

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Analýza rušivých signálů elektrických zařízení a jejich
eliminace**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Roman KABELE**
Osobní číslo: **E17N0079P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Analýza rušivých signálů elektrických zařízení a jejich eliminace**
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 :

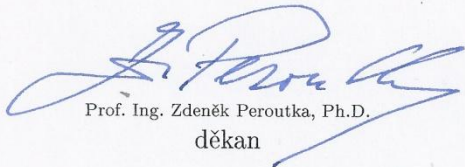
1. Specifikujte zdroje rušení a elektromagnetické vazby k rušeným objektům.
2. Vypracujte přehled měřicí techniky a metod měření vf rušení.
3. Proveďte měření elektromagnetických emisí na vybraných elektrických zařízeních.
4. Diskutujte opatření k omezení úrovně rušení.
5. Vyhodnoňte dosažené výsledky experimentů.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

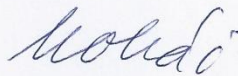
1. Manuály měřicí techniky
2. Soubor norem ČSN EN 55016 + dodatků
3. Skupina norem pro měření elektromagnetického rušení
4. Další dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiří Laurenc, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **5. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. května 2019**


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




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

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na zdroje rušení a jejich elektromagnetické vazby k rušeným objektům. Popisuje i metody měření vysokofrekvenčního rušení a měřící techniku. Součástí je i měření na některých elektrických zařízeních.

Klíčová slova

Elektromagnetické rušení, odrušovací filtr, ferit, zdroj rušení, přijímač rušení, měřič rušení, anténa, frekvence, kmitočtový rozsah, rušivý signál, rušivé emise.

Abstract

The diploma thesis is focused on sources of interference and their electromagnetic connections to disturbed objects. It also describes methods of measuring high-frequency interference and measuring techniques. It also includes measurements on some electrical devices.

Key words

Electromagnetic interference, interference suppression filter, ferrite, source of interference, interference receiver, interference meter, antenna, frequency, frequency range, interference signal, interference emissions.

Prohlášení

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

.....
podpis

V Plzni dne 28.5.2019

Roman Kabele

Poděkování

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

Děkuji také konzultantovi Ing. Miroslavu Hromádkovi, Ph.D. za jeho cenné profesionální rady a za čas, který mi věnoval.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA (EMC)	13
1.1 ELEKTROMAGNETICKÉ RUŠENÍ (EMI).....	13
1.2 ZDROJE RUŠENÍ.....	14
1.2.1 Průmyslové zdroje rušení.....	14
1.2.2 Zdroje přepětí.....	16
1.2.3 Zdroje způsobující kontinuální rušení.....	18
1.2.4 Nukleární elektromagnetický impuls (NEMP).....	19
1.2.5 Zdroje rušení mimozemského původu.....	20
2 ELEKTROMAGNETICKÉ VAZBY K RUŠENÝM OBJEKTŮM	21
2.1 GALVANICKÁ VAZBA.....	22
2.2 INDUKČNÍ VAZBA.....	26
2.3 KAPACITNÍ VAZBA.....	27
2.4 VAZBA VYZAŘOVÁNÍM.....	30
3 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ A ODOLNOSTI PROTI RUŠENÍ	32
3.1 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE.....	33
3.1.1 RFI meter.....	33
3.1.2 Spektrální analyzátor.....	35
3.2 PŘÍSLUŠENSTVÍ K MĚŘÍCÍM PŘÍSTROJŮM.....	37
3.2.1 Umělá síť.....	37
3.2.2 Napěťová sonda.....	39
3.2.3 Proudová sonda.....	41
3.2.4 Absorpční kleště.....	42
3.2.5 Antény.....	44
4 MĚŘENÍ V ČÁSTEČNĚ BEZODRAZOVÉ KOMOŘE	49
4.1 ČÁSTEČNĚ BEZODRAZOVÁ KOMORA.....	49
4.2 MĚŘENÍ VYZAŘOVANÝCH EMISÍ.....	49
4.2.1 Zkušební stanoviště.....	49
4.2.2 Postup měření.....	51
4.2.3 Získané výsledky.....	53
4.3 MĚŘENÍ KONDUKTIVNÍCH EMISÍ.....	58
4.3.1 Zkušební stanoviště.....	58
4.3.2 Postup měření.....	59
4.3.3 Získané výsledky.....	60
5 ZÁVĚR	65
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	67
PŘÍLOHY	69

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na zdroje rušení a jejich elektromagnetické vazby k rušeným objektům, měřicí techniku a metody používané k měření.

Elektromagnetickou kompatibilitu lze vnímat ze dvou úhlů pohledu. První je odolnost zařízení proti rušení ať už vycházejícího z jiného zařízení, tedy umělého původu, nebo přírodního původu, což jsou většinou přepětí. Tato práce se ovšem zabývá druhou částí elektromagnetické kompatibility, což jsou elektromagnetické emise, tedy rušení, které dané zařízení produkuje.

Práce je složena ze dvou částí. První část je teoretická a druhá část praktická. Teoretická část obsahuje nezbytné znalosti nutné k provedení měření, tedy části praktické. Teoretická část popisuje zdroje rušení a následné vazby mezi zdrojem a přijímačem rušení, které zapříčiňují přenos rušivého signálu. Dále jsou také popsány komponenty potřebné k měření rušení.

Teoretická část je dále rozdělena na tři kapitoly. V první kapitole jsou popsány zdroje rušení, které jsou rozděleny do skupin podle jejich účinků a původu. Druhá kapitola se zabývá způsobem šíření rušivých signálů, tedy vazbami mezi zdroji rušení a zařízeními, jež rušení negativně ovlivňuje. Ve třetí kapitole jsou uvedeny dva nejčastěji používané měřicí přístroje pro měření rušivých signálů. V této kapitole je dále popsáno i příslušenství těchto měřicích přijímačů, které je nutné k měření emisí, jelikož měřicí přístroj sám o sobě není schopný rušivý signál přijímat.

Druhou částí, jak již bylo napsáno výše je část praktická. V praktické části se tato práce zabývá měřením rušivých emisí v částečně bezodrazové komoře, která je v této části mimo jiné také popsána. Rušivé emise byly měřeny na zkoušeném zařízení, které v tomto případě představoval vysavač Kärcher NT 361. Emise byly omezovány několika typy odrušovacích prvků. Uvedeny jsou zde rušivé emise vyzařované ze zařízení, ale i emise šířící se po napájecím vedení do sítě. Pro oba případy je popsáno uspořádání zkušebního stanoviště a postup, jakým se měřilo. Součástí praktické části je i prezentování získaných výsledků a jejich následný rozbor.

Na konci práce jsou v přílohách uvedeny průběhy a tabulky, které nebyly použity v textu této práce. Přílohy obsahují i obrázky pořízené při měření, které rovněž nebyly použity v textu.

Seznam symbolů a zkratek

Z_s	Společná impedance sítě
u_r	Rušivá složka napětí zdroje rušení
u_p	Rušivé napětí přiváděné na přijímač rušení
Z_0	Společná impedance zpětného vodiče
Z_r	Impedance zdroje rušení
Z_p	Impedance přijímače rušení
M	Vzájemná indukčnost
U_{rmax}	Maximální hodnota rušivého napětí
E_x	Intenzita elektrického pole ve vzdálenosti x od zdroje
l_{ef}	Efektivní délka antény
λ	Vlnová délka signálu
E_r	Rušivá intenzita elektrického pole
H_r	Rušivá intenzita magnetického pole
CL	Útlum na kabelu
AF	Anténní faktor
PAG	Zisk předzesilovače
$dB_{\mu V}$	Jednotka rušivého napětí (decibel mikrovolt)
$dBpW$	Jednotka rušivého výkonu (decibel pikowatt)
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetické rušení
EMS	Elektromagnetická odolnost
ESD	Elektrostatický výboj
SEMP	Elektromagnetický impuls
LEMP	Lightning electromagnetic pulse (Bleskový elektromagnetický impuls)
NEMP	Nuclear electromagnetic pulse (nukleární elektromagnetický impuls)
CB radio	Citizen Band radio (Občanské rádiové pásmo)
HDO	Hromadné dálkové ovládání
QP	Kvazivrcholová hodnota, detektor
P	Špičková hodnota, detektor
AV	Střední hodnota, detektor

RMS	Efektivní hodnota, detektor
RFI	Radio frequency interference (vysokofrekvenční interference)
AVC	Automatické vyrovňování citlivosti
AMN	Artificial mains network (umělá síť)
LISN.....	Line impedance stabilizing network (umělá síť)
EUT.....	Equipment under test (zkoušené zařízení)
VF	Vysokofrekvenční
VN.....	Vysoké napětí
VVN.....	Velmi vysoké napětí
NN.....	Nízké napětí
FET	Field Effect Transistor (tranzistor řízený polem)
ZO	Zkoušený objekt
PS	Proudová sonda
MR	Měřič rušení
SAC.....	Semi Anechoic Chamber (částečně bezodrazová komora)
ISM	Industrial, Scientific, Medical (Průmysl, Věda, Lékařství)
NiZn	Nikl-zinkový
MnZn.....	Mangan-zinkový

1 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)

V dnešní době roste množství používaných elektrických či elektronických zařízení. Přitom každé z těchto zařízení působí nejen jako objekt, který rušení ovlivňuje, ale především jako zdroj rušení. Každé nově vyrobené zařízení se musí tedy otestovat na odolnost proti rušení, z toho důvodu, že nelze rušivé signály zcela eliminovat. Ale především je nutné změřit, zda rušivý signál, který zařízení produkuje, je v mezích daných normou pro příslušnou kategorii, do které to dané zařízení patří. Rušení vycházející z měřeného zařízení se označují jako elektromagnetické emise a právě těmi se tato práce zabývá.

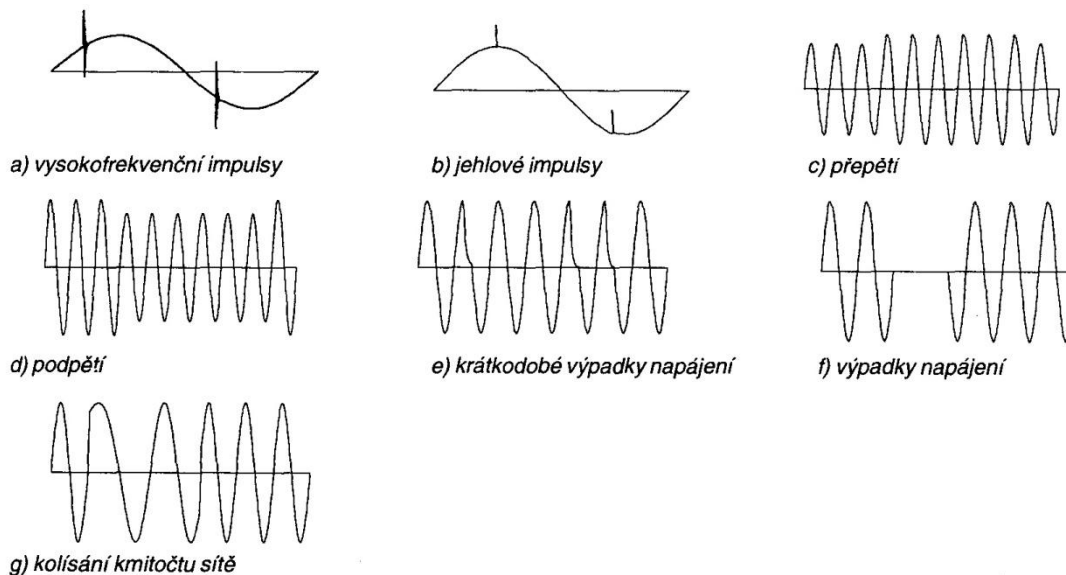
1.1 Elektromagnetické rušení (EMI)

Elektromagnetické rušení je jev, který negativně ovlivňuje normální chod elektronického nebo elektrického zařízení. Toto rušení je způsobeno vyzářenou elektromagnetickou energií v kmitočtovém pásmu od 0 až do desítek GHz. Rušit dané zařízení může i vysokofrekvenční nebo rádiové rušení, které zařízení ovlivňuje vysokofrekvenční energií. Kmitočtové pásmo této energie začíná od 10 kHz .

Elektromagnetické rušení můžeme dělit na dvě základní skupiny, na rušení technické a na rušení přirozené. Rušení způsobené technickými zdroji se dá dále dělit na tři skupiny podle jeho povahy. První skupinou je šum, který je většinou vyvolaný motory a klasickými svářečkami. Šum má především vliv na tvar křivky napětí. Druhou skupinou jsou impulsy. Ty se projevují jako kladné či záporné špičky v napětí sítě. Tyto špičky ve většině případů vznikají spínacími pochody všech kontaktních spínacích přístrojů. Poslední skupinou jsou přechodné jevy, ty mohou trvat až několik sekund. Projevují se deformací obálky napěťové křivky a jsou vyvolané změnou zatížení sítě, na kterou má vliv zapínání nebo i vypínání spotřebičů o velkých výkonech.

Na elektrizační soustavu působí především nízkofrekvenční rušení, které se nazývá energetické rušení. Toto rušení se projevuje zkreslením napájecího napětí a odebíraného proudu. Pásmo kmitočtů, ve kterém se vyskytuje, je v rozmezí od 0 do 2000 Hz. Nízkofrekvenční rušení je také rušení akustické. Je to elektromagnetické rušení, které má kmitočtové pásmo nižší než 1 kHz. Akustické rušení působí problémy zejména

v přenosových informačních médiích, jako jsou telefony, rozhlas, měřicí a řídicí zařízení. Vedle nízkofrekvenčního rušení nás zajímá i rádiové rušení, které působí v pásmu od 9 kHz do 400 GHz [1].



Obr. 1.1 Průběhy rušivého napětí [1]

1.2 Zdroje rušení

1.2.1 Průmyslové zdroje rušení

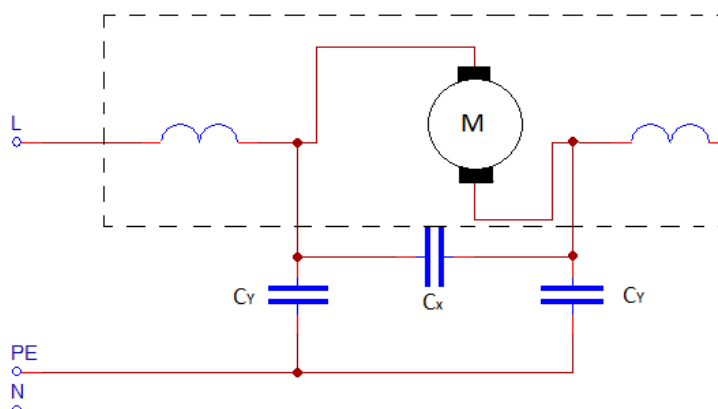
Jako první do průmyslových zdrojů rušení můžeme zařadit zdroje produkující vyšší harmonické základního kmitočtu sítě 50 Hz. Jsou to většinou už silnoproudé generátory, které tyto harmonické produkují již při výrobě elektrické energie. Vyšší harmonické vzniklé na generátorech mohou dále vyvolat další harmonické na nelineárních impedancích sítě, ty tvoří většinou transformátory, jelikož mají nelineární magnetickou charakteristiku. V dnešní době jsou za největší zdroje tohoto rušení považovány řízené polovodičové měniče o velkých výkonech, ty jsou schopné vyprodukovat vyšší harmonické až do 30 MHz [1] [2].

