

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vliv modifikací v elektrickém zařízení na splnění  
požadavků EMC norem**

**vedoucí práce: Ing. Miroslav Hromádka Ph.D.**

**2014**

**autor: Bc. Jiří Oberreiter**



## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce se zabývá testováním klimatizační jednotky na požadavky EMC norem. Nejprve jsou normy popsány obecně a poté aplikovány podle požadavků testovaného zařízení.

## **Klíčová slova**

Klimatizace, generátor, bezodrazová komora, antény, normy, elektromagnetická kompatibilita, modulace, signál, vyzařování, odolnost

# **The effect of modifications in the electrical equipment to compliance the requirements of EMC standards**

## **Annotation**

The presented thesis deals with testing of the air conditioner to compliance with EMC standards. First, the standards are described in general and then they are applied according to the requirements of the test equipment.

## **Key words**

Air-conditioning, generator, anechoic chamber Antennas, standards, electromagnetic compatibility, modulation, signal, radiation, immunity

## Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou 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 diplomové práce, je legální.

V Plzni dne .....

Bc. Jiří Oberreiter

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Miroslavu Hromádkovi Ph.D. za vedení práce, cenné rady a užitečné připomínky. Také bych chtěl poděkovat paní Pechlátové a panu Hubinskému z firmy Daikin Industries.

# Obsah

Úvod .....	9
Zkratky.....	10
Veličiny a jednotky .....	10
1. Obecné informace.....	11
1.1 Základní informace.....	11
1.1.1 Přenosová cesta .....	13
1.2 Co je klimatizace a její funkce (HEAT, FAN, COLD).....	13
1.2.1 Princip chlazení .....	14
1.2.2 Princip topení .....	14
1.3 Chladivo R-410A .....	14
Dopady na životní prostředí .....	15
Chladivo v klimatizaci .....	15
1.4 Funkční kritéria zkoušky odolnosti.....	15
2. Praktická část .....	16
2.1 Zapojení.....	16
2.2 Jednotka FCQG35FVEB.....	16
2.3 Zkoušky odolnosti .....	17
2.3.1 ČSN EN 61000-4-2 ed. 2 - Elektrostatický výboj.....	17
Princip zkoušky.....	19
Vyhodnocení zkoušky.....	21
2.3.2 ČSN EN 61000-4-3 ed. 3 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole .....	21
Antény pro testování.....	21
Princip zkoušky.....	24
Vyhodnocení zkoušky.....	25
2.3.3 ČSN EN 61000-4-4 ed. 3 - Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů .....	25
Kapacitní vazba .....	27
Princip zkoušky:.....	27
Vyhodnocení zkoušky.....	28
2.3.4 ČSN EN 61000-4-5 ed. 2 - Rázový impulz .....	28
Princip zkoušky:.....	29
Generátor kombinované vlny .....	29
Vyhodnocení zkoušky.....	30
2.3.5 ČSN EN 61000-4-6 ed. 3 - Rušení šířeným vedením, indukovaným vf. polem.....	31

Princip zkoušky.....	31
Třída 3: Nenáročné prostředí elektromagnetického zařízení .....	32
Feritové kleště Luthi EM101 .....	32
Vyhodnocení zkoušky.....	32
2.3.6 ČSN EN 61000-4-8 ed. 2 - Magnetické pole síťového kmitočtu .....	33
Zkouška magnetickým polem síťového kmitočtu .....	33
Vyhodnocení zkoušky.....	34
2.3.7 Norma ČSN EN 61000-4-11 ed. 2 - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí.....	34
Postup zkoušky.....	35
Vyhodnocení zkoušky.....	35
2.4 Zkouška měření emisí.....	36
2.4.1 Norma ČSN EN 61000-6-3 ed. 2 ZMĚNA A1 - Prostorové prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu .....	36
Konduktivní emise (Emise na napájecím vedení).....	36
Výsledky zkoušky.....	37
Měření charakteristik pomocí antén.....	38
Postup zkoušky a schéma zapojení .....	39
Modifikace.....	43
Závěr.....	46
Seznam literatury.....	47
Seznam obrázků .....	49
Seznam tabulek.....	51
Seznam příloh.....	52
Modifikace.....	56



## Úvod

Diplomová práce je zaměřena na testování klimatizační jednotky na EMC normy. Práce je rozdělena na určité části, které jsou popsány níže.

V první části je práce zaměřena na rozdělení EMC testů a vysvětlení základních pojmů. Dále je zde popsána funkčnost klimatizace a její chladicí kapalné médium R410 A.

Druhá část práce se orientuje na praktickou část samotného měření. Tato část se dělí na testy odolnosti a testy měření emisí. Emisní testy se dále dělí na indukční testy a testy pomocí antén. U každého testu je popsán princip a limitní hodnoty, které nesmí být překročeny. Limitní hodnoty jsou určovány z norem pro dané prostředí a třídu. U každého testu je zhodnocení zkoušky.

V závěru práce jsou výsledky testů odolností s některými požadavky na modifikaci klimatizační jednotky. Tyto modifikace byly z větší části požadavkem od firmy Daikin Industries, od které byla i klimatizační jednotka zapůjčena.

## Zkratky

EMC – Electromagnetic Compatibility - Elektromagnetická kompatibilita

EMI – Electromagnetic interference - Elektromagnetické vyzařování

EMS – Electromagnetic susceptibility - Elektromagnetická odolnost

EUT – Equipment Under Test - Zkoušené zařízení

EN – European Norm - Evropská norma

ČSN – Česká technická norma

AV – Average – Střední hodnota

QPK – Quasipeak – Kvazivrcholová hodnota

RP – Radiative Forcing - Radiační působení

AM – Amplitude Modulation - Amplitudová modulace

RF – Radio Frequency - Radiofrekvenční

## Veličiny a jednotky

E [V/m] - Intenzita elektrického pole

F [Hz] – Frekvence

$i/I_{max}$  [%] – Procentuální úroveň proudu

$u/U_{max}$  [%] – Procentuální úroveň napětí

U[KV] – Napětí

t [s] – Čas

R [ $\Omega$ ] – Odpor

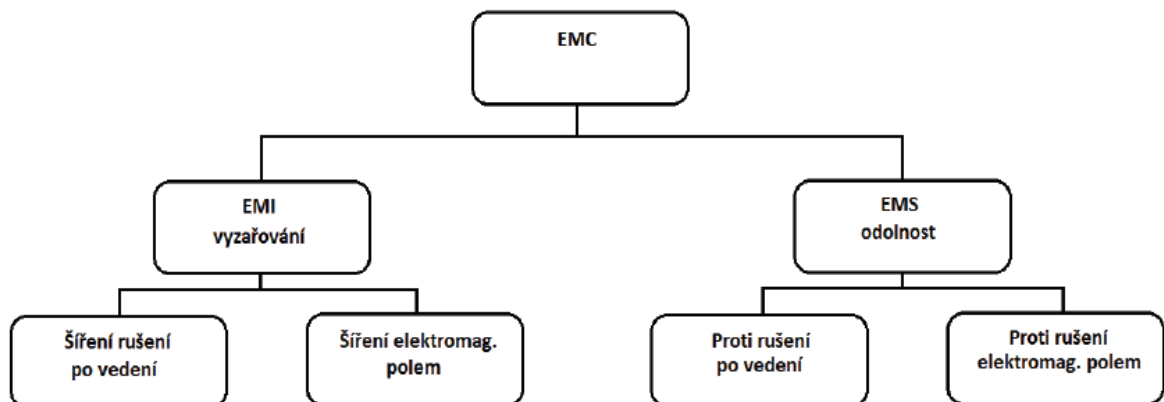
[A/m] – Intenzita magnetického pole

[dB] – Rušení

# 1. Obecné informace

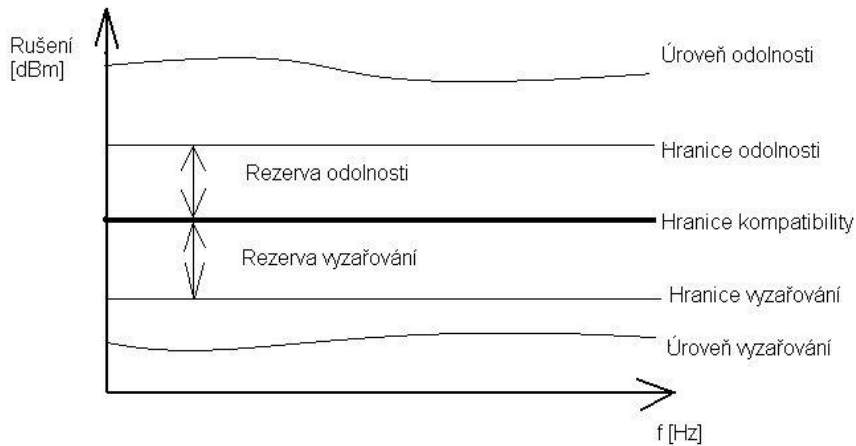
## 1.1 Základní informace

Elektromagnetická kompatibilita (EMC) je vlastnost elektrického přístroje, která spočívá v tom, že neovlivňuje jiný objekt včetně sebe samotného a odolává působení ostatních přístrojů.



Obr. 1 – Základní dělení EMC zkoušek

EMC lze rozdělit do dvou základních skupin. První typy zkoušek jsou o zjišťování úrovně vyzařování – EMI (Elektromagnetická Interference). Měří se hodnota vyzařené energie z testovaného zařízení do okolního prostředí pomocí elektromagnetického pole a i po vedení. Druhá skupina se zaměřuje na odolnost vůči rušení – EMS (Elektromagnetická Susceptibilita). Testuje se zde zařízení proti působení elektromagnetické energie z okolí. Energie se může šířit buď pomocí elektromagnetického pole, nebo po vedeních. Maximální dovolené hodnoty jsou popsány v normách. Každé zařízení je jak vysílačem, tak i přijímačem vedení. Obě tyto hodnoty musí být podle normy v určitém rozmezí, jak je naznačeno na obrázku 2. [1] [2]



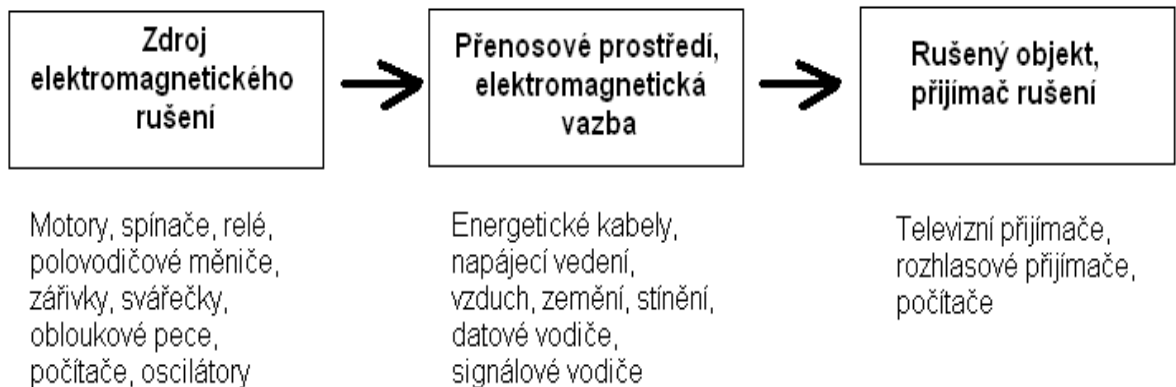
Obr. 2 – Hranice kompatibility

Úroveň odolnosti je maximální úroveň elektromagnetického rušení, která působí na testované zařízení. Tyto hodnoty nesmí klesnout pod hranici odolnosti. V opačném případě, kdy se testuje vyzařování, tak úroveň vyzařování nesmí být větší, než je jeho hranice. [3]

Cílem direktivy je zajistit prodej výrobků, které nejsou v rozporu s normami EMC. Elektromagnetické rušení nemusí pouze způsobit rušení některých přijímačů, ale může mít vliv na přístroje, které jsou důležité pro bezpečnost. Nejčastějším případem jsou nevysvětlitelné chyby, jako je například zamrznutí počítače. I při opakování předchozích činností, se najednou s počítačem nic neděje, a v případě reklamace, není zjištěná žádná závada. Směrnice se nevztahuje na díly a komponenty, které budou teprve kompletovány. Testuje se až hotový celek nebo jeho samostatná část. [2] [3]

### 1.1.1 Přenosová cesta

Každé zařízení nebo jeho určitá část může být současně jak zdrojem, tak přijímačem rušení. Zdroj a přijímač jsou vždy mezi sebou vázány parazitní vazbou. [4]



Obr. 3 – Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí

## 1.2 Co je klimatizace a její funkce (HEAT, FAN, COLD)

Klimatizace je zařízení pro úpravu vzduchu v jednotlivých místnostech či celých budovách. Základem jsou dvě jednotky (venkovní a vnitřní), které jsou mezi sebou propojeny párem potrubí, kterým proudí chladivo. Dále jsou mezi jednotkami kabelem propojeny desky s elektronikou. Tímto je zajištěna elektronická komunikace. Klimatizační jednotka se ovládá dálkovým infra ovladačem nebo drátovým (nástěnným) ovladačem a to podle typu vnitřní jednotky. [5] [7]

Toto zařízení vzduch nevyměňuje, ale pouze ho upravuje. Klimatizační jednotka pracuje na principu chladicího zařízení, tj. na principu výměny a přesunu energií. To znamená, že pokud chceme v místnosti chladit, musíme z něj odčerpat teplo. Pokud se jedná o jednotku s reverzací neboli s tepelným čerpadlem, je ve venkovní jednotce navíc reverzační ventil (čtyřcestný ventil), který podle nastavení

obráť chod chladicího okruhu, takže vnitřní jednotka začne topit a venkovní chladit. [6] [7]

### 1.2.1 Princip chlazení

Kompresor vhání stlačené plynné chladivo o vysoké teplotě přes kondenzátor. Ventilátor pomůže rozptýlit vznikající teplo a kondenzátor se okolním vzduchem ochlazuje. Tímto dojde ke zkapalnění chladiva. Kapalné chladivo s nízkou teplotou je vháněno do vnitřní jednotky přes expanzní ventil do výparníku. Ventilátor rozptýlí chlad, výparník odebírá teplo z místnosti. Ohřívání a následná expanze má za následek opětovnou změnu skupenství chladiva na plynné. Rovněž dochází ke kondenzování. Kondenzováním vzniká vlhkost ve výparníku, kterou zachytává vanička a umožní odvod kondenzátu. Plynné chladivo odchází zpět do kompresoru, kde je stačeno a cyklus se opakuje. [5]

### 1.2.2 Princip topení

Reverzní ventil přesměrovává tok chladiva. Z výparníku ve vnitřní jednotce se stane kondenzátor a z kondenzátoru ve venkovní jednotce bude výparník. Horké a plynné chladivo se z kompresoru dostane do výparníku (v tomto případě do kondenzátoru) ve vnitřní jednotce. Výparník odebírá studený vzduch z místnosti, chladivo se ochlazuje a zkapalňuje. Chladivo se přesune do venkovní jednotky. V kondenzátoru (v tomto případě ve výměníku) dojde k opětovné změně skupenství chladiva, při které vznikne vlhkost. Zkapalněná voda je odvedena z venkovní jednotky přes výpust'. Plynné chladivo přijde do kompresoru, kde je stlačeno a cyklus se opakuje. [\*5]

## 1.3 Chladivo R-410A

Chladivo R – 410 A, které se prodává pod ochrannou známkou jménem Forane 410A, je také známo pod názvy: Puron, EcoFluor R410, Genetron R410A a pod zkratkou AZ – 20. Jedná se o směs difluormethan (  $\text{CH}_2\text{F}_2$  , tzv. R - 32 ) a pentafluorethanu (  $\text{CHF}_2\text{CF}_3$  , tzv. R - 125). Toto chladivo se nejčastěji používá v klimatizacích. Válce s chladivem R - 410A jsou zabarveny do růžova. [8]

## Dopady na životní prostředí

Na rozdíl od Alkylhalogenidových chladiv, které obsahují brom nebo chlor, chladivo R - 410A obsahuje pouze fluor a tudíž nepřispívá k poškozování ozonové vrstvy. Z tohoto hlediska se stále více používá a vytlačuje chladivo R - 22. Nicméně, má vysoký potenciál globálního oteplování, jedná se o 2088 krát účinek oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub> způsobuje RP 1,68 (1,33 až 2,03) Wm<sup>-2</sup>), to však je podobné jako u R -22 R - 410A umožňuje vyšší systémovou účinnost než je u R – 22.[8]

## Chladivo v klimatizaci

Klimatizace pracuje s předem plněným chladivem. Zařízení se skládá ze tří komponentů: vnitřní přístroj, vnější přístroj a spojovací vedení. Chladivo je hlavní komponent klimatizačního přístroje, protože obíhá celým zařízením a je střídavě odpařováno, stlačováno, zkapalňováno a rozpínáno. Tyto změny jednotlivých skupenství tvoří základ pro odnímání, popřípadě odevzdávání tepelné energie. Jako chladiva se používají ekologické látky R 410A popřípadě R 407. U klimatizačních zařízení s předem naplněným přístrojem a vedeními je chladivo bezpečně „uzavřeno“. Únik chladiva nebo vniknutí vzduchu do jednotky je téměř nemožné a to i při připojování vedení chladiva ke klimatizačním přístrojům. [7] [8]

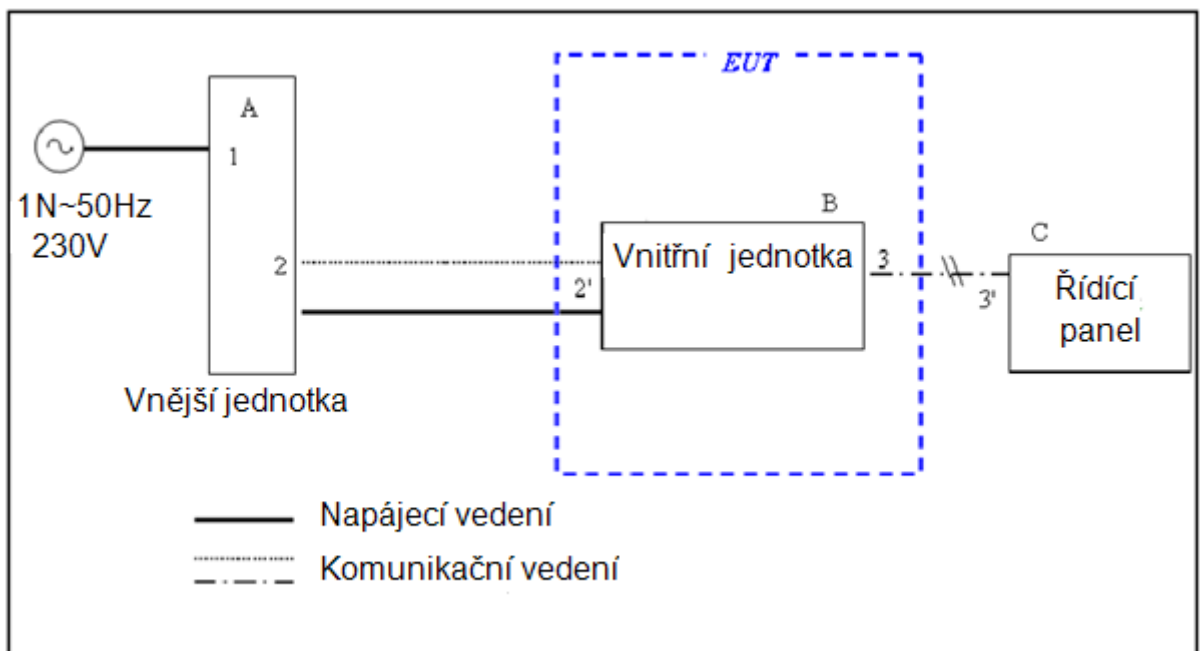
### 1.4 Funkční kritéria zkoušky odolnosti

Při testování zařízení zkouškami odolnosti, tak sledujeme funkčnost zařízení během zkoušky i po jejích ukončení. Jednotlivé zkoušky jsou popsány v normách. Součástí norem je i tabulka s maximálními povolenými hodnotami a funkčními kritérii. Nej přísnější funkční kritérium se značí A. Toto označení znamená, že se během zkoušky i po jejím skončení nezmění u zařízení žádná funkce. Funkční kritérium B připouští zhoršenou činnost zařízení během zkoušky, avšak není zde přípustná změna provozního stavu nebo ztráta dat v paměti. Funkční kritérium C připouští dočasnou ztrátu funkce vlivem zkoušky. Funkce zkoušeného zařízení se sama obnoví nebo je zde možnost ručního zásahu. [2,3,4,9]

## 2. Praktická část

### 2.1 Zapojení

Celkové zapojení se skládalo z několika částí, ovšem pro nás nejdůležitější byla vnitřní jednotka (EUT). Vnitřní jednotka byla napájena z vnější jednotky, ovládání bylo napojeno přímo na vnitřní jednotku.

