

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Shoda nově vyvíjeného produktu s EMC požadavky

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Petr CAFOUREK
Osobní číslo: E12N0175P
Studijní program: N2644 Aplikovaná elektrotechnika
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika
Název tématu: Shoda nově vyvíjeného produktu s EMC požadavky
Zadávací katedra: Katedra elektroenergetiky a ekologie

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s aplikovatelnými normami pro splnění CE směrnice pro klimatizační zařízení.
2. V souladu s normami navrhnete testovací postup pro vnitřní nástěnnou klimatizační jednotku.
3. Podle navrženého postupu proveďte testování klimatizační jednotky.
4. Vyhodnoťte, zda lze zkoušenou jednotku umístit na Evropský trh z pohledu splnění/nesplnění EMC testů.
5. V případě zjištěného nesplnění požadavků norem během testování, zkuste vyhodnotit kritické body produktu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

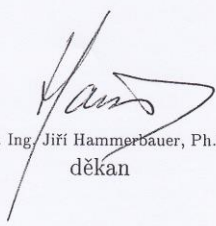
Seznam odborné literatury:

1. Paul: Introduction to electromagnetic compatibility
2. Soubor norem z oblasti EMC


Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Hromádka, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2013

Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2014


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Anotace

Předkládaná diplomová práce se zabývá vyhodnocením klimatizační jednotky z pohledu elektromagnetické kompatibility a možnosti uvedení na evropský trh. Teoretická část diplomové práce je zaměřena na pojmy z oblasti EMC jako například úrovně, meze, druhy rušení. Následně v další části je popsána legislativa a použití loga CE.

Úvod praktické části je zaměřen na sestavení postupu celého měření. V další části praktické práce jsou popsány jednotlivé testy EMC a podrobně rozepsány postupy a výsledky měření. Na závěr praktické části je vyhodnocení klimatizační jednotky zda ji lze uvést na evropský trh z pohledu EMC.

Klíčová slova

Klimatizační jednotka, elektromagnetická kompatibility, elektromagnetická odolnost, elektromagnetické rušení, funkční kritéria

Abstract

This master thesis deals with evaluation of the air-conditioning unit from the point of view of electromagnetic compatibility and the possibility of introducing the unit to the European market. The theoretical part of this thesis is focused on the terms in the field of EMC, such as levels, limits and the kinds of interference. In the following part, the legislative and the use of the CE logo is dealt with.

The introduction of the practical part focuses on setting up the procedure for the measuring. In the next part of the practical part there are described individual tests of EMC and there are detailed procedures and the results of the measurements. The conclusion states whether the air-conditioning unit would be approved in terms of EMC for the European market.

Key words

Air conditioning unit, electromagnetic compatibility, electromagnetic immunity, electromagnetic interference, functional criteria

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, 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.

.....
Podpis

V Plzni dne 6/5/2014

Petr Cafourek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Tomáši Hubinskému a paní Ing. Olze Pechlátové za dohodnutí o půjčení klimatizační jednotky a rad při samotném měření.

Obsah

SEZNAM SYMBOLŮ	10
SEZNAM ZKRATEK	11
SEZNAM OBRÁZKŮ	12
SEZNAM TABULEK	13
ÚVOD	14
1 ZÁKLADNÍ POJMY V OBLASTI EMC	15
1.1 ELEKTROMAGNETICKÁ INTERFERENCE A SUSCEPTIBILITA	15
1.2 ÚROVNĚ, MEZE VYZAŘOVÁNÍ A ODOLNOSTI	16
1.3 ZDROJE, PŘENOSOVÁ CESTA A RUŠENÝ OBJEKT	18
1.4 DRUHY RUŠENÍ	19
1.5 FUNKČNÍ KRITÉRIA ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI.....	20
1.6 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY	21
1.6.1 Značka CE.....	21
2 PRAKTICKÁ ČÁST	22
2.1 KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKA	22
2.2 STÍNĚNÁ ABSORPČNÍ KOMORA.....	24
2.3 SOUHRN EMC ZKOUŠEK.....	25
2.4 NAVRŽENÝ TESTOVACÍ POSTUP PRO VNITŘNÍ NÁSTĚNNOU JEDNOTKU	26
2.5 ELEKTROSTATICKÝ VÝBOJ – ZKOUŠKA ODOLNOSTI.....	27
2.5.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje.....	28
2.5.2 Normované zkušební úrovně	29
2.5.3 Výsledky zkoušky.....	29
2.5.4 Vyhodnocení zkoušky	30
2.6 VYZAŘOVANÉ VYSOKOFREKVENČNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ POLE – ZKOUŠKA ODOLNOSTI.....	31
2.6.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje.....	31
2.6.2 Normované zkušební úrovně	33
2.6.3 Výsledky zkoušky.....	34
2.6.4 Vyhodnocení zkoušky	34
2.7 RYCHLÉ ELEKTRICKÉ PŘECHODNÉ JEVY/SKUPINY IMPULZŮ – ZKOUŠKA ODOLNOSTI.....	35
2.7.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje.....	35
2.7.2 Normové zkušební úrovně	37
2.7.3 Výsledky zkoušky.....	38
2.7.4 Vyhodnocení zkoušky	38
2.8 RÁZOVÝ IMPULS – ZKOUŠKA ODOLNOSTI	39
2.8.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje.....	39
2.8.2 Normované zkušební úrovně	41
2.8.3 Výsledky zkoušky.....	42
2.8.4 Vyhodnocení zkoušky	42
2.9 ODOLNOST PROTI RUŠENÍM ŠÍŘENÝM VEDENÍM, INDUKOVANÝM VYSOKOFREKVENČNÍMI POLI – ZKOUŠKA ODOLNOSTI	43
2.9.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje.....	43
2.9.2 Normové zkušební úrovně	44
2.9.3 Výsledky zkoušky.....	45
2.9.4 Vyhodnocení zkoušky	45
2.10 MAGNETICKÉ POLE SÍŤOVÉHO KMITOČTU – ZKOUŠKA ODOLNOSTI	46
2.10.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje.....	46
2.10.2 Normové zkušební úrovně	48
2.10.3 Výsledky zkoušky.....	49

2.10.4	Vyhodnocení zkoušky	49
2.11	KRÁTKODOBÉ POKLESY NAPĚTÍ, KRÁTKÁ PŘERUŠENÍ – ZKOUŠKA ODOLNOSTI	50
2.11.1	Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje.....	50
2.11.2	Výsledky zkoušky.....	52
2.11.3	Vyhodnocení zkoušky	52
2.12	MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ NA SÍŤOVÝCH SVORKÁCH – EMISNÍ ZKOUŠKA	53
2.12.1	Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje.....	53
2.12.2	Výsledky zkoušky.....	55
2.12.3	Vyhodnocení zkoušky	58
2.13	MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK ELEKTROMAGNETICKÉHO RUŠENÍ ANTÉNAMI – EMISNÍ ZKOUŠKA	58
2.13.1	Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje.....	58
2.13.2	Výsledky zkoušky.....	59
2.13.3	Vyhodnocení zkoušky	66
ZÁVĚR	67
POUŽITÁ LITERATURA	68

Seznam symbolů

L	Fázový vodič
N	Střední vodič
E [V/m]	Intenzita elektrického pole
H [A/m]	Intenzita magnetického pole
U [V]	Elektrické napětí
f [Hz]	Frekvence
I [A]	Elektrický proud

Seznam zkratk

EUT	Testované zařízení (E quipment U nder T est)
EMC	Elektromagnetická kompatibilita (Electromagnetic Compatibility)
EMI	Elektromagnetická interference (Electromagnetic Inteference)
LISN	Umělá zátěž vedení (L ine I mpedance S tabilizing N etwork)
VVN	Velmi vysoké napětí
NN	Nízké napětí

Seznam obrázků

Obr. 1.	Základní rozdělení EMC.....	15
Obr. 2.	Úrovně, rezervy a odolnosti v EMC	16
Obr. 3.	Základní řetězec EMC	18
Obr. 4.	Vysokofrekvenční a jehlové impulsy.....	19
Obr. 5.	Logo CE.....	21
Obr. 6.	Blokové schéma klimatizace.....	23
Obr. 7.	Stíněná absorpční komora na Fakultě elektrotechnické Plzeň	24
Obr. 8.	Tvar vlny výstupního proudu elektrostatického generátoru.....	27
Obr. 9.	Schéma zapojení pro zkoušku elektrostatických výbojů.....	28
Obr. 10.	Schéma zapojení zkušební elektrostatického generátoru	28
Obr. 11.	Vnitřní klimatizační jednotka a ovládací zařízení s pozicemi kontaktních a vzduchových výbojů ...	30
Obr. 12.	Schéma zapojení pro testování vyzářeného vf elektromagnetického pole	31
Obr. 13.	Modulovaný vysokofrekvenční signál 80% amplitudová modulace [9]	32
Obr. 14.	Schéma zapojení pro zkoušku rychlých přechodových impulzů	35
Obr. 15.	Schéma zkušební generátoru pro měření skupiny impulsů	35
Obr. 16.	Charakteristiky signálů rychlých přechodových impulzů	36
Obr. 17.	Schéma zapojení pro zkoušku rázového impulsu	39
Obr. 18.	Schéma zkušební generátoru rázového impulsu	39
Obr. 19.	Normalizovaný tvar vlny pro rázový impuls	40
Obr. 20.	Schéma zapojení pro měření odolnosti proti rušením šířeným vedením	43
Obr. 21.	Elektromagnetická kleština	44
Obr. 22.	Schéma zapojení pro měření magnetického pole síťového kmitočtu	46
Obr. 23.	Testování odolnosti magnetickým polem metodou přiblížení	49
Obr. 24.	Schéma zapojení pro měření poklesu a přerušení napětí	50
Obr. 25.	Graf poklesu napětí [14]	51
Obr. 26.	Graf efektivní hodnoty poklesu napětí [14]	51
Obr. 27.	Schéma zapojení pro měření rušivých signálů na síťových svorkách.....	53
Obr. 28.	Schéma zapojení umělé zátěže vedení	54
Obr. 29.	Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem L s max.otáčkami	55
Obr. 30.	Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem N s max.otáčkami	55
Obr. 31.	Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem L s min.otáčkami	56
Obr. 32.	Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem N s min.otáčkami	56
Obr. 33.	Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem L s funkcí FAN	57
Obr. 34.	Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem N s funkcí FAN.....	57
Obr. 35.	Schéma zapojení pro měření charakteristik elektromagnetického rušení anténami	58
Obr. 36.	Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 30-200MHz-MAX	59
Obr. 37.	Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 200-1000MHz-MAX	60
Obr. 38.	Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 30-200MHz-MAX	60
Obr. 39.	Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 200-1000MHz-MAX	61
Obr. 40.	Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 30-200MHz-FAN.....	62
Obr. 41.	Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 200-1000MHz-FAN.....	62
Obr. 42.	Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 30-200MHz-FAN.....	63
Obr. 43.	Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 200-1000MHz-FAN.....	63
Obr. 44.	Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 30-200MHz-OUT	64
Obr. 45.	Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 200-1000MHz-OUT	64
Obr. 46.	Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 30-200MHz-OUT	65
Obr. 47.	Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 200-1000MHz-OUT	65

Seznam tabulek

Tab. 1.	Zdroje elektromagnetického rušení	18
Tab. 2.	Zkušební normové úrovně pro elektrostatický výboj	29
Tab. 3.	Vyhodnocení elektrostatických kontaktních výbojů	29
Tab. 4.	Vyhodnocení elektrostatických vzduchových výbojů	30
Tab. 5.	Zkušební normové úrovně pro vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetického pole: 1.část	33
Tab. 6.	Zkušební normové úrovně pro vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetického pole: 2.část	33
Tab. 7.	Výsledek testu vyzářeného vysokofrekvenčního elektromagnetického pole	34
Tab. 8.	Úrovně pro testování rychlých elektrických přechodných jevů	37
Tab. 9.	Výsledek testu rychlých impulzů pro domácí prostředí	38
Tab. 10.	Výsledek testu rychlých impulzů pro průmyslové prostředí	38
Tab. 11.	Úrovně pro testování rázových impulzů	41
Tab. 12.	Výsledek zkoušky rázových impulzů	42
Tab. 13.	Úrovně pro testování proti rušením šířeným vedením	44
Tab. 14.	Výsledek zkoušky pro testování proti rušením šířeným vedením	45
Tab. 15.	Tabulka pro faktory transformátoru a antény	47
Tab. 16.	Úrovně pro testování magnetického pole síťového kmitočtu	48
Tab. 17.	Výsledky zkoušky magnetického pole síťového kmitočtu	49
Tab. 18.	Výsledky zkoušky poklesu a přerušení napětí	52
Tab. 19.	Tabulka pro normová frekvenční pásma a meze	54

Úvod

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na vyhodnocení klimatizační jednotky z pohledu elektromagnetické kompatibility. Začátek teoretické části je zaměřen na základní pojmy v oblasti EMC, kde jsou vysvětleny hlavní dvě části EMC, tedy odolnost a emise. Dále jsou popsány a vysvětleny meze, úrovně a druhy elektromagnetického rušení a jakými funkčními kritérii jsou rušení vyhodnocovány. Legislativa a logo CE jsou popsány v další části diplomové práce. V závěru jsou uvedeny požadavky na získání loga CE.

V praktické části je vysvětlena klimatizační jednotka, která je hlavním předmětem této diplomové práce, tedy její testování na EMC požadavky. Dále je navržen testovací postup pro EMC testy, je vysvětlena stíněná absorpční komora a její využití v oblasti EMC testování.

V další praktické části jsou uvedeny jednotlivé testy a jejich důležitost v praktické elektronice, postup měření, schéma zapojení, výsledky a vyhodnocení testů. Nejdříve jsou popsány testy odolnosti, po nich jsou imunitní testy.

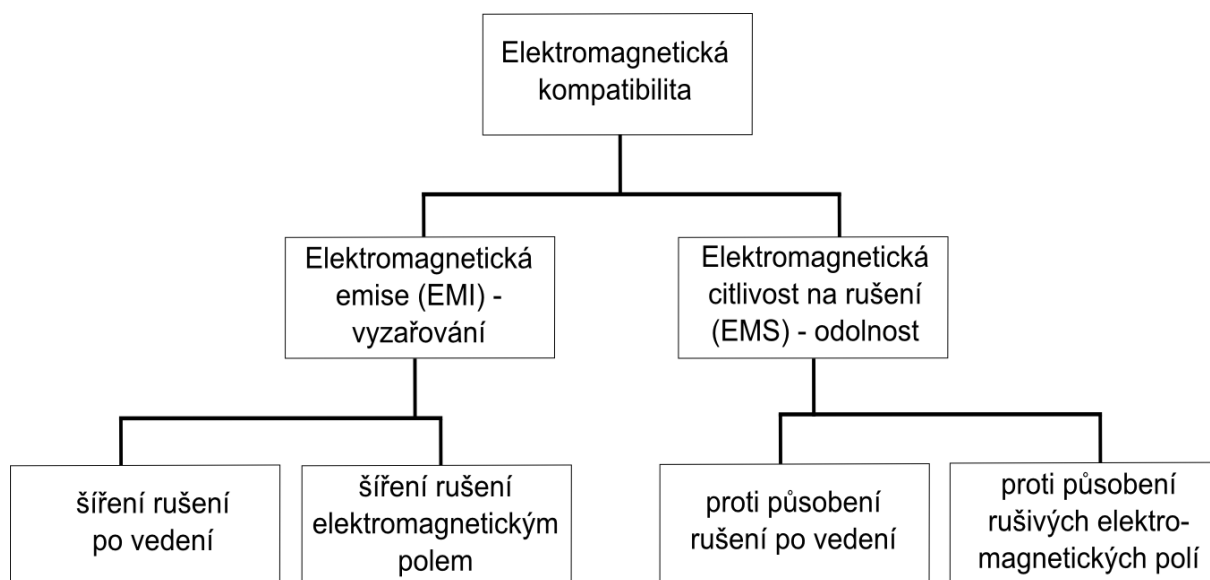
Na závěr je vyhodnocení a diskuze ohledně výsledků testů a případné možnosti umístění klimatizační jednotky na evropský trh.

Teoretická část posluhuje k pochopení základních principů a důležitosti elektromagnetické kompatibility, které byly následně využity v praktické části při testování a vyhodnocení testů.

1 Základní pojmy v oblasti EMC

Elektromagnetická kompatibilita jakéhokoliv zařízení je schopnost tohoto zařízení, systému či přístroje, aby vykazovalo správnou činnost. Tuto činnost musí být schopno vykazovat i v prostředí, v němž se mohou nacházet a působit jiné zdroje elektromagnetických signálů. Tyto signály mohou být přírodní nebo umělé. A zároveň, aby zařízení svou vlastní činností nepřístupně neovlivňovalo své okolí, tj. nevyzařovalo signály, které by mohly být rušivé pro jiná zařízení [1].

1.1 Elektromagnetická interference a susceptibilita



Obr. 1. Základní rozdělení EMC [1]

Elektromagnetickou kompatibilitu jako celek rozdělujeme na dvě menší skupiny a to elektromagnetické vyzařování a elektromagnetickou odolnost.

Elektromagnetická interference (EMI) neboli elektromagnetická emise, je jakýkoliv elektromagnetický signál, který je zdrojem rušení vyslán do prostoru nebo popř. do napájecího nebo komunikačního vedení. Rušivý signál, který se v prostoru šíří volně může způsobit, že zařízení nebude správně fungovat.