V přenosových sítích VVN a VN jsou zdroji rušení také kontaktní spínací mechanismy, které při spínání nebo rozpínání způsobují v síti přechodové děje. Ty se projevují jako vysokofrekvenční oscilace (SEMP), které mohou mít kmitočet až několik MHz a amplitudu až několik tisíc voltů. Vzhledem k těmto vysokým kmitočtům se toto rušení může relativně snadno dostat přes parazitní kapacitní vazby až do sítí NN [2].

V sítích NN vzniká rušení při spínání stykačů, jističů a také relé. Při tomto přechodovém jevu vznikají rušivé impulsy, které mají velkou strmou, krátkou náběžnou hranu a amplitudu několik kV. Rušivé napětí vzniká vlivem indukčnosti vedení, jelikož při přerušení proudu vznikne mezi kontakty spínače obloukový výboj a napětí na jednotlivých kontaktech klesne rázem k nule. Tím se přeruší výboj a napětí začne opět narůstat na jmenovitou hodnotu. V případě relé nebo stykače může k tomuto jevu docházet opakovaně a může tak vzniknout v podstatě pilovitý rušivý průběh napětí [1] [2].

S dalším typem rušení se můžeme setkat u tyristorově řízených výkonových zařízení, jako jsou tramvaje, lokomotivy ale také výtahy a těžní klece s motory o velkých výkonech, u nichž je regulace otáček řešena tyristorově. Jestliže nejsou tyto regulátory nebo tyristorové spínače připojené k napájecí síti přes filtraci, která rušivá napětí vznikající opakovaně spínanými velkými proudy odruší, mohou deformovat napětí sítě a dokonce i způsobit výpadky celé sítě [2].

Častými zdroji rušení jsou v praxi kolektorové elektrické motory. Ty mohou být stejnosměrné nebo sériové motory na střídavý proud. Zatímco u stejnosměrných motorů lze jiskření, způsobující elektrostatické výboje (ESD), minimalizovat pomocnými póly, u motorů sériových to však nejde. Jiskřením mezi kartáči těchto motorů vzniká vysokofrekvenční napětí, to se většinou odrušuje tak, že se zapojí kondenzátor mezi kartáče a tím se toto napětí zkratuje. Je nutné však ještě zapojit další dva kondenzátory mezi jednotlivé kartáče a vodič PE. Statorové vinutí se většinou dělí na dvě části, aby svou indukčností bránilo zavlečení rušivých signálů do napájecí sítě [2].



Obr. 1.2 Odrušení kolektorového motoru [vlastní zpracování dle [2]]

I venkovní vedení VN a VVN mohou mít velmi silné rušivé účinky, jejichž frekvenční spektrum je od několika kHz až do 1000 MHz. Díky takto širokému spektru rušivých účinků mohou ovlivňovat téměř veškeré radiokomunikační služby. Toto rušení způsobují buď výboje vytvořené korónou, nebo kapacitní výboje. Korónové výboje se projevují jen na vedeních VVN a to nejvíce na nerovnostech vodičů, nebo armaturách. Jejich výskyt i velikost výbojů jsou větší za vlhkého počasí. Odrušení korónového výboje se díky jeho relativně malé intenzitě a kmitočtovému spektru do 10 MHz provádí tak, že vedení VVN nevedou přes obytné části. Jeho rušivé účinky jsou tedy z větší části omezeny. Kapacitní výboje se na rozdíl od korónových vyskytují nejvíce na vedeních 22 kV a jejich rušivé účinky jsou větší než za vlhkého, ale naopak za suchého počasí. K těmto výbojům dochází nejčastěji mezi vedením a kloubovým spojem mezi izolátory. Na kloubových spojkách se časem může vytvořit izolační vrstva díky korozi a dielektricky se oddělí od kovu. Následkem toho mohou vznikat kapacitní výboje o kmitočtovém spektru až 1000 MHz. Odstranit tyto výboje není jednoduché a dají se odstranit prakticky jen použitím izolátorů bez kloubových spojů [1] [2].

1.2.2 Zdroje přepětí

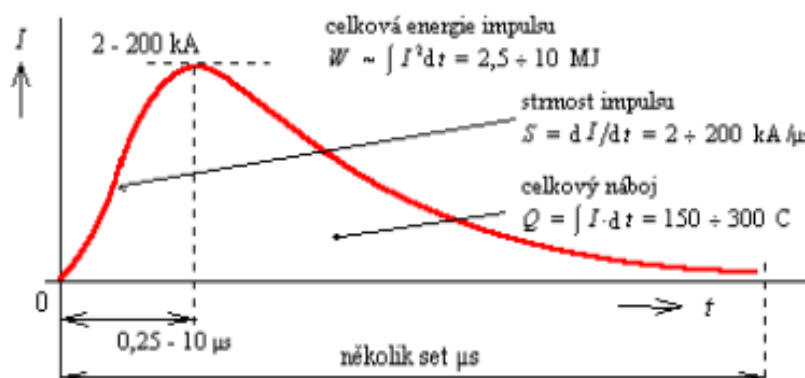
a) Přírodní zdroje přepětí

V přírodě vznikající zdroj přepětí je hlavně atmosférický impuls, který je viditelný ve formě blesku. Nejčastěji dochází ke vzniku blesku mezi mrakem a zemí. Kdy mrak představuje zápornou elektrodu a zem kladnou a atmosférický impuls mezi nimi vznikne tehdy, když je dosažena mezní intenzita elektrického pole. Výsledkem je strmý elektromagnetický impuls (LEMP). Blesk může působit na elektrická zařízení rušivě, někdy i destruktivně a to nejen na zařízení zasažená, ale i vzdálená až cca 4 km. Blesk může vyprodukovat rušení až o 140 dB μ V, které je v pásmu 2-30 kHz, následně toto rušení klesá se strmostí 20 dB/dek. až do 100 MHz [3] [4].

Přímý úder do budovy může v síťovém rozvodu budovy vytvořit silné magnetické pole a také do rozvodu může naindukovat sekundární napěťové rázy. To je následkem rázového impulsu proudu, který nemusí protékat pouze bleskosvodem, ale může proniknout přes kovové konstrukce budovy do elektrických rozvodů uvnitř budovy.

Proti nepřímým účinkům blesku se chráníme nejčastěji přepěťovou ochranou, která se

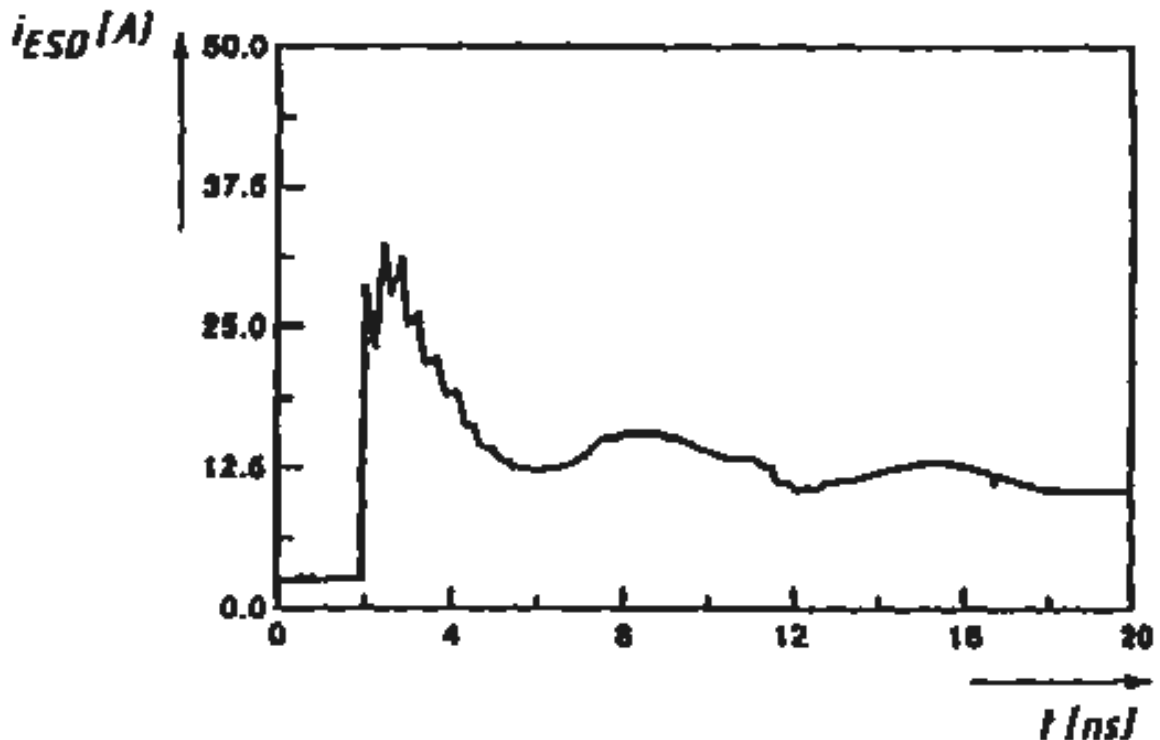
instaluje na vstupu do budovy. Ta omezuje napěťový rázový impuls, který se k ní dostává z vedení nízkého nebo vysokého napětí [2] [3].



Obr. 1.3 Proudový impuls při úderu blesku [2]

b) Zdroje uměle vytvořené

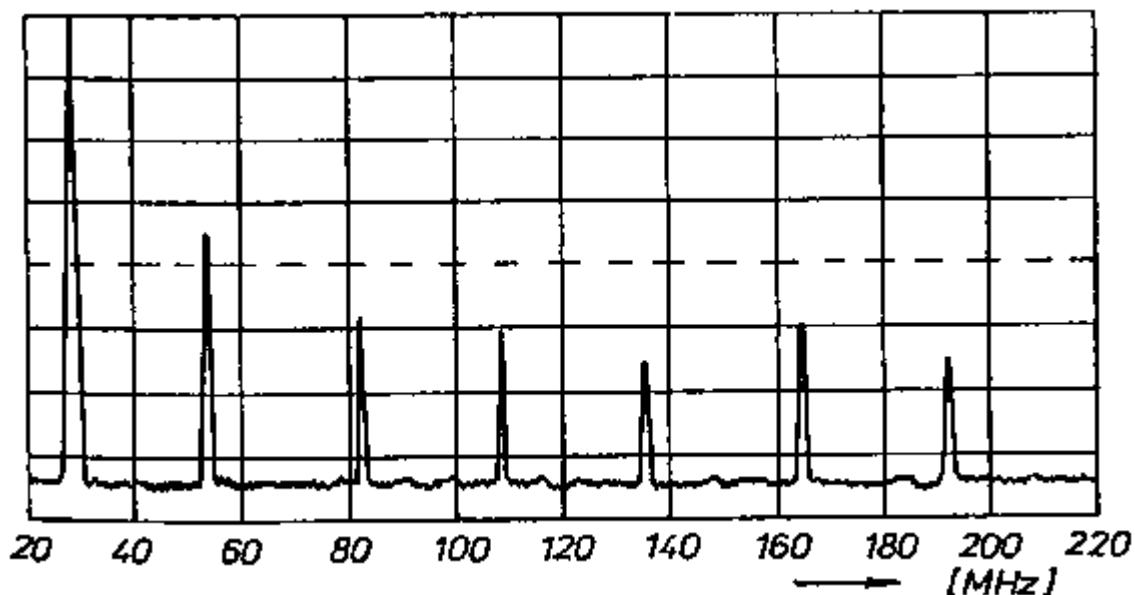
Všechna spínací zařízení jsou potenciálním zdrojem přepětí, jak už bylo popsáno výše. Ke zdrojům přepětí uměle vytvořeným, patří ale také lokální elektrostatické výboje (ESD). Kromě již popsaného jiskření u elektrických motorů s kartáči a všeobecně k výbojům vznikajícím při tření mechanických částí, patří do této kapitoly elektrostatický výboj vznikající mezi osobou a rušeným objektem. Tento druh rušení je v dnešní době velice významný, zejména u integrovaných obvodů a různých elektronických součástek, a to hlavně kvůli jejich velkým odporům a tudíž velice malým proudům. K těmto elektrostatickým výbojům dochází především v prostředí s malou vlhkostí vzduchu a tam, kde jsou podlahové krytiny ze syntetických materiálů, tedy v obytných prostorech. V takovýchto prostorech se pak náboj vytvoří pouhým třením bot nebo šatů, zejména jsou-li také ze syntetických materiálů, o izolační povrch. Když pak dojde k dotyku mezi člověkem a povrchem daného elektronického zařízení, náboj naakumulovaný v kapacitě těla se pak vybije, kdy výboj který vznikne mezi člověkem a zařízením může mít napětí o velikosti až 15 kV . Energie výboje je velice malá ($10 \div 20 \text{ mJ}$), to je způsobeno malou kapacitou těla, která je $100 \div 200 \text{ pF}$. Ovšem díky velkému vybíjecímu proudu, který velmi rychle odeznívá (desítky ns) viz Obr. 1.4, může výboj ovlivňovat funkci a i životnost zařízení. K tomu může docházet buď přímo, nebo s časovým zpožděním [2].



Obr. 1.4 Proudový impuls při vybití elektrostatického náboje [2]

1.2.3 Zdroje způsobující kontinuální rušení

Kontinuální rušení je rušení, které trvá buď nepřetržitě, nebo s krátkým přerušením nebo jen delší dobu. Typickými zdroji kontinuálního rušení jsou rozhlasové a televizní vysílače nebo také radarové vysílače. Přes to, že signály těchto vysílačů mají impulsní tvar, dají se zařadit do skupiny kontinuálního rušení, jelikož jejich spektrum můžeme rozložit na jednotlivé harmonické. Jako příklad lze uvést CB radio, jehož základní funkční složka je 27 MHz, ale díky přidání výstupního výkonového zesilovače k anténě stanice může spektrum signálu obsahovat i řadu vyšších nežádoucích harmonických. Tyto vyšší harmonické pak mohou negativně ovlivňovat funkci jiných citlivých elektronických zařízení. Například druhá harmonická ze spektra signálu na Obr. 1.5 je v pásmu prvního TV kanálu, třetí pak spadá do pásma mobilních služeb [2] [3].