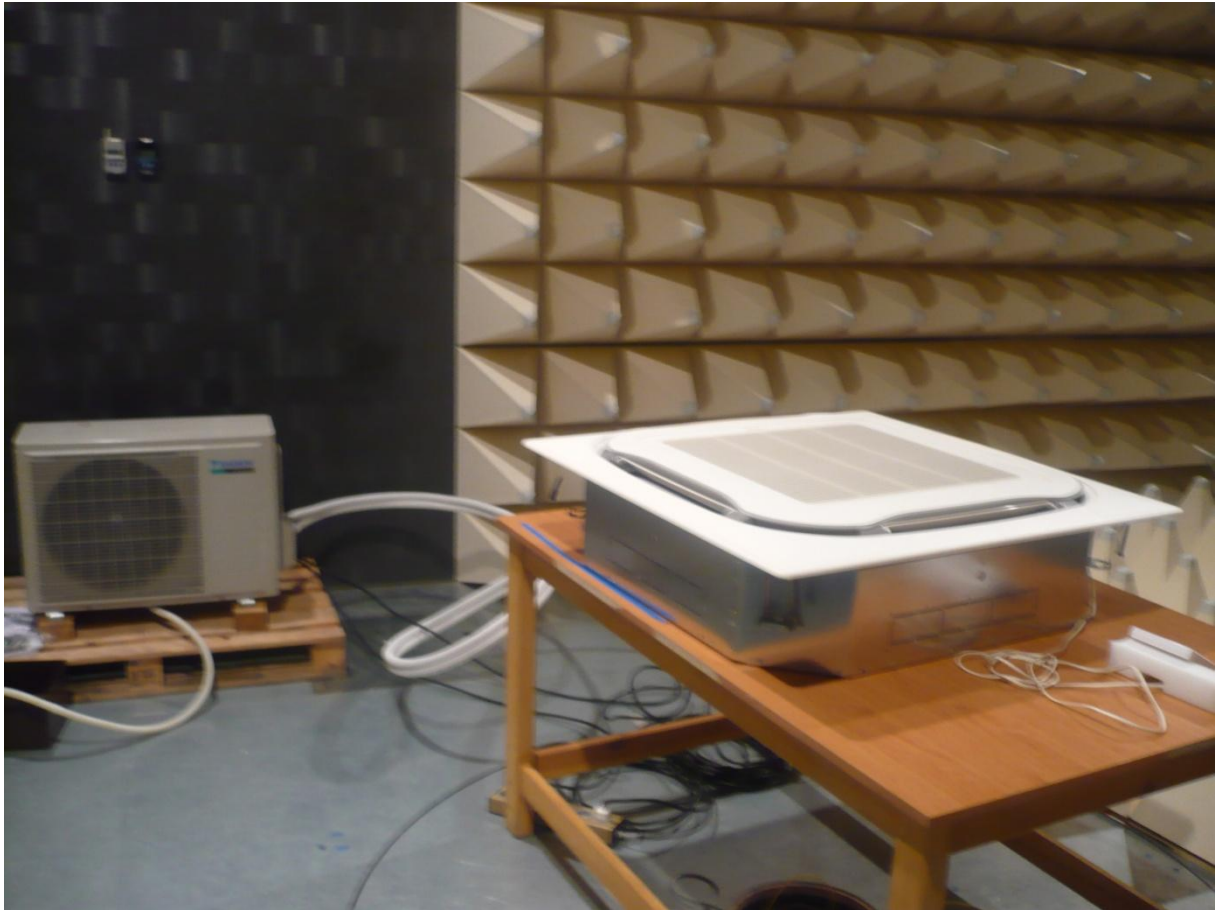


Obr. 4 – Schématické znázornění celé sestavy

### 2.2 Jednotka FCQG35FVEB

Předmětem testování byla vnitřní jednotka označená jako FCQG35FVEB. Tato jednotka je určena především do obytných domů a lehkého průmyslu. Proto jsme se z norem řídili tabulkou pro tuto skupinu.



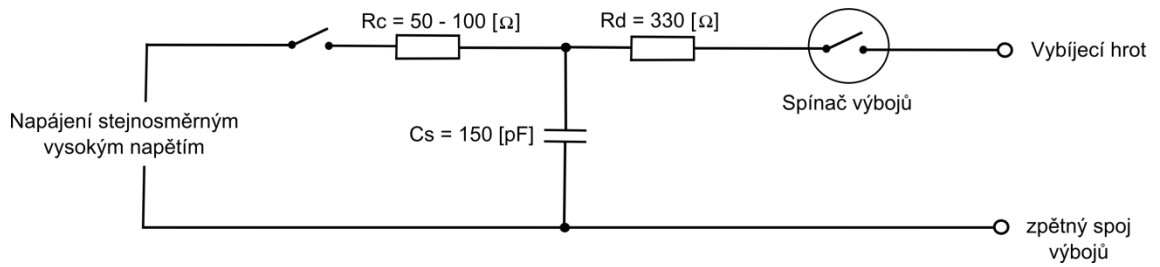


Obr. 5 – Sestava v bezodrazové komoře

## 2.3 Zkoušky odolnosti

### 2.3.1 ČSN EN 61000-4-2 ed. 2 - Elektrostatický výboj

Elektrostatický výboj je zkouška testující odolnost zařízení proti výbojům elektrostatické elektřiny. Tato elektřina může být způsobena obsluhou a to buď přímo na zařízení, nebo na jeho blízké objekty. Hlavní součástí zkoušky je zkušební generátor s kondenzátorem 150 pF a vybíjecím odporem o hodnotě 330  $\Omega$ . [10]

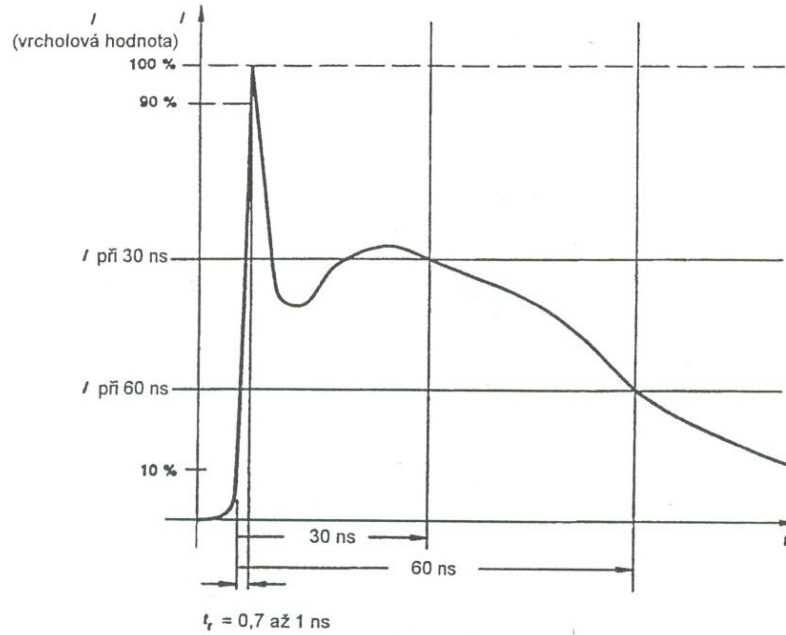


Obr. 6 – Schéma zkušebního generátoru



Obr. 7 – Zkušební generátor (nasazen kontaktní hrot)

Výboje se směřují do míst, kde je možný dotek obsluhy. Výboj může být uskutečněn jako kontaktní (přímým dotykem zkušební hrotu se zkoušeným povrchem) nebo jako vzduchový (přeskokem jiskry při přiblížení zkušební hrotu ke zkoušenému povrchu). Zkušební signál je stejnosměrné napětí zkušební hrotu proti referenční zemní rovině způsobující při výboji proudovou vlnu přibližně  $1/50 \text{ ns}$ . Pro aplikaci vodivou cestou, tzv. kontaktním výbojem je maximální předepsané napětí  $8 \text{ kV}$ , pro výboj vzduchem  $15 \text{ kV}$ . Zkouší se obě polarity a sleduje se funkčnost zkoušeného zařízení. [10] [11]



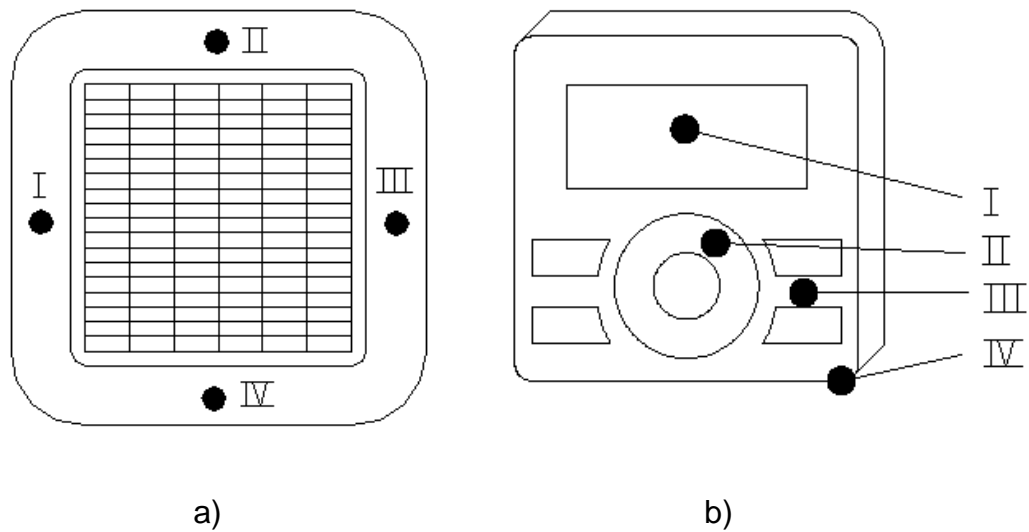
Obr. 8 – Tvar vlny ze zkušebního generátoru

Tvar proudové vlny závisí na druhu a velikosti zatížení. Doba náběžné hrany se pohybuje mezi 0,7 až 1 ns, tato doba se měří mezi 10% a 90% maximální hodnoty. Doba trvání celého impulsu je 60 ns. [10]

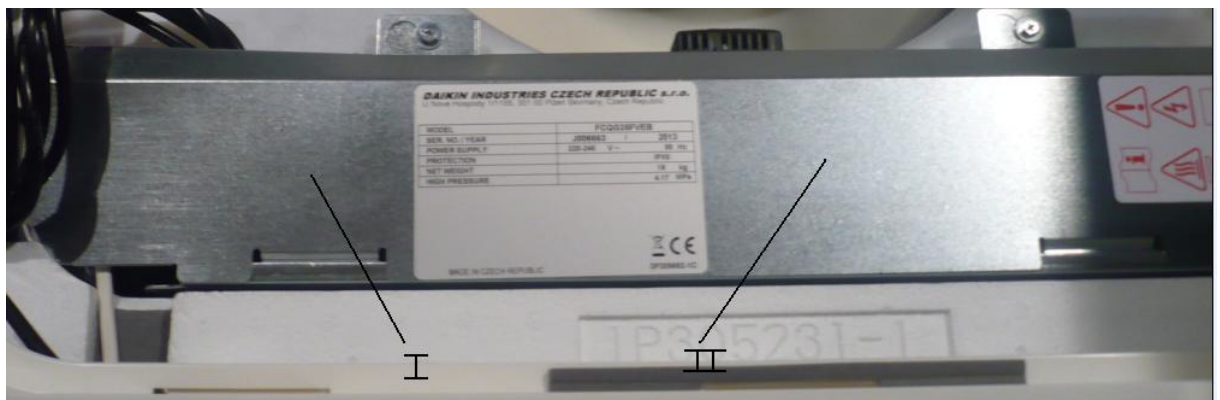
### Princip zkoušky

Zkouška se dělí na dvě části: První část zkoušky je pomocí kontaktu hrotem s kovovými částmi, ke kterým je možný přístup obsluhy nebo montéra např. plech těla jednotky. Této části se může dotknout šroubovákem a nastane kontakt. Této zkoušce říkáme kontaktní a provádí se deseti impulzy obou polarit do jednoho místa. Tato zkouška byla provedena u těla jednotky a krytu řídicí jednotky.

Druhá část zkoušky je zaměřena na nepřímý výboj, který se zkouší do nekovových částí zařízení. V našem případě do plastových krytů nad vedením vodičů a do dálkového ovladače. Zkouška simuluje dotyk lidského těla se zařízením, kdy na lidské tělo může být nahromaděna statická elektřina. Nabitý generátor se postupně přibližuje ke zkoušenému místu, dokud nedojde k přeskočení a k vybití nabitých elektrod generátoru elektrostatických výbojů. Tento postup se také opakuje deseti vybitími generátoru přiblížením do stejného místa oběma polaritami. [10] [11]



Obr. 9 – vyznačení bodů testovaných pomocí nepřímého výboje: a) mřížka  
b) displej



Obr. 10 – vyznačení bodů testovaných kontaktním hrotem na krytu řídicí jednotky

Tabulka 1: Vyhodnocení výbojů

Typ	Kontaktní				Vzduchem									
	4 KV				4 KV				8 KV					
Místo dotyku	Tělo jednotky		Kryt řídicí jednotky		Mřížka		Displej		Mřížka		Displej		Kryt vedení	
Polarita	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
Kritérium	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Dovolené kr.	B				B				B					

## Vyhodnocení zkoušky

Klimatizační jednotka i ovládací panel během zkoušky elektrostatickými impulzy, ale i po ní, nevykazovala žádnou abnormální činnost. Jednotka měla předepsané kritérium B, všechny testy však obstály na A, tudíž test splnila.

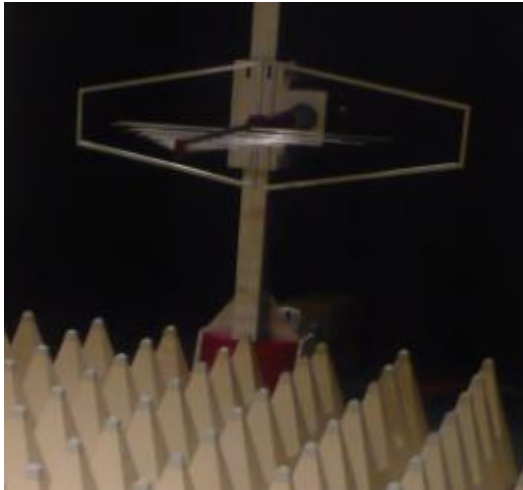
### 2.3.2 ČSN EN 61000-4-3 ed. 3 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole

Norma definující metody zkoušky odolnosti proti vyzařované elektromagnetické energii, která se měří v ideálním případě ve stíněné bezodrazové komoře. Zde je vhodnou anténou vygenerována vlna odpovídající vzdálenému elektromagnetickému poli s intenzitou 3 V/m. Tato hodnota platí pro zařízení určené do obytného prostředí. Pro zařízení do průmyslového prostředí je intenzita 10 V/m. Z generátoru vygenerujeme amplitudově modulovaný signál s frekvencí 1 kHz a s amplitudou 80 % nosné. Rušivý signál je měněn v kmitočtovém rozsahu od 80 MHz do 1 000 MHz frekvenčním krokem 1% z ustálené předešlé hodnoty. [11,12,13]

## Antény pro testování

### BTA-M Hybrid

Pro vysokofrekvenční imunitní testy se v bezodrazové komoře používala kombinovaná širokopásmová logaritmicko-periodická anténa Frankonia BTA-M, která má frekvenční rozsah 30 MHz – 3GHz. Maximální vstupní výkon je 1000 W. [14]



Obr. 11 – Anténa BTA-M Hybrid

### **Trychtýřová anténa BBHA 9120E, anténa s dvojitým vlnovodem.**

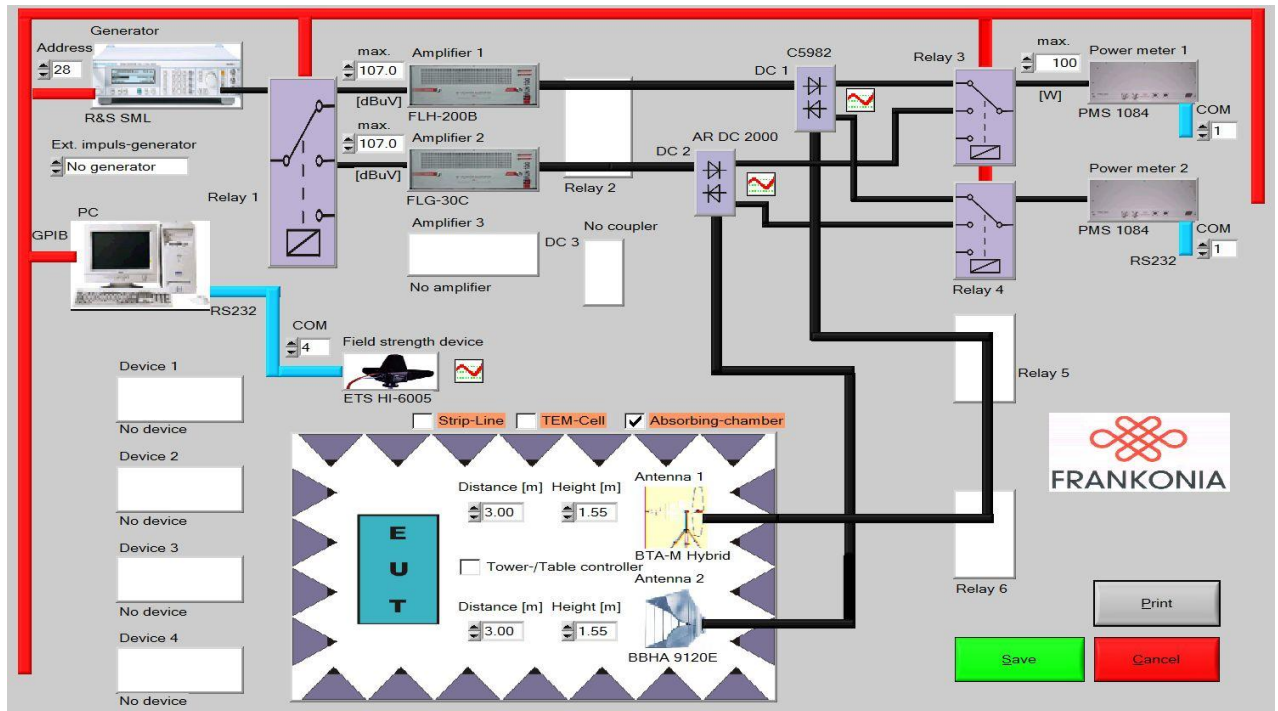
Trychtýřová anténa vyzařuje lineárně polarizované elektromagnetické pole. Jsou používány pro frekvence 0,5 GHz – 6 GHz. Maximální vstupní výkon je 300W, ojediněle může být 500 W. [15] [16]