EMI se zabývá, oproti EMS, identifikací zdrojů rušení. Tyto zdroje jsou měřeny a identifikují se přenosové cesty, které by mohly být parazitní k danému zařízení, které se

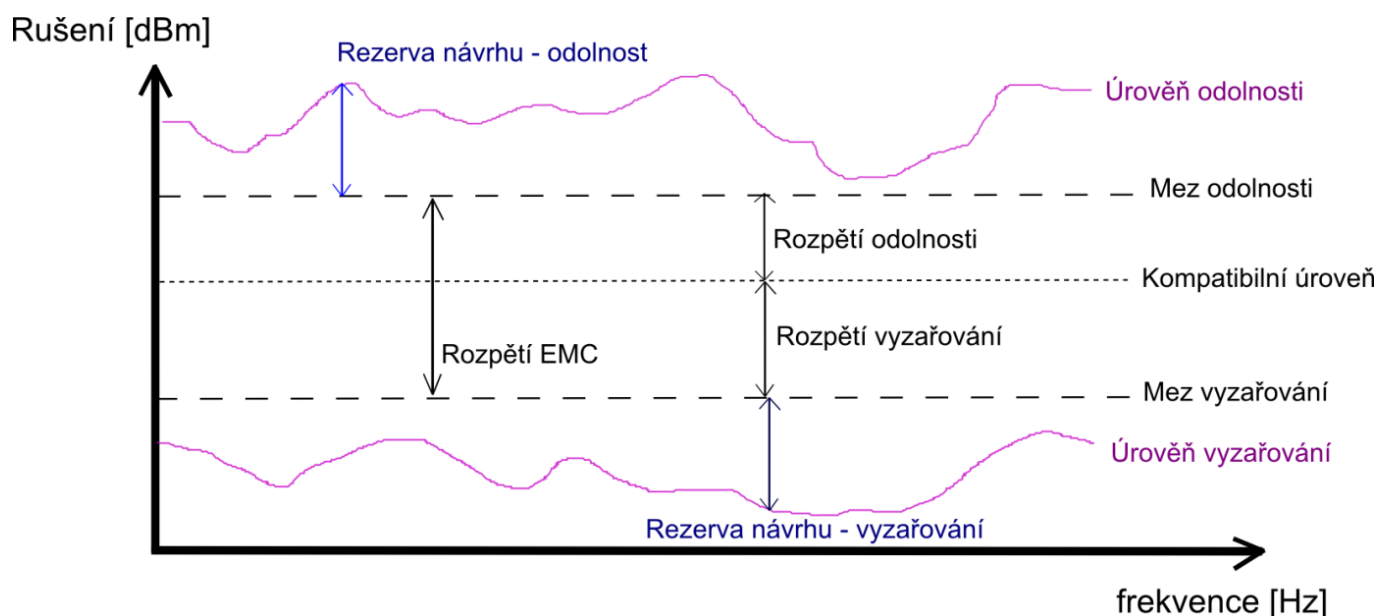
nachází v blízkosti těchto zdrojů. Elektromagnetická interference se zabývá odstraňováním příčin rušení [1].

Elektromagnetická susceptibilita (EMS) či elektromagnetická imunita se zabývá odolností daného zařízení proti elektromagnetickému rušení. Testováním na elektromagnetickou imunitu se určuje schopnost zařízení, jak správně pracuje v prostředí, kde na něj působí elektromagnetické rušení. Zda zařízení pracuje bez poruch nebo je ovlivněno jeho chování, které musí být v mezích předepsaných normou.

Elektromagnetická susceptibilita se zabývá minimalizací důsledků elektromagnetického rušení na dané zařízení [1].

1.2 Úrovně, meze vyzařování a odolnosti

Základní úrovně a meze, které jsou používány v elektromagnetické kompatibilitě, jsou zobrazeny na obrázku níže.



Obr. 2. Úrovně, rezervy a odolnosti v EMC [1]

Úroveň vyzařování daného přístroje či zařízení je elektromagnetické rušení, které vysílá zařízení do okolí. Vyzařování je měřeno v bez odrazové komoře a nesmí být vyšší než hodnota, která je předepsaná normou pro různá zařízení [2].

Mez vyzařování je úroveň vyzařování zdroje, které produkuje elektromagnetické rušení. Tato mez je předepsaná v normě a pro každý druh zařízení je limita rozdílná [2].

Kompatibilní úroveň je úroveň elektromagnetického rušení, která se používá jako referenční úroveň mezi emisemi a odolností [2].

Mez odolnosti je nejnižší úroveň odolnosti, kterou musí testované zařízení vydržet s předepsanou kvalitou provozu. Tato mez je předepsaná v normě a je důležitá ohledně kvality provozu zařízení vzhledem k vlivu vnějšího elektromagnetického rušení [2].

Úroveň odolnosti je maximální úroveň elektromagnetického rušení, která působí na testované zařízení. Při tomto elektromagnetickém rušení musí být schopno zařízení zachovat požadovanou kvalitu provozu [2].

Rezerva návrhu zařízení je rozdíl mezi úrovní odolnosti a mezní odolností přístroj [2].

Rozpětí odolnosti je rozdíl mezi mezní odolností a kompatibilní úrovní [2].

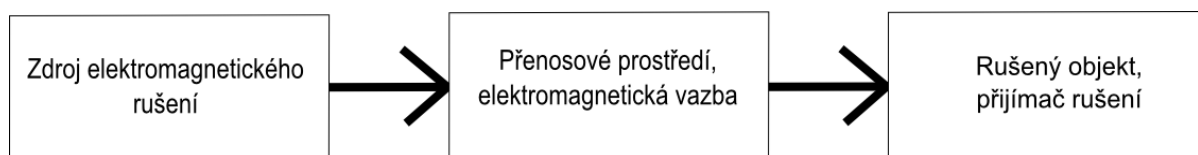
Rozpětí vyzařování je rozdíl mezi mezní úrovní vyzařování a kompatibilní úrovní [2].

Rozpětí (elektromagnetické) kompatibility je rozdíl meze odolnosti a meze emise [2].

Rezerva návrhu ve vyzařování je rozdíl mezi mezní vyzařování, která je dána normou, a úrovní vyzařování, které produkuje dané zařízení [2].

Pojmy a definice, které jsou základním vysvětlením oblasti EMC, jsou přesněji popsány a definovány v mezinárodním elektrotechnickém slovníku – kapitola 161: Elektromagnetická kompatibilita ČSN IEC 50(161).

1.3 Zdroje, přenosová cesta a rušený objekt



Obr. 3. Základní řetězec EMC

Každé elektrotechnické zařízení je zdrojem elektromagnetického rušení, které vysílá do okolního prostředí. Ovšem tento systém je také přijímačem elektromagnetického rušení, které ho může nějakým způsobem ovlivnit.

Elektromagnetické rušení se může do systému dostat z vnějšího okolí od jiných zdrojů rušení. Popřípadě systém může ovlivňovat svojí funkcí sám sebe, což se nazývá mezi systémovým rušením [5].

Zdroje elektromagnetického rušení:

Umělé zdroje	Přírozené zdroje
Spínače, relé, stykače, motory, elektroenergetické rozvody, výkonové polovodičové měniče, oscilátory, počítače, číslicové systémy	Slunce, atmosférické poruchy, blesky, galaktický šum

Tab. 1. Zdroje elektromagnetického rušení [5]

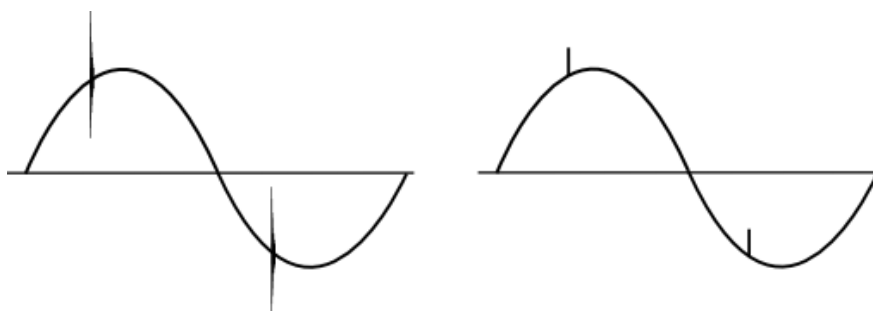
Zdroje a přijímače rušení jsou odděleny mezi sebou určitou parazitní vazbou, přes kterou se elektromagnetické rušení šíří. Tyto vazby dělíme na vzdušný prostor, přenos přes vodiče a parazitní elektromagnetickou vazbu. Elektromagnetické rušení přes vodiče je přenos přes vodiče, napájecí kabely, informační kabely, zemnění, stínění. Elektromagnetickou vazbu dělíme na galvanickou, kapacitní, odporovou [5].

Přijímače elektromagnetického rušení mohou být : číslicové systémy, počítače, měřicí přístroje, telekomunikační systémy, systémy přenosu dat, rozhlasové a televizní přijímače, biologické objekty [5].

1.4 Druhy rušení

Elektromagnetické rušivé signály, které generují zdroje (umělé, technické) rušení, rozdělujeme do tří základních skupin. Prvním rušivým signálem je šum, který ovlivňuje tvar křivky napětí. Šumové rušení bývá obvykle periodického charakteru, a lze zařadit mezi zdroje šumu motory, svářečky, apod. [5].

Druhým typem rušení jsou impulsy, které mají velké poměry amplitud a jsou velmi krátké. Lze je považovat za špičky v napěťové soustavě. Hlavním zdrojem impulsů jsou spínací obvody [5].



Obr. 4. Vysokofrekvenční a jehlové impulsy [5]

Přechodové jevy, jako poslední typ rušení, jsou náhodné jednorázové děje, které probíhají při zapínání a vypínání spotřebičů velkých výkonů. Jejich doba trvání je od řádů milisekund a po několik jednotek sekund [5].

1.5 Funkční kritéria elektromagnetické odolnosti

Funkční kritéria elektromagnetické odolnosti nám umožňují určit mez narušení pod vlivem vnějšího elektromagnetického pole, rušivých signálů, poklesů napětí. Před samotným měřením musíme znát, jaké funkční kritérium lze použít pro daný typ zařízení. Daná zařízení jsou odlišována dle prostorů, ve kterých budou vykonávat svoji funkci. Prostory dělíme na obytné, obchodní, lehkého a těžkého průmyslu. V praxi to znamená, že jsou jiná kritéria pro obytné prostory a prostory průmyslu. Na prostory obytné jsou obecně kladeny nižší nároky [5].

- Funkční kritérium A: Při a během testování musí pracovat zkoušené zařízení nepřetržitě bez známek zhoršení své funkčnosti [5].
- Funkční kritérium B: Toto kritérium lze rozdělit na dvě části. Během zkoušky může zkoušené zařízení zhoršit svoji funkčnost, nesmí být ale ztracena žádná data (např. zvolená funkce klimatizace). Druhá část kritéria je doba po zkoušce, kdy testované zařízení musí vykonávat svoji činnost nepřetržitě a ve stavu jako mělo před zkouškou [5].
- Funkční kritérium C: V tomto kritériu je dovolena dočasná ztráta funkce, kdy testované zařízení úplně přestane pracovat. Na konci zkoušky testované zařízení obnoví svoji funkci samo nebo ji obnoví obsluha (např. restartováním systému). Při tomto kritériu po obnovení funkce nedochází k trvalému poškození zařízení [5].
- Funkční kritérium D: Toto kritérium není dovolena v průběhu ani po skončení testu, jelikož dochází k trvalé nevratné ztrátě funkce (např. zničení nějaké součástky zařízení, která by se musela vyměnit) [5].

1.6 Legislativní požadavky

Když byl vytvořen společný trh, kde je možno volně prodávat zboží, služby, apod. Musely být vytvořeny normy a předpisy pro řádné fungování trhu. Jedna ze směrnic evropského trhu je i o elektromagnetické kompatibilitě. Před uvedením na trh musí výrobce nechat svoje elektrické či elektronické zařízení otestovat zda vyhovuje daným směrnicím o EMC. Směrnice nerozlišuje, o jaké výkonové elektronické zařízení se týká, ale rozlišuje dle provedení a místa, kde zařízení bude uvedeno do provozu a vykonávat svoji činnost [5].

Zásady o EMC se musí respektovat už v samém vývoji zařízení, jelikož tato problematika je úzce spjata se spolehlivostí a kvalitou výrobku. Už při špatném návrhu, a nerespektováním zásad o EMC, může docházet k poruchovosti, rušení zařízení, ohrožení života a zdraví lidí [5].

1.6.1 Značka CE

Pokud na elektrickém nebo elektronickém zařízení je uvedeno označení CE, znamená to, že toto zařízení splnilo testy o elektromagnetické kompatibilitě. Značka CE neoznačuje jenom schodu o elektromagnetické kompatibilitě, ale také že zařízení splnilo ostatní požadavky, které jsou důležité z hlediska bezpečnosti, ochraně životního prostředí, ochrana před dotykem nebezpečného napětí. Z toho plyne, že značka CE není pouze výhradním označením EMC [5].

Výrobce nového nebo modifikovaného zařízení musí znát, které směrnice o EMC se vztahují na dané zařízení, zda se jedná o zařízení s nízkým napětím, stroje, hračky, zda se jedná o produkt do domácnosti nebo do průmyslu [5].



Obr. 5. Logo CE

2 Praktická část

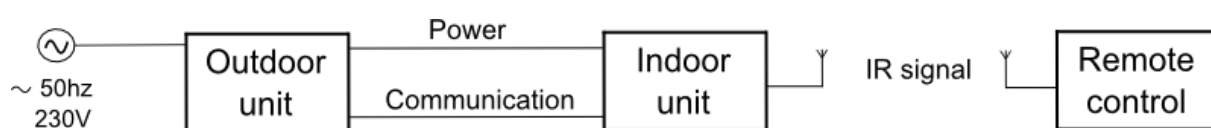
Tato část diplomové práce se zabývá praktickým testováním elektromagnetické kompatibility na klimatizační jednotce od firmy Daikin. Nejdříve je popsána klimatizační jednotka a její funkce, v dalších kapitolách je uveden souhrn všech provedených testů. Všechny uvedené testy z EMC jsou potřeba odměřit a vyhodnotit, zda by klimatizační jednotka mohla být uvedena na evropský trh z pohledu splnění kritérií elektromagnetické kompatibility.

2.1 Klimatizační jednotka

Klimatizační jednotka je typu EMURA. Klimatizační jednotka se skládá ze dvou částí: Z vnější jednotky, která se umísťuje do venkovního prostoru (neboli „outdoor unit“) a jednotky vnitřní, která se instaluje dovnitř do domovních zařízení („indoor unit“). Obě tyto jednotky jsou propojeny párem potrubí, napájecími a komunikačními kabely.

Vnější jednotka obsahuje kompresor, kde je chladicí médium stlačováno. Stlačováním média se teplota a tlak zvyšuje, toto médium o vyšší teplotě a tlaku je následně přivedeno do kondenzátoru. Pomocí ventilátoru je lépe rozptýleno vznikající teplo a pomocí venkovní menší teploty je kondenzátor ochlazován, tímto dochází ke zkapalnění média. Následně ochlazené médium je odváděno do vnitřní jednotky. Vnitřní místnost je ochlazována pomocí ventilátoru, který rozptyluje studený vzduch získaný z ochlazeného média, paralelně s ním výparník odebírá z pokoje vzduch teplý, následné ohřívání a expanze je důsledkem toho, že médium je opět plynné. Toto plynné médium se vrací zpět do venkovní jednotky do kompresoru, kde je opět plynné chladivo stlačováno. Tento postup popisuje chlazení klimatizační jednotkou.

Druhou funkcí klimatizační jednotky je topení obytných prostorů. Založeno na opačném principu než je chlazení. Médium se pohybuje opačným směrem, aby k tomu mohlo docházet je potřeba reverzní ventil, který přesměrovává směr plynutí média. Výparník ve vnitřní jednotce, který předtím sloužil k rozvodu studeného vzduchu, je teď kondenzátorem. Takže z kompresoru stlačené médium o vysoké teplotě je přiváděno do vnitřní jednotky, kde probíhá rozptyl teplého vzduchu a je nasáván vzduch studený, který ochlazuje médium. Ochlazené médium se přemísťuje do venkovní jednotky, kde je médium zkapalněno a následně se přesouvá do kompresoru.



Obr. 6. Blokové schéma klimatizace

Jako chladicí médium v klimatizační jednotce EMURA je použito médium s označením R410A.

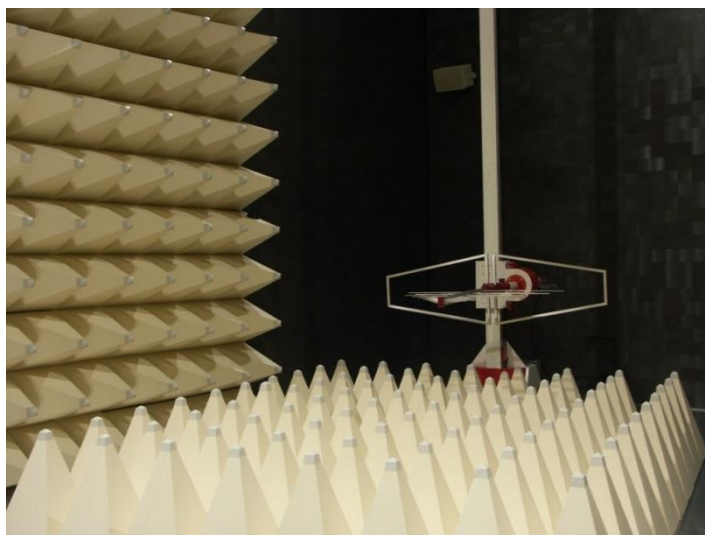
Základními funkcemi klimatizace typu EMURA je HEAT, FUN, COLD. Funkce HEAT a COLD jsou popsány výše. Funkce FUN je pouze nasávání vzduchu z místnosti a následným rozptylem zpět pomocí ventilátoru, při této funkci je vnější jednotka nefunkční.

2.2 Stíněná absorpční komora

Komora se používá pro měření odolnosti vyzařovaného vysokofrekvenčního elektromagnetického pole a emisní zkoušku pro měření charakteristik elektromagnetického rušení anténami. Výhodou těchto prostor je, že v dnešních podmínkách by se nedalo nalézt místo pro zkoušené zařízení bez vnějšího elektromagnetického rušení. Toto rušení by ovlivňovalo testované zařízení a v případě měření emisí by anténa zachycovala vnější elektromagnetické rušení.