Obr. 1.5 Spektrum výstupního signálu občanské radiostanice se zesilovačem výkonu [2]

Kontinuální rušení způsobují i nelineární spotřebiče, které vnášejí do napájecích rozvodů vyšší harmonické složky proudu. Řád vyšší harmonické je charakterizován jako poměr kmitočtu harmonické ku kmitočtu základní harmonické. Tyto vyšší harmonické pak deformují napětí sítě a zapříčiňují větší ztráty při přenosu elektrické energie, ale také mohou ovlivňovat důležitá zařízení, jako jsou elektrické ochrany, systém HDO, nebo způsobit chybné měření energie. Nejznámějšími nelineárními spotřebiči jsou televizory, monitory, počítače, výbojky, usměrňovače a frekvenční měniče [3] [5].

1.2.4 Nukleární elektromagnetický impuls (NEMP)

Elektromagnetický impuls vznikající při jaderném výbuchu, který má velmi silné nebo až destrukční účinky na všechny elektrotechnické systémy a zařízení v okolí, nazýváme nukleární elektromagnetický impuls. Tento elektromagnetický impuls se svým tvarem podobá atmosférickému impulsu (LEMP), porovnání základních parametrů impulsů LEMP a NEMP je uvedeno níže v Tab. 1.1. Vzdálenost do jaké je nukleární elektromagnetický impuls schopen ovlivňovat a ničit elektrotechnické systémy je závislá na typu jaderné nálože a také výšce nad zemí, v níž dojde k jaderné explozi [2] [3].

	E_{\max} [kV/m]	H_{\max} [A/m]	Náběžná hrana [ns]	Kmitočtové spektrum	Dosah účinku
LEMP	10÷100	100÷1000	100÷10000	1 kHz÷5 MHz	jednotky km
NEMP	30÷100	100÷1000	5÷8	0,1 MHz÷100 MHz	stovky÷tisíce km

Tab. 1.1 Porovnání parametrů LEMP a NEMP[vlastní zpracování dle [2]]

1.2.5 Zdroje rušení mimozemského původu

Elektromagnetické rušení pocházející z vesmíru je způsobeno tzv. geomagnetickými bouřemi. Jejich vznik působí především Slunce, jelikož vysílá k Zemi sluneční vítr nukleárních částic. Ten vzniká díky erupcím ve fotosféře, protuberancím ve chromosféře a také korónovým výbojům. Nukleární částice se srážejí v zemské atmosféře s ionty a molekulami a výsledkem jsou právě geomagnetické bouře.

Toto rušení však v porovnání s ostatními druhy rušení nezpůsobuje žádné větší problémy. Jen v případě že se k přenosům používají velmi nízké úrovně signálů (mV), může se toto rušení projevit. U takto slabých signálů o velmi vysokých kmitočtech se může projevit i kosmické záření, ovšem pouze ve formě rušivého pozadí [3].

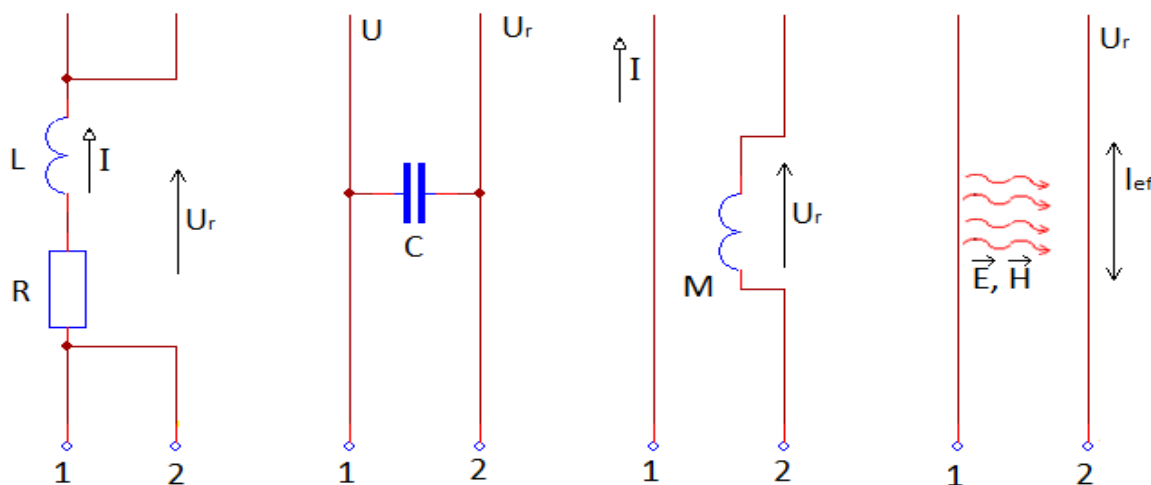
2 Elektromagnetické vazby k rušeným objektům

Vazby mezi zdroji rušení a rušenými objekty je důležité znát zejména proto, abychom věděli jak rušení omezit nebo eliminovat a splnit tak normy definující mezní úroveň rušivého signálu.

Šíření rušivé energie, můžeme rozdělit na dvě základní skupiny. První skupinu tvoří vedení (vodiče), přes které se rušivá energie přenáší jako rušivá napětí. Ty vznikají na impedancích sítě nebo zátěže v důsledku procházejícího rušivého proudu. Tento druh přenosu většinou převládá v průmyslových aplikacích, kde jsou jednotlivá zařízení připojena a propojena krátkými vodiči a zpravidla i uzavřena do kovových zemněných skříní. To vše snižuje jejich intenzitu rušivého elektromagnetického pole. Při přenosu rušivé energie po vedení se uplatňují tři vazby se zařízením, které rušení přijímá. Jsou to:

- galvanická vazba (*Obr. 2.1. a*),
- indukční vazba (*Obr. 2.1. c*),
- kapacitní vazba (*Obr. 2.1. b*)

Druhou skupinou je přenos rušivé energie formou elektromagnetického pole vyzařováním, které je znázorněno na *Obr. 2.1. d*. Tento druh přenosu většinou převládá u přírodních zdrojů rušení [1] [6].

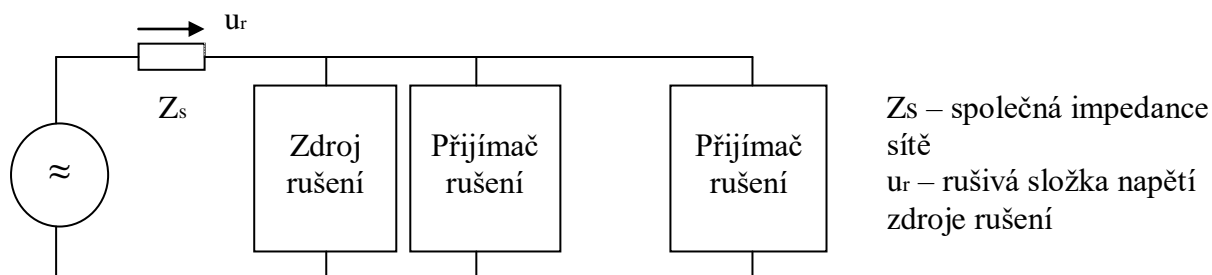


Obr. 2.1 Druhy elektromagnetických vazeb [vlastní zpracování dle [2]]

2.1 Galvanická vazba

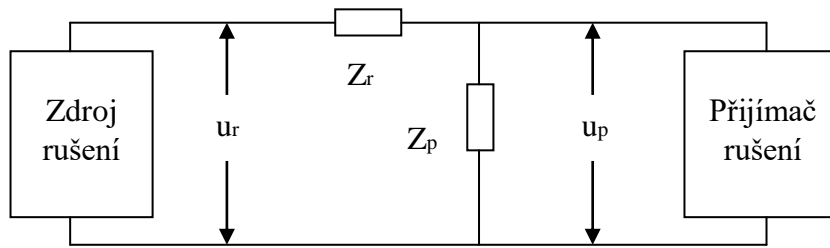
S galvanickou vazbou se setkáme všude tam, kde se mezi zdrojem rušení a zařízením, které rušení přijímá, nachází společná impedance. Ta je většinou tvořena sériovou kombinací odporu a indukčnosti (RL obvod). Úbytek napětí, který se vytvoří na společné impedanci průchodem proudem jednoho připojeného zařízení (zdroj rušení), může pro ostatní připojené zařízení působit jako rušivé napětí. Odporová složka společné impedance je převládající při nízkých kmitočtech. Naopak indukčnost se projevuje zejména při vyšších kmitočtech. To z důvodu, že i malý proud ze zdroje rušení, který přes společnou impedanci prochází, může na indukčnosti při rychlé časové změně vyvolat napětí, které je pro ostatní zařízení rušivé.

Galvanické vazby můžeme rozdělit na více druhů. Prvním druhem je galvanická vazba společnou impedancí napájecí sítě. Tuto vazbu nalezneme tam, kde v nějaké délce společného vedení procházejí napájecí proudy jak zdroje rušení, tak i rušeného zařízení. Na daném úseku pak vlivem procházejícího proudu ze zdroje rušení vzniká úbytek napětí, který negativně působí na přijímač rušení, viz *Obr. 2.2*. Úbytek však nemusí vždy vznikat jen na společném vedení, ale také na společném distribučním, oddělovacím nebo napájecím transformátoru, atd. [1] [2].



Obr. 2.2 Galvanická vazba společnou impedancí napájecí sítě [vlastní zpracování dle [1]]

Dalším druhem galvanické vazby je vazba společnou impedancí mezi zdrojem rušení a zařízením přijímající rušení. Tento druh galvanické vazby se projevuje například v obvodech, kde se rušení dostává k řídicím obvodům měničů vedených sítí, z napájecí sítě. Nebo také u snímačů neelektrických veličin a převodníků. Všeobecně se dá říci, že ji nalezneme v obvodech, kde dochází ke zpracování signálu [1].

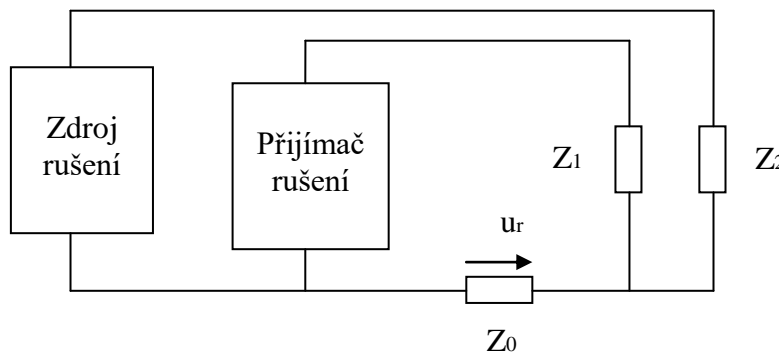


$$u_p = u_r \frac{Z_p}{Z_r + Z_p}, \text{ kde je}$$

u_p – rušivé napětí, které se přivádí na přijímač rušení
 u_r – rušivá složka napětí zdroje rušení

Obr. 2.3 Galvanická vazba společnou impedancí mezi zdrojem a přijímačem rušení [vlastní zpracování dle [1]]

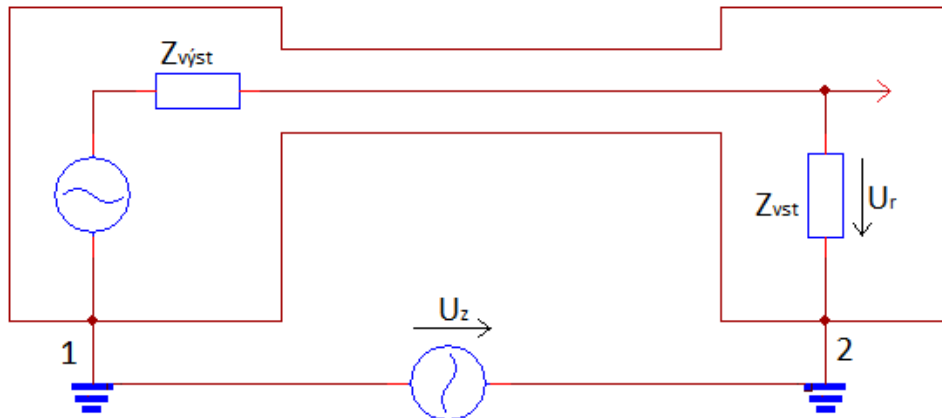
Třetím druhem je galvanická vazba společnou impedancí zpětného vodiče. Tato vazba je téměř stejná jako vazba společnou impedancí napájecí sítě, ale s tím rozdílem, že společná impedance není na fázovém vodiči nýbrž na zpětném vodiči. Vazbu společnou impedancí na zpětném vodiči nalezneme u bloků technického zařízení v chybném oddělení digitálních a logických obvodů, ale také zpětného vodiče usměrňovačů, fungujících jako zdroje rušení. U měřicí techniky a zpracování dat tam, kde jsou nedůsledně odděleny proudové smyčky analogových a digitálních obvodů (přijímač rušení) od proudových smyček vyhlazovacích filtrů usměrňovačů a stabilizátorů (zdroje rušení). Jelikož je zpětný vodič brán jako vodič vztažný, musíme tím více dbát na správnost oddělení proudových smyček, čím jsou zařízení na rušení citlivější [1].



Z_1, Z_2 – zátěž
 $u_r \approx Z_0 \cdot i_1$
 Z_0 – společná impedance zpětného vodiče

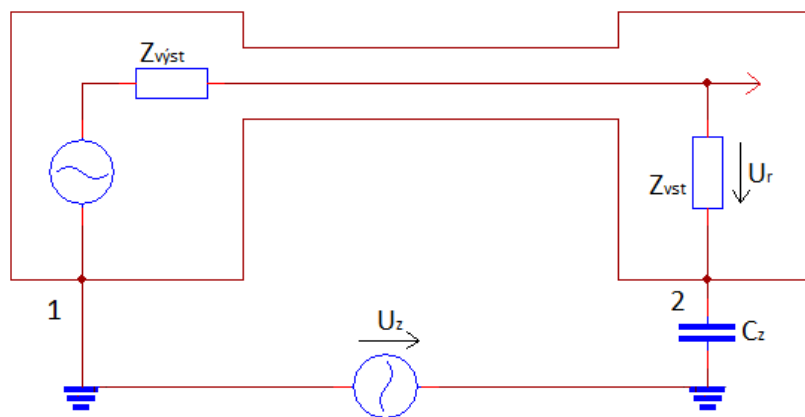
Obr. 2.4 Galvanická vazba společnou impedancí zpětného vodiče [vlastní zpracování dle [1]]

Posledním a velmi častým druhem galvanické vazby je vazba společnou impedancí zemní smyčky. Rušivé napětí (U_z) u této vazby vzniká mezi dvěma zemními body dvou samostatně uzemněných zařízení. Rušivé napětí takto vzniklé se nazývá rušivé zemní napětí, toto napětí pak vlivem uzavřené zemní smyčky způsobuje na vstupu druhého zařízení rušivé napětí (U_r).