Obr. 12 – Trychtýřová anténa

### **Bezodrazová komora**

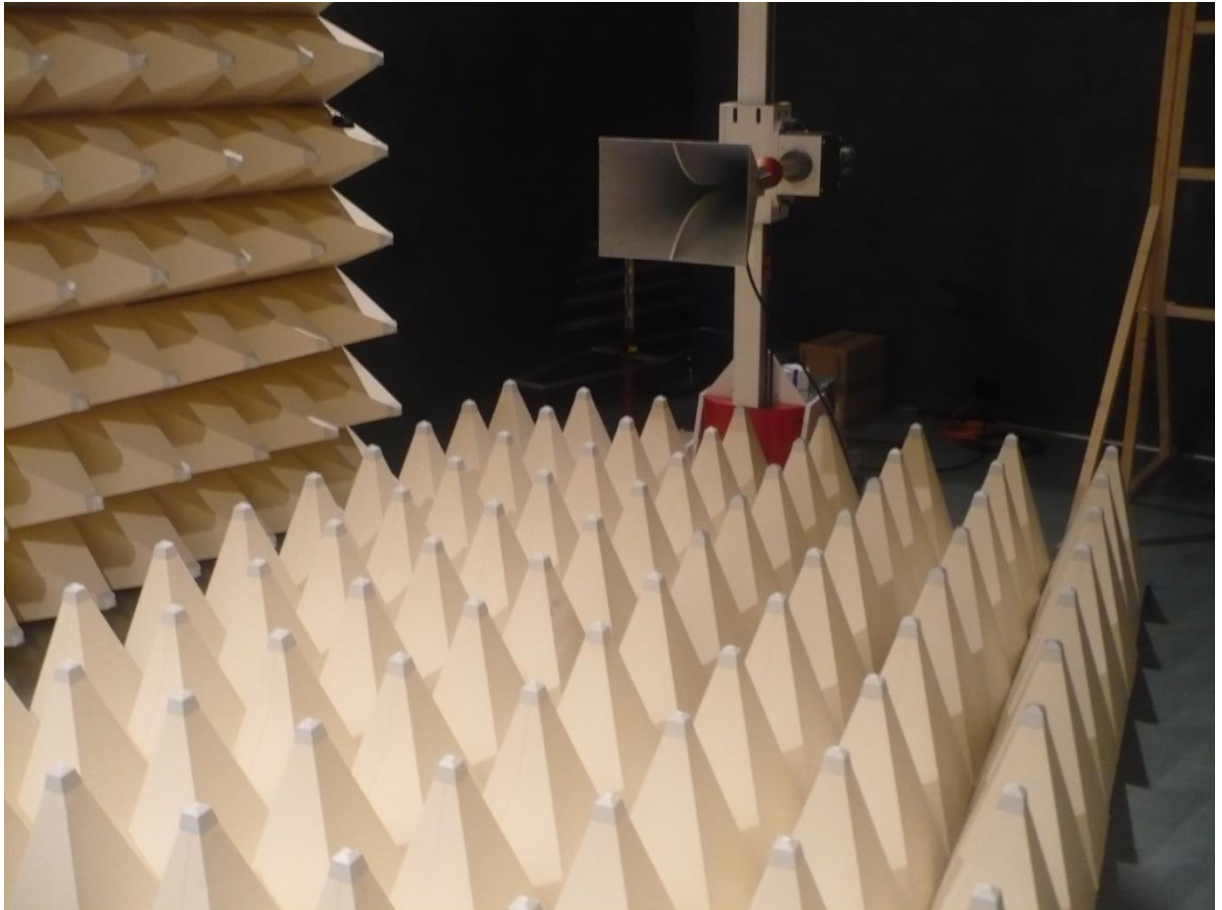
Komora umožňuje měření v širokém kmitočtovém spektru. Výrobce zajišťuje správnost měření v rozsahu od 26MHz až do 18 GHz. Využití je převážně při zjišťování vlivu vnějších elektromagnetických polí na přístroje a zařízení. [17] [18]



Obr. 13 – Schéma bezodrazové komory

Bezodrazová komora se skládá z hybridních absorbérů. Hybridní absorbéry jsou kombinací feritových tlumičů s pyramidovými tlumiči nainstalovanými před nimi. Hybridní tlumiče kombinují výhody:

Feritové absorbéry s dobrou útlumovou vlastností začínají na 30 MHz a krátké pyramidové tlumiče s dobrými vlastnostmi útlumu až do rozsahu několika GHz. Hybridní tlumiče jsou dobrým řešením pro komory s omezeným prostorem. V těchto případech je testovací vzdálenost 3 metry. [17] [18]



Obr. 14 – Bezodrazová komora

### **Princip zkoušky**

Během zkoušky je zkoušené zařízení umístěno na dřevěném stole ve výšce 80 cm nad zemí a ve vzdálenosti 3m od anténního systému. Z důvodu složitého uspořádání jsme jednotku ozařovali pouze z jedné strany. Z norem jsme nastavili požadovanou intenzitu a frekvenční rozsah pro určitou anténu. Antény jsme otáčeli do vertikální a horizontální polohy. Pro rozsah 80 MHz - 1GHz jsme použili anténu BTA-M Hybrid. Poté jsme vyzkoušely test anténou BBHA 9120 E. Rozsah této antény byl 1,4GHz - 2,7GHz. V průběhu testu jsme sledovali funkčnost přístroje pomocí kamery. [11,12,13]



Tabulka 2: Vyhodnocení testu na vyzařované vysokofrekvenční elektromag. pole

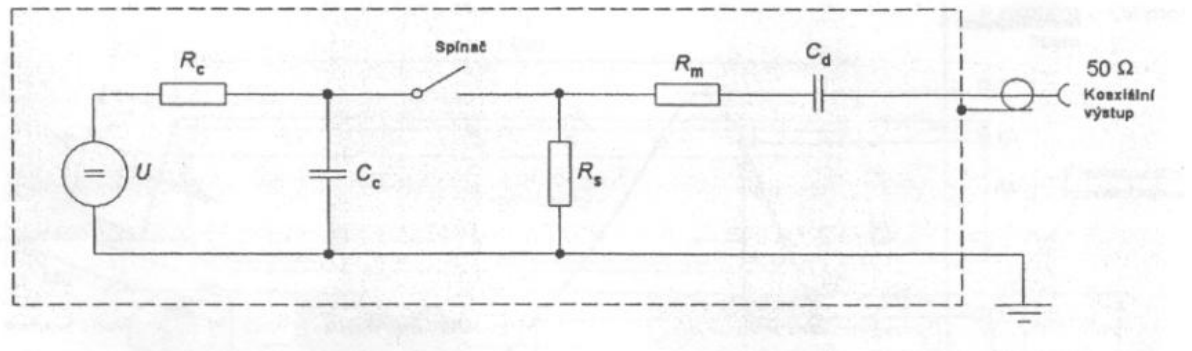
Intenzita	rozsah	polarita	Kritérium	Požadované kr.
3V/m	80MHz-1GHz	vertikálně	A	A
		horizontálně	A	A
3V/m	1,4GHz-2,7GHz	vertikálně	A	A
		horizontálně	A	A
10V/m	80MHz-1GHz	vertikálně	A	A
		horizontálně	A	A

### Vyhodnocení zkoušky

Klimatizační jednotka i ovládací panel během zkoušky nevykazovaly žádnou abnormální činnost. Proto jsme zvýšili intenzitu na 10V/m, tj. pro průmyslové prostředí. Jednotka měla předepsané kritérium A. Pro obě hodnoty intenzity testy obstály na A, tudíž v testu s rezervou vyhověla.

### 2.3.3 ČSN EN 61000-4-4 ed. 3 - Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů

Zkouška ověřuje odolnost zařízení proti rušení vyvolanému spínacími přechodnými jevy. Toto rušení bývá charakterizováno malou energií v krátkých přechodných jevech. Většinou nastává vlivem indukčnosti při spínání v datových, signálových nebo napájecích sítích. Další možností může být odskakování elektromechanických kontaktů (relé). Burst signál se vyznačuje rychle po sobě jdoucími ostrými impulzními poruchami generované ve skupinách po větších časových intervalech (např. každé rozpojení a spojení stykače). [11] [19]



Obr. 15 – Schéma generátoru skupin impulzů

$U$  – zdroj vysokého napětí

$R_c$  – nabíjecí rezistor

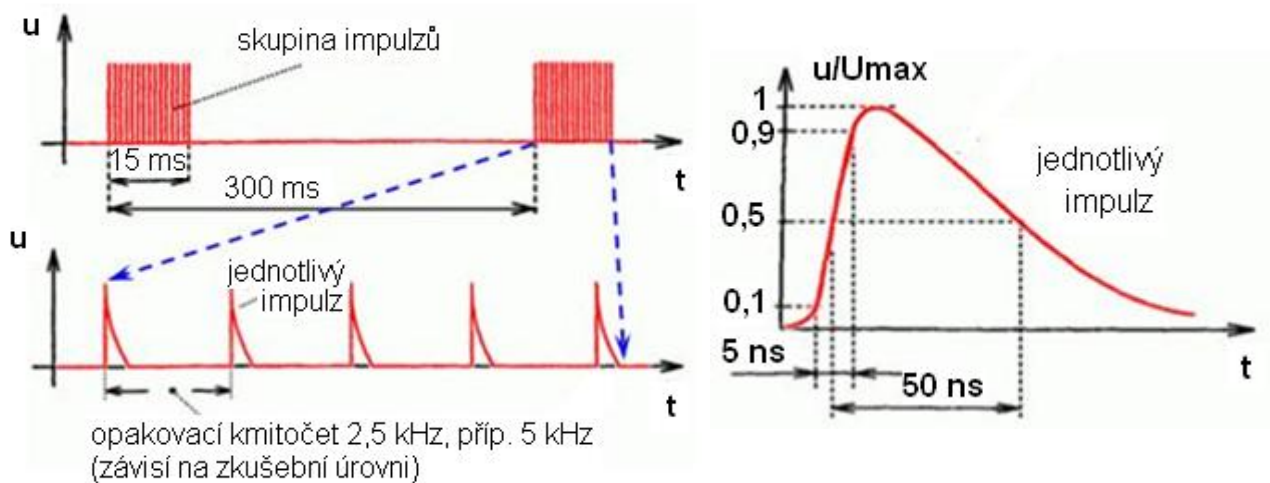
$C_c$  – kondenzátor (zásobník energie)

$R_s$  – rezistor pro tvarování délky pulzu

$R_m$  – rezistor pro přizpůsobení impedance

$C_d$  – blokovací kondenzátor stejnosměrného napětí

Zkušební signál tvoří skupiny velmi strmých napěťových vln 5/50 ns, které se vysílají s kmitočtem 5 kHz po dobu 15 ms. Skupiny impulzů se opakují s periodou 300 ms. Zkušební signál se přivádí na napájecí svorky prostřednictvím oddělovací a vazební sítě. Na datové vstupy a výstupy se zkušební signál přivede nepřímou kapacitní vazbou s použitím kapacitních vazebních kleští. [19]



Obr. 16 – Zobrazení skupiny impulzů a jednotlivého impulzu

## Kapacitní vazba

Kapacitní vazba je typická pro obvody oddělené galvanicky, mezi kterými vzájemně působí jednotlivé vektory intenzity elektrostatického pole. Na tuto vazbu má vliv strmý nárůst nebo pokles potenciálu, geometrické uspořádání vodiče a dielektrické vlastnosti prostředí.[4]



Obr. 17 – Kapacitní kleština

### Princip zkoušky:

Testování těmito impulzy se provádí buď do napájecích vodičů, nebo pomocí kapacitní kleštiny do datových vodičů. U zkoušky do napájení se testovací signál posílá kladnou i zápornou polaritou do vodiče L, N nebo do všech vodičů (LNPE). Do datových vodičů se signál posílá s poloviční amplitudou. Jelikož jsme měli chráněné prostředí, spadali jsme v normě do úrovně 2. Signál se posílá vždy na jednu minutu. [11] [19]

Tabulka 3: Zkušební úrovně pro rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů

<b>Výstupní zkušební napětí naprázdno a opakovací kmitočet impulzů</b>				
Úroveň	Na vstupu/výstupu napájení, PE		Na I/O signálových, datových a ovládacích I/O	
	Vrcholové napětí [KV]	Opakovací kmitočet [KHz]	Vrcholové napětí [KV]	Opakovací kmitočet [KHz]
1	0,5	5 nebo 100	0,25	5 nebo 100
2	1	5 nebo 100	0,5	5 nebo 100
3	2	5 nebo 100	1	5 nebo 100
4	4	5 nebo 100	2	5 nebo 100
X <sup>a</sup>	Speciální	Speciální	Speciální	Speciální

Tabulka 4: Vyhodnocení testu přechodnými jevy do napájecích kabelů

Testování do napájecích kabelů						
Napětí	1 KV		2 KV		4 KV	
Polarita	+	-	+	-	+	-
Vodič L	A	A	A	A	A	A
Vodič N	A	A	A	A	A	A
Vodič L-N-PE	A	A	A	A	A	A
Dovolené kr.	B		B		B	

Tabulka 5: Vyhodnocení testu přechodnými jevy do komunikačních kabelů

Test do komunikačních kabelů								
Napětí	0,5 KV		1 KV		2 KV		4 KV	
Polarita	+	-	+	-	+	-	+	-
Mezi jednotkami	A	A	A	A	A	A	A	A
K ovládání	A	A	A	A	B	B	-	-
Dovolené kr.	B		B		B		B	

## Vyhodnocení zkoušky

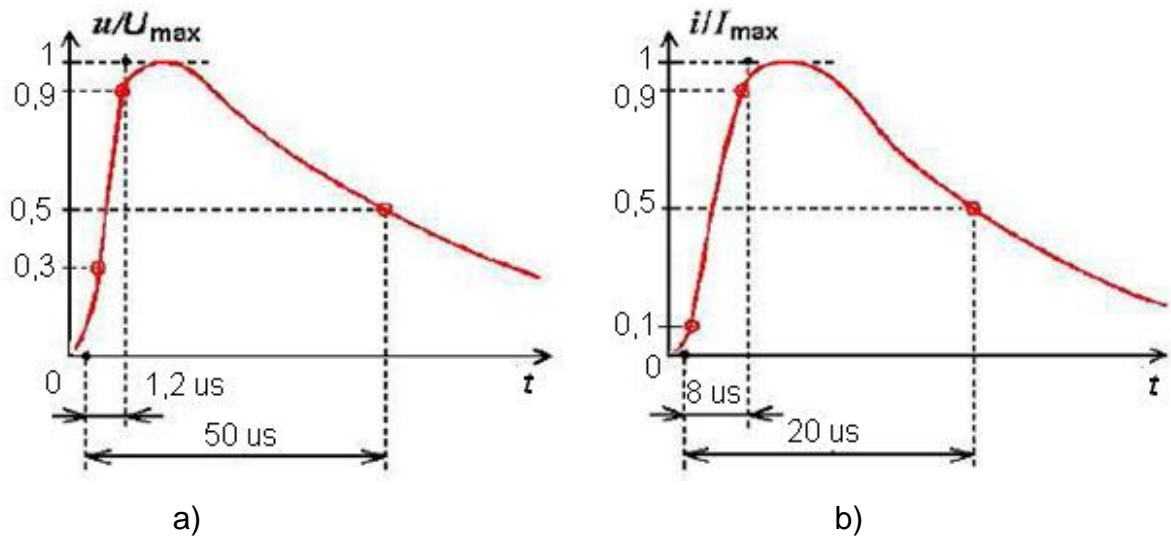
Klimatizační jednotka i ovládací panel během zkoušky na předepsaném napětí nevykazovaly žádnou chybovost, proto jsme vyzkoušeli zvýšit napětí. Při napětí 2 KV do ovládací jednotky začalo na displeji problikávat řádkování. Při tomto napětí jsme udělili kritérium B, a i když bylo od požadavku 4 krát navýšené, přesto stále byla v souladu s normou. Pro napájení jsme do 4 KV nenašli žádnou chybu.

### 2.3.4 ČSN EN 61000-4-5 ed. 2 - Rázový impulz

Při zkoušce odolnosti proti rázovému impulsu se simuluje rušení při atmosférických přepětích nebo při spínání v napájecích sítích. Vzniklé impulzy jsou nebezpečné vysokou energií, která se může projevit tepelnými účinky. Frekvenční spektrum pulzů je v rozmezí od 1 kHz do 1 MHz, energie těchto pulzů je až 50 J. Testovací impulzy jsou vytvářeny skokovým vybíjením kapacity do tvarovacího obvodu. Při výstupu generátoru naprázdno se jedná o napěťovou vlnu, která

produkuje pulz 1,2/50 $\mu$ s, při výstupu nakrátko je definována vlna proudová s tvarem 8/20 $\mu$ s.