Absorpční komora je ideálně stíněná místnost, která na svých stropěch a zdech má materiál, který pohlcuje elektromagnetické vlny. Používají se širokopásmové pyramidové polystyrenové absorbéry a feritové absorpční desky.

V praxi se využívá kombinace těchto dvou materiálů. Na strop a boční zdi se absorpční materiály upevňují napevno. Absorbéry jsou odnímatelné z podlahy, jelikož se používají pro zkoušku odolností vysokofrekvenčního elektromagnetického pole, aby v okolí zkoušeného zařízení bylo přesně definované elektromagnetické pole. Pro emisní zkoušku se absorbéry neumisťují na podlahu, jelikož jak v praxi, tak norma počítá s odrazy o okolní předměty.



Obr. 7. Stíněná absorpční komora na Fakultě elektrotechnické Plzeň

Nevýhodou těchto komor je jejich cena a rozměry. Cena absorbérů se pohybuje v řádu několika tisíců korun za metr čtvereční.

2.3 Souhrn EMC zkoušek

Zkoušky pro EMC jsou rozděleny do dvou základních skupin. Jedná se o zkoušky odolnosti a zkoušky emisní. Pro schválení klimatizační jednotky z oblasti EMC je potřeba provést 11 zkoušek, poté je možné prohlásit klimatizační jednotku za uzpůsobilou z pohledu EMC.

Klimatizační jednotka EMURA spadá do skupiny prostředí lehkého průmyslu a obytných a obchodních prostor.

Testy odolností:

- Kmenové normy – Odolnost – Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu (EN 6100-6-1)
- Elektrostatický výboj (EN 61 000-4-2)
- Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole (EN 61 000-4-3)
- Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů (EN 61 000-4-4)
- Rázový impuls (EN 61 000-4-5)
- Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli (EN 61 000-4-6)
- Magnetické pole síťového kmitočtu (EN 61 000-4-8)
- Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí (EN 61 000-4-11)

Emisní testy:

- Kmenové normy – Emise – Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu (EN 6100-6-3)
- Měření charakteristik rušivých signálů na síťových svorkách (EN 55022)
- Měření charakteristik elektromagnetického rušení anténami (EN 55022)

2.4 Navržený testovací postup pro vnitřní nástěnnou jednotku

Při sestavování testovacího postupu se musí nejdříve vyhodnotit, zda začít testováním odolnosti nebo testování emisí. Zřejmě nejvhodnějším postupem by bylo začít s měřením imunity, tedy měřením v stíněné absorpční komoře, kde jsou testy nejcitlivější, a může dojít k změně návrhu klimatizační jednotky. V absorpční komoře se měří oba emisní testy a test odolnosti vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole. Tyto tři testy se musí měřit za sebou z důvodu jiné lokality stíněné absorpční komory a laboratoře pro testování odolnosti elektromagnetické kompatibility.

Po převezu klimatizační jednotky do laboratoře EMC lze vyhodnotit, že pro většinu testů je potřeba kombinovaný generátor UCS 500M.

Lze začít testy, které jsou náročnější pro testované zařízení, tedy testy rázového impulsu a testem rychlých elektrických přechodných jevů, kde při těchto testech je zapotřebí pouze kombinovaného generátoru.

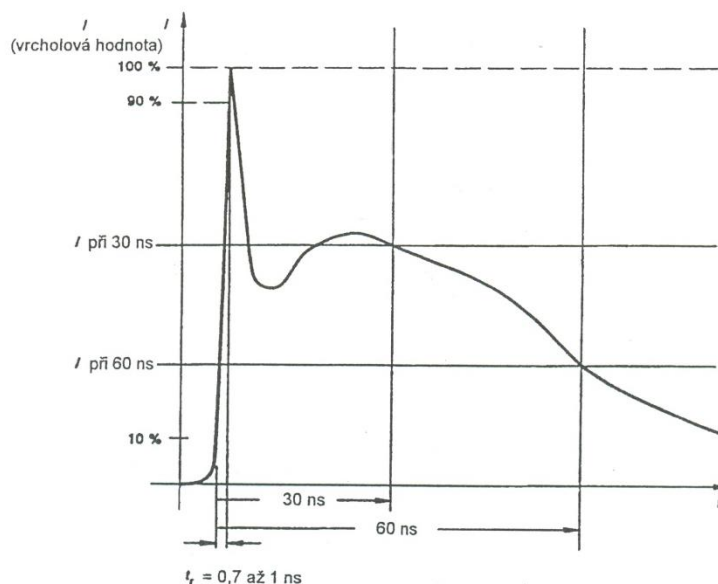
Následným připravením autotransformátoru VARIAC ke kombinovanému generátoru lze provést testy krátkodobých poklesů napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí a následující test se stejnou sestavou a přidáním proudového transformátoru se provede zkouška magnetické pole síťového kmitočtu. Tím jsme využili všechny testy s možností, že jsme využili kombinovaný generátor UCS 500M.

Zbývají dva testy pro odolnost, lze zvolit jako dřívější test elektrostatický výboj a následně test odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli, který je hodně časově náročný.

2.5 Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti

Zkoušku elektrostatického výboje popisuje norma s označením EN 61000-4-2 [8].

Zkouška elektrostatického výboje se provádí kvůli možnosti poškození citlivých polovodičových součástek. Takový elektrostatický výboj bývá nebezpečný zejména v prostředích, kde je nízká vlhkost, tedy dobré prostředí pro vznik elektrostatického náboje. Je tedy důležité, v jakém prostředí zkoušené zařízení bude pracovat, zda se v tomto prostředí nachází syntetické materiály, nebo v oblasti, kde se méně vytváří statická elektřina např. beton, dřevo, keramika, apod.



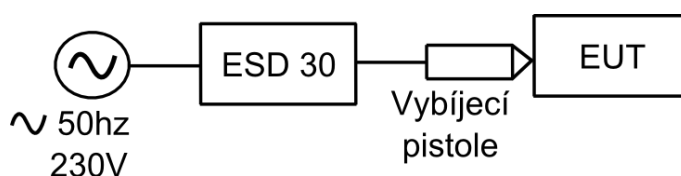
Obr. 8. Tvar vlny výstupního proudu elektrostatického generátoru [8]

Z obrázku je patrné, že náběžná hrana signálu je velmi rychlá, v rozmezích 0,7-1 nanosekunda, toto rozmezí se počítá od 10% do 90% z vrcholové hodnoty elektrostatické vlny. Délka celého impulsu je několik desítek nanosekund.

2.5.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje

Zkouška je rozdělena na dvě části: První polovina zkoušky je kontakt hrotu s kovovými částmi, ke kterým je přístup zvenčí, např. šrouby (označení 1-7 na obrázku 9). Takový kontakt může nastat například při opravách se šroubovákem, nebo jinými kovovými nástroji. Zkouška je kontaktní a provádí se 10 impulzy obou polarit do jednoho místa.

Druhou polovinou zkoušky je nepřímý výboj, který se uskutečňuje do nekovových částí zařízení, v tomto případě plastových krytů a dálkového ovladače. Zkouška simuluje dotyk lidského těla se zařízením, kdy na lidském tělo může být nahromaděna statická elektřina. Test se provádí postupným přibližováním, dokud nedojde k vybití nabité elektrody generátoru elektrostatických výbojů, odtud název vzdušný výboj. Tento postup se také opakuje deseti vybitími generátoru přiblížením do stejného místa s oběma polaritami.

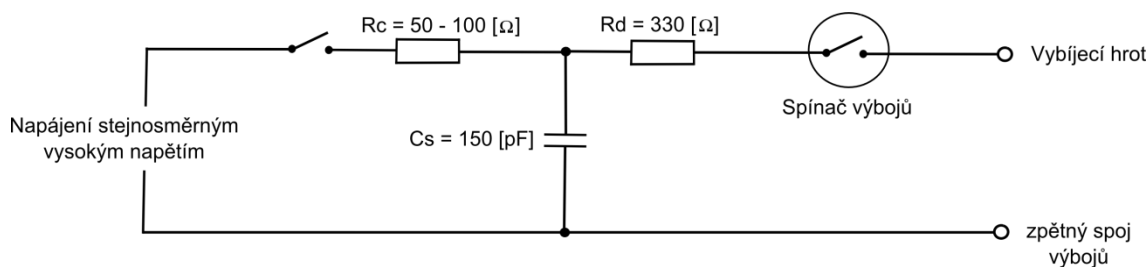


Obr. 9. Schéma zapojení pro zkoušku elektrostatických výbojů

Generátor elektrostatických výbojů ESD 30 je regulovatelný zdroj pro vysoké napětí až 18kV. Dalším zařízením je vybíjecí pistole, která má vyměnitelné hroty pro vzdušný a dotykový výboj.

Zkušební generátor má takové parametry součástek, aby generátor simuloval dotyk lidského těla.

- Schéma zkušebního generátoru



Obr. 10. Schéma zapojení zkušebního elektrostatického generátoru [8]

Rezistor R_c je odpor, přes který se nabíjí kondenzátor C_s . Kondenzátor C_s představuje hodnotu kapacity lidského těla a nabíjí se na maximální hodnotu. Rezistor R_d má hodnotu vnitřního odporu lidského těla a přes rezistor R_d se vybíjí kondenzátor C_s , pokud se hrot přiblíží nebo dotkne testovaného zařízení.

2.5.2 Normované zkušební úrovně

Kontaktní výboj		Vzduchový výboj	
Úroveň	Zkušební napětí [kV]	Úroveň	Zkušební napětí [kV]
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
X	zvláštní	X	zvláštní

Tab. 2. Zkušební normové úrovně pro elektrostatický výboj [8]

Úroveň X je pro jednoúčelová zařízení, která by nespádaly do zbylých úrovní. Pro měření by bylo ale potřeba zvláštních zkušebních zařízení. Dle kmenové odolnostní normy pro prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu se testování pro elektrostatický výboj provádí 4kV pro kontaktní výboj a 8kV pro vzduchový výboj.

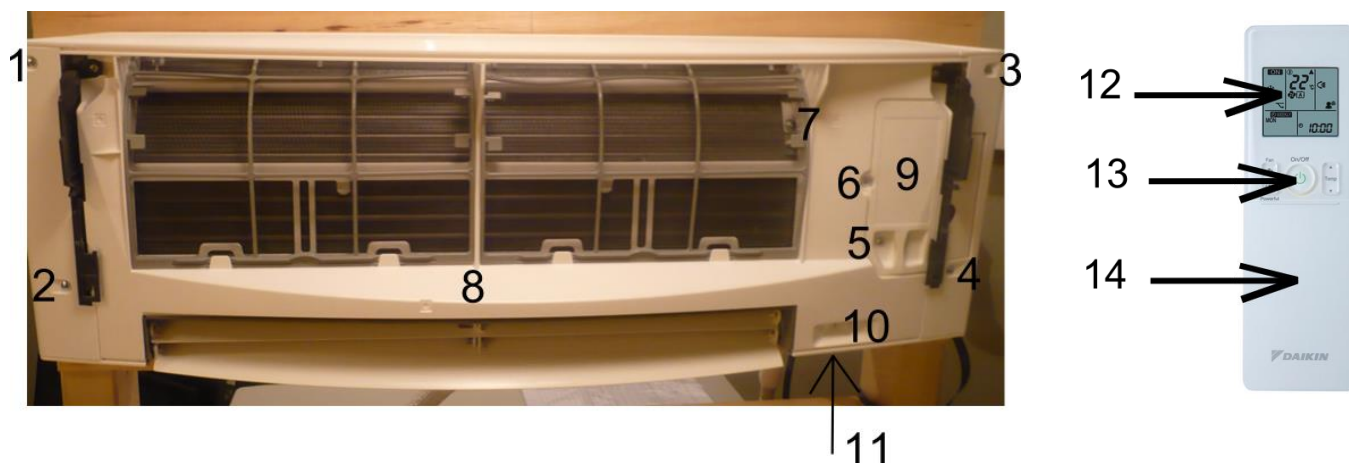
2.5.3 Výsledky zkoušky

Pozice	Napětí [kV]	Polarita	Vyhodnocené kritérium	Dovolené kritérium
1,2,3,4	4	+	A	B
		-	A	
5,6	4	+	A	
		-	A	
7	4	+	A	
		-	A	

Tab. 3. Vyhodnocení elektrostatických kontaktních výbojů

Pozice	Napětí [kV]	Polarita	Vyhodnocené kritérium	Dovolené kritérium
8,9,10	8	+	A	B
		-	A	
11	8	+	A	
		-	A	
12,13,14	8	+	A	
		-	A	

Tab. 4. Vyhodnocení elektrostatických vzduchových výbojů



Obr. 11. Vnitřní klimatizační jednotka a ovládací zařízení s pozicemi kontaktních a vzduchových výbojů

2.5.4 Vyhodnocení zkoušky

Klimatizační jednotka během celé zkoušky elektrostatických impulzů nevykazovala žádné změny ve své funkčnosti. Klimatizační jednotka splnila test pro domácí, i pro průmyslové prostředí.

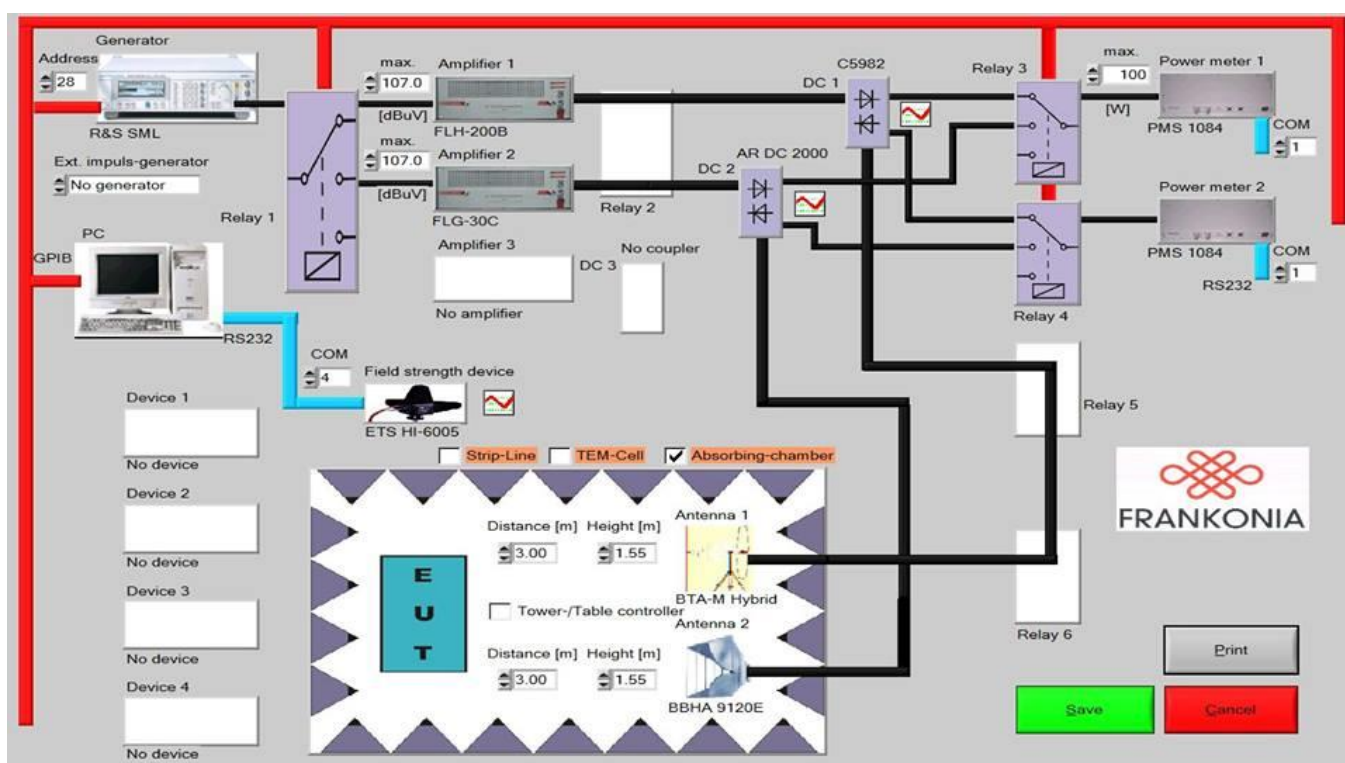
2.6 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – zkouška odolnosti

Test je popsán v normě EN 61 000-4-3 [9].

V dnešní době, při nárůstu všech telekomunikačních, rádiových, televizních systémů, se zvyšuje zaplnění všech frekvenčních pásem, tedy hlavně kmitočtová pásma 0,8GHz – 3GHz. Každé elektronické zařízení je do své míry ovlivňováno vnějšími frekvencemi, stává se tento test stále důležitějším. Jediná cesta jak se obejít ovlivňováním zařízení vnějšími frekvencemi, je zvýšení jeho elektromagnetické odolnosti proti vysokofrekvenčním signálům.

Při tomto testu je hlavní veličina intenzita elektrického pole, která nám určuje, jakou energii bude zařízení elektromagnetickým polem ovlivňováno.

2.6.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje



Obr. 12. Schéma zapojení pro testování vyzářeného vln elektromagnetického pole

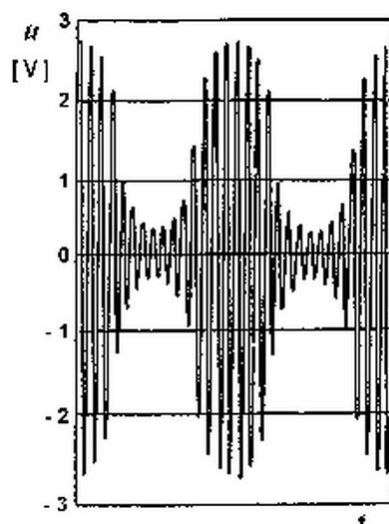
Zkouška se provádí ve stíněných absorpčních prostorech z důvodů, aby se odstranili vlivy vnějších signálů na zkušební zařízení. Další důvod použití stíněné absorpční komory je, aby nedošlo k ovlivnění blízkých zařízení u komory před silným elektromagnetickým polem,

keré je v komoře vytvářeno pro testování. Následující důvod je vytvoření stálého zkušební pole uvnitř komory bez odrazů od vnitřních stěn.

