 kHz                  | 5 kHz  | 1 s         | 9 kHz                   | 5 kHz  | 50 ms       |
| FM vysílání                  | 76 - 108                | 120 kHz          | 50 kHz | 5 ms        | 120 kHz                | 50 kHz | 1 s         | 120 kHz                 | 50 kHz | 5 ms        |

Meze maximálního přípustného rušení na vedení jsou rozděleny do pěti tříd. Výběr třídy a kmitočtového pásma závisí na dohodě mezi výrobcem vozidla a dodavatelem komponenty. Meze pro pásma rozhlasová a pásma pro špičkovou a kvazi-špičkovou detekci jsou uvedeny v tab. 5.1.2. [4]

Tab. 5.1.2 Limity rušivých signálů pro napětovou metodu [4]

| Služba | Frekvence [MHz] | Hladiny v dB |    |         |    |         |    |         |    |         |    |
|--------|-----------------|--------------|----|---------|----|---------|----|---------|----|---------|----|
|        |                 | Třída 1      |    | Třída 2 |    | Třída 3 |    | Třída 4 |    | Třída 5 |    |
|        |                 | P            | QP | P       | QP | P       | QP | P       | QP | P       | QP |
| LW     | 0,15-0,30       | 110          | 97 | 100     | 87 | 90      | 77 | 80      | 67 | 70      | 57 |
| MW     | 0,53-1,8        | 86           | 73 | 78      | 65 | 70      | 57 | 62      | 49 | 54      | 41 |

## 5.2 Vlastní měření

Měření rušení na vedení pomocí umělé sítě bylo provedeno na několika elektrických či elektronických komponentech (ESA) vozidla Škoda Fabia napájených pomocí baterie. Vlastní měření se v mnoha ohledech lišilo od požadavků definovaných směrnicí CISPR 25. Jednotlivé komponenty vozidla byly připevněny na měřicím panelu a nebyly měřeny jednotlivě. Vzhledem k velikosti panelu nebylo možné provést měření ve stíněné komoře a nebyla použita ani stínící podložka.



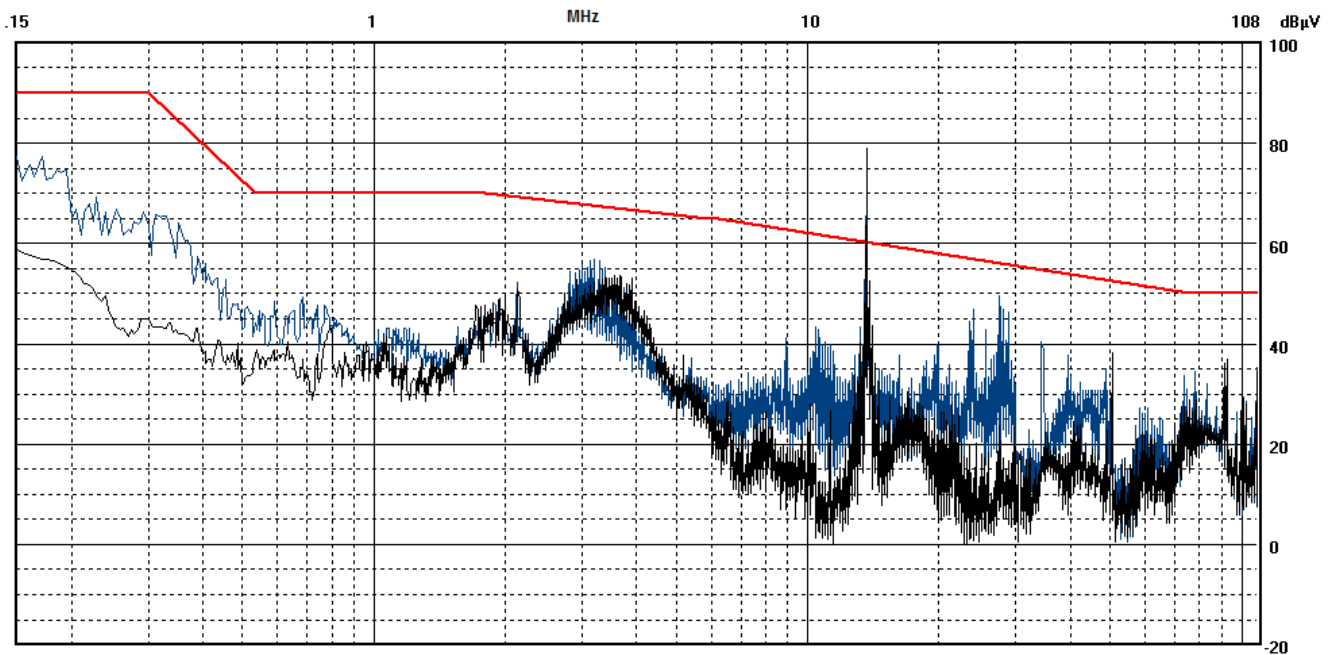
Obr. 5.2.1 Měření rušení po vedení v laboratoři elektrotechnické fakulty