Obr. 2.5 Galvanická vazba uzavřenou zemní smyčkou [vlastní zpracování dle [2]]

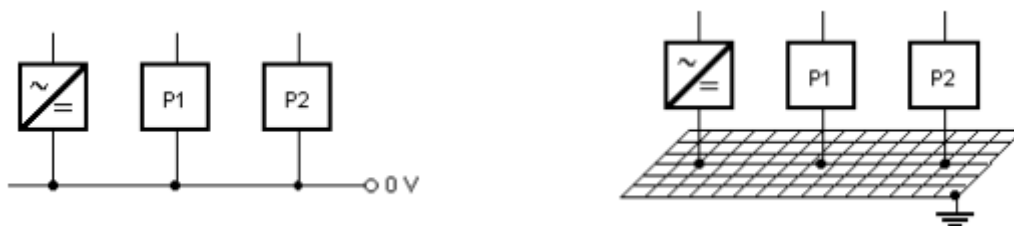
Nejčastější způsob jak se takto vzniklé rušivé napětí potlačuje, je, že se zvětší celková impedance zemní smyčky. To lze udělat tím, že se uzemnění provede v jednom bodě. Z uzavřené zemní smyčky se tak stane rozpojená, díky malé zemní kapacitě přijímače vůči zemi (Obr. 2.6). Tento způsob útlumu rušivého napětí však funguje pouze na nízkých kmitočtech, na vyšších kmitočtech se útlum zmenšuje až na hodnotu uzavřené smyčky [2].



Obr. 2.6 Rozpojení zemní smyčky [vlastní zpracování dle [2]]

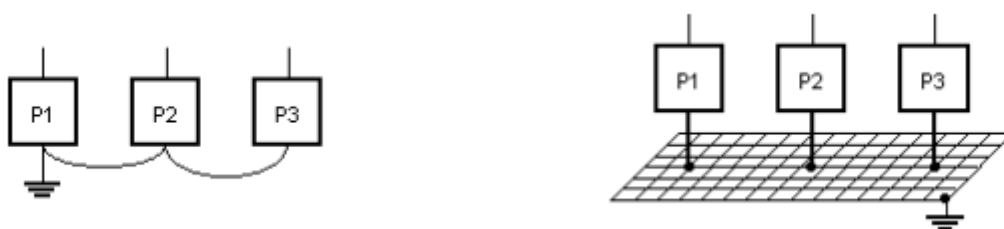
Potlačení galvanických vazeb společnou impedancí se realizuje dodržáním těchto pravidel [2] [3]:

a) Zemnicí společný vodič musí být dostatečně dimenzován



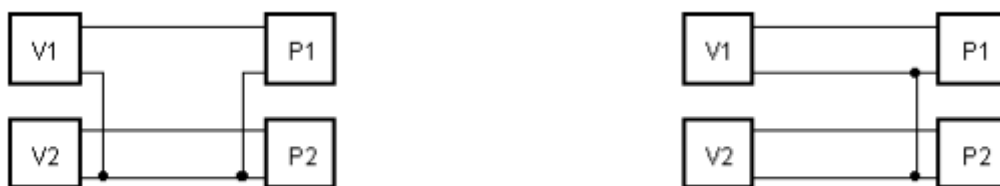
Obr. 2.7 Dostatečné dimenzování zemnicího vodiče (vlevo-špatně, vpravo-správně) [2]

b) Připojit zařízení k zemnicímu vodiči přímou cestou



Obr. 2.8 Připojení zařízení k zemnicímu vodiči (vlevo-špatně, vpravo-správně) [2]

c) V případě signálových vodičů se společný vodič neslučuje



Obr. 2.9 Propojení signálových vodičů (vlevo-špatně, vpravo-správně) [2]

d) Nepoužívat společné napájecí vodiče k jednotlivým zařízením



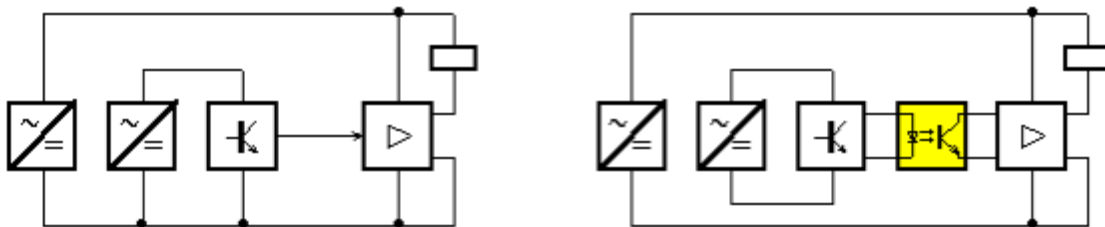
Obr. 2.10 Připojení zařízení k napájecímu zdroji (vlevo-špatně, vpravo-správně) [2]

e) Pro různá elektronická zařízení použít samostatné napájecí zdroje



Obr. 2.11 Napájení různých elektronických zařízení (vlevo-špatně, vpravo-správně) [2]

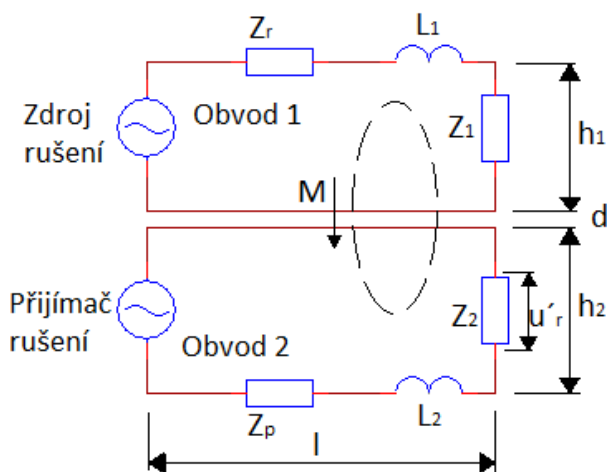
f) Kde to lze, vzájemně galvanicky oddělit signálové a výkonové obvody jednoho daného zařízení



Obr. 2.12 Vzájemné oddělení signálových a výkonových obvodů (vlevo-špatně, vpravo-správně) [2]

2.2 Indukční vazba

Indukční vazba se vyznačuje v podstatě stejným principem jako transformátor. Tedy protéká-li jedním z obvodů časově proměnný proud, vznikne kolem něho časově proměnné magnetické pole. Do druhého obvodu, je-li v tomto magnetickém poli, se začne indukovat napětí.



L_1, L_2 - indukčnost vedení
 M - vzájemná indukčnost
 Z_r, Z_p - impedance zdroje a přijímače rušení
 Z_1, Z_2 - impedance zátěže obvodů 1 a 2
 d - vzdálenost mezi obvody
 h_1, h_2 - výška smyčky obvodů
 l - délka obvodu
 u_r – rušivé napětí na zátěži obvodu 2 indukované obvodem 1

Obr. 2.13 Indukční vazba [vlastní zpracování dle [1]]

Jak je vidět na *Obr. 2.13*, indukční vazba nejvíce závisí na vzájemné indukčnosti, vzdálenosti jednotlivých obvodů, délce, po které jsou tyto obvody v souběhu, na permeabilitě prostředí mezi obvody a také na frekvenci rušivého proudu. Tato vazba se projevuje nejčastěji při elektrostatických výbojích, jelikož dochází k velice rychlým změnám rušivého proudu. K velkým indukčním vazbám dochází, jestliže silové kabely jsou vedeny souběžně s vodiči datovými, signálovými nebo s vodiči řídicích systémů, jak je tomu ve většině budov. Je tedy nutné silové kabely od slaboproudých oddělit do samostatných sekcí, které jsou od sebe elektromagneticky odstíněny.

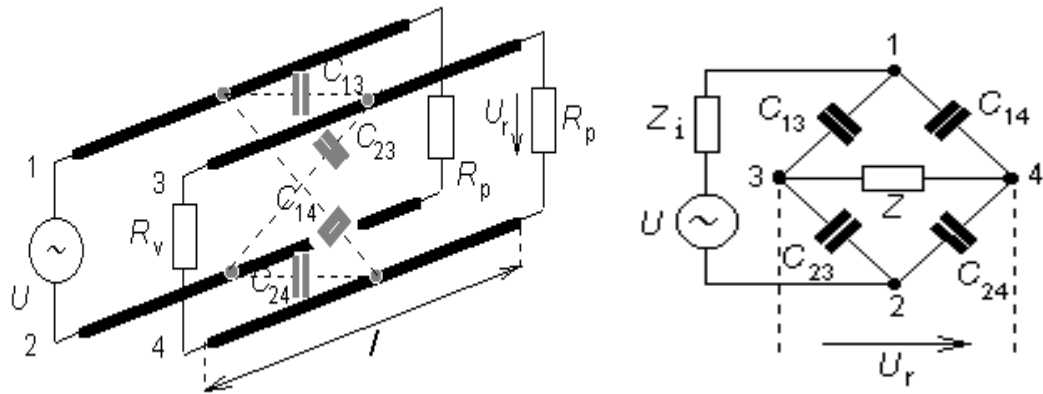
Další možností omezení indukční vazby je, aby souběh vodičů jednotlivých obvodů byl co nejkratší. Dále aby obvody od sebe byly pokud možno co nejvíce vzdáleny, a také co možná nejmenší proudová smyčka obvodu přijímače rušení [1] [2].

2.3 Kapacitní vazba

Kapacitní vazba se nejvíce projevuje u vysokoimpedančních obvodů. Tedy na rozdíl od indukční vazby, která se vyskytuje nejčastěji u nízkoimpedančních obvodů, se projevuje více se zvyšujícím se kmitočtem. Její vznik je zapříčiněn přítomností parazitních kapacit buď mezi vodiči jednotlivých obvodů, nebo mezi vodiči a zemí. Stejně jako indukční vazba se kapacitní vazba projevuje zejména u souběžně vedených vodičů, nejčastěji jsou-li souběžně vedeny energetická a signálová či datová vedení. Základní tři druhy kapacitních vazeb jsou kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů, kapacitní vazba mezi obvody, které mají společný vodič a kapacitní vazba vůči zemi [1] [2].

a) Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů

Tuto vazbu si můžeme vysvětlit na následujících obrázcích, kde na *Obr. 2.14* vlevo jsou naznačeny vazby mezi jednotlivými obvody. Rušící obvod je zde tvořen z vodičů 1 a 2 a rušený obvod z vodičů 3 a 4. Na *Obr. 2.14* vpravo je tento obvod nahrazen náhradním obvodem, který lze takto sestavit jen v případě, že vlnová délka rušícího signálu s nejvyšším kmitočtem je kratší než délka obou vodičů. Toto náhradní schéma je v podobě kapacitního můstku, ze kterého můžeme vycházet při řešení omezení rušení. Můžeme např. říci, že jestliže se budou téměř rovnat kapacity C_{13} , C_{23} a C_{14} , C_{24} bude můstek vyvážený a rušivé napětí bude nejmenší. Lehce toho lze dosáhnout zkroucením obou vodičů v páru [2] [3].

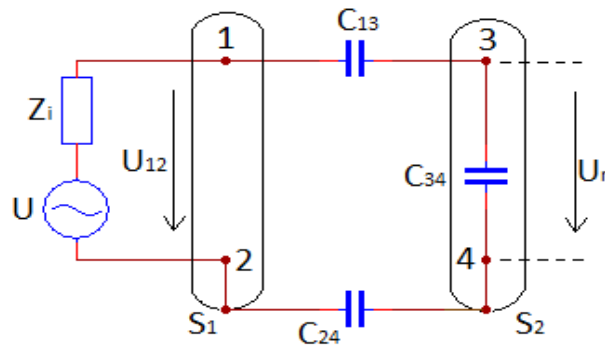


Obr. 2.14 Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů (vlevo), náhradní schéma (vpravo) [2]

Jiným způsobem jak zmenšit kapacitní vazbu je použít stíněné vodiče. Stínění vodičů musejí být z vodivého materiálu a také se stínění obvykle spojuje s jedním vodičem z každého páru. Po sestavení rovnice

$$U_r = U_{12} * \frac{1}{1 + \frac{C_{34} + C_{34}}{C_{13} + C_{24}}} \tag{2-1}$$

z náhradního schéma (Obr. 2.15) je patrné, že čím větší bude kapacita C₃₄, tedy kapacita mezi živým vodičem a vodičem spojeným se stíněním obvodu, který rušení přijímá, tím menší bude rušivé napětí [2].



Obr. 2.15 Náhradní schéma kapacitní vazby při použití stíněných vodičů [vlastní zpracování dle [2]]

b) Kapacitní vazba obvodů se společným vodičem

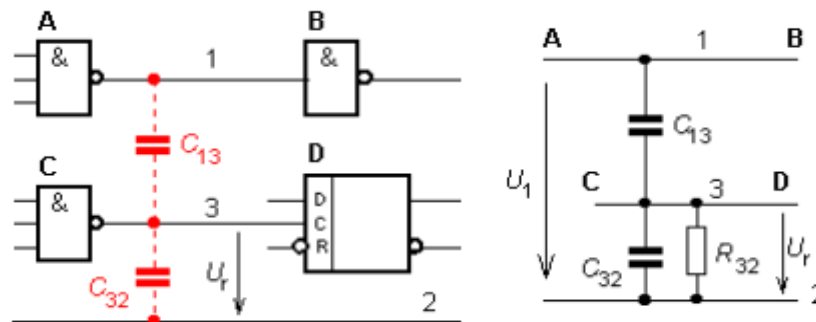
Tento druh kapacitní vazby je nejčastější v analogových a číslicových obvodech. Princip kapacitní vazby obvodů se společným vodičem je tedy vysvětlen na obvodech s číslicovou technikou na Obr. 2.16. Kde vodič 1 je rušící, vodič 3 rušený a vodič 2 společný. Kapacita C₁₃ je parazitní vazební kapacita. Díky této kapacitě lze říci, že jejím

vlivem ovlivňuje signál na výstupu z obvodu A signál, který přichází na vstup obvodu D. Výsledné takto přenesené rušivé napětí je kmitočtově závislé. Nejprve s rostoucím kmitočtem roste a na vysokých kmitočtech se jeho maximální hodnota ustálí na:

$$U_{rmax} = U_1 * \frac{C_{13}}{C_{13}+C_{32}} \quad (2-2)$$

Z náhradního schéma lze také odvodit vztah pro maximální hodnotu rušivého napětí, který je [2] [3] :

$$U_{rmax} = R_{32} * C_{13} * \left(\frac{\Delta u_1}{\Delta t}\right) \quad (2-3)$$



Obr. 2.16 Kapacitní vazba obvodů se společným vodičem (vlevo), náhradní schéma (vpravo) [2]

Z výše uvedených vztahů lze odvodit pravidla pro omezení kapacitní vazby obvodů se společným vodičem. Omezit tuto kapacitní vazbu lze zmenšením kapacity C_{13} . To se dá realizovat mnoha způsoby, např. co největším oddálením vodičů 1 a 3, nebo omezit délku, po které jsou tyto vodiče v souběhu, dále volit malé průřezy těchto vodičů a dbát, aby jejich izolace měla co nejmenší permitivitu.