Frekvenční pásmo, které je vyzařováno na zkoušené zařízení, je velmi široké, proto se používají různé antény pro daná kmitočtová pásma. Jsou použity dva druhy antén. Logaritmicke-periodická anténa, která se používá pro nižší frekvence 80 – 1000MHz a trychtýřová anténa, která se používá ve vyšších frekvenčních pásmech 1000 – 3000MHz.

Při testování se antény nastavují do vertikální (značení V) a horizontální (značení H) polohy při všech frekvencích.

Pro měření je potřeba vysokofrekvenční generátor a širokopásmový výkonový zesilovač. Zesilovač je potřeba, aby bylo dosaženo potřebného výkonu zkušební signálu. Při měření je potřeba přepínat mezi výkonovými zesilovači pro nízké a vysoké frekvence.



Obr. 13. Modulovaný vysokofrekvenční signál 80% amplitudová modulace [9]

Podle kmenové normy se pro testování má použít 80% amplitudová modulace s 1kHz obálkou. Frekvenční pásmo a příslušné hodnoty intenzity elektrického pole je též popsána v kmenové normě odolnosti [6].

2.6.2 Normované zkušební úrovně

- Pro kmitočtové pásmo 80MHz - 1000MHz

Úroveň	Intenzita zkušebního pole – E [V/m]
1	1
2	3
3	10
X	Zvláštní

Tab. 5. Zkušební normové úrovně pro vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetického pole: 1.část [9]

- Pro kmitočtové pásmo 800MHz - 960MHz a 1400MHz - 2000MHz

Úroveň	Intenzita zkušebního pole – E [V/m]
1	1
2	3
3	10
4	30
X	Zvláštní

Tab. 6. Zkušební normové úrovně pro vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetického pole: 2.část [9]

Úroveň X je neomezená a může být uvedena v normě výrobku. Pro domácí prostředí je zvolena úroveň 2, pro průmyslové prostředí dle normy zvolena úroveň 3.

Klimatizační jednotka spadá do úrovně 2, tedy pro prostředí mírného elektromagnetického vyzařování. Tato úroveň je pro obchodní prostředí, kam spadá klimatizační jednotka Emura.

2.6.3 Výsledky zkoušky

Frekvenční pásmo [Hz]	Polarizace antény	E [V/m]	Výsledek zkoušky	Dovolené kritérium
80MHz-1GHz	H	3	A	A
	V		A	
1,4GHz-2GHz	H	3	A	
	V		A	
2GHz-2,7GHz	H	1	A	
	V		A	

Tab. 7. Výsledek testu vyzářeného vysokofrekvenčního elektromagnetického pole

2.6.4 Vyhodnocení zkoušky

Klimatizační jednotka vyhověla dle normy pro úroveň 2, tedy pro domácí a lehce průmyslová prostředí.

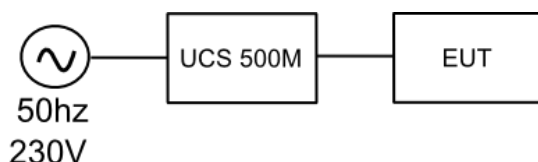
Proběhlo i měření ve frekvenčním rozsahu 80MHz-1GHz při intenzitě elektromagnetického pole 10 [V/m], tato úroveň intenzity je pro zařízení do průmyslového prostředí. Při frekvenci mezi 104MHz-105MHz se klimatizační jednotka sama vypnula a bylo potřeba restartování jednotky.

2.7 Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – zkouška odolnosti

Test je podrobněji popsán v normě EN 61 000-4-4 [10].

Rušivé impulsy, které jsou přiváděny do klimatizační jednotky, mají exponenciální tvar s velmi rychlou dobou náběhu s maximální amplitudou 4kV. Velké nebezpečí pro zařízení je frekvence opakování impulsů, těmto rychlým impulsům se nazývá „burst“ signál. Tyto signály mohou znemožnit komunikaci mezi zařízeními. Druhým větším nebezpečím je vysokofrekvenční obsah rušivého signálu, které mohou způsobovat nestabilitu systému [5].

2.7.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje

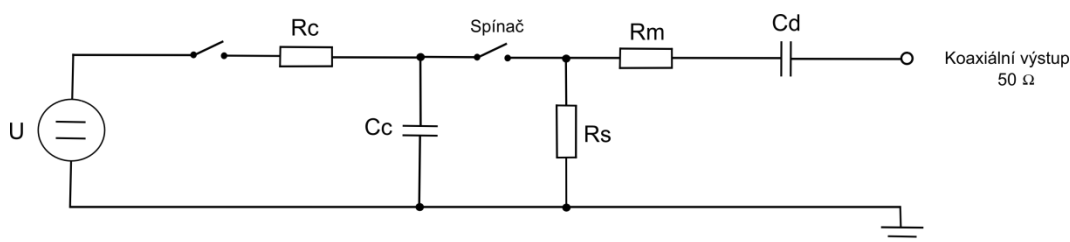


Obr. 14. Schéma zapojení pro zkoušku rychlých přechodových impulzů

Pro zkoušku je použit kombinovaný generátor UCS 500M, kdy se na generátoru nastaví který vodič je použit pro přenos elektrických přechodových impulzů, velikost napěťového impulsu a polaritu.

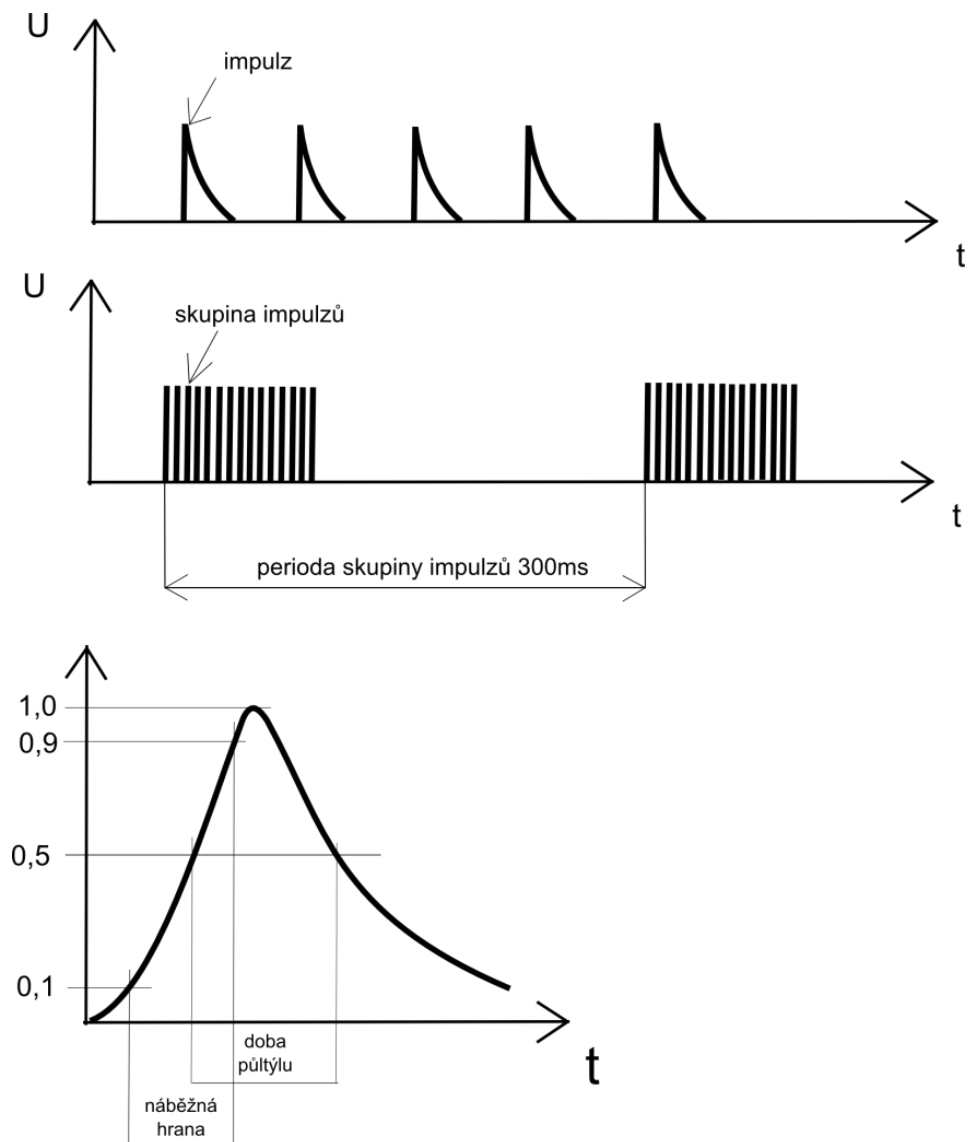
Zkouška je provedena pouze přes napájecí kabel, jelikož zařízení neobsahuje žádný signálové ani ovládací výstupy.

- Schéma zkušební generátoru



Obr. 15. Schéma zkušební generátoru pro měření skupiny impulzů [10]

Zkušební generátor UCS 500M má vysokonapěťový stejnosměrný zdroj. Přes rezistor R_c se nabíjí kondenzátor C_c , který akumuluje energii. Paralelní rezistor R_s umožňuje tvarování doby trvání jednoho impulsu. Sériový kondenzátor C_d má za úkol blokovat stejnosměrný proud.



Obr. 16. Charakteristiky signálů rychlých přechodových impulzů [10]

Doba trvání skupiny impulsů je 15ms. Opakování skupiny, po skončení posledního impulsu, je po 285ms. Doba náběžné hrany u impulsu je $5\text{ns}\pm 30\%$ a doba půltýlu, která nám ukazuje dobu signálu přes 50% z maximální hodnoty napětí, je $50\text{ns}\pm 30\%$.

2.7.2 Normové zkušební úrovně

Výstupní zkušební napětí naprázdno a opakovací kmitočet impulsů				
Úroveň	Vstupy a výstupy napájení + PE		Signálové a datové, ovládací vstupy/výstupy	
	Vrcholové napětí [kV]	Opakovací frekvence [kHz]	Vrcholové napětí [kV]	Opakovací frekvence [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

Tab. 8. Úrovně pro testování rychlých elektrických přechodných jevů [10]

Je použita opakovací frekvence 5 [kHz], která se častěji používá. Klimatizační jednotka spadá do úrovně 2. Klimatizace testována i pro průmyslové prostředí, které dle normy je úroveň 3, takže vrcholová hodnota napětí bude zvětšena o 1kV.

2.7.3 Výsledky zkoušky

Vstupy/výstupy	Napětí [kV]	Polarita	Vyhodnocené kritérium	Dovolené kritérium
Vodič L	1	+	A	B
		-	A	
Vodič N		+	A	
		-	A	
L+N+PE		+	A	
		-	A	

Tab. 9. Výsledek testu rychlých impulzů pro domácí prostředí

Vstupy/výstupy	Napětí [kV]	Polarita	Vyhodnocené kritérium	Dovolené kritérium
Vodič L	2	+	A	B
		-	A	
Vodič N		+	A	
		-	A	
L+N+PE		+	A	
		-	A	

Tab. 10. Výsledek testu rychlých impulzů pro průmyslové prostředí

2.7.4 Vyhodnocení zkoušky

Klimatizace během zkoušky vykazovala normální funkce v mezích, které stanovil výrobce, a to jak pro domácí tak pro průmyslové prostředí.

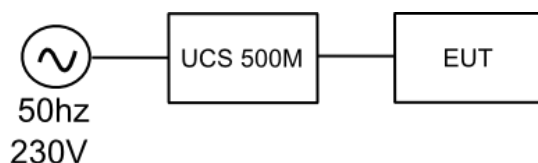
2.8 Rázový impuls – zkouška odolnosti

Test je popsán v normě EN 61 000-4-5 [11].

Zkouška má otestovat chování zařízení, kdy vznikají výboje v atmosféře, či při spínání velkých indukčností a kapacit, kde mohou nastávat spínací přechodové jevy, které by mohly zařízení ovlivnit.

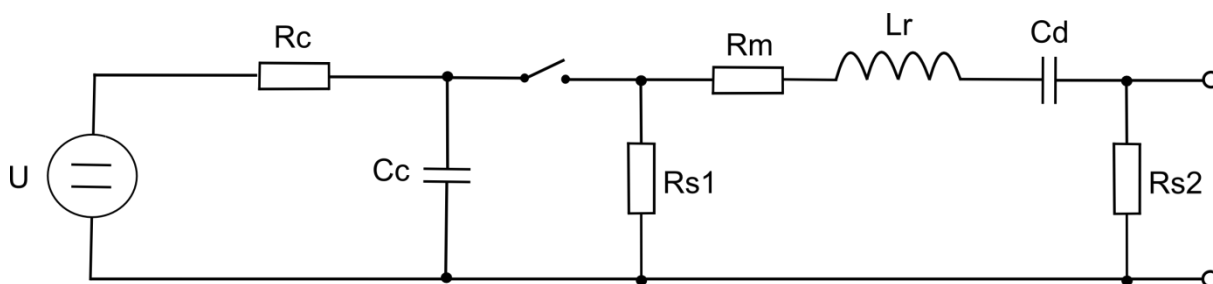
Atmosférické impulsy jsou nebezpečné svojí vysokou energií. Tyto energie způsobují i tepelné účinky na vodič.

2.8.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje



Obr. 17. Schéma zapojení pro zkoušku rázového impulsu

- Schéma zkušební generátoru

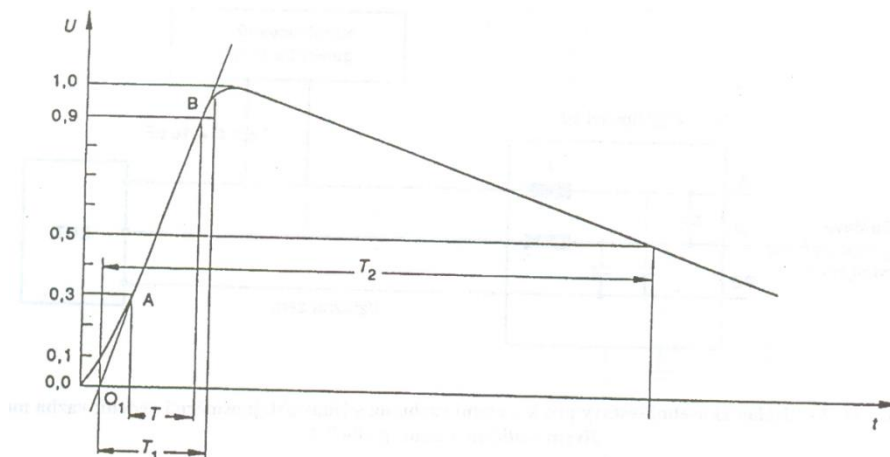


Obr. 18. Schéma zkušební generátoru rázového impulsu [11]

Zkušební generátor má vysokonapěťový stejnosměrný zdroj. Rezistor R_c je nabíjecí odpor pro kondenzátor C_c , který akumuluje energii. Rezistor R_{s1} , R_{s2} tvaruje tyl impulsu. Cívka L_r tvaruje čelo impulsu.

Rázový impuls je impulz o vysoké energii se strmým čelem a dlouhým týlem. Tento impuls dokáže způsobit poškození elektrických zařízení, i bez přímé galvanické vazby, pomocí elektromagnetické indukce.

- Normalizovaný impuls napětí



Obr. 19. Normalizovaný tvar vlny pro rázový impulz [11]

Náběžná hrana T_1 má dobu $1,2 [\mu\text{s}] \pm 30\%$ a doba půltýlu má $50 [\mu\text{s}] \pm 20\%$, doby jsou přesně definovány v kmenové normě odolnosti pro obytné, obchodní a lehce průmyslové prostředí.

2.8.2 Normované zkušební úrovně

Třída instalace	Zkušební úrovně	
	Síťové napájení	
	Způsob vazby	
	Mezi vodiči	Vodič proti zemi
0	N	N
1	N	0,5
2	0,5	1
3	1,0	2,0
4	2,0	4,0

Tab. 11. Úrovně pro testování rázových impulzů [11]

Pro testování klimatizace byla vybrána úroveň 3, jelikož napájecí kabely klimatizační jednotky probíhají paralelně po celou délku své trasy. Úrovně jsou stejné jak pro domácí, tak i pro průmyslové prostředí.

Zkouška se provádí pouze pro napájecí kabely, jelikož klimatizace nemá žádné datové ani ovládací kabely.

Normalizovaný atmosférický impulz je napěťový s 1,2/50 [μ s] a proudový impulz, který má jiné časové hodnoty impulsu, 8/20 [μ s]. Vrcholová hodnota napětí pro testování je 1kV.

2.8.3 Výsledky zkoušky

Způsob vazby	Zkušební napětí [kV]	Fázový posun [°]	Polarita	Vyhodnocené kritérium	Dovolené kritérium
L:N	1	0	+	A	B
		0	-	A	
		90	+	A	
		90	-	A	
		270	+	A	
		270	-	A	
L:PE	2	0	+	A	
		0	-	A	
		90	+	A	
		90	-	A	
		270	+	A	
		270	-	A	
N:PE	2	0	+	A	
		0	-	A	
		90	+	A	
		90	-	A	
		270	+	A	
		270	-	A	

Tab. 12. Výsledek zkoušky rázových impulzů

2.8.4 Vyhodnocení zkoušky

Během zkoušky nebylo zaznamenáno žádná změna funkce zařízení, celý test je vyhodnocen s kritériem A, jak pro domácí tak pro průmyslové prostředí.