Pokud je vstupní impedance na svorkách zkoušeného zařízení velká oproti výstupní impedanci zdroje, vytváří zdroj napěťový impuls. Pokud je vstupní impedance zkoušence menší než výstupní impedanci zdroje, vytváří zdroj impuls proudový. [11] [20]



Obr. 18 - tvar zkušebního signálu generátoru: a) impuls napětí naprázdno

b) rázový impuls proudu nakrátko

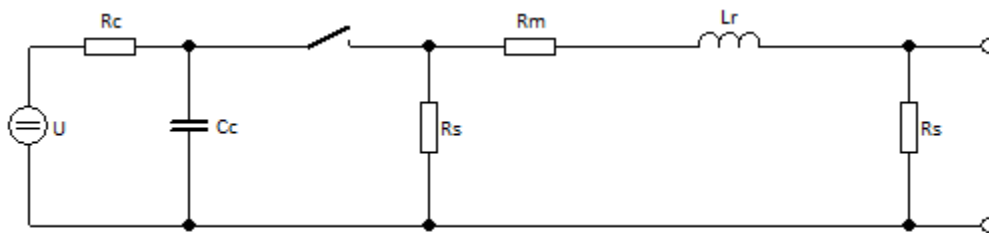
### Princip zkoušky:

Podle normy ČSN EN 61000-4-5 bylo zkoušené zařízení testováno s vazbou mezi vodiče napájecího obvodu. Použitý charakter vlny byl 1,2/50  $\mu$ s. Vrcholová hodnota napětí byla pro vazbu L-N 1kV a pro vazby L-PE a N-PE 2KV. Zkouška proběhla pro kladnou i zápornou polaritu rázových impulsů. Zkušební impulsy byly fázově posunuty o 0°, 90° a 270° vůči fázovému úhlu síťového napětí. Pro každý posuv bylo vygenerováno pět impulsů, mezi kterými byla 10 vteřin prodleva. [11] [20]

### Generátor kombinované vlny

Generátor kombinované vlny se skládá ze zdroje vysokého napětí, nabíjecího odporu  $R_c$ , kondenzátoru akumulujícího energii  $C_c$ , odporů pro tvarování doby trvání impulsu

$R_s$ , indukčnosti pro tvarování náběžné doby  $L_r$  a odporu přizpůsobujícího impedanci  $R_m$ . [20]



Obr. 19 – Schéma generátoru kombinované vlny

Tabulka 6: Naměřených údaje pomocí rázových impulzů

Napětí	Testované vodiče	Polarita	Fázový posun	Kritérium	Povolené Kr.
1 KV	L-N	+	0°	A	B
			90°	A	B
			270°	A	B
		-	0°	A	B
			90°	A	B
			270°	A	B
2 KV	L-PE	+	0°	A	B
			90°	A	B
			270°	A	B
		-	0°	A	B
			90°	A	B
			270°	A	B
2 KV	N-PE	+	0°	A	B
			90°	A	B
			270°	A	B
		-	0°	A	B
			90°	A	B
			270°	A	B

## Vyhodnocení zkoušky

Klimatizační jednotka i ovládací panel během zkoušky nevykazovaly žádnou abnormální činnost. Jednotka měla předepsané kritérium B, všechny testy však obstály na A, tudíž test splnila.

### 2.3.5 ČSN EN 61000-4-6 ed. 3 - Rušení šířeným vedením, indukovaným vf. polem

ČSN EN 61000-4-6 ed. 3 je norma týkající se požadavků na odolnost a způsoby zkoušky elektrického a elektronického zařízení vystaveného elektromagnetickým rušením přicházejícím od záměrných vysokofrekvenčních vysílačů v kmitočtovém rozsahu 150 kHz až 80 MHz. Z těchto zařízení jsou vyloučeny přístroje, pokud nemají alespoň jeden přívodní kabel. Tímto je myšleno síťové napájení, signální vedení nebo připojení k uzemnění, které může vytvořit vazbu zařízení na rušivá vysokofrekvenční pole. [11][21]

#### Princip zkoušky

Testované zařízení (EUT) musí být minimálně 10 centimetrů nad referenční zemnicí hladinou (GRP). Ze zkušebního generátoru se přes útlumový člen přivádí signál do kleštiny, ve které probíhá injektování do kabelů do ní vložených. Útlumový člen (černý obdélník) má za úkol snížit rušivé signály o 0 - 40 dB. Proudová sonda hlídá procházející vysokofrekvenční proud, aby v případě přetížení odpojila generátor a zabránila tak jeho destrukci. [11] [21]



Obr. 20 – Útlumový člen a kleština

Kmitočtový rozsah je normalizován od 150 kHz do 80 MHz. Rušivý signál má modulovanou sinusovou vlnou o frekvenci 1 kHz a s amplitudou 80 %. Vazební impedance je 150  $\Omega$ . Vysokofrekvenční krok je vždy 1% z předcházejícího kmitočtu. Pro náš test je předepsána třída 3 s napětíovou úrovní 10 V. [21]

### **Třída 3: Nenáročné prostředí elektromagnetického zařízení**

V této třídě se používají přenosné vysílačky s výkonem 2 W a více. Umisťují se přibližně 1 metr od zařízení. Jedná se o typické průmyslové prostředí, ve kterém mohou být umístěna vědecká a lékařská zařízení.

#### **Feritové kleště Luthi EM101**

Zkušební feritové kleště Luthi EM101 se používají na testování odolnosti vůči elektromagnetickému poli. Jejich frekvenčním rozsahem je 0,15 – 1000 MHz. Svorka má induktivní i kapacitní vazbu, proto je schopna injektovat vysoké proudy. Kleště mohou být napájeny z vysokofrekvenčního generátoru o výkonu 100 W při kmitočtovém rozsahu 0,15 až 230 MHz, nebo od burst generátoru s nabíjecím napětím až 4 kV. Tyto testy se provádí na speciálních zařízeních s vysokou úrovní imunity.[22]



Obr. 21 – Absorpční kleště

#### **Vyhodnocení zkoušky**

Tato zkouška byla časově velmi náročná. Frekvenční krok byl 1% z předešlé hodnoty a odstup mezi kroky 3 vteřiny. Od 150 KHz do 230 MHz šlo o 631 frekvenčních kroků. Posuzování správné funkce zkoušeného zařízení při takto dlouhém testu je velmi náročné, jelikož náhodné kontroly funkce zařízení mohou minout případnou chybu. Při našem častém kontrolování jsme žádnou chybu neodhalili, a proto jsme u zařízení vyhodnotili funkční kritérium A.



### 2.3.6 ČSN EN 61000-4-8 ed. 2 - Magnetické pole síťového kmitočtu

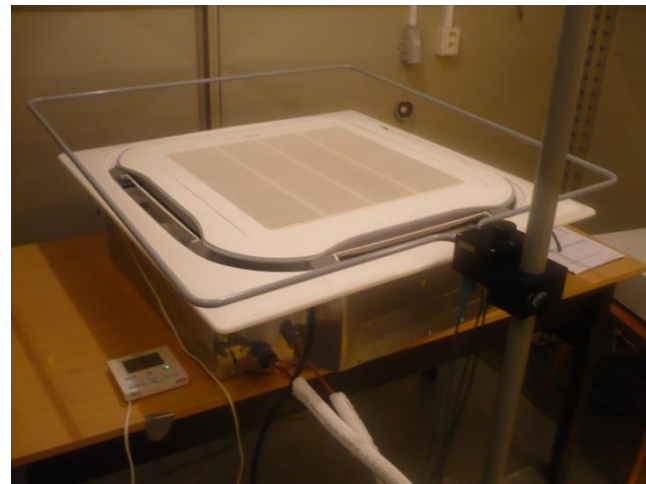
Zkouška ověřující vliv magnetického pole blízkých vodičů protékanych proudem síťového kmitočtu má smysl pro zařízení, které mají nějaký zobrazovací element. Mezi nejčastější zástupce patří displej nebo třeba i PC monitor. Základem měřicího stanoviště je kalibrovaná cívka (rámová anténa) o rozměrech 1 x 1 metr. Do této cívky je vloženo zkoušené zařízení, pokud je větší, tak se testuje nad a pod, jinak ve třech na sebe kolmých směrech. Při předepsané intenzitě magnetického pole je pro obytné prostředí 3 A/m a síťové frekvence 50 Hz, pro průmyslové prostředí 30 A/m. Je zde vyžadována odolnost kritéria A. U zobrazovačů je kontrolováno chvění obrazu. [11] [23]

#### Zkouška magnetickým polem síťového kmitočtu

Naše zařízení bylo možné testovat pouze ze dvou na sebe kolmých směrů, ze třetího nám bránil přívod chladiva, tudíž jako třetí směr ozářování jsme zvolili nad měřenou jednotkou.



a)



b)



c)

Obr. 22 – Umístění a orientace zkušební cívky

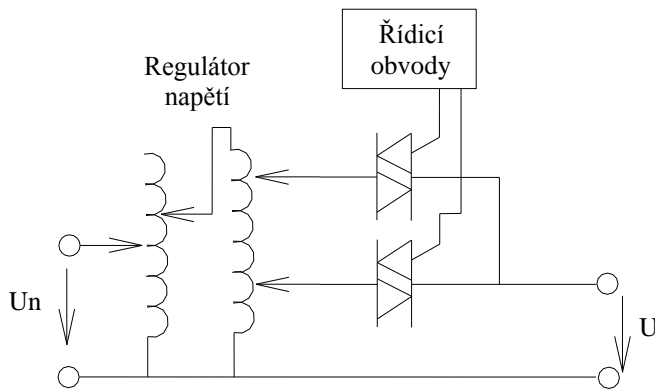
## Vyhodnocení zkoušky

Jednotku jsme testovali intenzitou 3 A/m i 30 A/m. Při tomto testu nebyla na jednotce ani na její řídicí jednotce zjištěna žádná chyba. Displej neměl vadu řádkování, proto jsme vyhodnotily test kritériem A.

### 2.3.7 Norma ČSN EN 61000-4-11 ed. 2 - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí

Norma ČSN EN 61000-4-11 se zabývá odolností proti kolísání napětí. Zkouší se u zařízení se vstupním fázovým proudem do 16 A. Kolísání napětí může být způsobeno připojováním velkých zátěží, regulací odbočkovými transformátory v distribuční síti nebo poruchovými stavy. Časové průběhy, velikost a způsob změny napájecího napětí pro obytné a průmyslové prostředí jsou určeny v normě. Pro krátkodobé poklesy bývá hodnota napětí 10% -15%  $U_N$  a doba trvání 0,5 periody – 50 period. Krátká přerušení jsou krátkodobé poklesy napětí o hodnotě 100 % na určený časový okamžik.

Pomalé změny napětí jsou takové změny, kdy velikost napájecího napětí klesá na 70% 40%, příp. 0 %  $U_N$  na dobu 1 s, přičemž doba klesání a zpětného stoupání velikosti napětí činí 2 s. [11] [24]



Obr. 23 – Schéma generátoru napěťových změn

## Postup zkoušky

Zkouška se dělila na 4 testy. Prvním testem byl pokles napětí na 0V po dobu 20 ms se změnou fáze. Fáze nabývala hodnot  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  a  $270^\circ$ . Pro všechny fáze vyšlo kritérium A. Poté byl nastaven pokles na 40 %  $U_N$  což je 92 V po dobu 200 ms. Na vnitřní jednotce nebyla zjištěna žádná závada, tudíž kritérium A, ale vnější jednotka přestala topit a byl potřeba restart. Kdybychom hodnotili jednotku jako celek, přiřadili by jsme kritérium C. Třetím testem byl pokles na 70%  $U_N$  (161 V) na čas 500 ms. U tohoto testu se přestaly hýbat lamely u vnitřní jednotky i vnější jednotka přestala topit. Opět se musela restartovat, a proto kritérium C. Posledním testem byl úplný výpadek na 5 sekund. Jednotka zcela zkolabovala a musela být cca na minutu úplně bez napájení, poté naběhla. Opět kritérium C. [11] [24]

## Vyhodnocení zkoušky

Tato práce je zaměřena na testování vnitřní jednotky, proto z tohoto hlediska v prvních dvou testech obstála na A, i když byl požadavek B. Pro časy 0,5 s a 5 s bylo postačující kritérium C a to jsme také přidělili.

## 2.4 Zkouška měření emisí

### 2.4.1 Norma ČSN EN 61000-6-3 ed. 2 ZMĚNA A1 - Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu

Požadavky na emise jsou ve frekvenčním rozsahu od 0 Hz až 400 GHz. Frekvenční rozsah pro měření konduktivních emisí je od 150 kHz do 30 MHz. Od 30 MHz výše se měří vyzařované emise pomocí antén. Na kmitočtech, kde nejsou stanoveny požadavky, není třeba provádět měření. Tato norma je předepsaná pro přístroje určené k přímému připojení do veřejné sítě nízkého napětí. Vztahuje se na obytná prostředí, obchodní prostředí a na prostředí lehkého průmyslu, jak pro vnitřní, tak venkovní.

#### Konduktivní emise (Emise na napájecím vedení)

Test je popsán v normě EN 55022

V zařízení, které jsou napájeny z elektrické soustavy, vznikají rušivé signály. Tyto signály mohou vystupovat právě do elektrické sítě. K měření se používá umělá síť, ta odfiltruje všechny rušivé signály z elektrické soustavy do zařízení. Zpětně rušivé signály z testovaného zařízení se zaznamenávají v spektrálním analyzátoru. [11] [25]

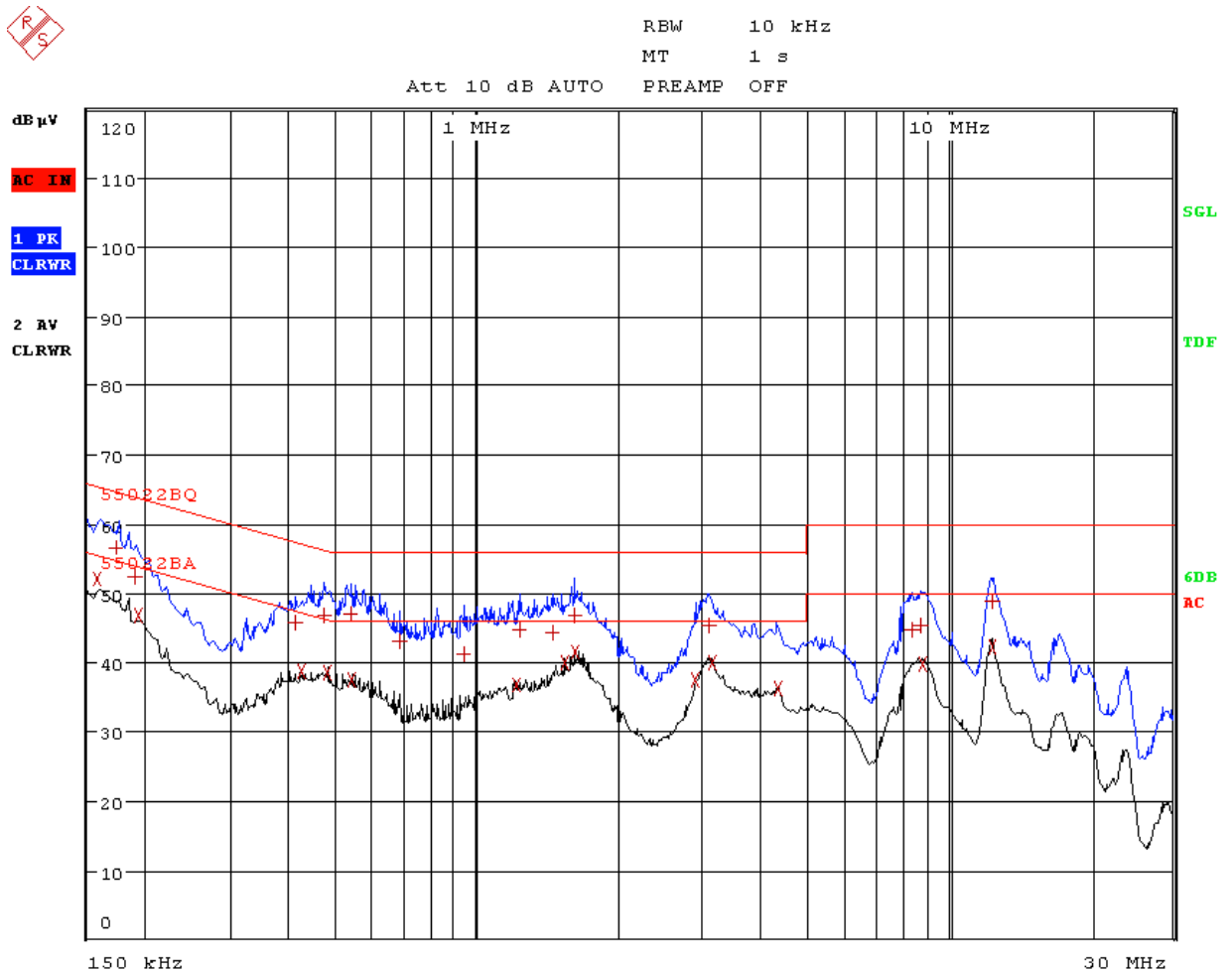
Tabulka 7: Tabulka emisního testu pro domácí využití

Kmitočtové pásmo	Meze dB ( $\mu$ V)	
	kvazivrcholová	střední
0,15 – 0,5 MHz	66 až 56	56 až 46
0,5 – 5 MHz	56	46
5 – 30 MHz	60	50

Frekvenční meze se nastaví na měřícím přijímači, který frekvence přeladuje a zaznamenává hodnoty. Poté přesně proměří body, které se blíží nebo překračují

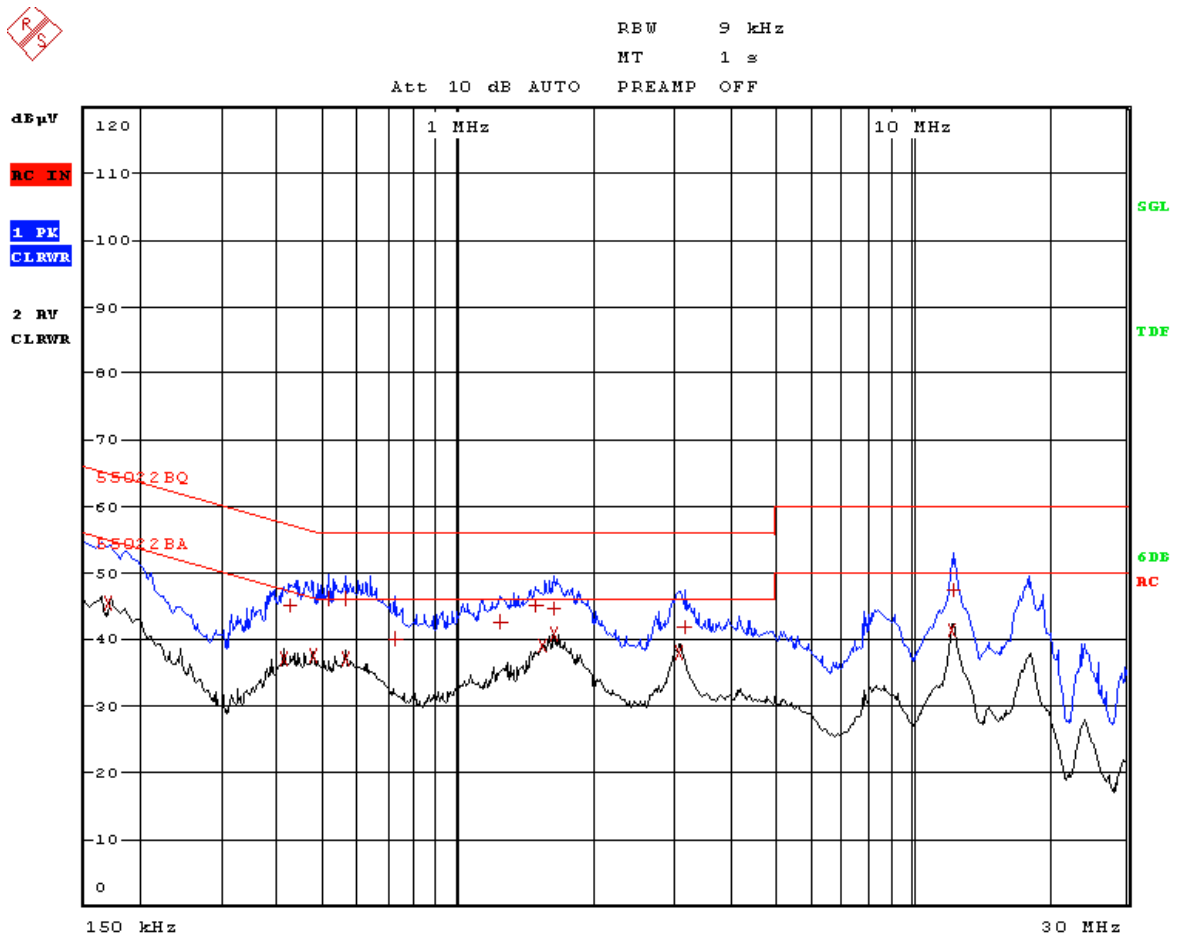
mez. U těchto bodů proměřuje kvazivrcholovou a střední hodnotu. Jako měřicí přijímač je použit selektivní mikrovoltmetr R&S ESU8.