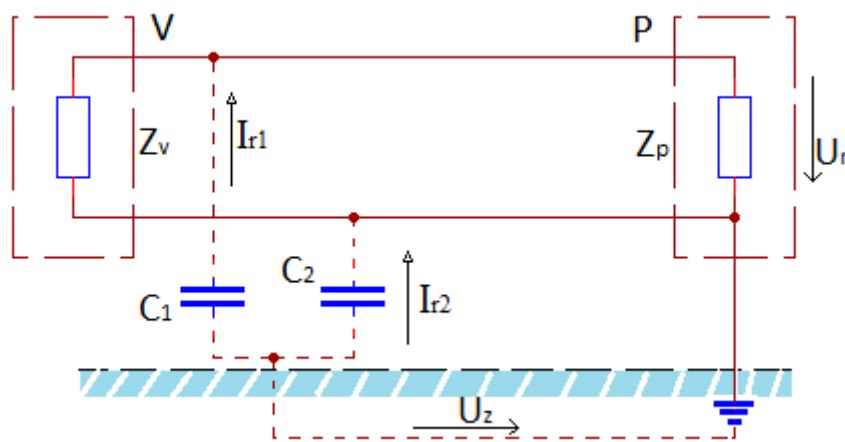
Dalším parametrem ze vztahů pro U_{rmax} , kterým lze omezit kapacitní vazbu je C_{32} . Respektive aby kapacita C_{32} byla co možná největší, jelikož tato kapacita omezuje velikost rušivého napětí, které se přenáší na vstup rušeného obvodu. Zvýšení kapacity C_{32} se většinou realizuje velmi těsným přiblížením vodiče 3 se společným vodičem 2. Rovněž zmenšením odporu R_{32} lze omezit přenášené rušivé napětí.

Poslední dva způsoby, jak se dá omezit rušivé napětí při tomto druhu vazby, jsou buďto

vodiče 1 a 3 od sebe vzájemně odstínit. Nebo omezit rychlost časových změn napětí. Tedy aby obvody pracovaly jen na takových frekvencích, které postačují pro jejich správnou funkci [2].

c) Kapacitní vazba vůči zemi

Posledním typem kapacitní vazby je kapacitní vazba vůči zemi. Jak je naznačeno na Obr. 2.17, tato vazba je zapříčiněna kapacitami vodičů vůči společné zemi. Na obrázku jsou to kapacity C_1 a C_2 , kterými se při průchodu rušivých proudů I_{r1} a I_{r2} přenáší v zemi vzniklé rušivé napětí U_z na svorky přijímače jako rušivé napětí U_r .



Obr. 2.17 Kapacitní vazba vůči zemi [vlastní zpracování dle [2]]

Řešením jak tuto vazbu omezit je opět stínění přívodních vodičů. Stínění způsobí, že rušivý proud neteče kapacitami vodičů do obvodu, ale teče stíněním mimo tento obvod a je sveden do země. Na vstup rušeného obvodu se tak nepřenáší rušivé napětí. To je však jen ideální případ, ve skutečnosti vlivem nedokonalé vodivosti stínění, zvláště při vyšších frekvencích vzniká na vnitřní impedanci stínění rušivé napětí, které se přenáší na vstup rušeného obvodu. Toto napětí je však výrazně menší než bez užití stínění [2] [3].

2.4 Vazba vyzařováním

Vazba vyzařováním se obvykle vyskytuje tam, kde není možná vazba indukční ani kapacitní. Tedy jsou-li od sebe zdroj rušení a přijímač rušení více vzdáleny. Nejčastější druhy rušení způsobené vazbou vyzařováním elektromagnetického pole jsou např. rušení způsobená blízkými vysílači, atmosférická rušení a také různé průmyslové poruchy. Typickým přijímačem rušení způsobeného vazbou vyzařováním jsou radiové přijímače, k nimž se dostane anténou. Elektromagnetická vlna vycházející ze zdroje rušení

naindukuje ve vodičích přijímače rušení rušivé napětí. To buď původní signálové napětí překryje, nebo se s ním sečte. Rušivé napětí indukované ve vodičích přijímače lze dle Obr. 2.18 vyjádřit vztahem:

$$U_r = E_x * l_{ef} \quad (2-4)$$

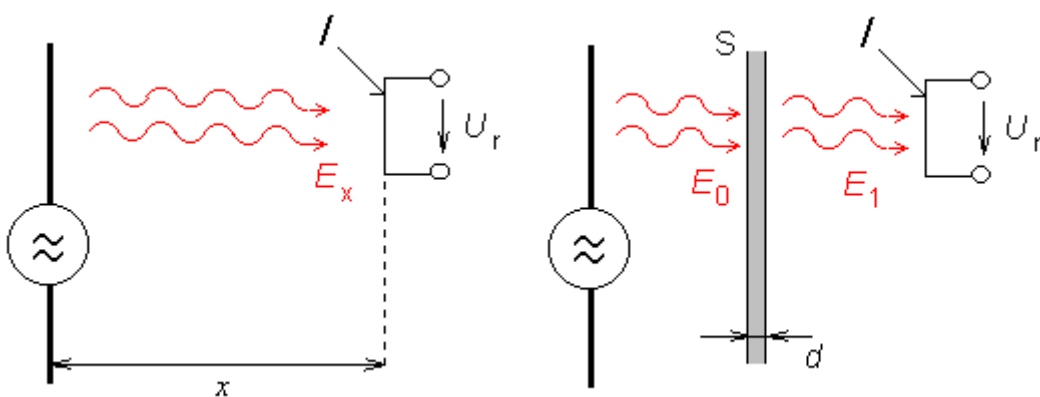
Kde: l_{ef} - je efektivní délka antény

E_x - je intenzita elektrického pole ve vzdálenosti x od zdroje o výkonu P a je dána vztahem :

$$E_x = 0,3 * \frac{\sqrt{P}}{x} \left[\frac{V}{m}; kW, km \right] \quad (2-5)$$

Kde: $x \gg \frac{\lambda}{2\pi}$, λ - vlnová délka signálu

Omezení této vazby lze realizovat vložením stínícího krytu mezi zdroj rušení a rušený objekt. Vyzářená intenzita elektrického pole E_0 se na tomto stínícím krytu zeslabí a na rušený objekt už působí zeslabená intenzita E_1 . K zmenšení E_0 na E_1 stínícím krytem dochází díky absorpci energie části vlny na stínícím krytu, ale také kvůli odrazu elektromagnetické vlny, která se odrazí od krytu zpět ke zdroji záření. Hodnota, o kterou se vyzářená intenzita zmenší, záleží na šířce stínícího krytu, na jeho vodivosti, permeabilitě, ale záleží i na vyzařovaném signálu, respektive na jeho kmitočtu [2] [7].



Obr. 2.18 Vazba vyzařováním (vlevo), omezení vazby stínícím krytem (vpravo) [2]

3 Měření rušivých signálů a odolnosti proti rušení

Zařízení, které má vyhovovat předepsaným normám je třeba otestovat jak na elektromagnetické rušení (EMI), tak i na odolnost proti rušení (EMS). Při měření elektromagnetického rušení dostaneme určitou číselnou hodnotu měřených veličin. Zatímco u testování zařízení na odolnost proti rušení působíme na zařízení elektromagnetickými jevy a následně sledujeme chování zařízení a určujeme, zda splňuje daná kritéria. Elektromagnetické jevy, kterými na zařízení působíme, jsou především elektrostatické výboje, kolísání napětí a elektromagnetické pole, které je buď vyzařované anebo šířené po vedení.

Abychom mohli prakticky ověřit stupeň EMC daného zařízení, je třeba změřit rušení, které toto zařízení produkuje. Jelikož prakticky nelze dosáhnout nulových hodnot rušivých signálů u kteréhokoli zařízení, jsou pro jednotlivé typy zařízení stanovené maximální hodnoty rušivých signálů. Měřením se potom stanovuje, zda se zařízení svým rušením vejde do daného rozmezí, nebo je třeba provést na zařízení úprava, aby normám vyhovovalo.

Vezmeme-li v potaz odlišnost zařízení a jejich podmínek, v kterých pracují, musí příslušné normy pro měření daných zařízení jednoznačně definovat metody, podmínky, měřící přístroje atd. Je to nutné z důvodu reprodukovatelnosti měření a následného porovnání výsledků. Při měření také musíme brát v potaz, že i měřící zařízení může získané výsledky ovlivnit. Protože samo může být zdrojem rušení, nebo ho rušivé signály mohou také ovlivňovat [1] [8] [9].

Pro správnou volbu měřícího postupu a měřícího zařízení je důležité znát jak se měřený rušivý signál šíří. Typicky máme tři možnosti, jak se rušivý signál může šířit:

- Vedením – většinou se jedná o napájecí nebo datové vedení. Při šíření vedením měříme rušivé napětí U_r , nebo rušivý proud I_r , v některých případech rušivý výkon P_r .
- Elektrickou nebo magnetickou vazbou – která se uplatňuje mezi blízkými zařízeními. V těchto případech se měří intenzita rušivého pole E_r nebo H_r , tyto hodnoty se však většinou poté pomocí koeficientů přepočítávají na rušivé napětí

U_r .

- Vyzařováním – elektromagnetickými vlnami mezi vzdálenými zařízeními. Měří se opět rušivé intenzity E_r nebo H_r , někdy i hustota vyzářeného výkonu p_r .

Bližší jsou tyto vazby popsány v předchozí kapitole 2.

3.1 Měřicí přístroje

Požadavky na měřicí techniku pro měření rušení určuje norma ČSN EN 55016-1-1 [10].

Základní rozdělení měřených veličin podle kmitočtových pásem je uvedeno v *Tab. 3.1*.

Kmitočtové pásmo	Měřená veličina
10 kHz - 30 MHz (pásmo A a B)	1. Galvanická složka rušení (rušení šířené vedením)- rušivé napětí, rušivý proud 2. Rušivé elektromagnetické pole (rušení vyzařováním) magnetická složka v pásmu A, magnetická a elektrická složka v pásmu B
30 MHz - 1 GHz (pásmo C a D)	1. Rušivé elektromagnetické pole - elektrická složka 2. Rušivý výkon
1 GHz - 18 GHz (pásmo není specifikováno normou CISPR 16)	Vyzařovaný výkon

Tab. 3.1 Rozdělení měřených veličin podle kmitočtového pásma [vlastní zpracování dle [1]]

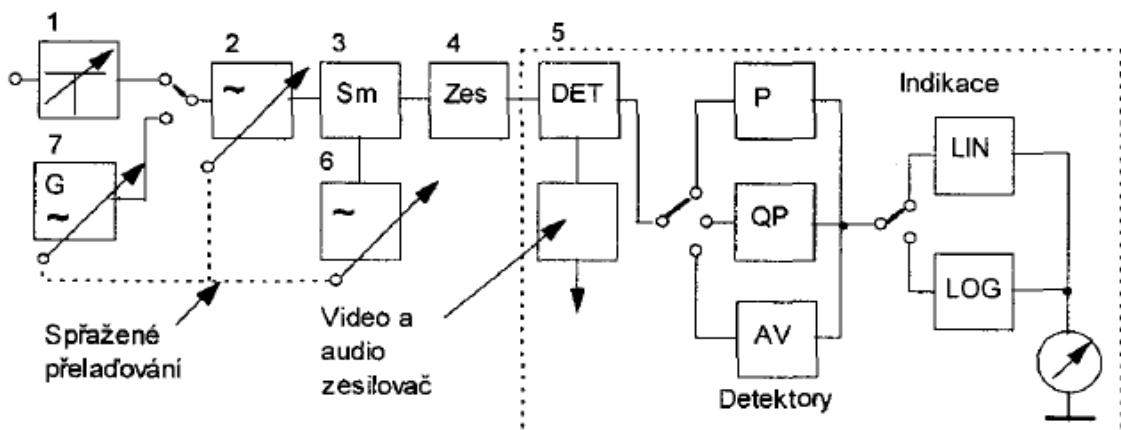
3.1.1 RFI meter

RFI meter pracuje na superheterodyním principu. Je to běžný měřicí přístroj rušivých signálů. Je sestaven jako speciální selektivní mikrovoltmetr a slouží pro měření rušivého napětí (U_r). Z normy také vychází požadavky kladené na tento měřič rušení:

- široký kmitočtový rozsah, v kterém musí být měřič spojitě přeladitelný, konkrétně je to 9 kHz až 1 GHz.
- aby bylo možno měřit i nízké úrovně rušivých napětí a nedocházelo ke zkreslení vlastním šumem přijímače, vlastní šum musí být nízký a přijímač musí být vysoce citlivý
- vstupní impedance nesymetrická, o velikosti 50 Ω
- měřič (přijímač) rušení musí být velice dobře elektromagneticky odstíněn, aby byla zaručena jeho vysoká elektromagnetická odolnost (EMS) jak proti vnějšímu rušení, tak i rušení vlastnímu

- pro možnost měřit vysoké úrovně rušivých napětí v lineárním režimu je důležitý široký dynamický rozsah (větší než 40 dB) a také vysoká přebuditelnost
- měřič musí mít přesně nedefinovanou amplitudovou a impulsní odezvu
- možnost volby výstupu naměřených hodnot, např. zvukový, obrazový výstup, uložení do paměti, tisk
- více typů detektorů na výběr, pro správné vyhodnocení rušivého signálu dle normy
- pro měřič rušení s kvazivrcholovým detektorem platí, že při poklesu o 6 dB musí být šířka pásma: A - 0,22 kHz; B - 9 kHz; C,D – 120 kHz

Pro popis funkce jednotlivých bloků, ze kterých se RFI meter skládá lze využít následující obrázek (Obr. 3.1) typického měřiče rušení.



Obr. 3.1 Blokové schéma typického měřiče rušení [1]

Blok 1 je širokopásmový dělič napětí, sloužící k úpravě velikosti měřeného rušivého napětí ur. Následně je signál zesílen v bloku 2, což je laděný selektivní zesilovač. Místní oscilátor (blok 6) produkuje signál, který se ve směšovači (blok 3) směšuje se signálem, který přichází z bloku 2. Tím vznikne mezifrekvenční signál s konstantním rozdílovým kmitočtem. Tento signál pokračuje do bloku 4, tedy do několikastupňového mezifrekvenčního zesilovače, kde je dále zpracováván. Na výstupu tohoto mezifrekvenčního zesilovače je připojen detektor (blok 5), který má na svém výstupu indikátory. Jedná se většinou o audio nebo video indikátory a voltmetr. Dalšími typy výstupů detektoru jsou např. zapisovač, záznamové zařízení, atd. Měřiče rušení musejí mít

na výběr z více typů detektorů, pro měření různých hodnot daného signálu. Jedná se o detektor kvazivrcholový (QP), detektor vrcholový (P), dále detektor střední hodnoty (AV) a detektor efektivní hodnoty (RMS). Blok 7 slouží ke kalibraci měřiče rušení, je to velice přesný generátor, ať už pulsní nebo sinusový. Aby nedocházelo k narušování linearity přístroje, nesmí být v měřicím přijímači automatické vyrovnávání citlivosti (AVC).