2.9 Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli – zkouška odolnosti

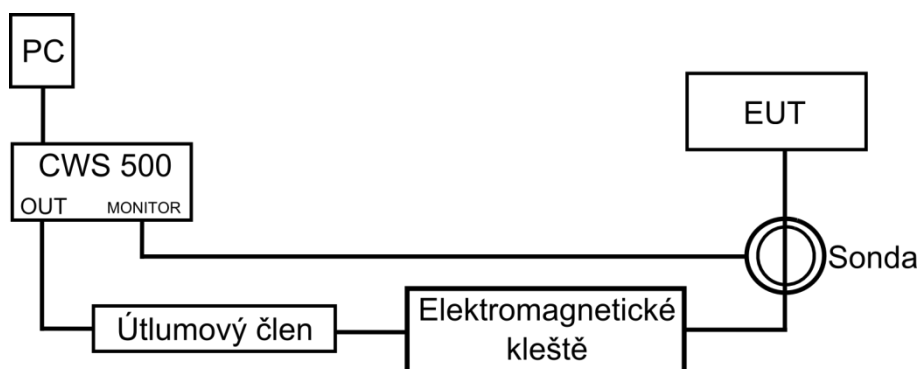
Test je popsán v normě EN 61 000-4-6 [12].

V praxi může působit jako zdroj rušení elektromagnetické pole vysokofrekvenčního vysílače od 9kHz do 80MHz, které působí na přívodní napájecí, komunikační a propojovací kabely. Celá délka kabelů se chová jako pasivní přijímač, která je mnohonásobně větší než délka rušivé vlny. V měření je zkoušené zařízení vystaveno zdrojům elektrických i magnetických polí, které mohou z vysokofrekvenčních signálů přicházet.

2.9.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje

Kmitočtový rozsah je dán v rozmezí 0,15 – 80MHz, je použit pro testování rušivý signál modulovaný sinusovou vlnou 1kHz s 80% amplitudou. Velikost kroku nesmí překročit 1% ze začátečního kmitočtu a každá frekvence je proměřována tři vteřiny. Pro měření je použit generátor CWS 500.

- Schéma zapojení



Obr. 20. Schéma zapojení pro měření odolnosti proti rušením šířeným vedením

Vysokofrekvenční generátor musí být programovatelný. Program se ovládá pomocí počítače, kde se nastavuje rozsah frekvenčního pásma. Kmitočtová závislost velikosti kroků nesmí překročit 1% předchozí frekvence. Nastavuje se také doba prodlevy mezi jednotlivými frekvencemi, nesmí být menší než 0,5 sekundy. Pro měření je nastaveno, že na každé frekvenci se proměřuje 3 sekundy.

Útlumový člen, který chrání zesilovač generátoru, s dostatečným výkonovým dimenzováním. Člen má útlum 6dB a impedanční přizpůsobení 50Ω . Útlumový člen je ve schématu zahrnut, aby redukoval nepřizpůsobení výkonového zesilovače k síti.

Po útlumovém členu je připojena elektromagnetická kleště EM 101 pro vytvoření vazby rušivého signálu. V měření je použit do elektromagnetické kleštiny napájecí kabel mezi vnitřní a venkovní jednotkou.



Obr. 21. Elektromagnetická kleština

2.9.2 Normové zkušební úrovně

Kmitočtový rozsah 150kHz – 80MHz		
Úroveň	Úroveň napětí (ems)	
	U _o [dB(μV)]	U _o [V]
1	120	1
2	130	3
3	140	10
X	Zvláštní	

Tab. 13. Úrovně pro testování proti rušením šířeným vedením [12]

Pro vyhodnocování vysokofrekvenčních signálů je použita veličina dB jako vztažná veličina na $1\mu\text{V}$. Je dáno: $U_0 [\text{dB}\mu\text{V}] = 20 \cdot \log \frac{U_0 (\text{V})}{1 (\mu\text{V})} = 20 \cdot \log \frac{1 (\text{V})}{1 \cdot 10^{-6}} = 120 [\text{dB}]$.

Klimatizace spadá do úrovně 2 pro prostředí nenáročného. Zařízení, jako vysokofrekvenční vysílače, se nenacházejí v blízkosti zařízení. Úroveň pro domácí, obchodní a lehké průmyslové prostředí dle kmenové normy odolnosti.

2.9.3 Výsledky zkoušky

Kmitočtový rozsah 150kHz – 80MHz				
Úroveň	Úroveň napětí (ems)		Vyhodnocené kritérium	Dovolené kritérium
	$U_0 [\text{dB}(\mu\text{V})]$	$U_0 [\text{V}]$		
2	130	3	A	A

Tab. 14. Výsledek zkoušky pro testování proti rušením šířeným vedením

2.9.4 Vyhodnocení zkoušky

Celý test je vyhodnocen s kritériem A, během zkoušky nebylo zaznamenáno žádná změna funkce zařízení.

2.10 Magnetické pole síťového kmitočtu – zkouška odolnosti

Test je popsán v normě EN 61 000-4-8 [13].

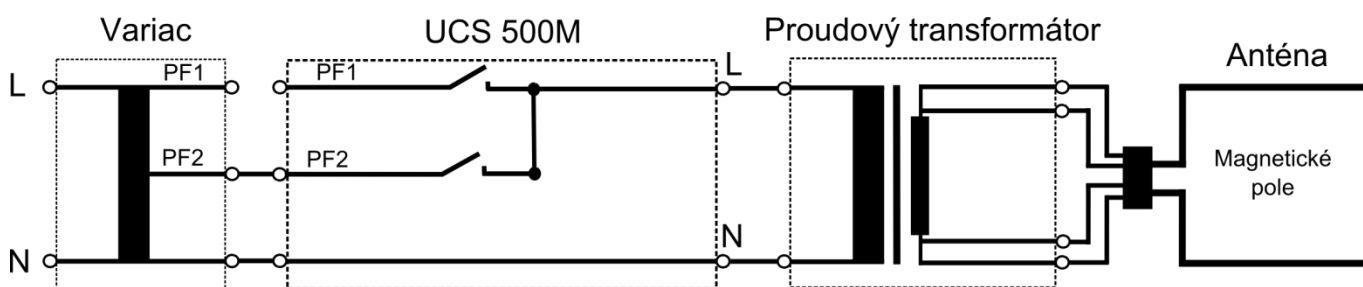
Napájecí rozvody NN mohou ovlivňovat zařízení, jelikož vytvářejí nízkofrekvenční magnetické pole. Tento test simuluje vliv okolních kabelů, popřípadě i okolních transformátorů, které mohou být ve velmi malé vzdálenosti od testovaného zařízení.

2.10.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje

Pro zkoušku se musí vytvořit magnetické pole, které je vytvořeno průchodem proudu indukční cívkou. Indukční cívka je hlavní součást zkoušky, jelikož vytváří odpovídající intenzitu elektrického pole.

Pro malá zařízení, jako klimatizační jednotka, je použita čtvercová cívka. Cívka se během zkoušky natáčí ve všech třech směrech. Pro měření je použit kombinovaný generátor UCS 500M a proudový transformátor MC 2630, který slouží jako zdroj až do intenzity 30 [A/m] .

- Schéma zapojení



Obr. 22. Schéma zapojení pro měření magnetického pole síťového kmitočtu

Klimatizační jednotka je během testu vytavena magnetickému poli. Zkušební magnetické pole musí být aplikováno pomocí tzv. ponorné metody. Ponorná metoda je, že testované zařízení je vnořeno do cívky o délce 1 metru. Pokud nelze testované zařízení vložit do magnetického pole aplikuje se metoda přiblížení.

Klimatizační jednotku, která byla umístěna na dřevěném podstavci, nemohla být změřena ponornou metodou.

- Faktor antény

Faktorem antény se určuje, jaký musí cívkou protékat proud, aby bylo vytvořena přesná intenzita magnetického pole.

$$F_{\text{ant}} = H \left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right] / I_{\text{ant}} [\text{A}] = 0,91$$

- Faktor transformátoru

Faktor transformátoru určuje, jaké napětí musí být na primárním vinutí pro určení magnetického pole.

$$F_{\text{trafo}} = I_{\text{ant}} [\text{A}] / U_{\text{prim}} [\text{V}] = 0,04$$

Faktor s výsledkem 0,04 je určen pro magnetickou intenzitu 1 a 3 [A/m].

- Tabulky pro faktory transformátoru a antény

Napětí primárního vynutí [V]	F_{trafo}	Proud cívkou [A]	F_{ant}	Úroveň magnetického pole [A/m]
27,5	0,04	1,1	0,91	1
82,5	0,04	3,3	0,91	3
30,5	0,36	10,99	0,91	10
91,6	0,36	32,97	0,91	30

Tab. 15. Tabulka pro faktory transformátoru a antény [13]

Pro měření klimatizační jednotky je potřeba magnetické pole o intenzitě 3 [A/m]. Napětí primárního vinutí musí být 82,5 [V] s faktorem transformátoru 0,04. Proud cívkou tedy musí protékat o hodnotě 3,3 [A]. Faktor antény je neměnný pro všechny úrovně magnetického pole, dá se konstatovat, že je to koeficient.

2.10.2 Normové zkušební úrovně

Úroveň	Intenzita magnetického pole H [A/m]
1	1
2	3
3	10
4	30
5	100
X	zvláštní

Tab. 16. Úrovně pro testování magnetického pole síťového kmitočtu [13]

Úroveň X je neomezená a může být uvedena v normě výrobku.

Pro měření magnetického pole síťového kmitočtu je vybrána pro klimatizační jednotku úroveň 2. Pro tuto úroveň nesmí být v okolí zařízení, které by vytvářelo rozptylové toky a klimatizace nesmí být vystavena vlivu VVN. Norma upřesňuje, že do této úrovně spadají domácnosti, obchody a prostory průmyslové.

2.10.3 Výsledky zkoušky

Pozice	Intenzita magnetického pole	Vyhodnocené kritérium	Povolené kritérium
1	3 [A/m]	A	A
	30 [A/m]	A	
2	3 [A/m]	A	
	30 [A/m]	A	
3	3 [A/m]	A	
	30 [A/m]	A	

Tab. 17. Výsledky zkoušky magnetického pole síťového kmitočtu



Obr. 23. Testování odolnosti magnetickým polem metodou přiblížení

2.10.4 Vyhodnocení zkoušky

Klimatizace neprokazovala žádné náznaky snížení svých funkcí, jako otáčky ventilátoru a pohyb lamel. Celý test je hodnocen, jak pro domácí tak pro průmyslové prostředí, kritériem A.

2.11 Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení – zkouška odolnosti

Test je popsán v normě EN 61 000-4-11 [14].

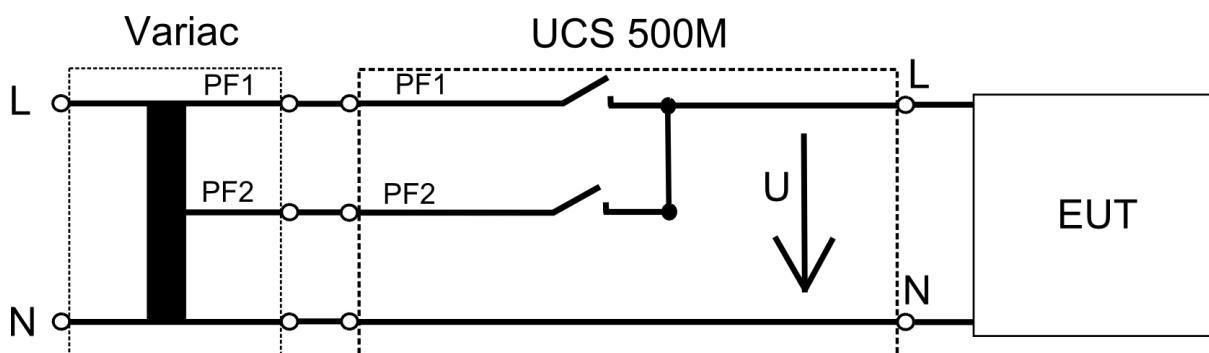
Zkouška má otestovat odolnost zařízení před krátkodobými poklesy napájecího napětí a testovat při krátkých napěťových přerušeních. Změny napětí mohou být způsobeny náhlými poruchami v síti, popřípadě při velkých změnách zatížení. Tyto změny mají vliv na funkčnost testovaného zařízení.

2.11.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje

V měření se používá autotransformátor Variac, který je propojen s kombinovaným generátorem UCS 500M. Při změnách napájecího napětí se nastavuje hodnota, na kterou má napájecí napětí poklesnout a po jakou dobu tento pokles má trvat.

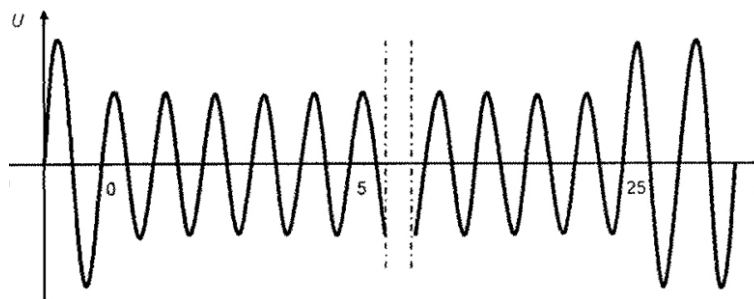
Pokud má nastat změna napájecího napětí, tato změna musí být velmi strmá, v generátoru UCS 500M se skokově přepne na druhé napájecí napětí.

- Schéma zapojení



Obr. 24. Schéma zapojení pro měření poklesu a přerušení napětí

- Pokles napětí

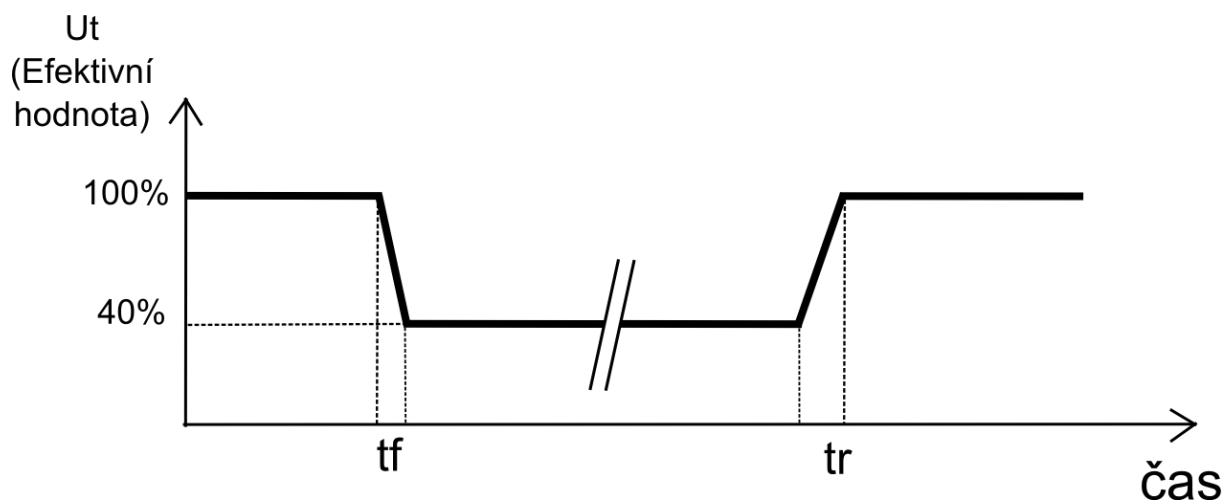


Obr. 25. Graf poklesu napětí [14]

Změna napětí je skoková a při měření je důležité, aby přechod mezi napětími byl co v nejkratší době. Změna napětí se může vyskytnout v jakémkoliv fázovém úhlu.

Na obrázku 25. je znázorněn pokles na 70% napájecího napětí a skoková změna nastala, když napájecí napětí procházelo nulovou hodnotou.

- Efektivní hodnota poklesu napětí



Obr. 26. Graf efektivní hodnoty poklesu napětí [14]

Na obrázku 26. je znázorněn pokles na 40% efektivní hodnoty napájecího napětí. Doba změny je charakterizována dobou 1-5 [μ s].

2.11.2 Výsledky zkoušky

Zkušební úroveň napětí [V]	Pokles na procentuální úroveň	Doba trvání (Počet period)	Fázový posun [°]	Vyhodnocené kritérium	Dovolené kritérium
0	0%	20ms (1)	0	A	B
0	0%	20ms (1)	90	A	
0	0%	20ms (1)	270	A	
92	40%	200ms (10)	X	B	B
161	70%	500ms (25)	X	B	C
0	0%	5s	X	C	C

Tab. 18. Výsledky zkoušky poklesu a přerušení napětí

2.11.3 Vyhodnocení zkoušky

Při krátkodobém výpadku napětí, pokles na 0% z napájecí hodnoty, na 20ms klimatizační jednotka neztratila svoji funkčnost a výsledek testu je vyhodnocen kritériem A.

Při poklesu na 40% z napájecího napětí, po dobu 200ms, bylo během testu zaznamenán pokles otáček ventilátoru u vnitřní jednotky. Při sníženém napětí, pokles na 161V a po dobu 500ms, se projevila ztráta funkčnosti klimatizační jednotky v podobě poklesu otáček ventilátoru a zastavení poklesu lamel.

Při krátkém přerušení napájecího napětí, po dobu 5 sekund, byla klimatizační jednotka samovolně vypnuta a bylo potřeba obnovy funkce zapnutím na dálkovém ovládní.

Klimatizační jednotka splnila test krátkodobých přerušení a výpadku napětí.

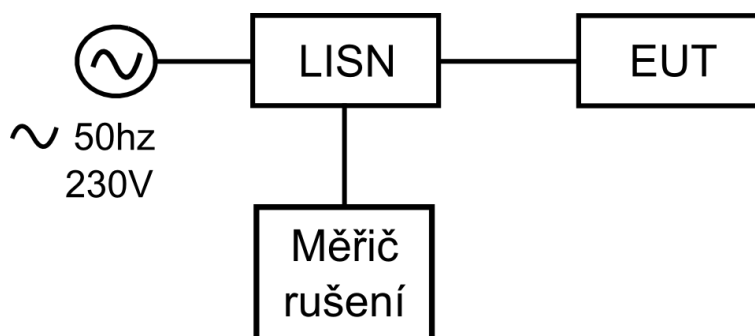
2.12 Měření charakteristik rušivých signálů na síťových svorkách – Emisní zkouška

Test je popsán v normě EN 55022 [16].