## Výsledky zkoušky



Obr. 24 – Naměřené hodnoty pro nulový vodič (frekvenční rozsah 150KHz-30MHz)

Pro nulový vodič byla nejvyšší střední hodnota 40,03 dBµV při frekvenci 3,15 MHz. Tato hodnota byla o -5,96 dB pod limitou. Pro kvazivrcholovou hodnotu byla nejbližší hodnota o -11,24 dB od limity.



Obr. 25 – Naměřené hodnoty pro fázový vodič (frekvenční rozsah 150KHz-30MHz)

Pro fázový vodič byla nejvyšší střední hodnota 40,83 dB $\mu$ V při frekvenci 1,626 MHz. Tato hodnota byla o -5,16 dB pod limitou. Pro kvazivrcholovou hodnotu byla nejbližší hodnota o -9,98 dB od limity při frekvenci 562 kHz.

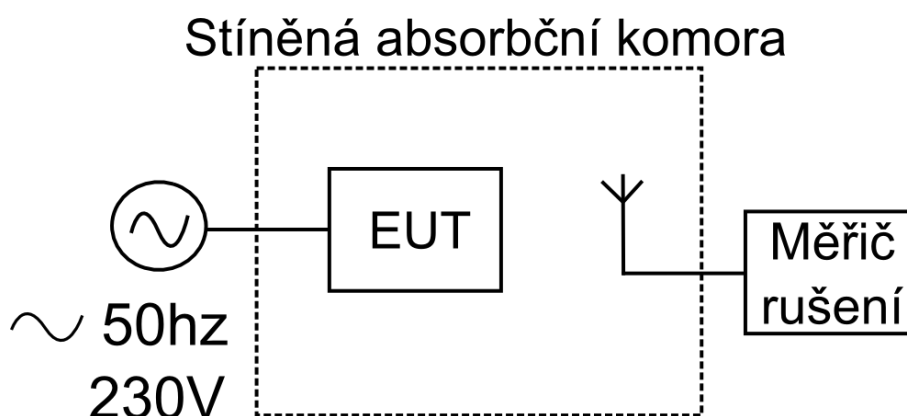
## Měření charakteristik pomocí antén

Tento test je také popsán v normě EN 55022.

Pro měření vyzařovaného vf rušení se používají stejné normy, jaké se používají pro test po vodičích, ale měřicí metody jsou odlišné. Vyzařované rušení se měří jako intenzita elektrického pole. Testovací anténa je v předepsané vzdálenosti od měřeného výrobku. Měřicí anténa je připojena k měřicímu přijímači, a to ve směru

maximálního vyzařování. Meze jsou udány v decibelech vztažených na  $1 \mu\text{V}$  v závislosti na kmitočtu rušivého signálu. Při měření je třeba eliminovat vliv okolního rušení. Úroveň rušivého signálu by měla být nejméně 6 dB pod specifikovanými mezemi. Pokud tuto hodnotu není možné zajistit, je lepší provádět měření v bezodrazové stíněné komoře nebo v redukované vzdálenosti a s přepočítanými mezemi. [11] [25]

### Postup zkoušky a schéma zapojení



Obr. 26 – Schéma zapojení pro měření elektromag. rušení anténami

Měření se provádí od 30MHz do 1000MHz. Pro frekvence od 30 MHz do 200 MHz se používá Bikónická anténa, pro frekvence 200 MHz až 1000 MHz Logaritmickeperiodická anténa. Podle normy by mělo být zařízení od antény ve vzdálenosti 10 metrů, což některé komory neumožňují a vzdálenost antény od testovaného zařízení je pouze 3 metry. V těchto případech se musí zvýšit kvazivrcholová mez o 10 dB. [25]

Tabulka 8: Tabulka emisního testu pomocí antén

Kmitočtové pásmo	Meze dB ( $\mu\text{V}$ )	
	Kvazivrcholová(normová)	Kvazivrcholová(pro 3 m)
30 – 230 MHz	30	40
230 –1000 MHz	37	47

Pro funkci zařízení jsme museli do bezodrazové komory umístit i venkovní jednotku, která však svou funkcí a především přívodními kabely rušila celé měření. Venkovní jednotku a kabely jsme zčásti odstínili feritovým absorbérem. Po odměření celého frekvenčního pásma oběma anténami v horizontálním i vertikálním směru jsme začali s modifikacemi vnitřní jednotky. Modifikace byly pouze tři. Sundání krytů, změna vedení vodičů k lamelám a odstranění feritového jádra z napájení motoru.

### **Bikónická anténa (BC-01)**

Používá se pro kmitočtové pásmo 30MHz-200MHz [26]

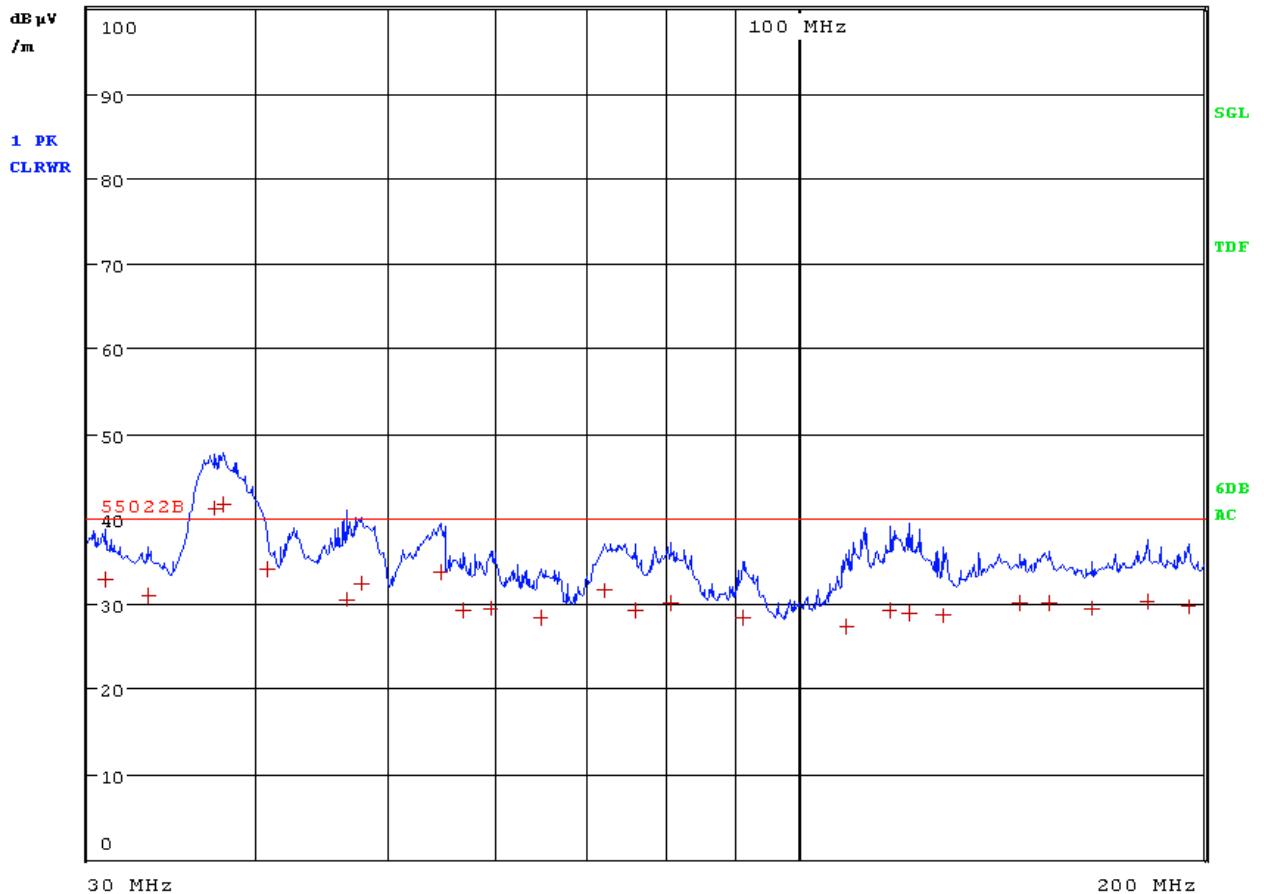


Obr. 27 – Bikónická anténa

STEPPED SCAN TABLE					
Scan Start	30 MHz				
Scan Stop	200 MHz				
Step Mode	AUTO				
	RANGE 1	RANGE 2	RANGE 3	RANGE 4	RANGE 5
Start	30 MHz				
Stop	200 MHz				
Step Size(A)	40 kHz				
Res BW	120 kHz				
Meas Time	10 ms				
Auto Ranging	OFF				
RF Attn	10 dB				
Preamp	OFF				
Auto Preamp	OFF				
RF Input	INPUT 1				

Obr. 28 – Nastavení testu pro měření emisí BC anténou



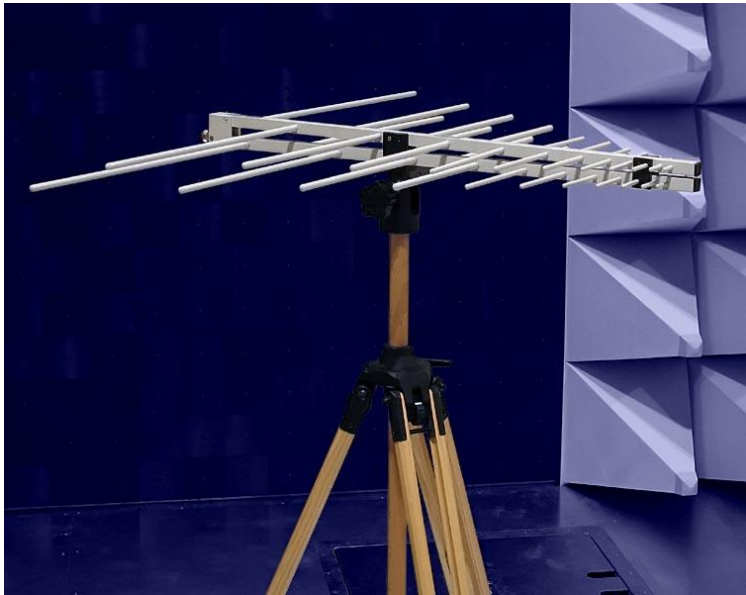


Obr. 29 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa vertikálně

Pro všechny zkoušky ve frekvenčním pásmu od 30 MHz do 200 MHz při vertikální polarizaci antén testy nespĺnily pøedepsané meze. Tato skutečnost bude nejspíše zapříčiněna vyzařováním a tím pádem i rušením vnější jednotky. I přes snahu odstínit vnější jednotku a kabelové vedení mezi jednotkami, domníváme se, že tato skutečnost nebyla dostatečně zajištěna a proto jsou tyto výsledky pouze orientační. Pro testy jednotky s krytem a bez krytu byly rozdíly minimální a výsledky grafů jsou v příloze (B1 – B4)

**Logaritmicko-periodická anténa**

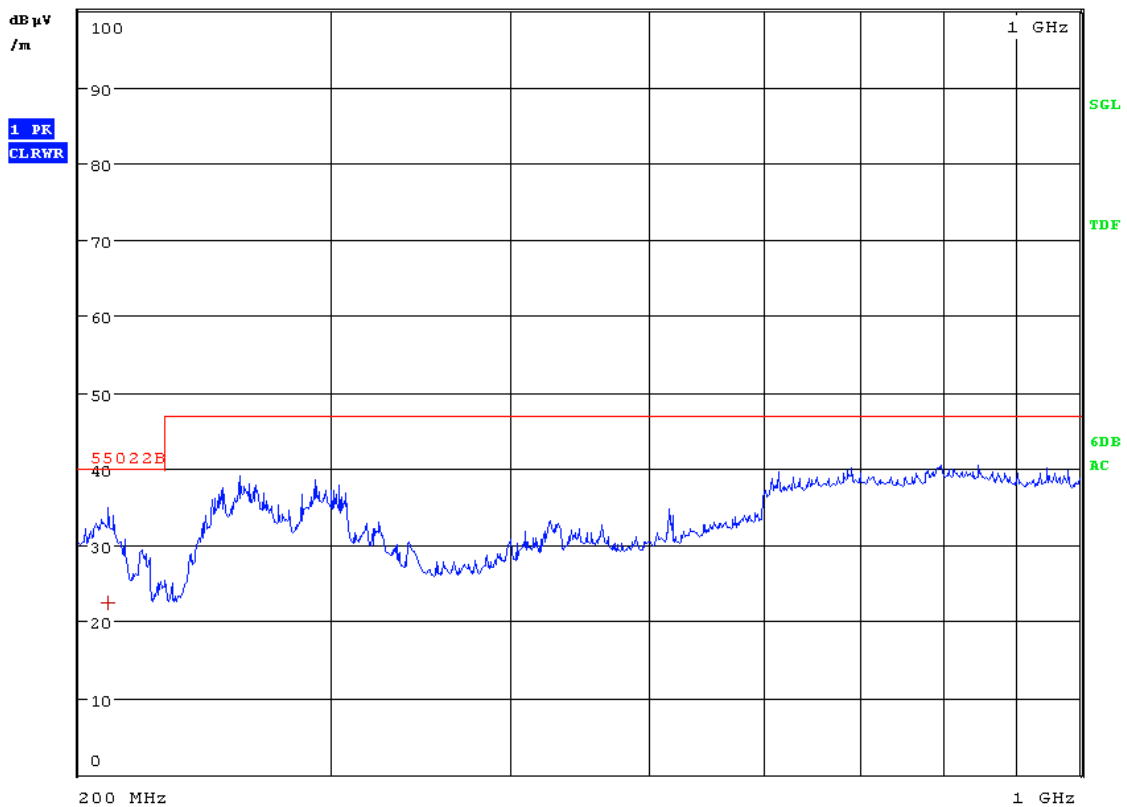
Používá se pro kmitočtové pásmo 200MHz-1000MHz



Obr. 30 – Logaritmicko-periodická anténa

STEPPED SCAN TABLE					
Scan Start	200 MHz				
Scan Stop	1 GHz				
Step Mode	AUTO				
	RANGE 1	RANGE 2	RANGE 3	RANGE 4	RANGE 5
Start	200 MHz				
Stop	1 GHz				
Step Size(A)	40 kHz				
Res BW	120 kHz				
Meas Time	10 ms				
Auto Ranging	OFF				
RF Attn	10 dB				
Preamp	OFF				
Auto Preamp	OFF				
RF Input	INPUT 1				

Obr. 31 – Nastavení testu pro měření emisí Logaritmicko-periodickou anténou



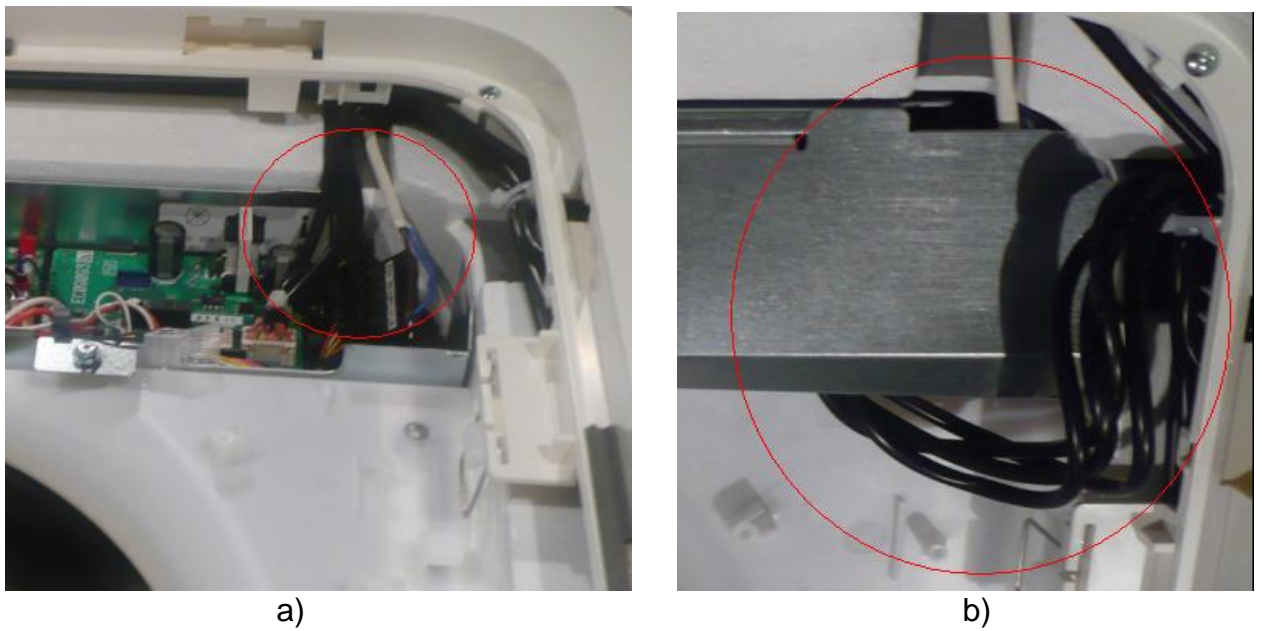
Obr. 32 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa vertikálně

Naměřené hodnoty elektromagnetických emisí v rozsahu 200 MHz až 1 GHz byly hluboko pod povolenou úrovní. Z toho vyplynulo, že jednotka není náchylná na takto vysoké frekvence.