Měřič musí obsahovat různé druhy detektorů z toho důvodu, že meze rušení udávané v normách jsou v hodnotách QP a AV. QP detektor se uplatňuje při měření širokopásmového rušení. Tyto detektory vyhodnocují signály na základě jejich opakovatelnosti a amplitudy. Pro vysvětlení, signál, který má na vstupu do detektoru vysokou amplitudu, ale malou opakovatelnost bude mít na výstupu z detektoru stejnou hodnotu, jako signál, který má malou amplitudu, ale vysokou opakovatelnost.

Detektor P na rozdíl od QP sleduje pouze nejvyšší úroveň signálu. Jeho výstupní hodnota tedy není závislá na opakování pulsu, ale pouze na nejvyšší hodnotě amplitudy. Díky tomu je P detektor mnohem rychlejší než QP detektor a často tedy slouží k počátečnímu měření. Vyjdou-li totiž hodnoty změřené detektorem P nižší než hodnoty QP nebo AV dané normou, výrobek dané normě vyhovuje.

AV detektorem se měří především úzkopásmová složka rušení. Na výstupu tohoto detektoru je hodnota, která je rovná aritmetické střední hodnotě obálky signálu, který do detektoru vstupuje [1] [9].

3.1.2 Spektrální analyzátor

Hlavní výhodou spektrálního analyzátoru oproti selektivnímu voltmetru je jeho schopnost zobrazit spektrum měřeného signálu na displeji, případně data i uložit do paměti. Měřený rušivý signál je přijímán snímačem, jako je anténa nebo sonda. Spektrální analyzátor zobrazuje nejčastěji amplitudu signálu (vertikální osa) v závislosti na jeho frekvenci (horizontální osa). Svislá osa je kalibrována buď v lineárním, nebo logaritmickém režimu. Jelikož je v logaritmickém režimu osa kalibrována v dB a většina norem udává mezní hodnoty v dB, většinou se používá logaritmické měřítko. Nejširší frekvenční rozsah, který lze měřit v jednom kroku, se nazývá šířka spektra nebo také rozpětí. V dnešní době se můžeme setkat i s přenosnými spektrálními analyzátory, které jsou napájeny z baterií. Spektrální analyzátory mají spoustu vestavěných

užitečných funkcí, jako jsou např.:

- Předzesilovač
- Automatická kompenzace kabelů a anténních faktorů
- Umožňují zobrazení výsledného měření v různých jednotkách (dBm, dB μ V, dBmV, atd.)
- Umožňuje zobrazení mezních hodnot daných normou
- Přiměřeně přesné detektory QP a AV
- Demodulátor pro určení, zda je signál okolní nebo vysílací stanice
- Možnost ukládání dat do paměti
- Řízení počítačem a obvody periferních rozhraní

Spektrální analyzátory mohou být použity se sondami s uzavřeným polem, proudovými sondami, napěťovými sondami a anténami. Důležité parametry, které je třeba vzít v úvahu při výběru spektrálního analyzátoru, jsou:

1. Frekvenční rozsah: Frekvenční rozsah je spektrální rozdělení frekvencí, které chceme měřit. Jsou tři základní oblasti frekvenčního rozsahu: Počáteční frekvence, Konečná frekvence, Střední frekvence.
2. Rozpětí: Frekvenční rozsah je tak malý nebo velký, jaký požadovaný rozsah frekvence má být zobrazen na displeji. Velikost rozpětí je důležitá při měření signálů, které mohou mít velmi blízkou frekvenci.
3. Rozlišení šířky pásma: Rozlišení šířky pásma je propustnost interních filtrů, které pomáhají rozlišovat dva signály, které jsou velmi blízko u sebe. Spektrální analyzátory s menší šířkou pásma mají lepší schopnost rozpoznávat blízké signály.
4. Dynamický rozsah: Dynamický rozsah je veličina, která určuje nejnižší úroveň signálu, který lze měřit a souvisí s minimální úrovní vnitřního šumu analyzátoru. Měřené signály musí mít vyšší amplitudu než je amplituda minimálního šumu analyzátoru. V opačném případě je třeba použít předzesilovač nebo nízkošumový předzesilovač na vstupu do jednotky.
5. Šířka pásma videa: Je v podstatě schopnost monitoru aktualizovat obrazovku.

Spektrální analyzátoři s vysokou šířkou pásma videa jsou schopni vykreslit na displeji více informací v daném čase. Nižší šířky pásma způsobují blikání a duchový efekt (dvojitý obraz) [11].



Obr. 3.2 Typický spektrální analyzátoř (vlevo), přenosný spektrální analyzátoř (vpravo) [11]

3.2 Příslušenství k měřicím přístrojům

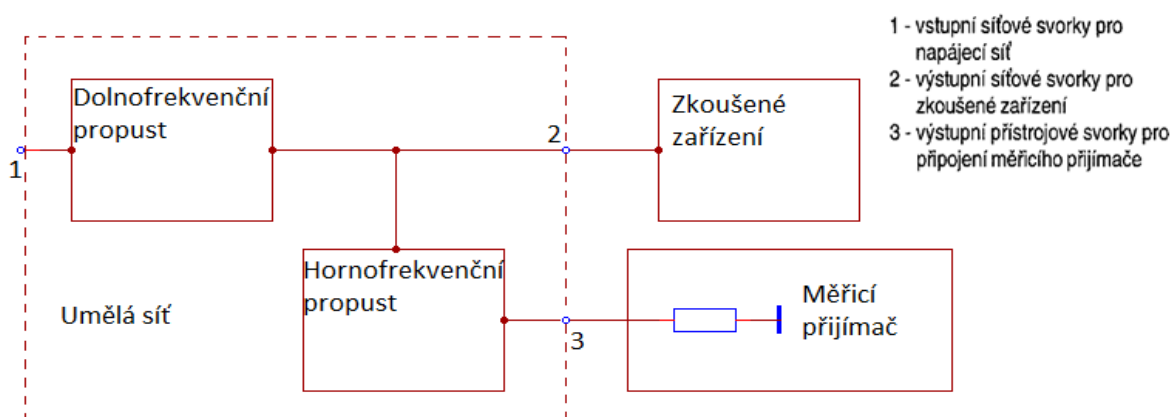
Měření rušivých signálů nelze uskutečnit pouze s pomocí měřicích přístrojů. K měření je zapotřebí řada příslušenství, které se většinou připojuje na vstup měřicího přístroje. Nejčastější příslušenství měřicích přístrojů jsou napěťové a proudové sondy, umělá síť, absorpční kleště a antény. Ty slouží jako senzory rušivé veličiny.

3.2.1 Umělá síť

S pomocí umělé sítě se měří rušivé signály, které produkuje zařízení, a přes vedení se dostávají do rozvodné sítě, ze které je zařízení napájeno. V zahraniční literatuře a normách se umělá síť označuje zkratkou LISN, v evropských normách ji najdeme spíše pod zkratkou AMN. Z blokového schématu na Obr. 3.3 lze vidět, že umělá síť musí obsahovat tři druhy svorek. První svorky slouží k připojení na napájecí síť, jsou označovány jako vstupní. Druhé jsou výstupní a připojuje se na ně zkoušený objekt. Na poslední svorky, také značené jako výstupní je připojeno měřicí zařízení. Jelikož umělá síť musí zajistit na vstupu zařízení, které je zkoušeno danou vysokofrekvenční impedancí, dále musí zajistit oddělení zkoušeného obvodu od vysokofrekvenčních signálů, které přicházejí ze sítě a také musí přivést rušivé napětí na vstup měřicího zařízení, je nutné, aby plnila tyto tři funkce:

1. Horní propust – Většinou se jedná jen o oddělovací kondenzátor o velikosti stovek nF. Musí zajistit, aby pro všechny kmitočty byl zkoušený objekt připojen k měřicímu zařízení.

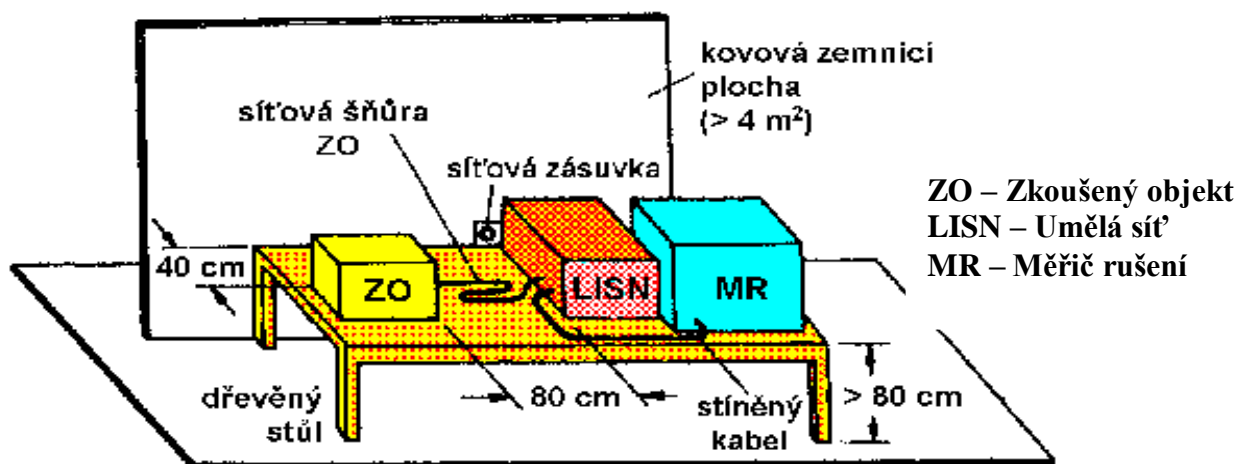
2. Dolní propust 50 Hz – Má za úkol zajistit, aby se k měřicímu zařízení, ani k měřenému zařízení nedostali jiné rušivé signály (z napájecí sítě) než ty měřené. Je tak zajištěno, že výsledky měření nejsou ničím ovlivněné a jsou věrohodné. Zeslabení těchto nežádoucích rušivých signálů musí být nejméně o 30 dB a to v celém kmitočtovém spektru.
3. Impedanční přizpůsobení – Zajišťuje, aby byla normou daná impedance na výstupních svorkách umělé sítě sloužících k připojení měřicího zařízení, ale i na výstupních svorkách k připojení měřiče rušení. Většinou se impedance na straně horní propusti rovná 50Ω , tedy přibližně vstupní impedanci měřiče rušení. Na výstupních svorkách k připojení zkoušeného zařízení je impedance umělé sítě přibližně rovna impedanci napájecí sítě v celém pásmu kmitočtů. Dnes se nejvíce používá hodnota 50Ω , jelikož tato hodnota je blíže skutečné impedanci dnešní kabelové sítě. Hodnoty impedance umělé sítě jsou dané normou dle kmitočtových pásem a různých napájecích sítí následovně [1] [9]:
 - Pro nízkonapěťové napájecí sítě: $50 \Omega/50 \mu\text{H} + 5 \Omega$ pro 9 kHz až 30 MHz
 - Pro průmyslové napájecí sítě: $50 \Omega/50 \mu\text{H}$ pro 0,15 MHz až 30 MHz
 - Pro palubní napájecí sítě: $50 \Omega/5 \mu\text{H} + 1 \Omega$ pro 0,15 MHz až 100 MHz
 - Pro klasické napájecí sítě: 150Ω pro 150 kHz až 30 MHz



Obr. 3.3 Blokové schéma umělé sítě s připojenými zařízeními [vlastní zpracování dle [1]]

Měření s umělou sítí

Uspořádání pracoviště pro měření s umělou sítí je dáno normou CISPR 16. Tato norma nařizuje, že pro správné měření musí být zkoušené zařízení, umělá síť i měřič rušení umístěné na dřevěném stole ve výšce větší než 80 cm nad zemí. Zkoušené zařízení musí být od umělé sítě vzdáleno 80 cm. Další podmínkou je, že napájecí šňůra zkoušeného zařízení nesmí být delší než 1 m. V případě, že je delší, musí se meandrovitě složit a délka vytvořeného svazku nesmí překročit 40 cm. Je-li za běžného provozu zkoušené zařízení uzemněno, musí se připojit ke vztažnému zemnicímu bodu umělé sítě. Jestliže není třeba zkoušené zařízení v běžném provozu uzemňovat, musí se na pracovišti umístit tak, aby bylo 40 cm od umělé země, kterou tvoří svislá kovová deska o minimálních rozměrech 2x2 m. Zároveň se musí dodržet minimální vzdálenost 80 cm od jiných kovových předmětů. Takto umístěné zkoušené zařízení v kompletní provozní sestavě dané výrobcem, se musí testovat v běžném režimu, ve kterém pracuje v praxi [9].



Obr. 3.4 Pracoviště pro měření rušivého napětí na síťových svorkách zkoušeného zařízení [9]

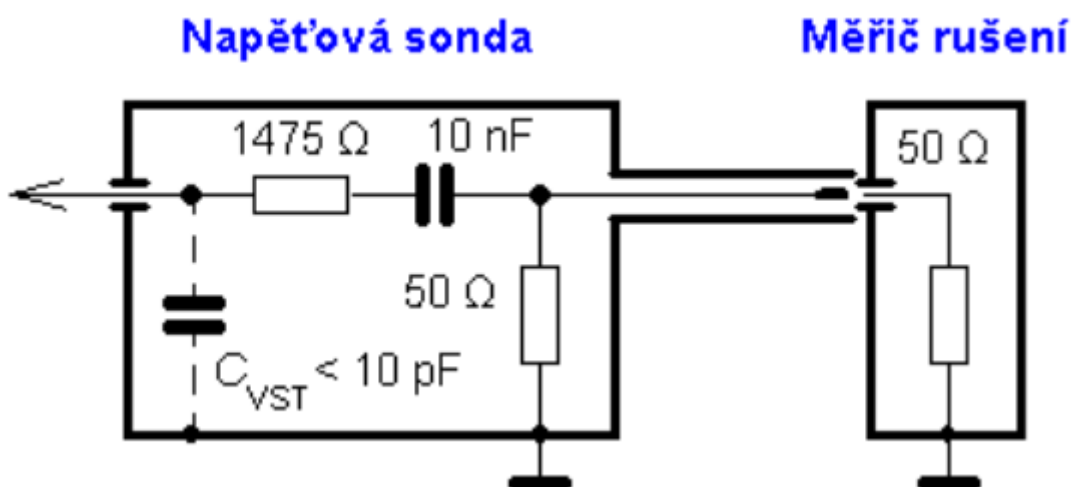
3.2.2 Napěťová sonda

Napěťovou sondou se měří především tam, kde nelze použít umělou síť. Většinou se jedná o měření na jiných svorkách, než jsou svorky síťové, například svorky řídicí, zátěže, signalizační, anténní, atd. Napěťová sonda se používá i při měření vysokoimpedančních obvodů, jelikož použití umělé sítě je zde vyloučeno z důvodu její nízké impedance. Díky tomu, že napěťová sonda nevyžaduje přerušování vodičů a lze ji připojit do libovolného místa testovaného zařízení, hodí se jak při měření v provozních podmínkách, tak pro laboratorní a diagnostická měření. Napěťovou sondu lze popsat, jako odporový dělič napětí s kapacitní

vazbou. Vstupní odpor sondy musí mít takovou velikost, aby celková rezistence, která je mezi místem měření a referenční zemí neměla menší hodnotu než je 1500Ω . Vstupní kondenzátor musí mít kapacitu menší než 10 pF . Dále se musí na referenční zem testovaného zařízení nízkoimpedančním páskem připojit přímo zemnicí konektor sondy.