K měření se používá umělá síť, která odfiltruje rušivé signály, které by mohly přicházet z elektrické soustavy do zařízení, a zpětně rušivé signály z testovaného zařízení se zaznamenávají v spektrálním analyzátoru.

2.12.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje

- Schéma zapojení

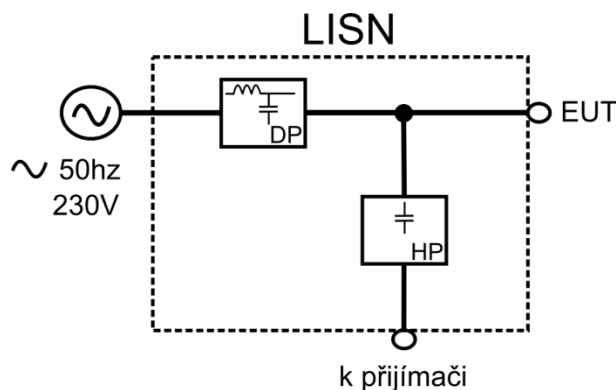


Obr. 27. Schéma zapojení pro měření rušivých signálů na síťových svorkách

Umělá zátěž vedení LISN je připojena ke zkoušenému zařízení, které napájí. Z napájení jsou rušivé signály vedeny přes umělou zátěž do měřiče rušení (spektrální analyzátor nebo selektivní mikrovoltmetr), který vyhodnocuje pouze rušivé signály.

Dle normy se klimatizační jednotka zařazuje do třídy B, které jsou určeny především pro vnitřní prostředí. Zkouška se provádí od 150kHz do 30MHz. Ve třídě B je frekvenční pásmo rozděleno na 3 skupiny podle velikosti střední meze a kvazivrcholové meze, veličiny jsou v hodnotách dB(μ V).

- Zjednodušené schéma umělé zátěže vedení



Obr. 28. Schéma zapojení umělé zátěže vedení

Umělá zátěž vedení je napájena z elektrické sítě, na vstupu má dolní propust, která odfiltruje rušivé signály z elektrické soustavy. A druhá funkce dolní propusti je, že rušivé signály ze zkoušeného zařízení nepronikají zpět do elektrické sítě.

Hlavní funkcí horní propusti je, že rušivé signály ze zkoušeného zařízení propouští do přijímače, který je vyhodnocuje. Horní propustí neproniká napájecí napětí.

- Normová frekvenční pásma a meze

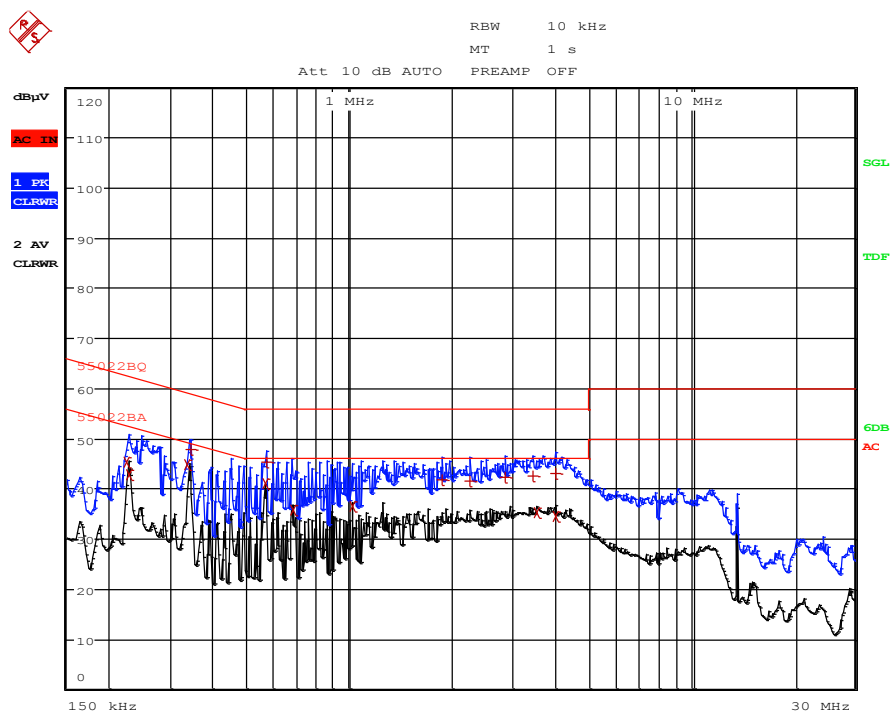
Kmitočtové pásmo [MHz]	Meze dB(μ V)	
	kvazivrcholová	střední
0,15 – 0,5	66 až 56	56 až 46
0,5 – 5,0	56	46
5 - 30	60	50

Tab. 19. Tabulka pro normová frekvenční pásma a meze [16]

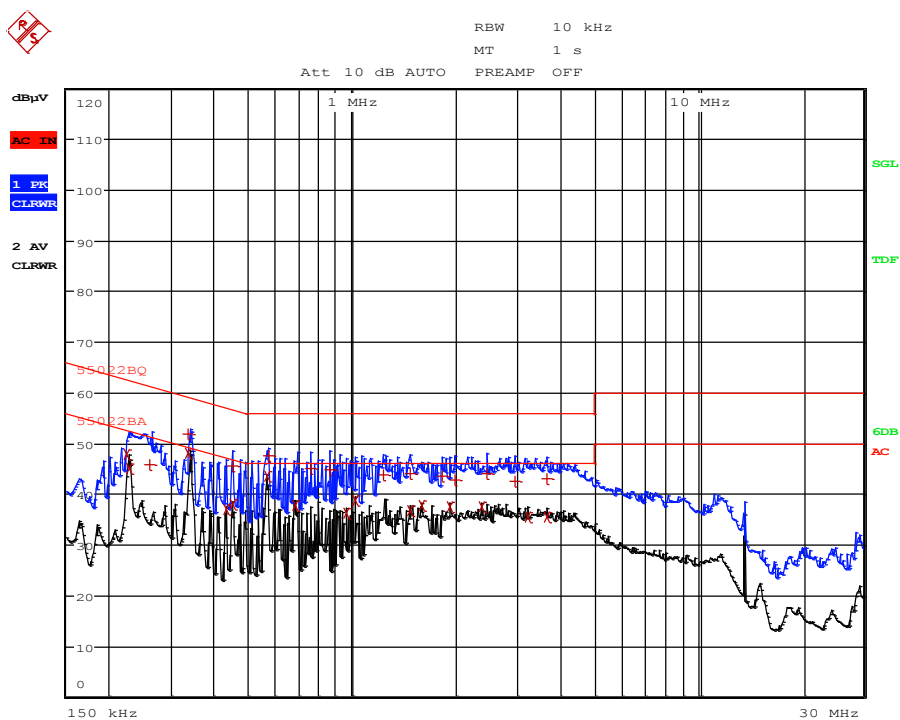
Tyto frekvenční meze se nastavují na měřícím přijímači, který frekvence přeladuje a během měření detekuje kvazivrcholovou a střední hodnotu. Jako měřicí přijímač je použit selektivní mikrovoltmetr, který během zkoušky spojitě přeladuje kmitočtové pásmo.

2.12.2 Výsledky zkoušky

- Měření charakteristik rušivých signálů s maximálními otáčkami

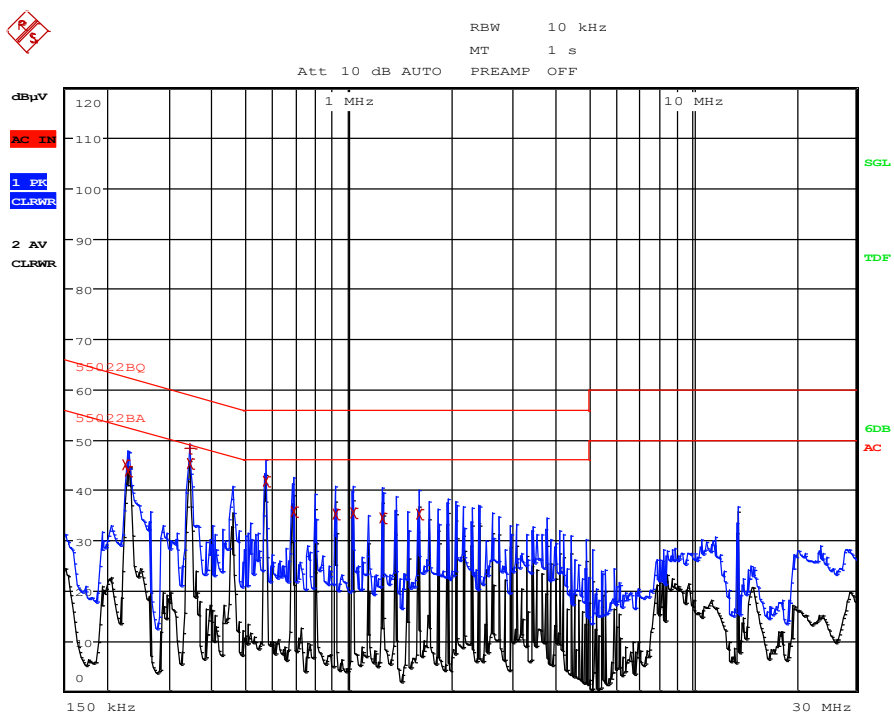


Obr. 29. Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem L s max.otáčkami

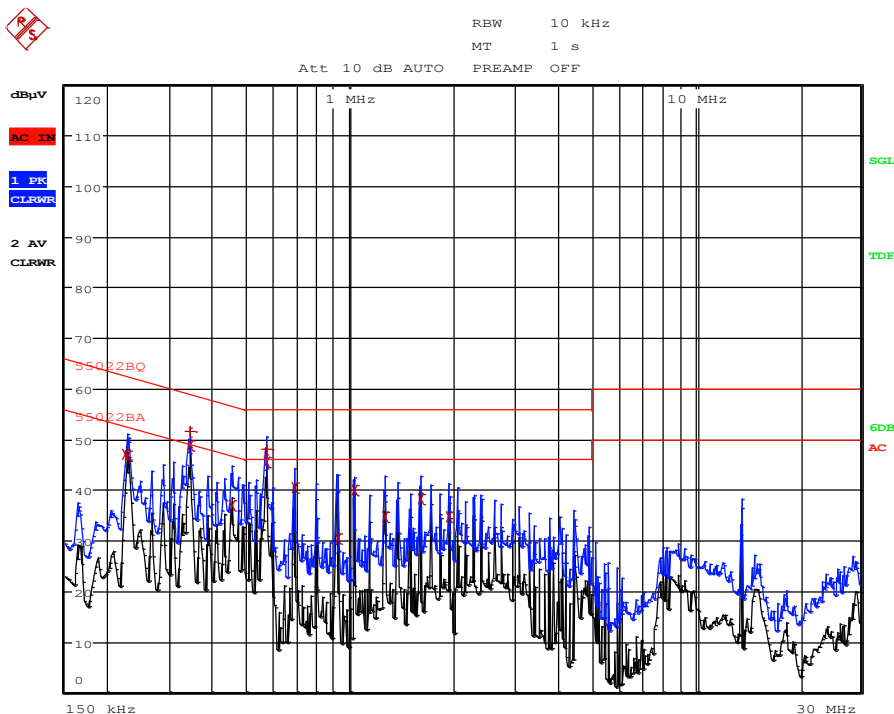


Obr. 30. Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem N s max.otáčkami

- Měření charakteristik rušivých signálů s minimálními otáčkami

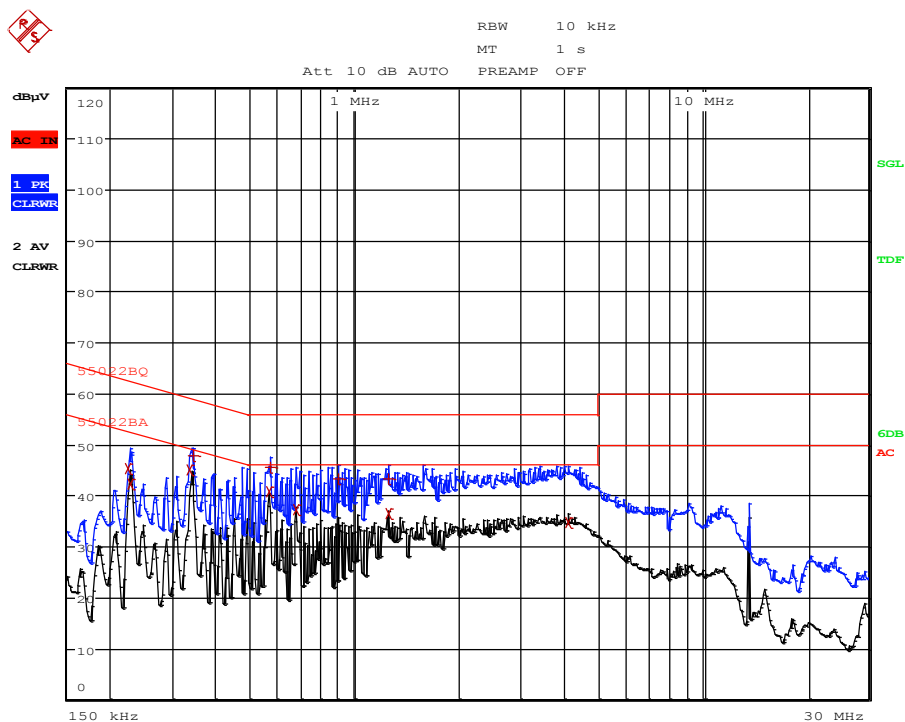


Obr. 31. Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem L s min.otáčkami

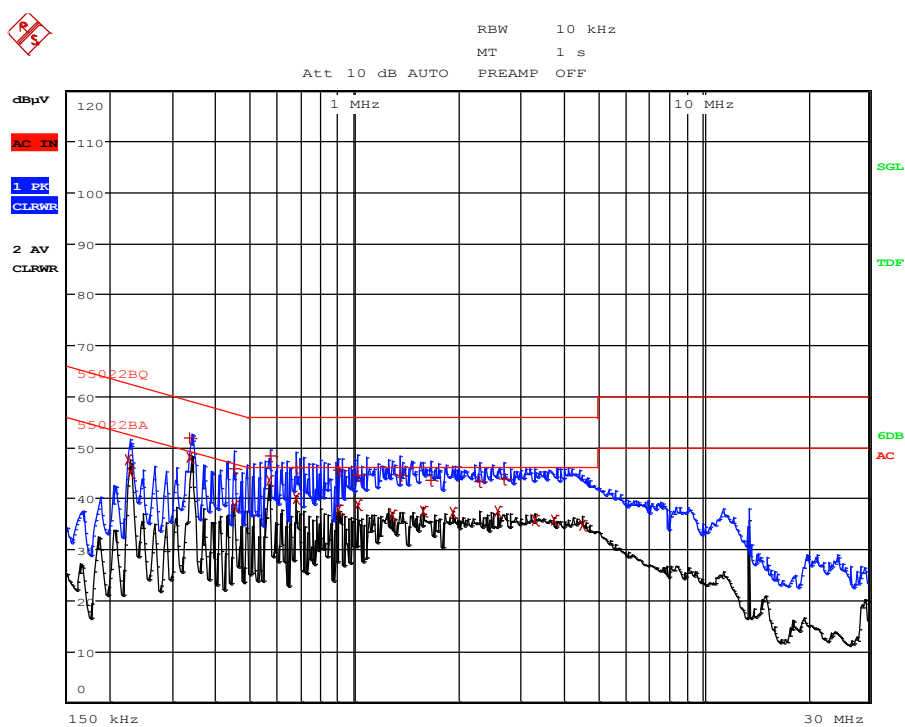


Obr. 32. Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem N s min.otáčkami

- Měření charakteristik rušivých signálů s funkcí FAN



Obr. 33. Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem L s funkcí FAN



Obr. 34. Charakteristika rušivých signálů na síťových svorkách vodičem N s funkcí FAN

2.12.3 Vyhodnocení zkoušky

Klimatizační jednotka vyhověla zkoušce měření charakteristik rušivých signálů na síťových svorkách. Dle tabulek vyhodnocení se při měření kvazivrcholová hodnota rušivého signálu nepřiblížila k mezní kvazivrcholové mezi blíže než 7dB.

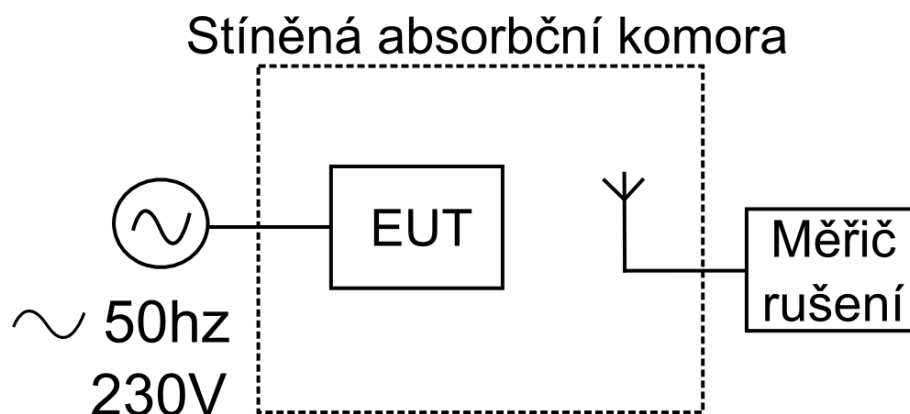
2.13 Měření charakteristik elektromagnetického rušení anténami – Emisní zkouška

Test je popsán v normě EN 55011 [16].