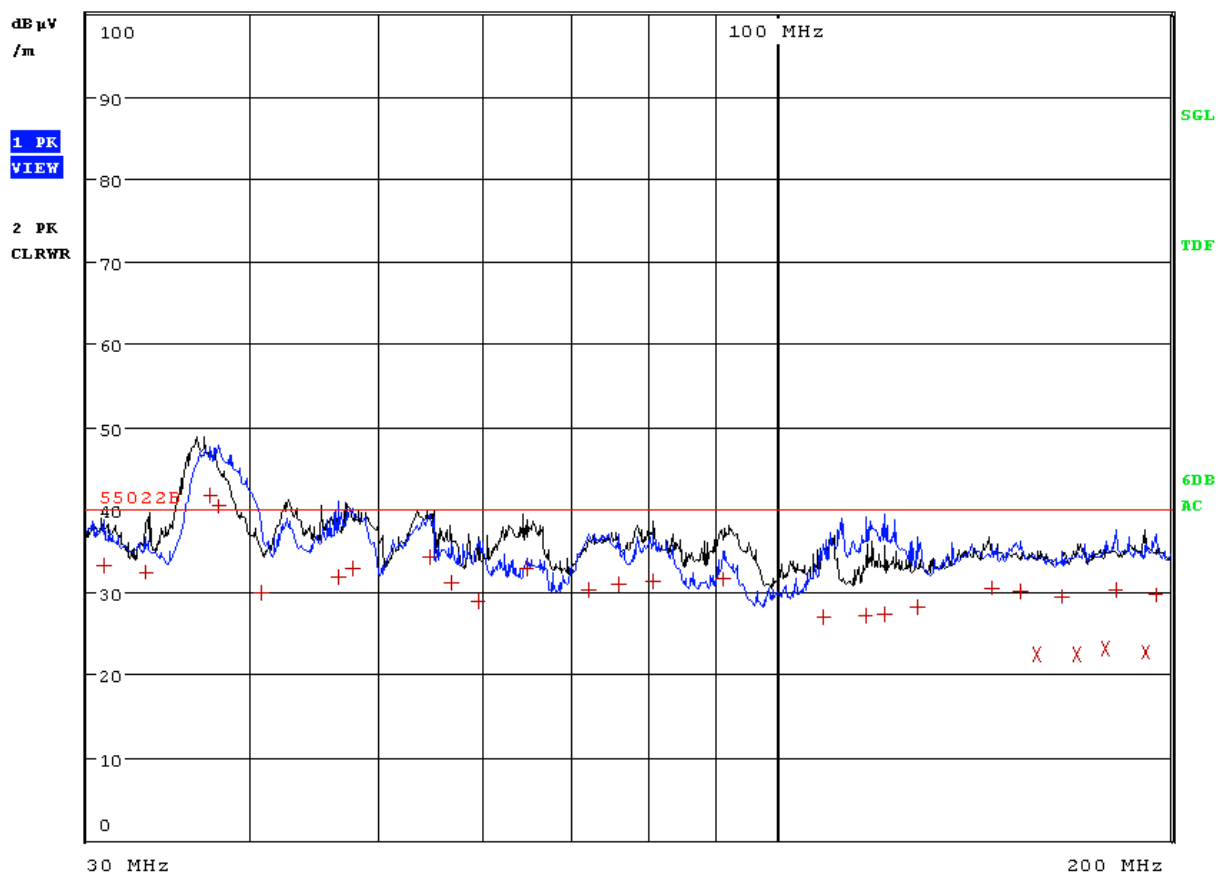
## Modifikace

První modifikací byla změna trasy kabelového vedení pro napájení lamel. Původně byl kabelový svazek veden zadem, společně s řídicí jednotkou. Při otevírání krytu však docházelo k poruchám na těchto vodičích, proto byla jejich trasa pozměněna viz obrázek 38. Tato modifikace nemá vliv na testy odolnosti, proto zde ani nejsou přiloženy.

## Změna kabelového vedení pro napájení lamel



Obr. 33 – Změna vyvedení kabelů pro napájení lamel: a) původní vyvedení  
b) nové vyvedení

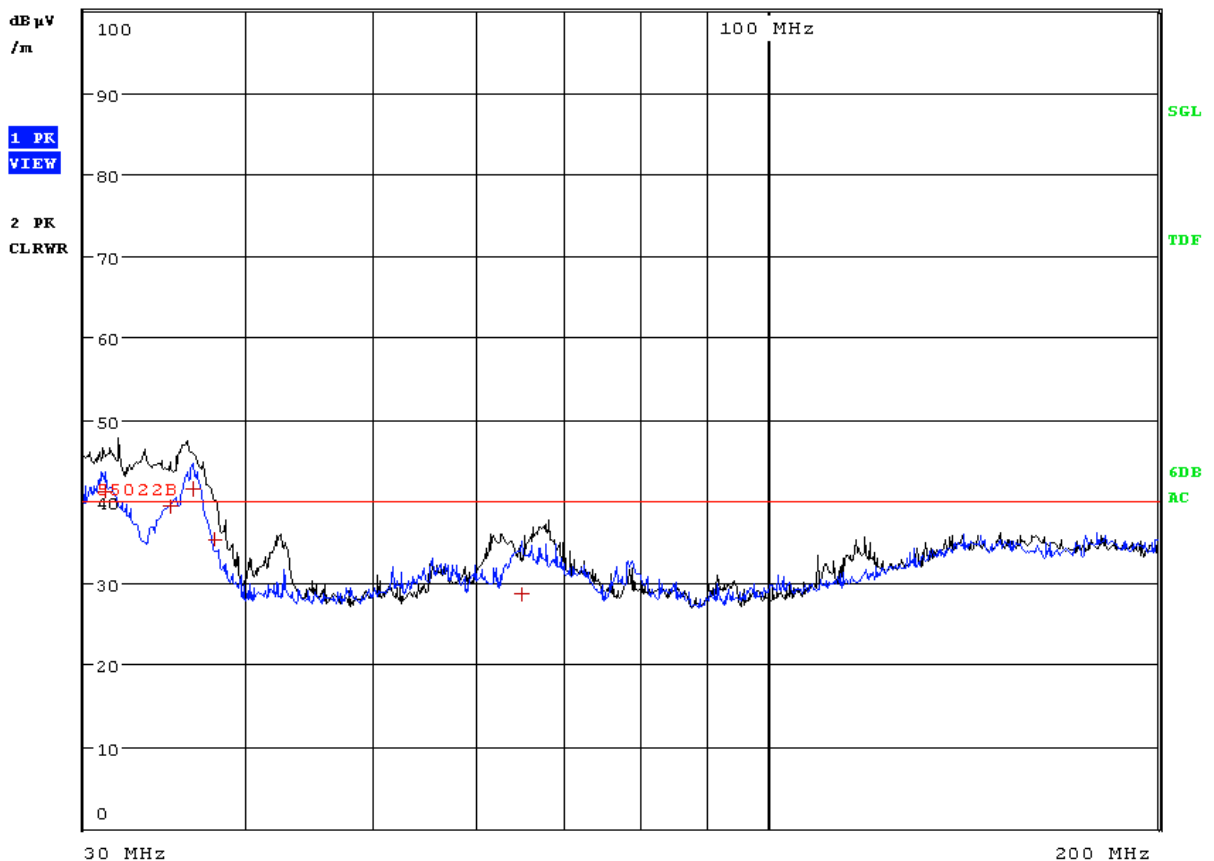


Obr. 34 – Hodnoty pro změnu vedení 30MHz-200MHz, anténa vertikálně (černý graf)

Podle grafů je vidět, že po změně vedení vodičů (černý graf) se hodnoty změnily jen minimálně, tudíž můžeme prohlásit, že tato modifikace nemá žádný zásadní vliv na tyto testy.

### Testy bez feritu na kabelech k motoru

Druhou modifikací bylo sundání feritového jádra z kabelů k motoru. Tato změna byla navržena z důvodu ušetření výrobních nákladů. I zde byla jednotka pouze testována na emisní testy.



Obr. 35 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně (černý bez feritu)

Pro měření jednotky bez feritového jádra nám vyšly výsledky u nižších frekvencí výrazně vyšší než s použitím tohoto jádra. Pro vyšší frekvence již nebyl rozdíl tak výrazný, jak je například vidět na grafu C2 v příloze.

## Závěr

Cílem závěrečné práce bylo seznámit se s normami pro splnění CE směrnic pro klimatizační zařízení a konstrukci klimatizačních jednotek. Z těchto poznatků navrhnout modifikaci za účelem snížení výrobních nákladů nebo usnadnění výrobního procesu. Tyto úpravy otestovat a vyhodnotit. Závěrečná práce je proto rozdělena na tři hlavní skupiny.

První skupinou byly teoretické informace o klimatizační jednotce, o rozdělení testů na odolnost a na měření emisí. Dále v této části byla vysvětlena funkční kritéria, kterými se hodnotí výsledky testů a postup tohoto hodnocení.

Druhou a stěžejní skupinu tvořily jednotlivé testy. Testy byly poskládané podle čísel norem. V každém testu je obecné představení dané normy, schéma či popis použitých přístrojů, mezní hodnoty a vyhodnocení testu. V závěru této skupiny jsou emisní testy. U těchto testů je vždy jen jeden graf, zbytek výsledků je přidán v příloze.

Poslední skupinu tvoří modifikace. Mezi modifikace jsem zařadil i měření jednotky bez ochranného a ozdobného krytu. Dále je zde měření se změnou trasou kabelového vedení pro lamely a odstranění feritového válečku k motoru. I zde je u každé modifikace pouze jeden graf a ostatní výsledky jsou umístěny v příloze.

V celkovém hodnocení bych doporučil možnou změnu trasy vedení, protože rozdíl rušení byl minimální. Test vyšel i s odstraněným krytem, takže by bylo možné kryt modifikovat buďto zvětšením otvorů pro lepší chlazení či změnou materiálu pro snížení výrobních nákladů. Na výsledky testu by tato modifikace měla mít pouze malý vliv. Není možné ušetřit náklady odejmutím feritového jádra z vedení motoru, protože pro nižší hodnoty frekvencí se dostáváme nad normovou limitu rušení.

## Seznam literatury

- [1] Hudec, Jaroslav. *Přepětí a elektromagnetická kompatibilita*. Vyd. 1. Hradec Králové: Hakej, 1996. 229 s. ISBN 80-902201-0-X
- [2] Prof. Ing. Jiří Svačina, CSc. *Základy elektromagnetické kompatibility*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2005. ISBN 80-214-2864-3.
- [3] Vaculíková, Polina. *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů: praktický průvodce techniky omezení elektromagnetického vř rušení*. 1. vyd. Praha: Grada, 1998. 487 s. ISBN 80-7169-568-8
- [4] Kováč, Dobroslav, Kováčová, Irena a Kaňuch, Ján. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. 1. vyd. Praha: BEN, 2006. 216 s. ISBN 80-7300-202-7.
- [5] S-klimatizace. [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.s-klimatizace.cz/klimatizace/princip.php>
- [6] Klimatizace [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.eldos-shop.cz/eldos/eshop/6-1-Klimatizace/16-2-Funkce-klimatizace>
- [7] Odborné časopisy [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/rychlejsi-instalace-klimatizacnich-pristroju-39262.html>
- [8] Alfaco [online]. [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: [http://www.alfaco.cz/copeland/udaje/zp\\_r410a.pdf](http://www.alfaco.cz/copeland/udaje/zp_r410a.pdf)
- [9] doc. Ing. Jaroslav Svoboda, CSc., Ing. Polina Vaculíková, CSc., Ing. Miroslav Vondrák, CSc., Ing. Tomáš Zeman. *Základy elektromagnetické kompatibility*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1993.
- [10] ČSN EN 61000-4-2 ed. 2 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-2: Zkušební a měřicí technika - Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti, 1.11.2009, 76s
- [11] Odborné časopisy [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/emc-v-technicke-praxi-vi:-zakladni-merici-metody-31498.html>
- [12] ČSN EN 61000-4-3 ed. 3 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-3: Zkušební a měřicí technika - Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti, 1.11.2006, 52 s
- [13] Technické normy [online]. [cit. 2014-04-08]. Dostupné z: <http://www.technickenormy.cz/csn-en-61000-4-3-ed-3-elektromagneticka-kompatibilita-emc-cast-4-3-zkusebni-a-merici-technika-vyzarovane-vysokofrekvencni-elektromagneticke-pole-zkouska-odolnosti/>

- [14] Frankonia [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: [http://www.gigatest.net/frankonia/emc\\_test\\_instruments.pdf](http://www.gigatest.net/frankonia/emc_test_instruments.pdf)
- [15] RF spin [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.rfspin.cz/anteny/drh18.php>
- [16] Frankonia antény [online]. [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://www.frankoniagroup.com/downloads/Antennas/Antennas%20Komplett.pdf>
- [17] Frankonia komora [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.frankoniagroup.com/cms/en/products/absorberhallen-hf-geschirmte-kabinen/>
- [18] Bezodrazová komora [online]. [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://ezu.cz/onas/vybaveni-laboratori/bezodrazova-komora-na-mereni-emc/>
- [19] ČSN EN 61000-4-4 ed. 2 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-4: Zkušební a měřicí technika - Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů - Zkouška odolnosti, 1.5.2005, 28 s
- [20] ČSN EN 61000-4-5 ed. 2 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-5: Zkušební a měřicí technika - Rázový impulz - Zkouška odolnosti, 1.7.2007, 44 s
- [21] ČSN EN 61000-4-6 ed. 3 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-6: Zkušební a měřicí technika - Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli, 1.11.2009, 68 s
- [22] LUTHI. RFC URRENT.INJECTIOCNLA MPT YPEE M1 01: *Electromagnetic lamp, SystemS wissP TT*. Frenkendorf, 1995.
- [23] ČSN EN 61000-4-8 ed. 2 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-8: Zkušební a měřicí technika - Magnetické pole síťového kmitočtu - Zkouška odolnosti, 1.10.2010, 44 s
- [24] ČSN EN 61000-4-11 ed. 2 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-11: Zkušební a měřicí technika - Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí - Zkoušky odolnosti, 1.3.2005, 28 s
- [25] ČSN EN 55022 ed. 3 - Zařízení informační techniky - Charakteristiky vysokofrekvenčního rušení - Meze a metody měření, 1.11.2011, 72 s
- [26] NARDA. BC01: Biconical antenna 30 to 200 MHz. Milano. 3s



## Seznam obrázků

Obr. 1 – Základní dělení EMC zkoušek .....	11
Obr. 2 – Hranice kompatibility .....	12
Obr. 3 – Základní řetězec EMC a příklady jednotlivých oblastí .....	13
Obr. 4 – Schématické znázornění celé sestavy .....	16
Obr. 5 – Sestava v bezodrazové komoře .....	17
Obr. 6 – Schéma zkušební generátoru .....	18
Obr. 7 – Zkušební generátor (nasazen kontaktní hrot) .....	18
Obr. 8 – Tvar vlny ze zkušební generátoru .....	19
Obr. 9 – vyznačení bodů testovaných pomocí nepřímého výboje .....	20
Obr. 10 – vyznačení bodů testovaných kontaktním hrotem na krytu řídicí jednotky .....	20
Obr. 11 – Anténa BTA-M Hybrid .....	22
Obr. 12 – Trychtýřová anténa .....	22
Obr. 13 – Schéma bezodrazové komory .....	23
Obr. 14 – Bezodrazová komora .....	24
Obr. 15 – Schéma generátoru skupin impulzů .....	26
Obr. 16 – Zobrazení skupiny impulzů a jednotlivého impulzu .....	26
Obr. 17 – Kapacitní kleština .....	27
Obr. 18 - tvar zkušební signálu generátoru .....	29
Obr. 19 – Schéma generátoru kombinované vlny .....	30
Obr. 20 – Útlumový člen a kleština .....	31
Obr. 21 – Absorpční kleště .....	32
Obr. 22 – Umístění a orientace zkušební cívky .....	34
Obr. 23 – Schéma generátoru napěťových změn .....	35
Obr. 24 – Naměřené hodnoty pro nulový vodič (frekvenční rozsah 150KHz-30MHz) .....	37
Obr. 25 – Naměřené hodnoty pro fázový vodič (frekvenční rozsah 150KHz-30MHz) .....	38
Obr. 26 – Schéma zapojení pro měření elektromag. rušení anténami .....	39
Obr. 27 – Bikónická anténa .....	40
Obr. 28 – Nastavení testu pro měření emisí BC anténou .....	40
Obr. 29 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa vertikálně .....	41
Obr. 30 – Logaritmicko-periodická anténa .....	42
Obr. 31 – Nastavení testu pro měření emisí Logaritmicko-periodickou anténou .....	42
Obr. 32 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa vertikálně .....	43
Obr. 33 – Změna vyvedení kabelů pro napájení lamel .....	44
Obr. 34 – Hodnoty pro změnu vedení 30MHz-200MHz, anténa vertikálně (černý graf) .....	44
Obr. 35 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně (černý bez feritu) .....	45
Obr. A1 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně .....	53
Obr. A2 – Ukázka tabulky pro rozsah 30MHz-200MHz anténa horizontálně .....	53
Obr. A3 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, porovnání uložení kabelů (modrá- navolno, černá-odstíněná) .....	54
Obr. A4 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa horizontálně .....	54
Obr. A5 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně .....	55
Obr. A6 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa vertikálně .....	55
Obr. B1 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně .....	56

Obr. B2 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa vertikálně.....	56
Obr. B3 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa horizontálně .....	57
Obr. B4 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa vertikálně.....	57
Obr. C1 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně .....	58
Obr. C2 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa horizontálně .....	58
Obr. C3 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa vertikálně.....	59
Obr. D1 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa vertikálně (černý bez feritu, modrý s feritem) .....	59
Obr. D2 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa horizontálně.....	60
Obr. D3 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa vertikálně .....	60

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Vyhodnocení výbojů .....	20
Tabulka 2: Vyhodnocení testu na vyzařované vysokofrekvenční elektromag. pole .....	25
Tabulka 3: Zkušební úrovně pro rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů .....	27
Tabulka 4: Vyhodnocení testu přechodnými jevy do napájecích kabelů .....	28
Tabulka 5: Vyhodnocení testu přechodnými jevy do komunikačních kabelů .....	28
Tabulka 6: Naměřených údaje pomocí rázových impulzů .....	30
Tabulka 7: Tabulka emisního testu pro domácí využití .....	36
Tabulka 8: Tabulka emisního testu pomocí antén .....	39

## **Seznam příloh**

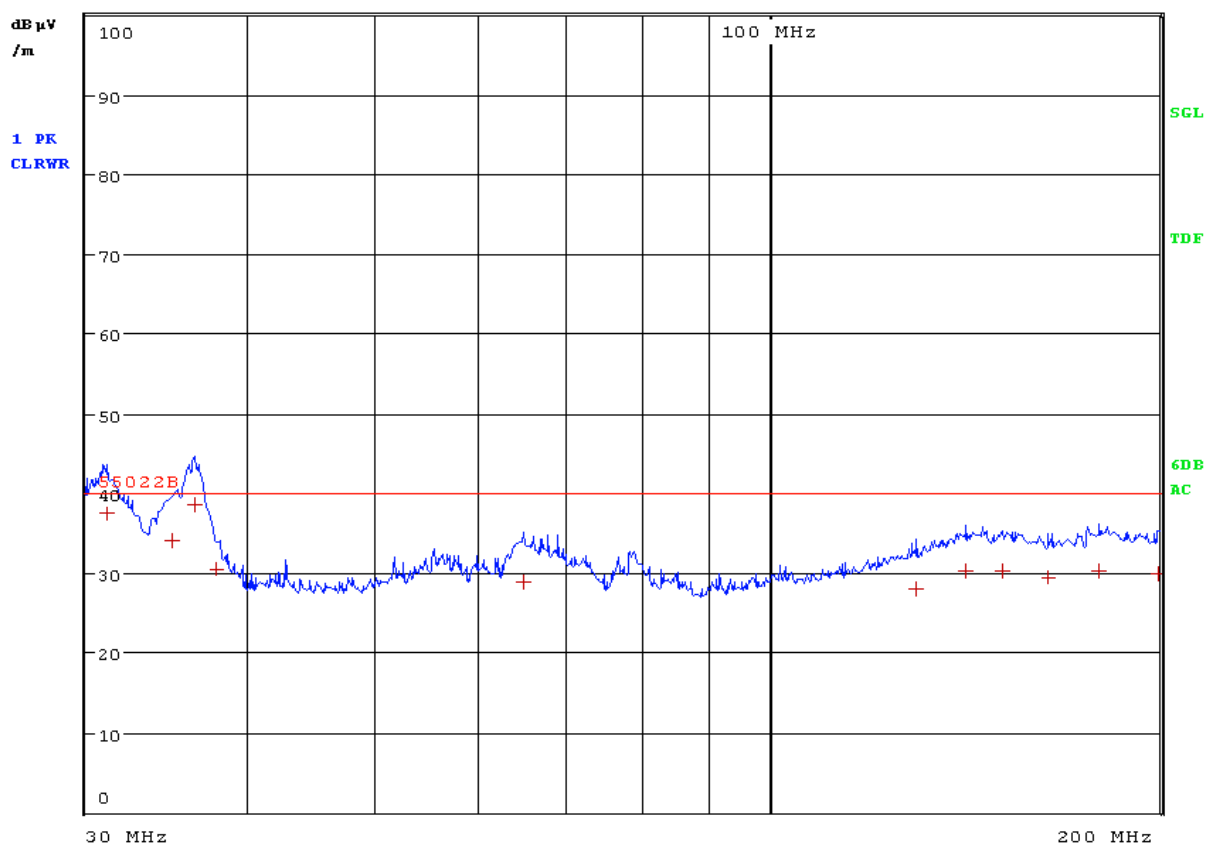
Příloha A – Konduktivní grafy bez modifikace