Nevýhoda napěťové sondy spočívá ve stabilizaci vysokofrekvenční impedance napříč širokému rozsahu frekvencí, ve kterém je měřeno. Velká část vyráběných napěťových sond je dimenzována na maximální napětí 250 V střídavých. Je-li potřeba měřit na vyšších hladinách napětí, musí se tomu přizpůsobit napěťové součásti sondy. Mimo to se vyšším hladinám napětí musí přizpůsobit i konstrukce sondy, tedy izolační pevnost a vzdálenosti.

Napěťová sonda, která je na *Obr. 3.5* se hodí k měření rušivých napětí, která jsou větší než $60 \text{ dB}\mu\text{V}$ a v obvodech s nižší impedancí. Je to především díky relativně velkému zeslabení a také pro vysokoimpedanční obvody malému vstupnímu odporu. Chceme-li tedy měřit rušivé napětí pomocí napěťové sondy na vysokoimpedančním obvodu, musíme tomu přizpůsobit parametry vstupního odporu a vstupní kapacity sondy. V těchto případech je obvykle zapotřebí vstupní kapacita sondy menší než 5 pF s vstupní odpor o velikosti větší než $1 \text{ M}\Omega$. Takovýchto parametrů lze většinou dosáhnout jen aktivní napěťovou sondou, která je osazená na vstupu tranzistoru FET. Tyto sondy díky svému malému napěťovému zeslabení, v některých případech dokonce napěťovému zisku jsou schopné měřit nízké úrovně rušivého napětí a to i na kmitočtech 300 MHz a více [1] [9] [11].



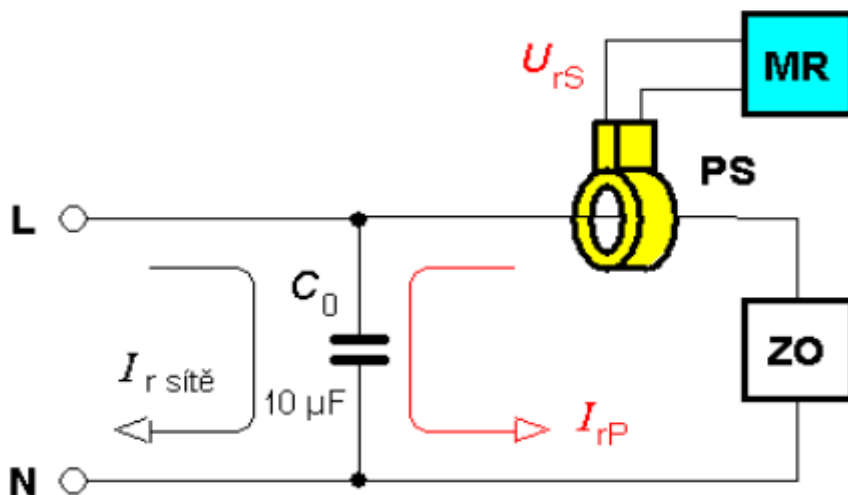
Obr. 3.5 Principiální schéma zapojení napěťové sondy [9]

3.2.3 Proudová sonda

K měření rušivých proudů proudovou sondou není nutné přerušovat měřené vodiče k připojení sondy. To je možné díky její konstrukci. Proudová sonda, má tvar toroidu, který je rozdělen a je možné ho rozevřít pro vložení měřeného vodiče. Proudová sonda je tedy v podstatě toroidní transformátor, kde primární vinutí představuje měřený vodič a sekundární vinutí tvoří toroidní jádro s velkou permeabilitou a okolo něj navinuté závity. Vodičem (primárním vinutím) protéká měřený rušivý proud, ten se následně pomocí sekundárního vinutí převede na napětí a to se následně měří měřičem rušení.

Výstupní napětí, které jde z proudové sondy do měřiče rušení je možno generovat dvěma způsoby. První je, jak už je naznačeno v prvním odstavci, že primárním vinutím protéká rušivý proud a sekundární vinutí tvořené cívkou s feritovým jádrem snímá magnetické pole vytvořené v primárním vinutí průchodem proudu. Výstupní napětí je následně měřeno měřičem rušení. Tento způsob je znázorněn na *Obr. 3.6*. V obvodu na tomto obrázku je připojen ještě kondenzátor C_0 . Jedná se o zkratovací kondenzátor, který má za úkol uzavřít vysokofrekvenční cestu rušivého proudu od testovaného zařízení směrem do napájecí sítě, ale také má bránit zkreslení výsledků měření a to průnikem nežádoucích rušivých proudů z napájecí sítě do proudové sondy.

Druhým způsobem jak měřit rušivý proud je využití Hallova jevu. Tato sonda tedy pracuje tak, že magnetickému poli vytvořenému průchodem proudu vodičem je vystaven polovodičový obvod uvnitř sondy. Výstupní napětí je generováno jako odezva na přítomnou sílu pole. Velikost výstupního napětí je pak závislá na velikosti této síly, tedy na velikosti proudu. Uvnitř sondy je ještě zesilovač, který zvyšuje úroveň vnitřního napětí na měřitelnou hodnotu [9] [11].



ZO – Zkoušený objekt
 PS – Proudová sonda
 MR – Měřič rušení

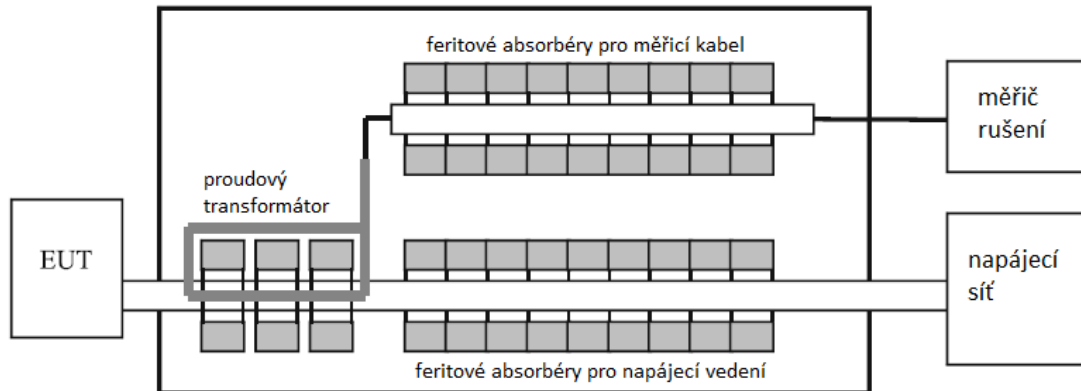
Obr. 3.5 Obvod pro měření rušivého proudu proudovou sondou [9]

3.2.4 Absorpční kleště

Absorpční kleště se používají pro měření vyzařovaného vysokofrekvenčního výkonu na kabelových sestavách ve frekvenčním rozsahu 30-1000 MHz. Základní měrnou jednotkou je dBpW, tu lze snadno převést na přijatelné úrovně intenzity pole. Absorpční kleště je v podstatě soustava skládající se ze tří částí. Konkrétně širokopásmové vysokofrekvenční proudové sondy, širokopásmového vysokofrekvenčního absorbéru výkonu, jehož součástí je i stabilizátor impedance přívodu a třetí částí je absorpční rukáv.

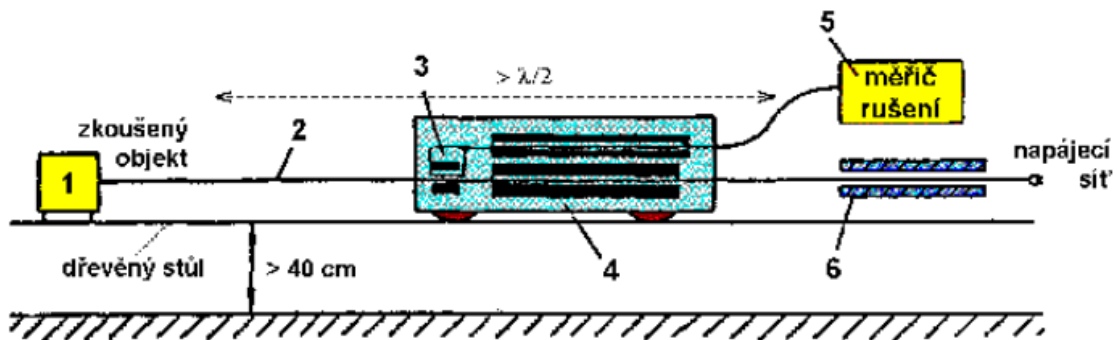
Širokopásmový vf absorbér výkonu je tvořen cca 60 feritovými kroužky, které jsou uprostřed rozdělené, kvůli snadnému zavedení kabelu. Feritové kroužky mají za úkol absorbovat výkon rušivého signálu a tím stabilizovat vysokofrekvenční impedanci kabelu. Absorpční rukáv je také tvořen ferity a má zabránit tomu, aby se do měřiče rušení dostal po povrchu měřicího kabelu parazitní vysokofrekvenční proud.

Feritové absorbéry zeslabují odrazy a vnější signály, které by se jinak mohly objevit na proudové sondě. Zařízení je kalibrováno z hlediska výstupního výkonu oproti příkonu. Absorpční kleště se běžně používají například při předběžných zkouškách, zejména při určování specifických frekvencí, které se mají dále zkoumat během formálního testování. Výhoda měření absorpčními kleštěmi je vysoká přesnost, ale také snadná reprodukovatelnost výsledků [1] [9] [11].



Obr. 3.6 Konstrukce absorpčních kleští [11]

Měření absorpčními kleštěmi



Obr. 3.7 Pracoviště pro měření absorpčními kleštěmi [9]

Na Obr. 3.7 je znázorněno měřicí pracoviště pro měření rušení absorpčními kleštěmi. Číslem 1 je označeno zkoušené zařízení, které produkuje rušivý signál. Ten prochází dále napájecím vedením, které je pod číslem 2. Absorpční kleště (č. 4) obsahují proudový transformátor, do jehož sekundárního vinutí začne rušivý signál, respektive vf rušivý proud, indukovanou napětí. Toto napětí se měří měřičem rušení, na obrázku číslo 5. Jako číslo 6 je znázorněná absorpční vložka, která zajišťuje potlačení rušivých signálů přicházejících z napájecí sítě. Je tak zabezpečeno, že proudový transformátor měří jen rušivý signál vycházející ze zkoušeného zařízení.

Vozík, na němž jsou umístěny absorpční kleště, musí mít možnost posunu v minimální vzdálenosti odpovídající $\lambda/2$. Tuto podmínku musí splňovat, jelikož posunem po napájecím vedení je nutné najít maximum stojatých vln rušivého signálu (maximální hodnotu na měřiči rušení). Vznik stojatých vln je důsledek nedokonalosti feritových kroužků, tedy nedokonalému bezodrazovému přizpůsobení. Na správně postaveném měřicím pracovišti

je také nutné absorpční kleště, napájecí vedení i zkoušené zařízení umístit na nekovový stůl ve vzdálenosti minimálně 40 cm nad kovové části podlahy. V případě měření větších zařízení může dané zařízení stát na zemi, avšak minimální 40 cm vzdálenost pro absorpční kleště a napájecí vedení musí být dodržena [9].

3.2.5 Antény

Anténa jako příslušenství měřicího přijímače se používá pro rušivé signály o kmitočtu 10 kHz až 1000 MHz (i výše). Nejčastěji se s nimi setkáme, však na kmitočtech od 300 MHz výše, protože měřit rušivá napětí a proudy na těchto kmitočtech přímo je velmi problematické. Antény jsou schopné měřit rušivé signály v širokém pásmu kmitočtů, avšak není to tak, že pro všechny kmitočty funguje jedna anténa. Přehled antén pro měření v různých kmitočtových pásmech je uveden v Tab. 3.2 [9].

Druh antény	Rozsah kmitočtů	Měřená složka
Rámová (smyčková) anténa	9 kHz-30 MHz	H
Prutová anténa (monopól)	9 kHz-30 MHz	E
Symetrické (laděné) dipóly	30 MHz-1000 MHz	E
Bikónická anténa	20 MHz-300 MHz	E
Logaritmicko-periodická anténa	200 MHz-3000 MHz	E
Kónicko-logaritmická anténa	200 MHz-3000 MHz	E
Složená širokopásmová anténa	30 MHz-2000 MHz	E
Trychtýřové antény	1 GHz-40 GHz	E, H

Tab. 3.2 Přehled měřicích antén pro různá kmitočtová pásma [vlastní zpracování dle [9]]

Anténa pro měření na nízkých kmitočtech (9 kHz- 30MHz) je **rámová anténa**. Tato anténa je nejčastěji provedena ve tvaru kružnice nebo čtverce. Je to v podstatě navinutá cívka na magneticky a elektricky nevodivém rámu. Pro účely EMC se cívka umísťuje do kovového stínění. Aby anténa byla schopná přijímat daný signál, musí se osa cívky antény natočit rovnoběžně s osou magnetické složky elektromagnetického pole. Tím se v cívice začne indukovat proud a ten je poté přiveden do přijímače [12].



Obr. 3.8 Rámová anténa [11]

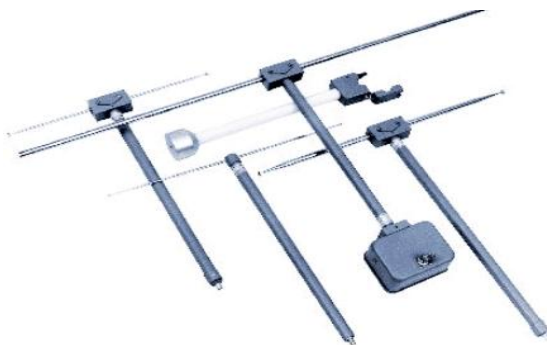
Ve stejném kmitočtovém pásmu se měří i **prutovou anténou**, ale neměří se magnetické rušivé pole, nýbrž elektrické. Doporučená délka těchto antén je 1m. V blízkém poli je

měření touto anténou nepřesné, jelikož se zde neprojevuje jen vysokofrekvenční pole ale i přímá vazba mezi zkoušeným zařízením a anténou, která je v tomto případě kapacitní [9].