Zařízení musí splnit limity pro povolené vyzařování zkušebního objektu. Každé elektronické zařízení vyprodukovává elektromagnetický signál, tento signál je vysílán do prostoru a může ovlivňovat jiná zařízení. Tomuto se předchází měřením charakteristik elektromagnetického rušení anténami, kdy rušivý signál nesmí přesáhnout předepsanou mez.

2.13.1 Postup zkoušky, schéma zapojení a použité přístroje

- Schéma zapojení



Obr. 35. Schéma zapojení pro měření charakteristik elektromagnetického rušení anténami

Pro měření je důležité použít stíněnou absorpční komoru kvůli ovlivňování výsledku z vnějšího okolí. Měření se provádí od 30MHz do 1000MHz proto se v měření používají dvě

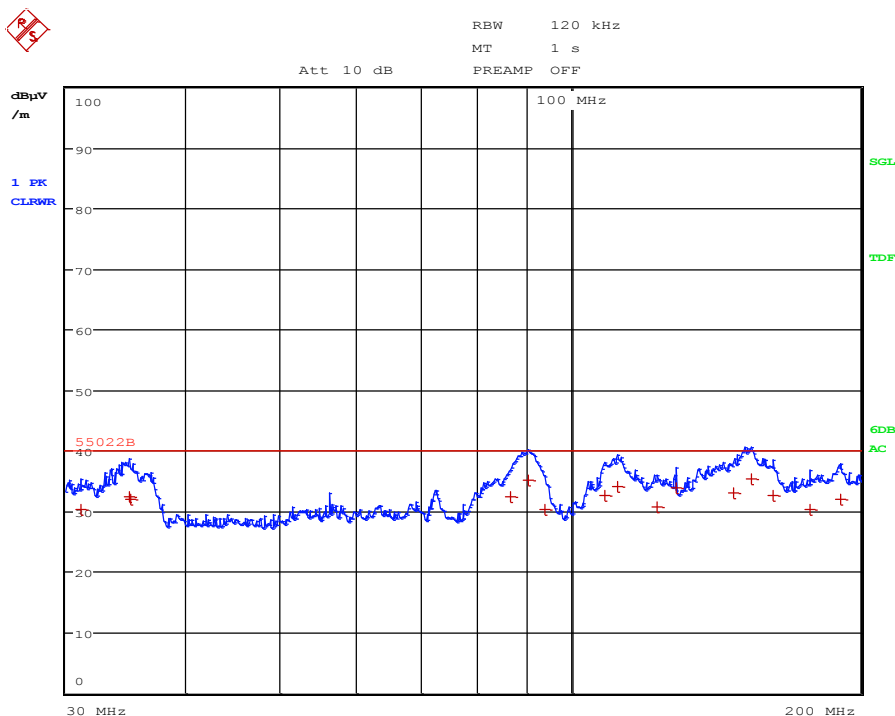
různé antény pro zachycení vyzařovaného elektromagnetického rušení. Používá se bikónická anténa pro nižší frekvenční pásmo a logaritmicko-periodická anténa pro vyšší rozsahy.

Dle normy musí být zařízení od antény ve vzdálenosti 10 metrů, což prostorové podmínky v komoře neumožňují. Vzdálenost antény od testovaného zařízení je 3 metry, proto se musí přepočítat kvazivrcholová mez. V kmenové normě emisí je dán rozsah pro měření anténami 30MHz – 230MHz pro mez 30dB(μ V/m) a druhý rozsah 230MHz-1000MHz pro mez 37dB(μ V/m), hodnoty mezí jsou pro vzdálenost 10 metrů. V poznámce normy je upřesněno, že se může měřit ve vzdálenosti 3 metrů s použitím mezí zvýšených o 10dB.

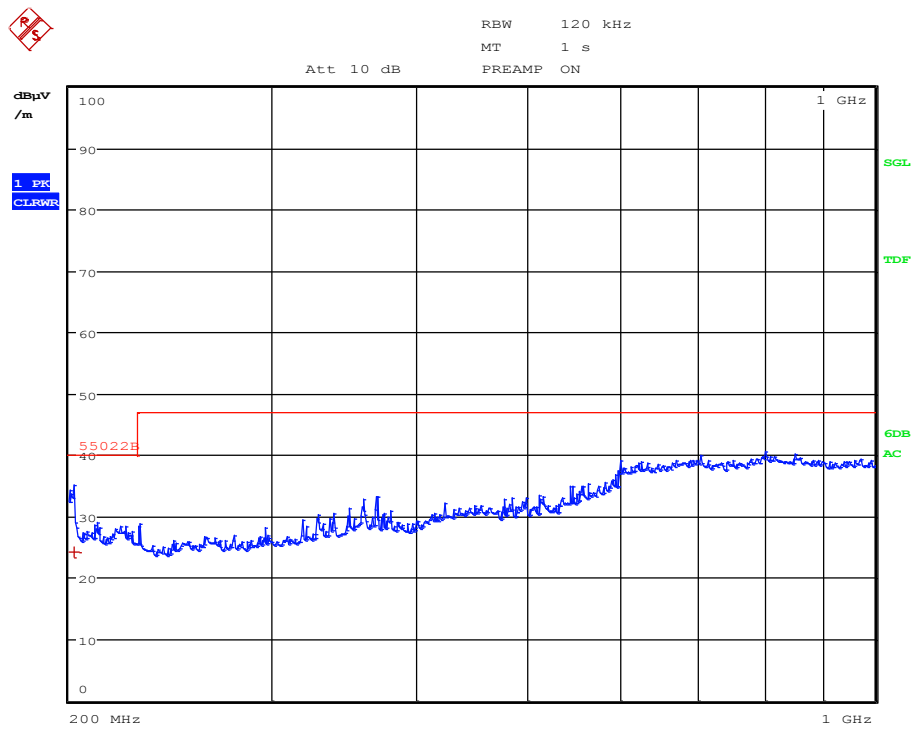
Měření bylo provedeno bez předního krytu vnitřní klimatické jednotky, tento kryt nebyl z důvodů obchodního tajemství k dispozici. Při měření byly obě jednotky blízko sebe, což nesouhlasí s reálným provozem, mohlo dojít k ovlivnění výsledků vlivem vnější jednotky. Nelze vnější jednotku pro měření odizolovat.

2.13.2 Výsledky zkoušky

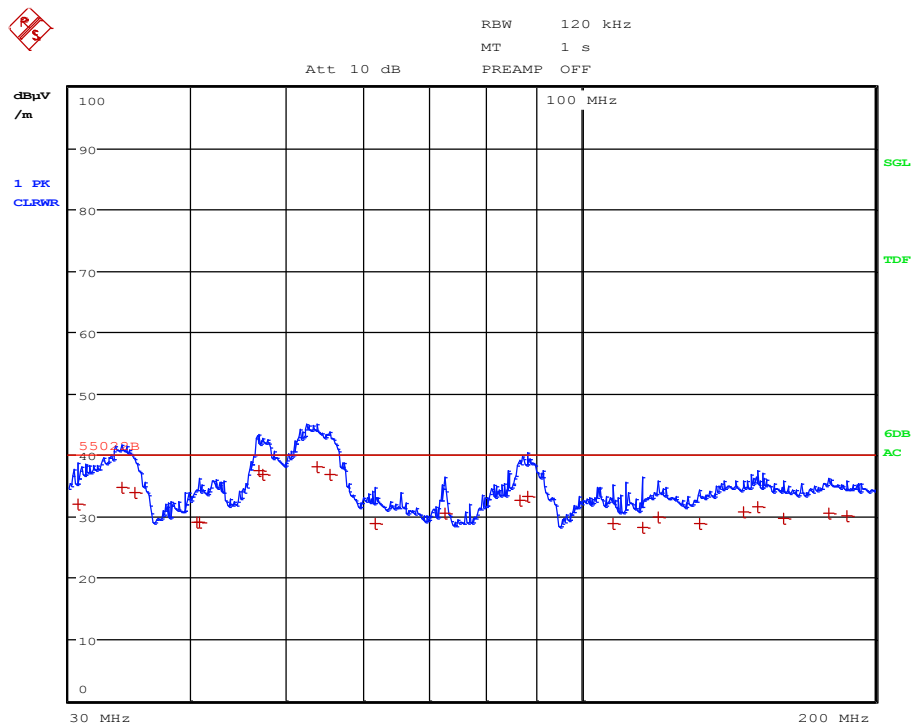
- Měření elektromagnetického rušení s horizontálním a vertikálním natočením antény a maximálním výkonem



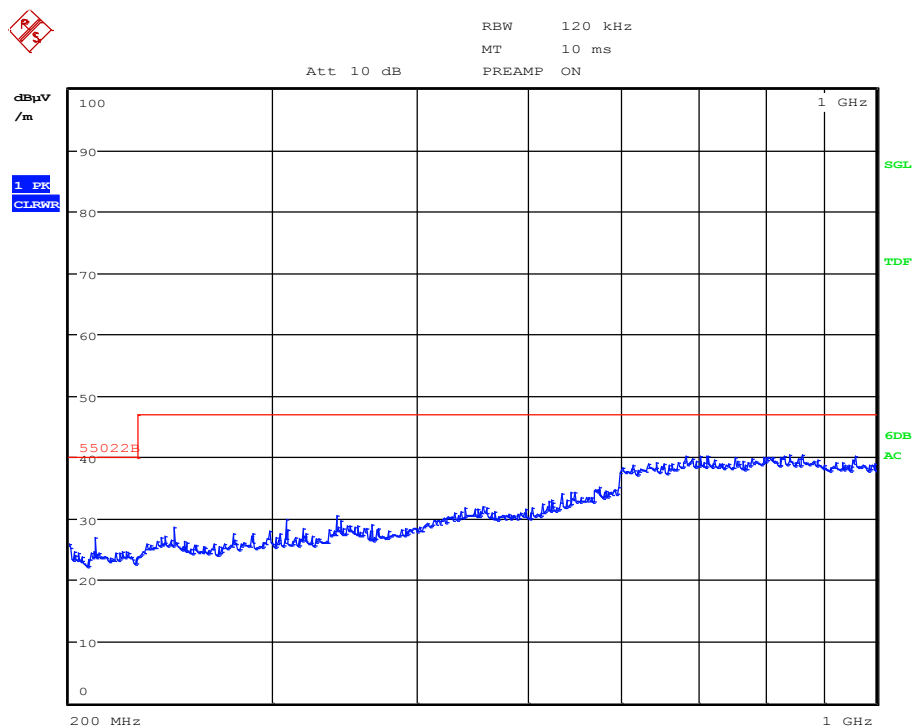
Obr. 36. Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 30-200MHz-MAX



Obr. 37. Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 200-1000MHz-MAX



Obr. 38. Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 30-200MHz-MAX

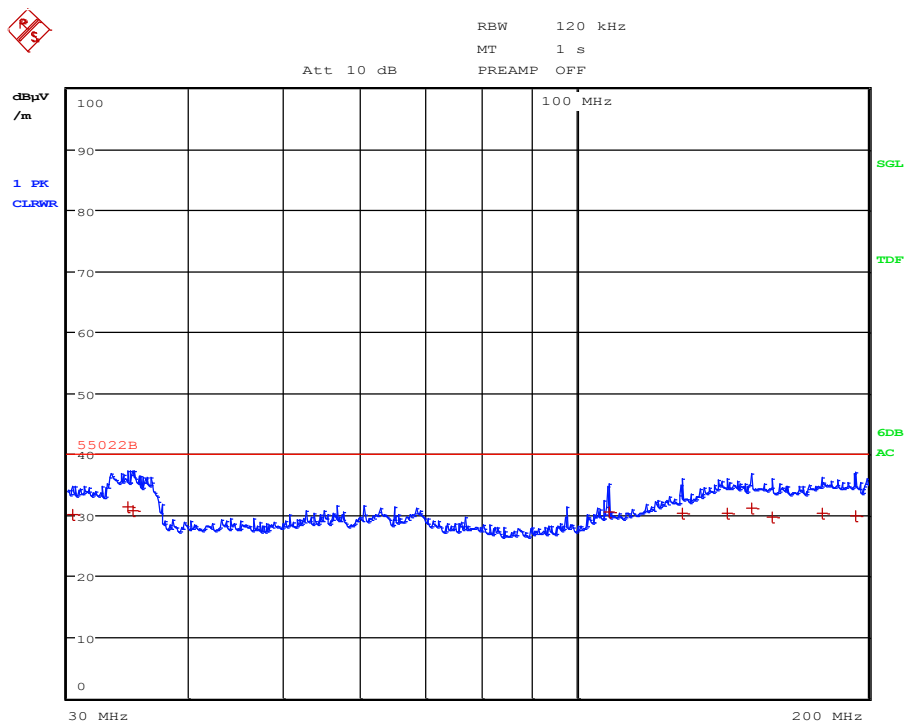


Obr. 39. Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 200-1000MHz-MAX

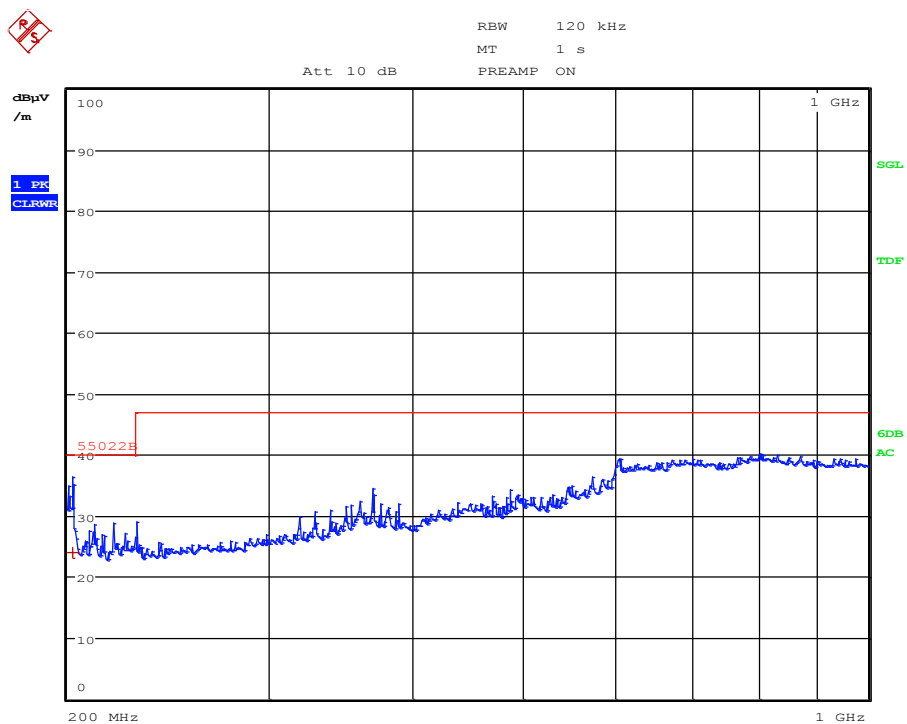
Vyhodnocení měření vnitřní jednotky vertikálního i horizontálního natočení antény s maximálními otáčkami. V první části u horizontálního natočení přesahují maximální hodnoty povolenou mez, ale rozhodující kvazivrcholové hodnoty jsou pod touto mezí, proto lze rozhodnout měření za vyhovující. Vnější jednotka, z důvodu její přítomnosti u vnitřní jednotky, mohla ovlivňovat výsledky. Měření s horizontální polarizací antény se vyhodnotilo pod dovolenou mezí a měření ve výsledku dopadlo lépe než s vertikálním natočením.

Při vyšších frekvencích se rušivé signály ani nepřiblížili k povolené mezi, proto nejsou ani zaznamenány v grafu kvazivrcholové hodnoty.