Pro měření byla použita umělá síť NNBM 8124 Schwarzbeck Mess – Elektronik s impedancí  $50 \Omega$  a frekvenčním rozsahem 0,1 MHz – 150 MHz. Jako měřič rušivého signálu byl použit měřicí přijímač PMM 8000 Plus s frekvenčním rozsahem 9 kHz – 1 GHz. Mezní hodnoty a parametry měření dle normy CISPR 25 pro napětěová měření byly nastaveny v programu PMM 8000 zpracovávající data z měřicího přístroje. Jednotlivé komponenty ESA byly měřeny v kmitočtovém rozsahu 0,15 – 108 MHz. Napájecí napětí bylo nastaveno dle normy CISPR 25 pro testy se zapnutým zapalováním a vypnutým motorem na 12 V. Pro jednotlivé testy byly použity meze maximálního přípustného rušení třídy 3 pro špičkovou (P) a kvazi-špičkovou detekci (QP) (tab. 5.1.2).

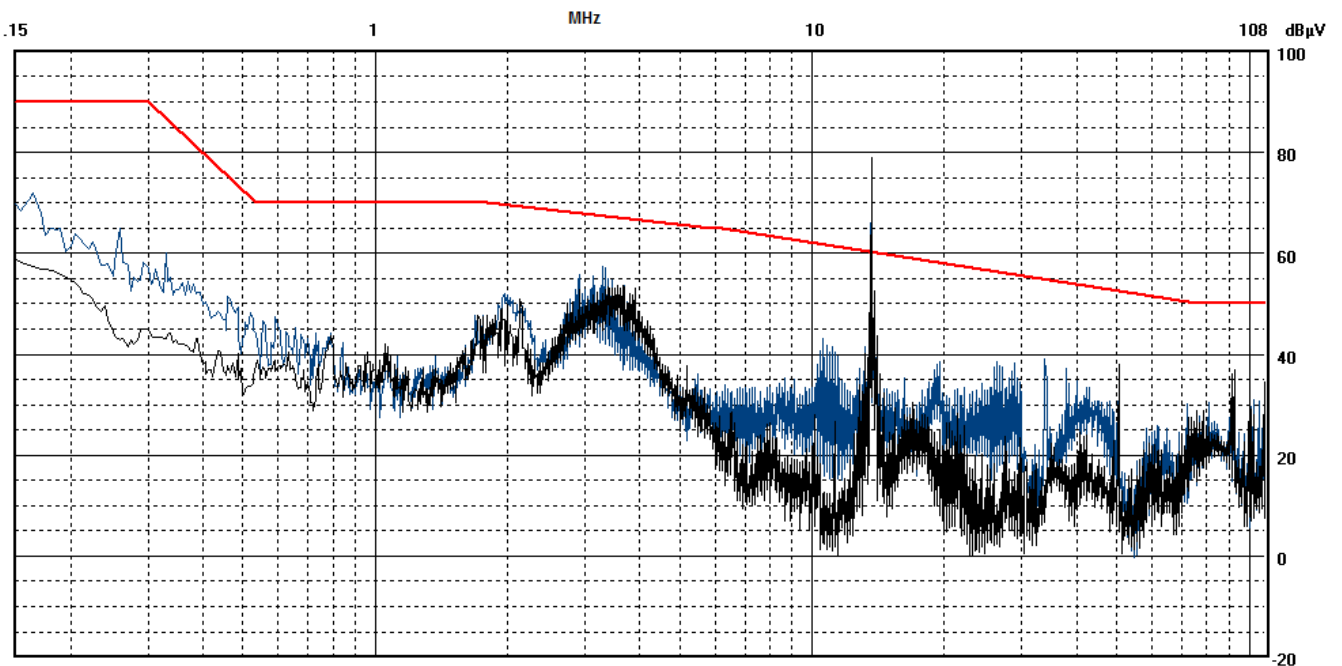
Celkem bylo provedeno osm měření rušivých signálů na vedení za různých okolností:

1. zapnutá výstražná světla
2. zapnuté přední stěrače
3. zapnutý zadní stěrač
4. zapnutý větrák – poloha 3 ze 4
5. aktivní palivová klapka
6. současně zapnuté přední a zadní stěrače, větrák, výstražná světla a palivová klapka
7. všechny komponenty vypnuté
8. odpojení měřicího panelu

Pomocí programu PMM 8000 byly zpracovány grafy ukazující úroveň rušení po vedení pro špičkovou detekci na měřeném kmitočtovém pásmu. Vzhledem k tomu, že měření neprobíhalo v souladu s normou a jednotlivé komponenty nebyly měřeny individuálně, je měření značně ovlivněno okolními vlivy (černá křivka grafu). Z grafů je patrný vliv komutátorových motorů v oblasti nízkých frekvencí a dále vliv mikroprocesorových obvodů v kmitočtové oblasti kolem 10 MHz. Rušení na vedení (modrá křivka) překročilo mez definovanou normou (červená křivka) pouze jednou, a to na frekvenci 13,5 MHz, na které je provozován univerzitní přístupový systém. V oblasti vysokých frekvencí je patrný vliv rádiového vysílání. I přes veškeré vnější vlivy a nedokonalé uspořádání měření však úroveň rušení na žádném jiném kmitočtu maximální přípustnou mez nepřesáhla. Dle předpokladu by tak komponenty obstály v testech rušivých signálů na vedení.