Příloha B – Modifikace 1 – Testy bez krytu

Příloha C – Modifikace 2 – Grafy se změnou vedení pro lamely

Příloha D – Modifikace 3 – Grafy bez feritu

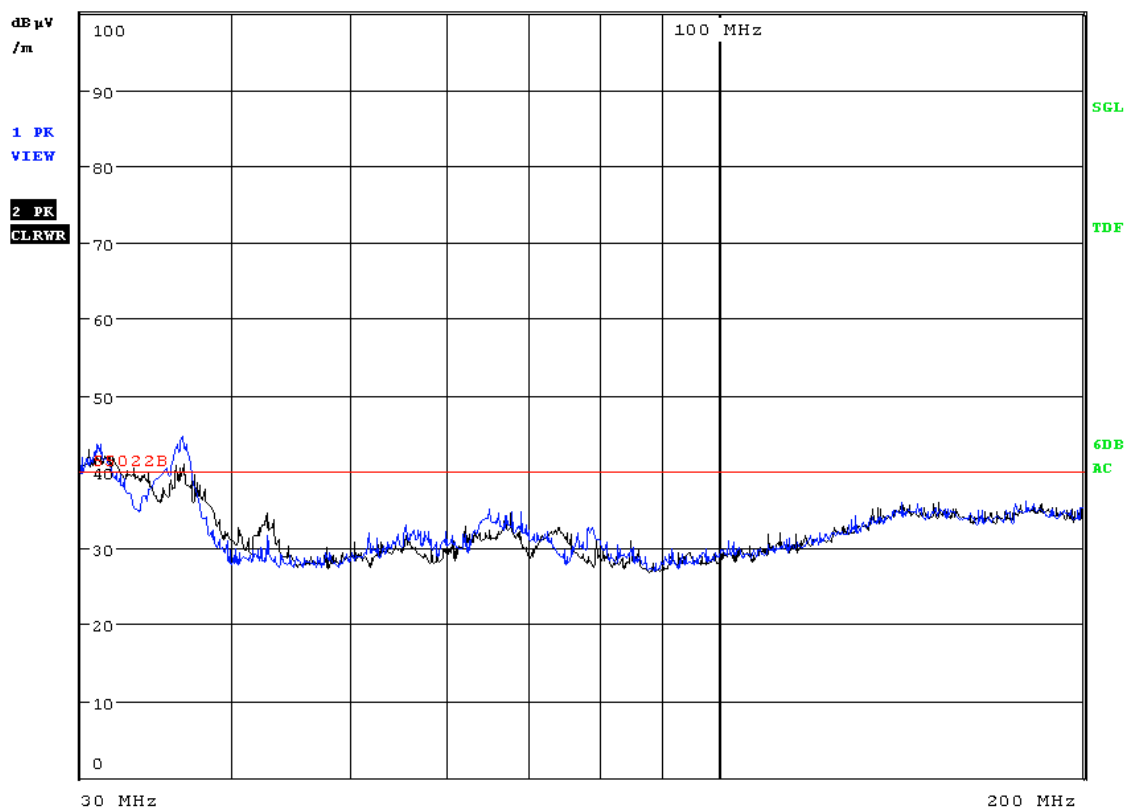
## Příloha A: Grafy jednotky bez modifikace



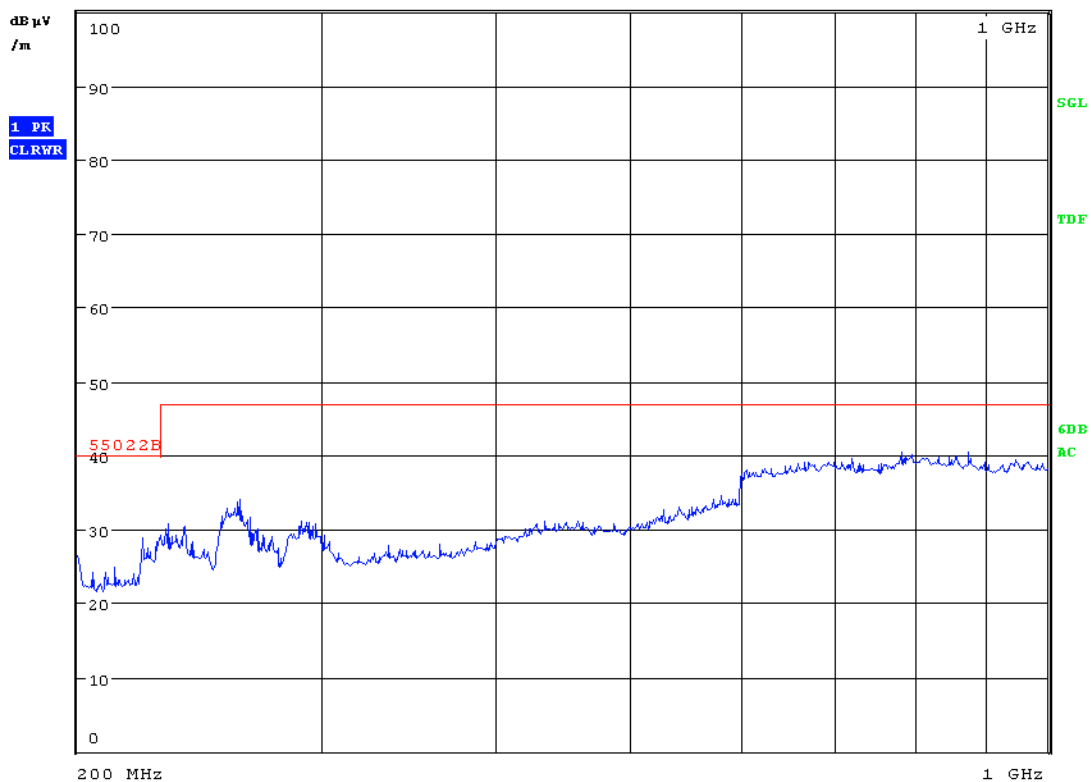
Obr. A1 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně

EDIT PEAK LIST (Final Measurement Results)			
Trace1:	55022B		
Trace2:	---		
Trace3:	---		
TRACE	FREQUENCY	LEVEL dBμV/m	DELTA LIMIT dB
1 Quasi Peak	31.04 MHz	37.48	-2.51
1 Quasi Peak	34.88 MHz	34.18	-5.81
1 Quasi Peak	36.32 MHz	38.63	-1.36
1 Quasi Peak	37.68 MHz	30.49	-9.51
1 Quasi Peak	64.8 MHz	28.89	-11.10
1 Quasi Peak	129.96 MHz	28.04	-11.95
1 Quasi Peak	141.64 MHz	30.46	-9.53
1 Quasi Peak	151 MHz	30.38	-9.61
1 Quasi Peak	164.16 MHz	29.57	-10.42
1 Quasi Peak	179.4 MHz	30.31	-9.68
1 Quasi Peak	199.52 MHz	29.83	-10.16

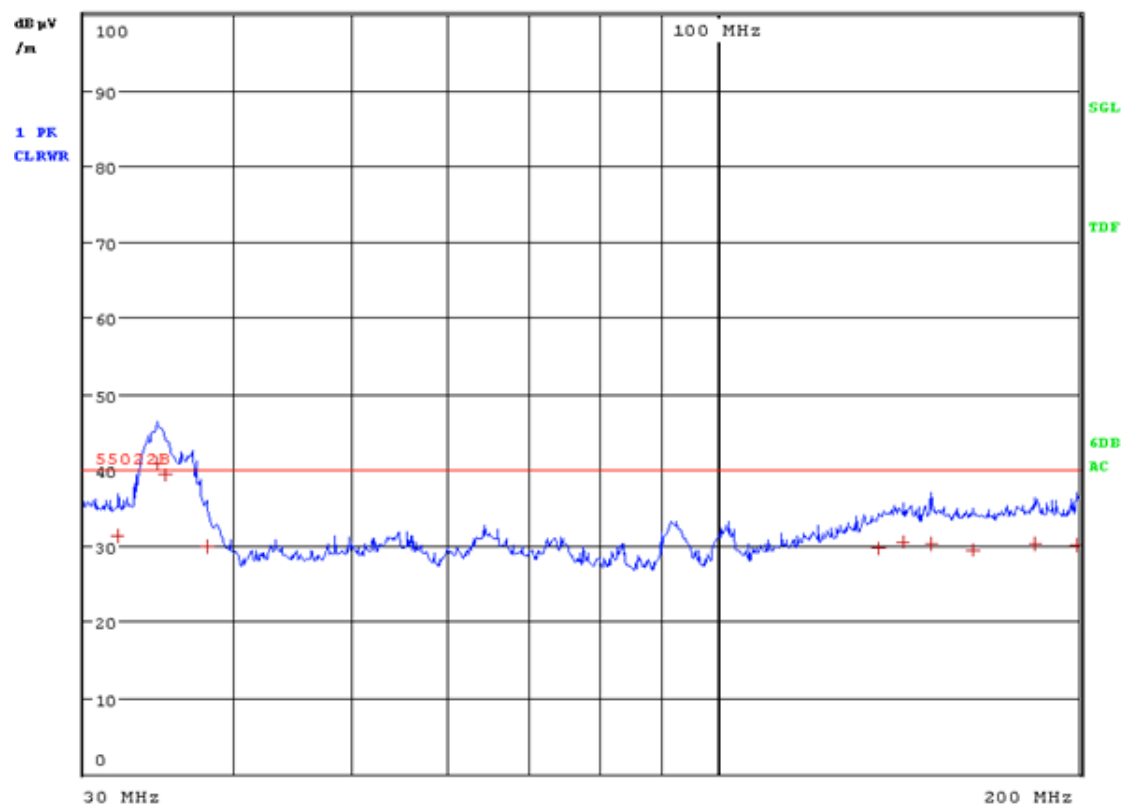
Obr. A2 – Ukázka tabulky pro rozsah 30MHz-200MHz anténa horizontálně



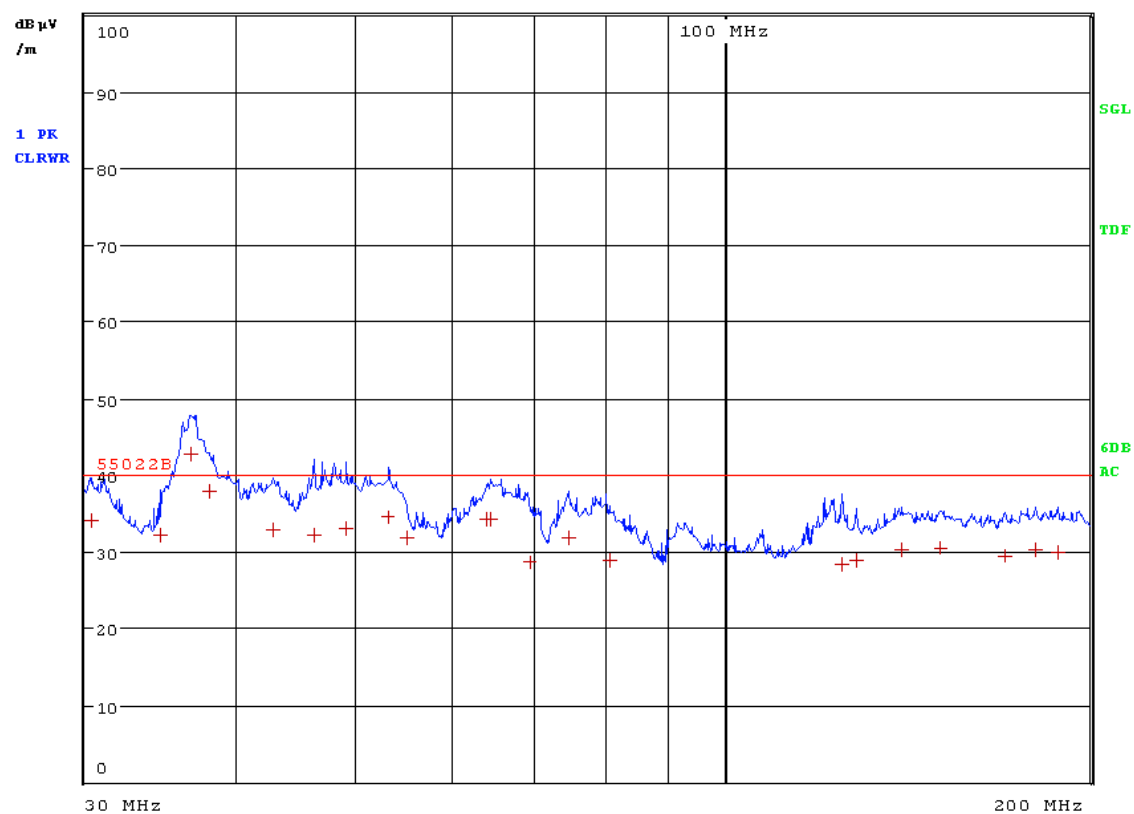
Obr. A3 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, porovnání uložení kabelů (modrá-navolno, černá-odstíněná)



Obr. A4 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa horizontálně



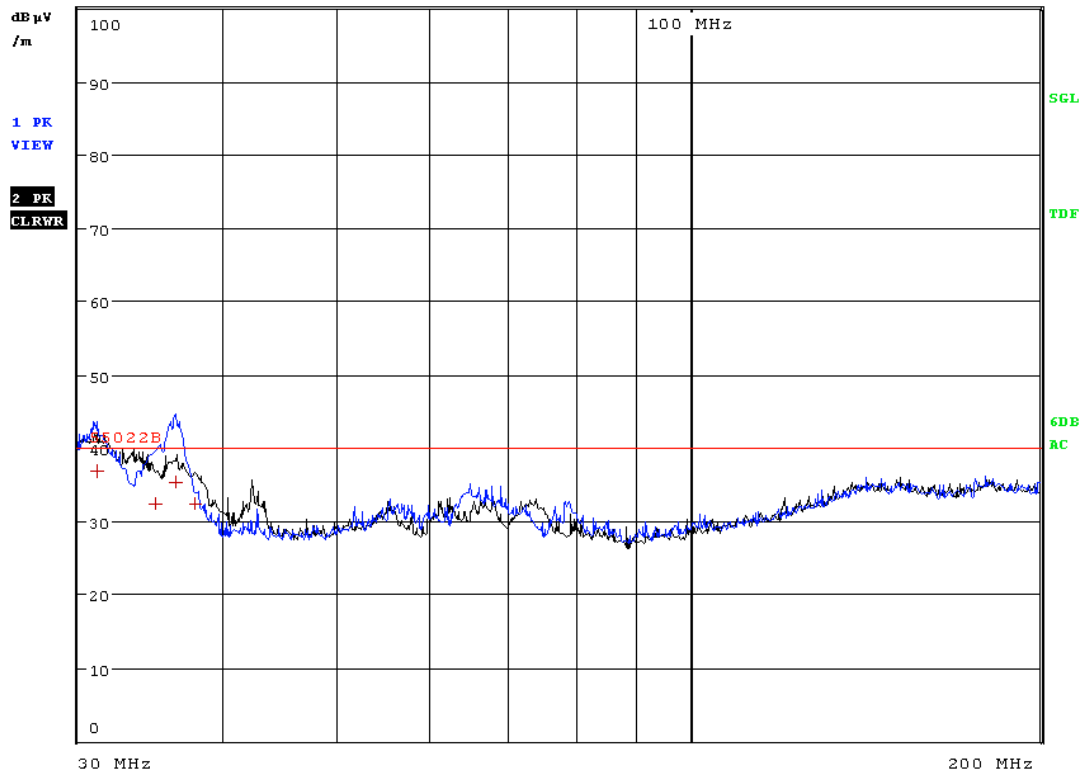
Obr. A5 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně



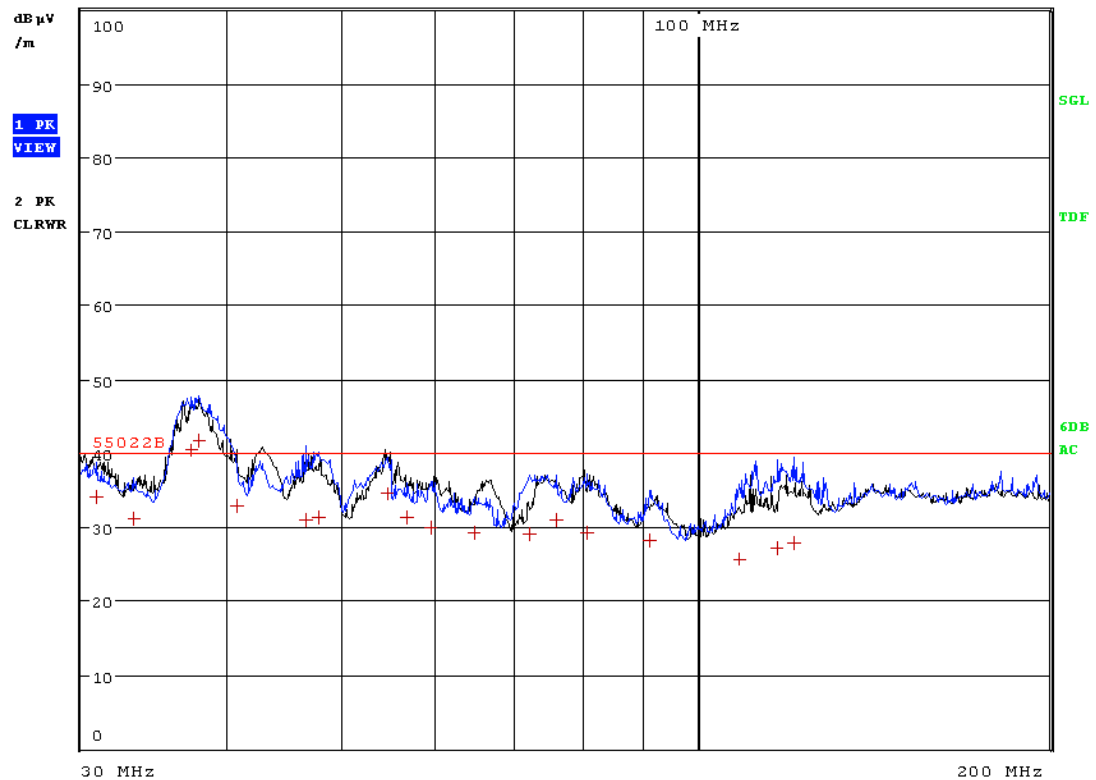
Obr. A6 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa vertikálně