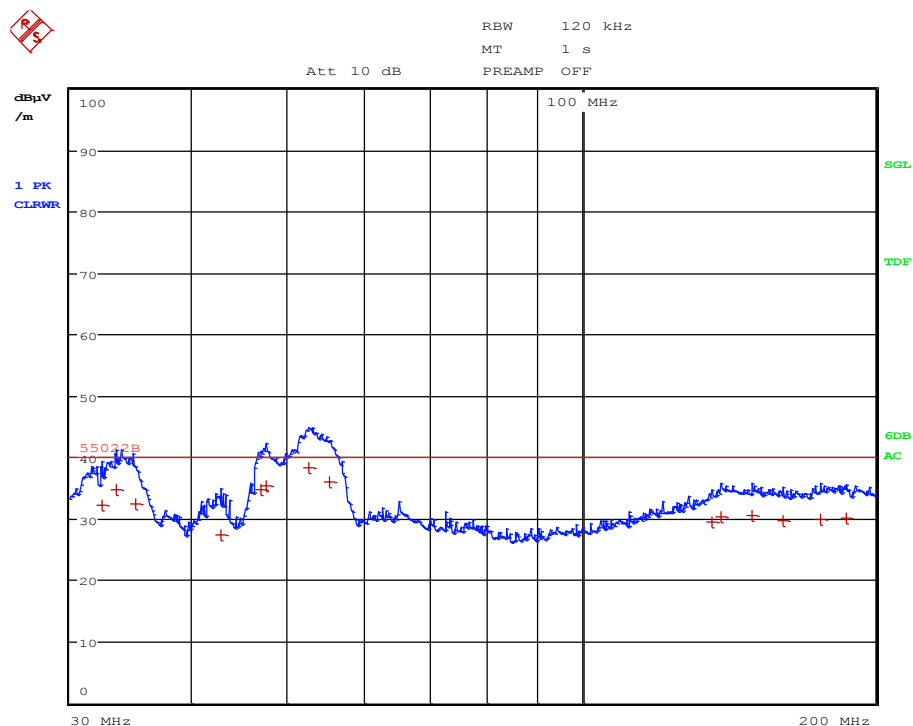
- Měření elektromagnetického rušení s horizontálním a vertikálním natočením antény a s funkcí FAN



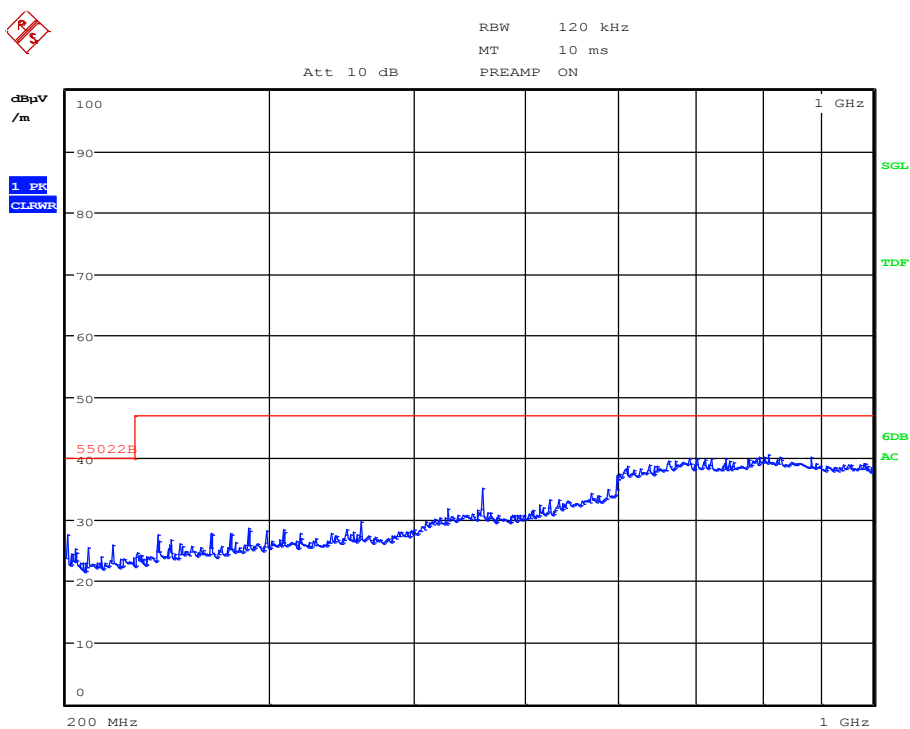
Obr. 40. Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 30-200MHz-FAN



Obr. 41. Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 200-1000MHz-FAN



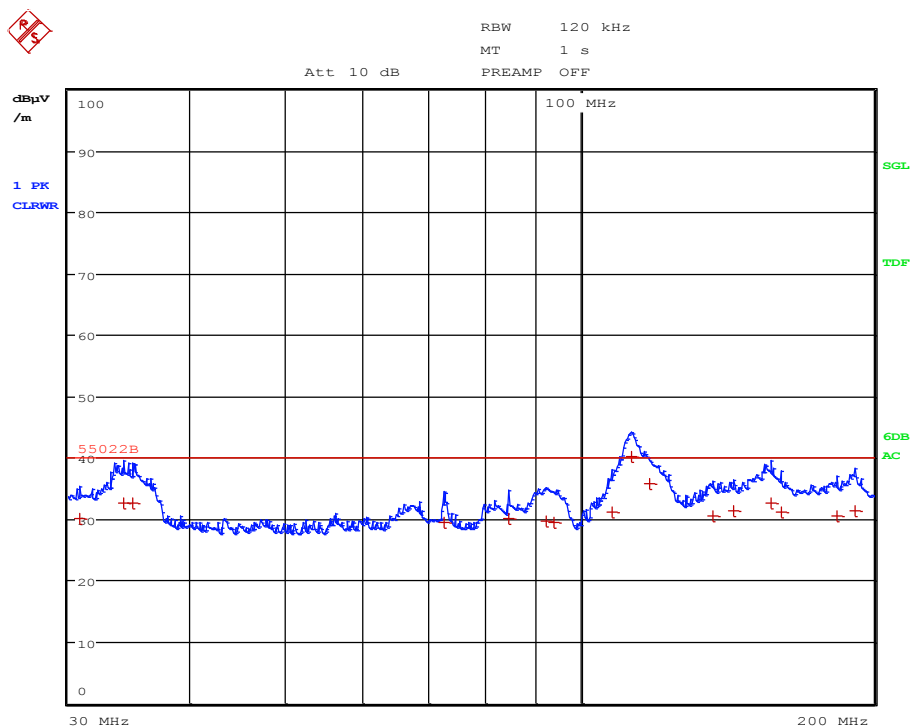
Obr. 42. Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 30-200MHz-FAN



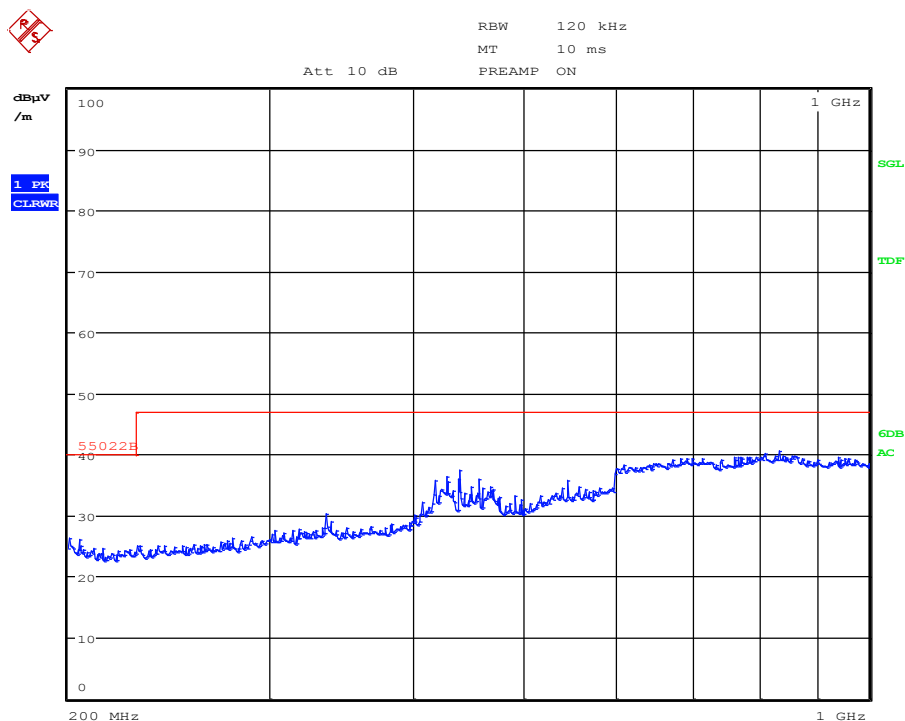
Obr. 43. Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 200-1000MHz-FAN

Měření rušení s funkcí FAN, kdy je vypnuta vnější jednotka, která tím nemůže ovlivnit měření. Na nižších frekvencích byla změřena nižší rušivá hodnota než u maximálního chodu jednotky. Nejbližší hodnota rušení k mezní hodnotě je na frekvenci 52,56MHz s kvazivrcholovou úrovní -1,73dB od mezní hodnoty.

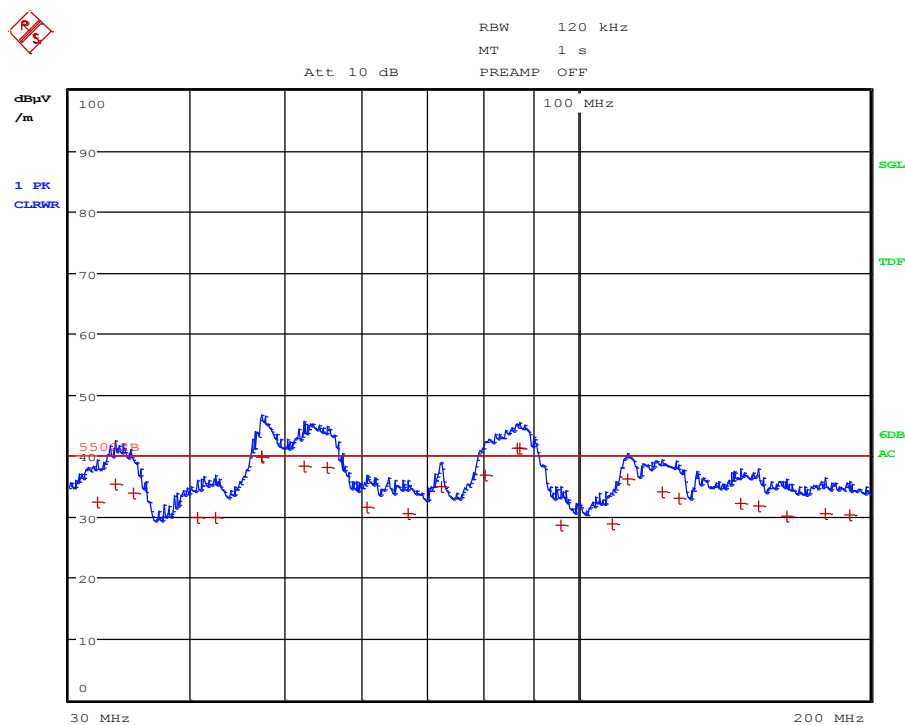
- Měření elektromagnetického rušení vnější jednotky s horizontálním a vertikálním natočením antény s maximálním výkonem



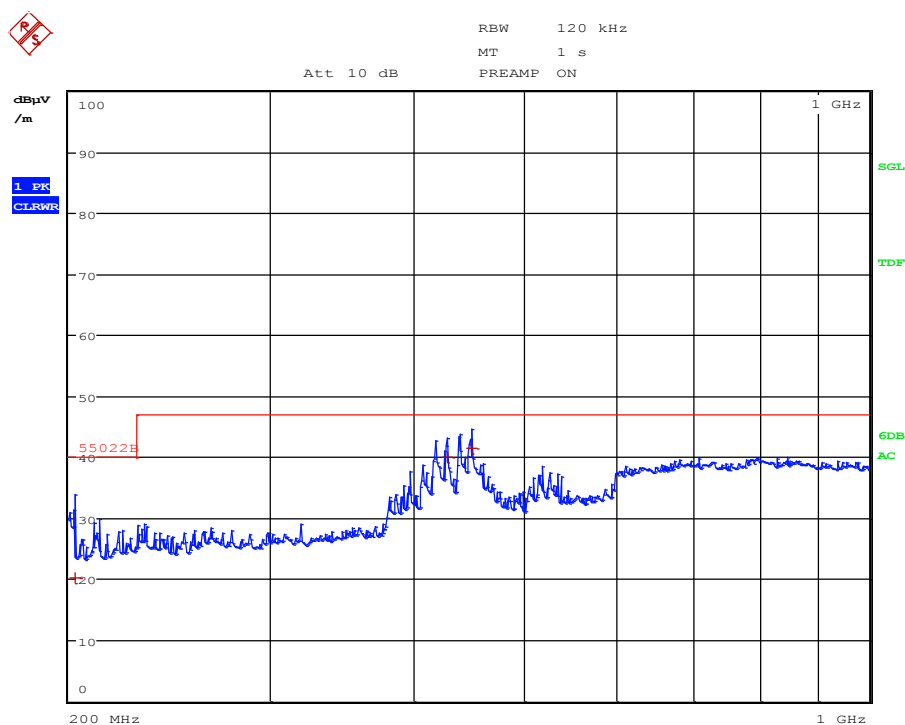
Obr. 44. Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 30-200MHz-OUT



Obr. 45. Charakteristika rušivých signálů anténami, horizontál, 200-1000MHz-OUT



Obr. 46. Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 30-200MHz-OUT



Obr. 47. Charakteristika rušivých signálů anténami, vertikál, 200-1000MHz-OUT

Při měření vnější jednotky, kdy se otočil celý podstavec, byla k anténám blíže vnější jednotka, přičemž obě jednotky byly v provozu (měření emisí obou jednotek zároveň).

Kvazivrcholové hodnoty vyšly nad mezí. Nejhorší výsledek s vertikálním natočením antény na frekvenci 87,04MHz hodnota rušení 41,23dB, což je 1,23dB nad hodnotou meze.

2.13.3 Vyhodnocení zkoušky

Primární měření bylo vyhodnocení vnitřní jednotky emisní zkouškou anténami. Zkouška se nedala provést bez vyřazení vnější jednotky, ta tak mohla ovlivňovat výsledky. Nebyl k dispozici přední kryt pro vnitřní jednotku, který je vyroben z plastu, takže by výsledek neovlivnil.

Pro zlepšení výsledku měření charakteristik rušení anténami, tedy zmenšení vyzařování rušení, lze pokrýt přední plastový kryt tenkou vrstvou kovového materiálu, který by zabraňoval vyzařování.

Byla změřena vnější jednotka, aby se dalo uvést, že opravdu mohlo ovlivňovat měření vnitřní jednotky. Vyzařování na určitých frekvencích překročila kvazivrcholová hodnota dovolenou mez. Toto měření vnější jednotky je pouze informativního charakteru.

Celý test lze schválit jako vyhovující pro vnitřní klimatizační jednotku.

Závěr

Tato diplomová práce se zabývá teorií a měřením elektromagnetické kompatibility na vnitřní klimatizační jednotce

Při teoretické části jsem se zaměřil na obecnou problematiku elektromagnetické kompatibility, její důsledky při provozu a legislativní záležitosti.

Praktická část diplomové práce bylo naplánování a provedení všech testů, které je potřeba pro splnění požadavků z pohledu EMC. Sestavil jsem harmonogram testů a popsal doporučení pro provedení zkoušek, podle kterých je možné postupovat. V tomto postupu jsem se snažil zohlednit uspořádání laboratoří a používané přístroje, tak aby samotné testování bylo co nejjednodušší a nejefektivnější. Každé měření je vyhodnoceno jednotlivě v samotné kapitole po daném testu.

Během testů odolnosti nebyly zaznamenány žádné problematické prvky. U testu poklesu napětí a krátkých přerušení klimatizační jednotka po dobu zkoušky nevykazovala svoji funkci, popř. bylo potřeba znovu zapnutí klimatizační jednotky. Vše však bylo v souladu s požadavky příslušné normy. Z pohledu zkoušek odolností lze jednotku považovat za vyhovující.

Další praktická část diplomové práce je zaměřena na emisní testy. Zde jsou výsledky z pohledu vnitřní klimatizační jednotky vyhovující i s faktem, že během testů nešlo oddělit obě jednotky klimatizace z důvodu nutnosti proudění chladicí kapaliny. Vnější jednotka ovlivňovala svým vyzařováním během testu měření charakteristik elektromagnetického rušení anténami.

Během testování nebyl k dispozici čelní plastový kryt jednotky. Absence tohoto krytu by, dle mého názoru, neměla ovlivnit výsledek žádné z prováděných zkoušek. Pokud by to bylo technicky a finančně možné, mohl by se tento plastový kryt pokrýt tenkou vodivou vrstvou. Tato úprava by mohla mít příznivý vliv na výsledky emisního testu vyzařovaného elektromagnetického rušení.

Z naměřených údajů bych vnitřní klimatizační jednotku EMURA schválil pro uvedení na Evropský trh z pohledu elektromagnetické kompatibility.

Použitá literatura

- [1] Prof. Ing. Jiří Svačina, CSc., *Základy elektromagnetické kompatibility, Část 1 : Základní pojmy a členění oboru EMC*.
<http://www.elektrorevue.cz/clanky/00025/index.html>
- [2] <http://homen.vsb.cz/~san50/Ceska/Normy/60050-161.htm>
- [3] *EMC z hlediska teorie a aplikace*, Dobroslav Kováč, Irena Kováčová, Ján Kaňuch, Praha 2006
- [4] *Hudec Jaroslav, Přepětí a elektromagnetická kompatibility*, Vydání 1. Hradec Králové, Hakel 1996
- [5] *Polina Vaculíková, Emil Vaculík a kolektiv, Elektromagnetická kompatibility elektrotechnických systémů*, Praha 1997
- [6] ČSN EN 61000-6-1. *Elektromagnetická kompatibility – Část 6-1: Kmenové normy – Odolnost – Prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu*. 2. vydání. Český normalizační institut Praha 2007.
- [8] ČSN EN 61000-4-2. *Elektromagnetická kompatibility – Část 4-2: Zkušební a měřicí technika – Elektrostatický výboj – Zkouška odolnosti*. Český normalizační institut Praha 2006.
- [9] ČSN EN 61000-4-3. *Elektromagnetická kompatibility – Část 4-3: Zkušební a měřicí technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – Zkouška odolnosti*. 2. vydání. Český normalizační institut Praha 2003.
- [10] EN 61000-4-4. *Elektromagnetická kompatibility – Část 4-4: Zkušební a měřicí technika – Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů – Zkouška odolnosti*. CENELEC Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice 2004.
- [11] ČSN EN 61000-4-5. *Elektromagnetická kompatibility – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Rázový impuls – Zkouška odolnosti*. Český normalizační institut Praha 1997.
- [12] EN 61000-4-6. *Elektromagnetická kompatibility – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli – Zkouška odolnosti*. CENELEC Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice 1996.
- [13] EN 61000-4-6. *Elektromagnetická kompatibility – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Magnetické pole síťového kmitočtu – Zkouška odolnosti*. CENELEC Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice 1993.

- [14] ČSN EN 61000-4-6. Elektromagnetická kompatibilita – Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušování a pomalé změny napětí – Zkouška odolnosti. Český normalizační institut Praha 1995.
- [15] ČSN EN 55011. Meze a metody měření charakteristik elektromagnetického rušení od průmyslových, vědeckých a lékařských zařízení – Emisní zkouška. Český normalizační institut Praha 1993.
- [16] ČSN EN 55022. Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení zařízením informační techniky – Emisní zkouška. Český normalizační institut Praha 1996.

Přílohy

Příloha A – Fotodokumentace

Příloha A – Fotodokumentace



Obr.A1. Klimatizační jednotka při testu magnetického pole síťového kmitočtu



Obr.A2. Vnitřní nástěnná klimatizační jednotka bez předního panelu



Obr.A3. Klimatizační jednotka na dřevěném podstavci v stíněné absorpční komoře