Graf 5.2.1 Měření rušení po vedení – zapnuté přední stěrače (červená křivka- mez rušení po vedení definovaná normou, černá křivka – elektromagnetické pozadí, modrá křivka – naměřená úroveň rušení po vedení)



Graf 5.2.2 Měření rušení po vedení – současně zapnuté přední a zadní stěrače, větrák, výstražná světla a palivová klapka (červená křivka- mez rušení po vedení definovaná normou, černá křivka – elektromagnetické pozadí, modrá křivka – naměřená úroveň rušení po vedení)

## 6 Závěr

První část bakalářské práce se zabývá definicí a významem elektromagnetické kompatibility. Vzhledem k narůstajícímu množství elektrických či elektronických zařízení a systémů v našem okolí je vzájemné ovlivňování zcela nevyhnutelné a je nutné se touto problematikou zabývat. Význam elektromagnetické kompatibility podtrhuje i řada havárií, která se stala v důsledku jejího nedodržování. Zcela zásadní je i vliv elektromagnetického rušení na živé organismy, který nebyl sice v mnoha směrech jednoznačně prokázán, ale jeho negativní důsledky by měly vliv na převážnou část lidské populace.

Část bakalářské práce se zabývá způsobem měření rušivých signálů a metodami testování elektromagnetické kompatibility. Oblast měření a testování elektromagnetické kompatibility je značně komplikována skutečností, že každé zařízení či systém tvoří zároveň zdroj a přijímač elektromagnetického rušení. Práce obsahuje shrnutí nejpoužívanějších metod pro měření elektromagnetických rušivých signálů a testování elektromagnetické odolnosti, opírající se o platné evropské normy.

Bakalářská práce se zvláště zaměřuje na oblast automobilové techniky a hlavní odlišnosti postupu certifikace u běžných elektrických či elektronických produktů. I přesto, že je základ postupů a metod pro zjišťování elektromagnetické kompatibility v automobilové technice podobný jako u běžných elektrických či elektronických zařízení, existuje mnoho rozdílů v uspořádání měření a především v maximálních přípustných mezích elektromagnetického rušení a odolnosti. Vzhledem k tomu, že je vozidlo mobilní a musí být zaručena jeho funkčnost ve všech prostředích, kam se může dostat, jsou postupy a meze v oblasti automobilové techniky mnohem přísnější než je tomu u běžných elektrických či elektronických produktů.

Na základě směrnice CISPR 25 bylo provedeno demonstrativní měření rušivých signálů na vedení na několika elektrických komponentech vozidla. Vlastní měření se v mnoha směrech odchylovalo od požadavků normy, i přesto nebylo naměřeno rušení způsobené měřeními prvky, které by překračovalo hranici povolenou normou.

## Použitá literatura

- [1] SVAČINA, Jiří. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. *Elektromagnetická kompatibilita*. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2002
- [2] DŘÍNOVSKÝ, Jiří, Jiří SVAČINA, Václav RŮŽEK a Jiří ZACHAR. *Elektromagnetická kompatibilita v automobilové technice*. 2012.
- [3] KOVÁČ, D., I. KOVÁČOVÁ a J. KAŇUCH. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. 1. vyd. Praha: BEN, 2006. ISBN 80-7300-202-7.
- [4] CISPR 25:2008. *Vozidla, čluny a zážehové motory - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření pro ochranu palubních přijímačů*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, meteorologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [5] 2004/104/ES. *Commission Directive 2004/104/EC*. 13.11.2004. The Commission of the European Communities, 2004.
- [6] O'HARA, Martin. *Automotive EMC testing. Test equipment - automotive*. 2004.
- [7] JARVIS, T.P. *E is for Automobile Electronic*. 2003.
- [8] 1967 USS Forrestal fire. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/1967\\_USS\\_Forrestal\\_fire](http://en.wikipedia.org/wiki/1967_USS_Forrestal_fire)
- [9] Porsche 918 Spyder finally debuts at Frankfurt motor show. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://www.autoweek.com/article/20130909/CARNEWS/130909902>
- [10] Fujitsu General EMC Laboratory Ltd. [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z: <http://fujitsu-general.com/global/emc/facility/index.html>
- [11] RYBAK, Terence a Mark STEFFKA. *Automotive electromagnetic compatibility (EMC)*. Boston: Kluwer Academic Publishers, c2004, xiv, 295 p. ISBN 14-020-7713-0.