## Modifikace

### Testy bez krytu

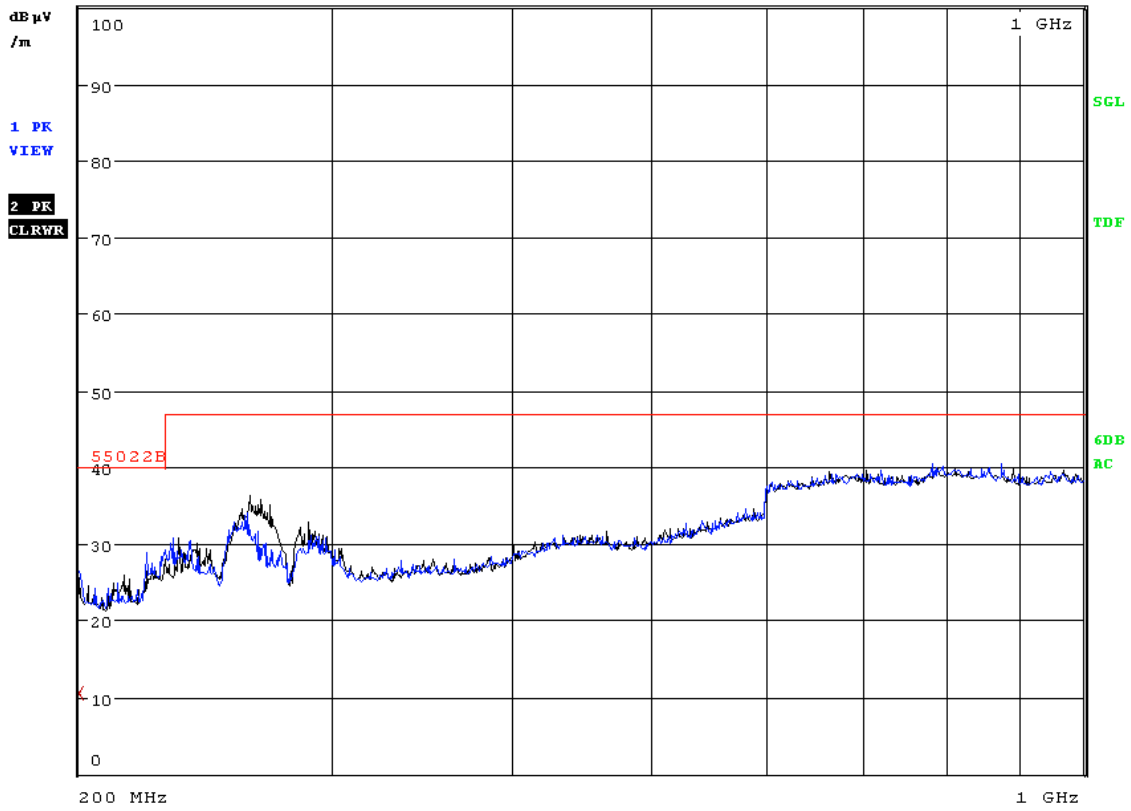


Obr. B1 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně (černá bez krytu, modrá s krytem)

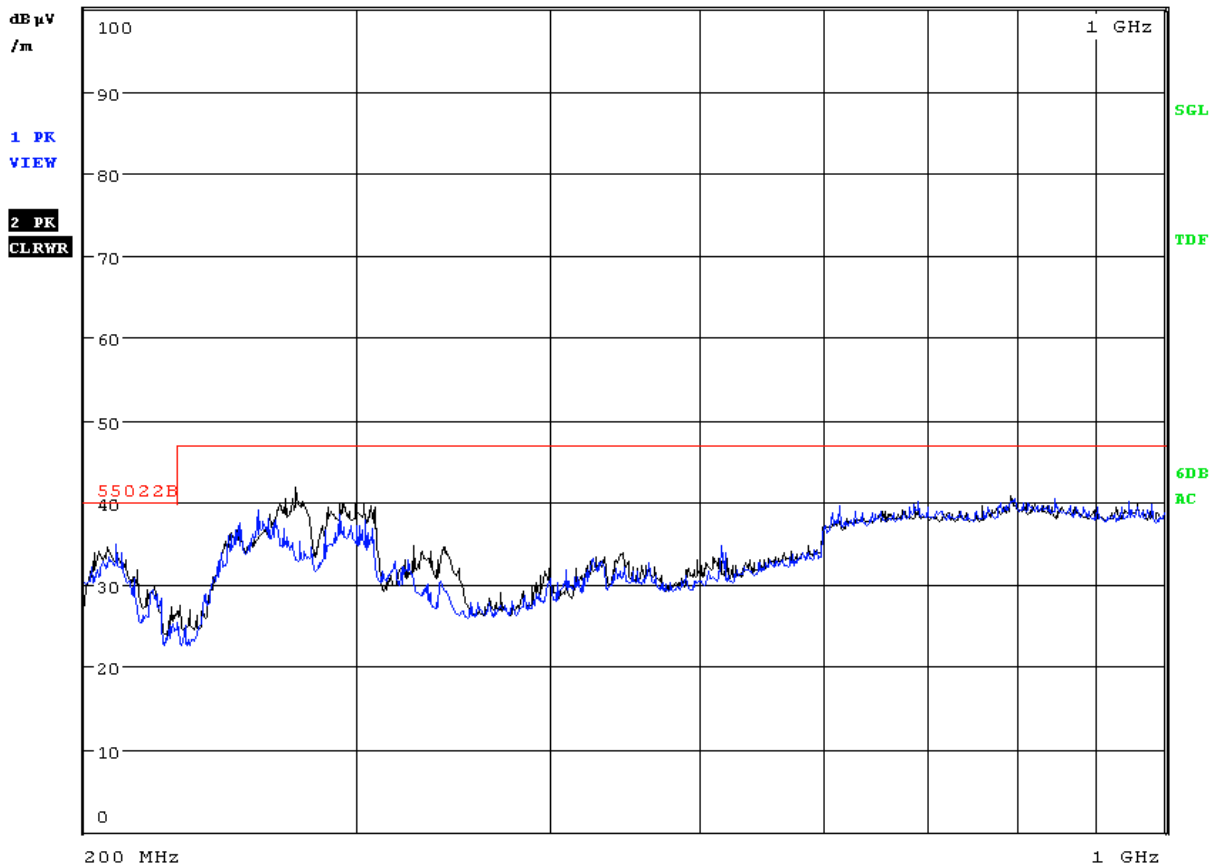


Obr. B2 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa vertikálně



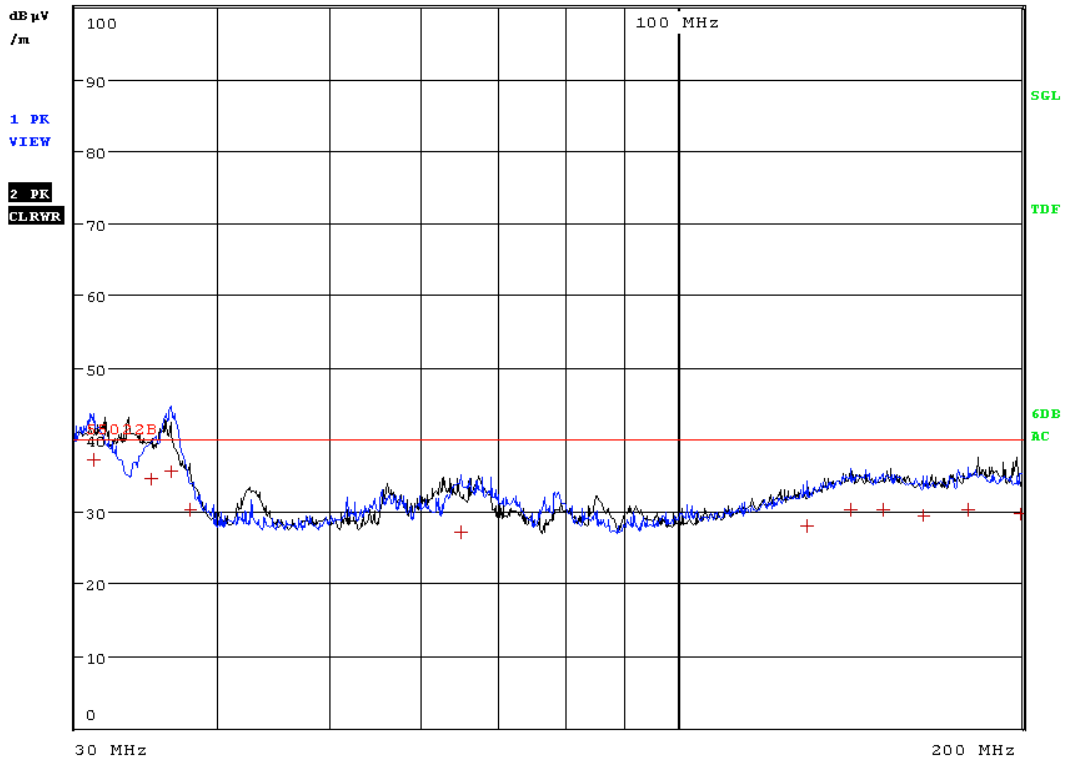


Obr. B3 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa horizontálně

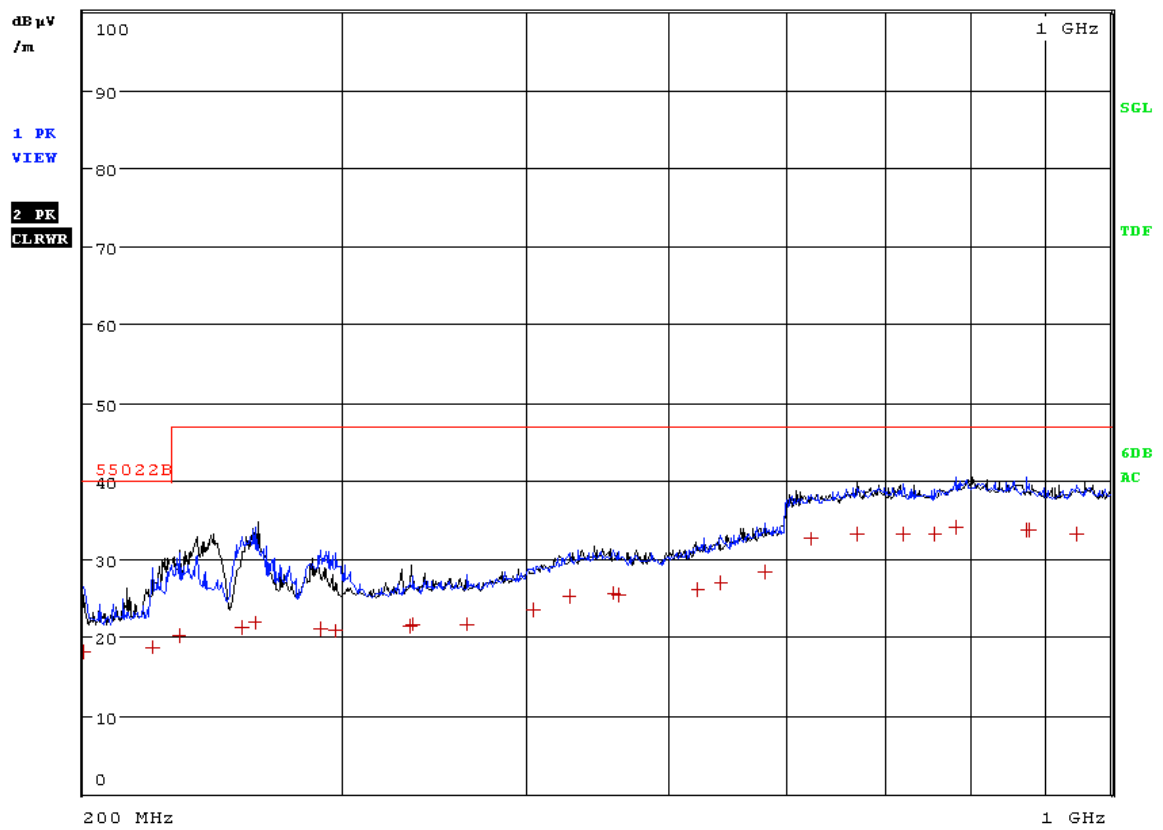


Obr. B4 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa vertikálně

**Grafy se změnou vedení pro lamely**



Obr. C1 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa horizontálně (černá - nová trasa)

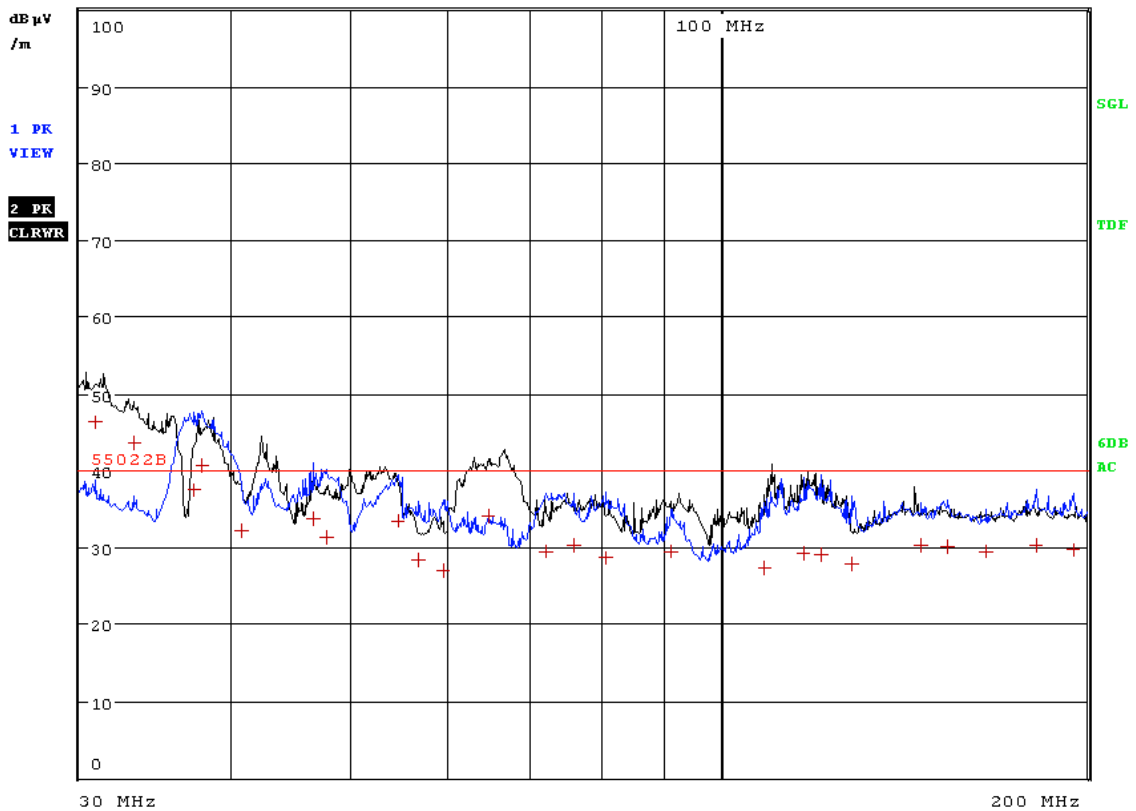


Obr. C2 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa horizontálně

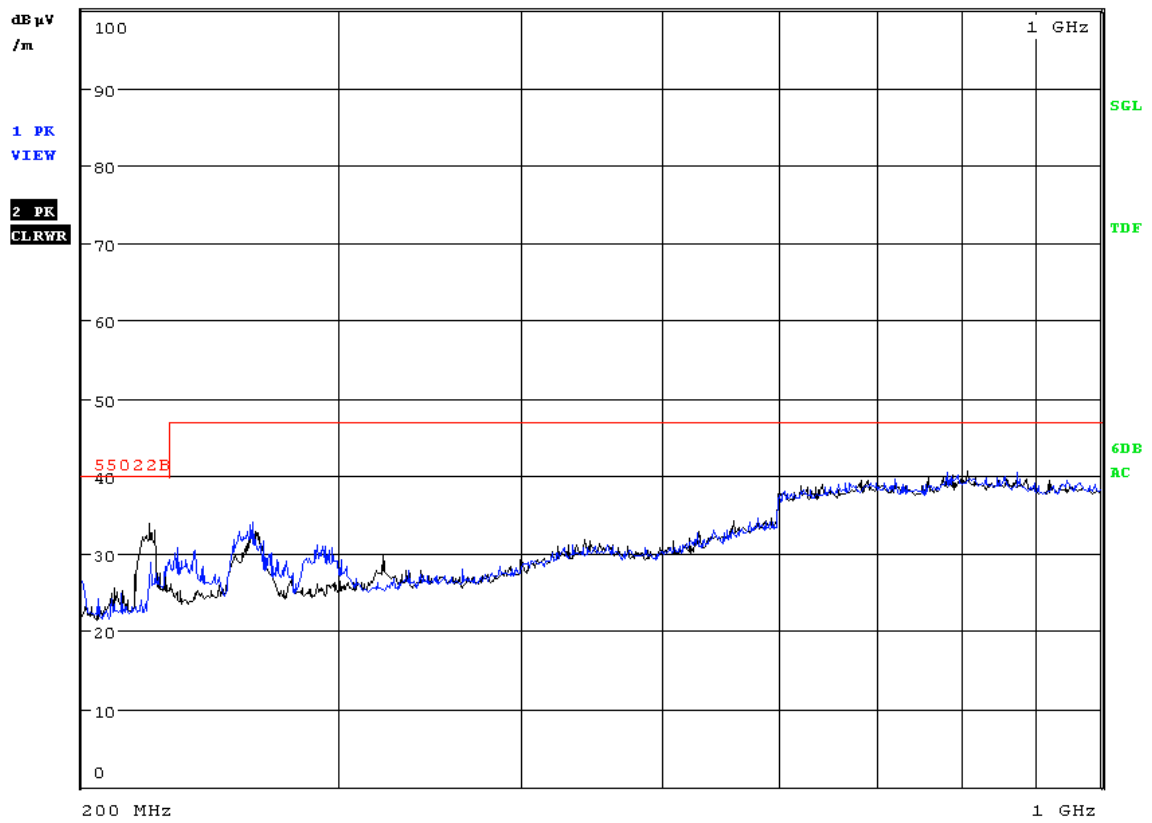


Obr. C3 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa vertikálně

**Grafy bez feritu**



Obr. D1 – Elektromag. emise v rozsahu - 30MHz až 200MHz, anténa vertikálně (černý bez feritu, modrý s feritem)



Obr. D2 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa horizontálně



Obr. D3 – Elektromag. emise v rozsahu - 200MHz až 1GHz, anténa vertikálně