Obr. 3.9 Prutová anténa [9]

V kmitočtovém pásmu 30 MHz - 1 GHz se používají **symetrické dipóly**. Tyto antény měří elektrickou složku rušivého pole, většinou v blízkém poli. Tento typ antény tvoří dvě stejně dlouhá lineární ramena, která mají společnou osu. Pomocí symetrického dipólu je možné určit směr pole i průběh siločar. Používají se tedy nejčastěji ke kalibraci. Zvláštním typem těchto dipólů je rezonanční půlvlnný dipól. Tento dipól se upravuje na fyzickou délku odpovídající poloviční vlnové délce signálu, aby se snížila reaktivní část impedance antény na nulu. Používá se tedy jen pro specifické aplikace, jelikož je nutné nastavit délku ramen vždy na měřený kmitočet [9] [11].



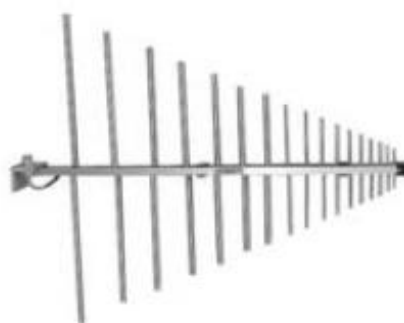
Obr. 3.10 Symetrické dipóly [9]

Dalším používaným typem antény je **bikónická**. Ta se používá nejčastěji ve frekvenčním pásmu 20 MHz – 300 MHz. Bikónická anténa je širokopásmový dipól složený ze dvou kónických vodičů se společnou osou a vrcholem. Při použití tohoto druhu antény je důležitá polarizace, buď vertikální, nebo horizontální [11].



Obr. 3.11 Bikónická anténa [11]

Nejčastěji se při měření rušivých signálů setkáme s **logaritmicko-periodickou anténou**. Tyto antény běžně pracují ve frekvenčním rozsahu 200 – 1000 MHz. Skládají se z řady rezonančních dipólů, které jsou fázově napájené. Tyto unipóly mají vůči sousedním prvkům pevně daný poměr délky a vzájemné vzdálenosti. Tento poměr je daný podílem logaritmů a rezonančních kmitočtů jednotlivých unipólů. To zajišťuje téměř konstantní vstupní impedanci a vyzařovací diagram v celém frekvenčním pásmu [9] [11].



Obr. 3.12 Logaritmicko-periodická anténa [11]

Kónicko-logaritmické antény se při běžném testování EMC příliš nepoužívají. Je to z toho důvodu, že všechny civilní normy pracují s testy s lineární polarizací měřených signálů. Tato anténa však přijímá (i vysílá) polarizaci elektromagnetického pole kruhovou. Na této polarizaci jsou ale založeny testy ve vojenské oblasti a právě tam tedy najdou kónicko-logaritmické antény využití.



Obr. 3.13 Kónicko-logaritmická anténa [9]

Při vysokých kmitočtech rušivých signálů (řádově GHz až desítky GHz) se pro měření používají **trychtýřové antény**. Tyto antény jsou pyramidální kovové vlnovody. Tento typ antény je však relativně úzkopásmový. V případě že je potřeba měřit signál o kmitočtech od jednotek GHz až do desítek GHz je potřeba mít sadu trychtýřových antén kdy každá je schopná měřit v jiném kmitočtovém rozsahu.



Obr. 3.14 Sada trychtýřových antén [11]

Při měření elektromagnetických emisí se nejčastěji měří v kmitočtovém pásmu od 30 MHz do 1 GHz. Jak je vidět z Tab. 3.2, tento kmitočtový rozsah jsou schopné pokrýt dva typy antén. Konkrétně je to bikónická a logaritmicko-periodická. Aby nebylo nutné používat pro měření dva typy antén, vytvořili výrobci anténu, která je kombinací těchto dvou typů. Má tedy dvě části, bikónickou, ta pokrývá pásmo nízkých kmitočtů (od 30 do 300 MHz) a logaritmicko-periodickou, která se uplatňuje na vysokých kmitočtech (od 300 MHz) [9].



Obr. 3.15 Kombinace bikónické a logaritmicko-periodické antény [11]

Při měření emisí anténami se výsledná intenzita rušivého pole určuje dle rovnice (3-1), ve které jsou započteny všechny parametry měřicího řetězce zobrazeného na Obr. 3.16.

$$E = U + CL2 - PAG + CL1 + AF \quad (3-1)$$

Kde: E- intenzita pole ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$)

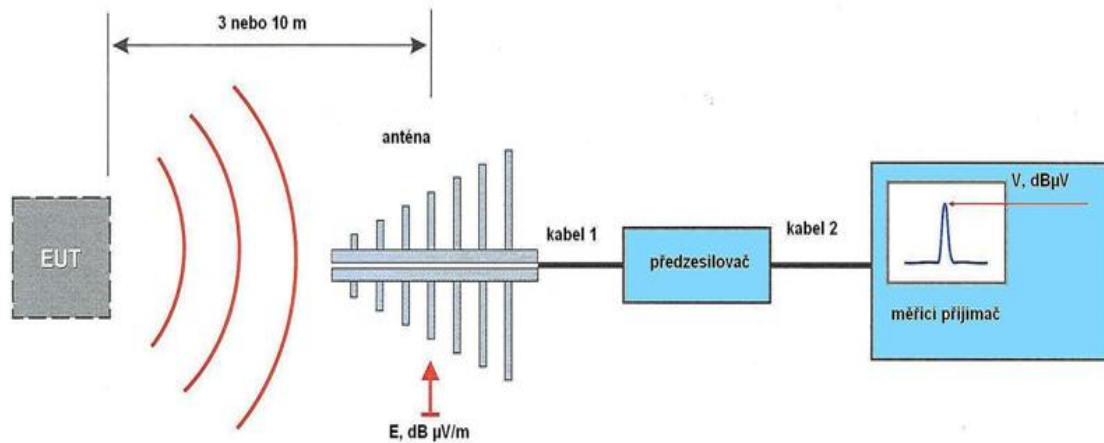
U- údaj měřiče rušení ($\text{dB}\mu\text{V}$)

CL2- útlum kabelu 2 (dB)

PAG- zisk předzesilovače (dB)

CL1 – útlum kabelu 1 (dB)

AF- anténní faktor (dBm^{-1})



Obr. 3.16 Složení měřicího řetězce [8]

Anténní faktor je poměr mezi velikostí vstupní intenzity pole a velikostí výstupního napětí antény (rovnice 3-2). Častěji se však setkáme s anténním faktorem vyjádřeným v dB, tedy v logaritmické míře (rovnice 3-3). Je to základní parametr všech antén využívaných pro účely EMC. Měří-li magnetické pole, vztahy jsou obdobné jen místo intenzity elektrického pole E se dosazuje intenzita magnetického pole H [8].

$$AF = \frac{E_r}{U_r} \quad (3-2)$$

$$AF = E_r - U_r [\text{dBm}^{-1}; \text{dBV}/\text{m}, \text{dBV}] \quad (3-3)$$

4 Měření v částečně bezodrazové komoře

Každé nově vyrobené elektronické či elektrické zařízení uváděné na trh musí splnit certifikační testy. Tyto testy obsahují testování odolnosti proti elektromagnetickému rušení a také měření elektromagnetických emisí produkovaných přístrojem. Testováním odolnosti zařízení se ovšem tato práce nezabývá. Limity elektromagnetických emisí určuje příslušná norma, vždy podle skupiny, do které patří testované zařízení. Každé zařízení se většinou skládá z více součástí, ty mohou sami o sobě splňovat normy EMC, avšak jako celek již mohou dané limity překračovat. Pro udělení certifikátu je tedy nutné, aby normy splňovalo zařízení jako celek a ne pouze jako jednotlivé součástky v něm použité.

4.1 Částečně bezodrazová komora

Pro reprodukovatelnost výsledků při měření elektromagnetických emisí šířených vyzařováním je nutné eliminovat okolní vlivy, které by mohly ovlivnit výsledky měření. Z tohoto důvodu bylo měření realizováno v částečně bezodrazové komoře. Konkrétně se jednalo o částečně bezodrazovou komoru značky Frankonia typu Semi Anechoic Chamber, zkráceně SAC. Tato komora je konstruována pro měření na frekvenčním rozsahu od 10 kHz do 18 GHz. Zkušební otočný prostor, na kterém je umístěn stůl z nevodivého materiálu má průměr 2m. Měřicí vzdálenost tohoto typu komory, tedy vzdálenosti referenčních bodů antény a zkoušeného zařízení je 3 m. Bezodrazovost zajišťují na stěnách a stropě feritové absorbéry Frankosorb F006, jejich útlumové vlastnosti se projevují zejména v kmitočtovém pásmu 10 MHz až 1 GHz [14]. Tyto absorbéry jsou ještě dále doplněny na stěnách absorbéry Frankosorb H450-A2. Ty jsou kombinací pyramidových a již zmíněných feritových absorbérů. Pyramidové absorbéry tvoří polystyrénový materiál, ve kterém je umístěna tenká vodivá fólie. S tímto typem absorbérů lze měřit na frekvencích až 40 GHz [15]. Podlaha při měření emisí není tvořena absorbéry, ale kovovými odraznými plechy. Komora Frankonia typu SAC je plně kompatibilní pro měření elektromagnetického rušení (EMI) dle normy CISPR 16-1-4 [13].

4.2 Měření vyzařovaných emisí

4.2.1 Zkušební stanoviště

Jak už je naznačeno v předchozí kapitole, měření vyzařovaných emisí probíhalo v částečně bezodrazové komoře značky Frankonia. Zkoušeným zařízením byl vysavač

Kärcher NT 361 o maximálním příkonu 1380 W. Zkoušené zařízení bylo umístěné na dřevěném stole ve výšce 80 cm nad zemí, stůl byl postaven na otočném zařízení, jelikož je nutné zařízením v průběhu testu otáčet. V počáteční poloze, tedy 0° , byl stůl s vysavačem otočen tak, že napájecí šňůra vysavače byla na druhou stranu od antény. Lépe řečeno, vysavač byl umístěn sací hadicí naproti anténě. Norma předepisuje, že pokud je napájecí vedení zařízení delší než 1 m, musí se meandrovitě složit a délka takto vytvořeného svazku nesmí překročit 40 cm. Vysavač Kärcher NT 361 má šňůru dlouhou 7,5 m, bylo tedy nutné svazek vytvořit, jak lze vidět na *Obr. 4.2*. Jako anténa, která rušení přijímala, sloužila kombinovaná anténa. Tato anténa kombinuje logaritmicko-periodickou anténu a širokopásmový dipól. Kdy logaritmicko-periodická část slouží pro pokrytí pásma vyšších frekvencí a širokopásmový dipól pokrývá pásmo nižších frekvencí. Konkrétně jde opět o výrobek firmy Frankonia, typ BTA-M. Tato anténa je schopná měřit ve frekvenčním pásmu od 30 MHz do 3 GHz. Maximální vstupní výkon antény je 1000 W [16]. Anténa je připojena k měřicímu přijímači značky ROHDE&SCHWARZ, typ ESR 7 (*Obr. 4.1*), který je schopen měřit na frekvenčním rozsahu od 9 kHz do 7 GHz. Tento spektrální analyzátor vyhovuje normě CISPR 16-1-1, definující přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti [17]. Analyzátor byl umístěn v ovládací místnosti, tzv. velině.



Obr. 4.1 Měřicí přijímač ROHDE&SCHWARZ ESR7 [22]

Jelikož v průběhu testování je nutné anténu posouvat v rozmezí od 1 m do 4 m a

zároveň anténu horizontálně a vertikálně natáčet, pro proměření kompletního spektra vyzařovaného rušivého signálu, je anténa umístěna na stožáru, který toto vše umožňuje. Stožár je též značky Frankonia, typ FAM2-4. Referenční body antény a zkoušeného zařízení byly od sebe vzdáleny 3 m, dle normy ČSN EN 55016-1-4.



Obr. 4.2 Skutečné uspořádání zkušebního stanoviště pro měření vyzařovaných emisí

4.2.2 Postup měření

Po přípravě zkušebního stanoviště bylo nutné uzavřít dveře částečně bezodrazové komory, aby nedošlo ke zkreslení výsledků parazitními rušivými signály. Celý průběh zkoušky řídil software EMC32, který je vytvořen firmou RHODE&SCHWARZ. Tento program obsahuje přednastavené skripty, sestavené tak, aby průběh metody vyhovoval normám. Z nabídky se pak vybere skript podle testovaného zařízení a podle způsobu šíření emisí, které se měří. V tomto případě se měřilo zkoušené zařízení na kmitočtovém rozsahu 30 MHz – 1 GHz a emise byly šířeny vyzařováním. Zařízení mělo vyhovovat limitům rušivého napětí (jednotky dB μ V) dle normy ČSN EN 61000-6-3, která stanovuje limity emisí pro prostředí obytné, obchodní a lehkého průmyslu. Tyto limity jsou v programu také přednastavené a jsou vykresleny přímo do grafu s průběhem rušivého signálu.

Díky softwaru je celé měření automatizované a je rozděleno do několika kroků. Jako první se spustí tzv. prescan, což je předběžné měření spektra. Pro funkci prescan se obvykle používá P detektor, tedy detektor vrcholové hodnoty. Používá se, protože měření spektra tímto detektorem je rychlejší než QP detektorem, který má delší nabíjecí konstantu. Prescanem tedy zjistíme jakési přibližné hodnoty rušení, díky tomu můžeme přizpůsobit metody, případně přístroje pro finální měření. Pokud se stane, že po proměření spektra

prescanem zjistíme, že hodnoty rušivého napětí změřené detektorem vrcholové hodnoty jsou nižší než kvazivrcholové hodnoty, které udává norma, není nutné finální měření a zařízení normám vyhovuje. Častěji se však stává, že předběžným měřením zjistíme, při kterých frekvencích se rušení příliš přibližuje limitám daných normou, nebo je překračuje a na těchto frekvencích se následně provádí důkladné měření QP detektorem. Po ukončení předběžného měření následuje druhý krok, což je redukce dat. Tento krok má za úkol např. oddělit od sebe emise zkoušeného zařízení a parazitní signály z pozadí. Dále také porovnání změřených rušivých signálů s limitami z norem a zredukovat tak data pro následné měření. Po redukci dat se spouští konečné měření, při kterém se vyhledávají maxima emisí. U vyzařovaných emisí se maxima hledají při daném kmitočtu tak, že se mění výška antény. Současně s tím se mění i poloha zkoušeného zařízení vůči měřící anténě. Při konečném měření je využíván ten detektor, ve kterých hodnotách jsou normou udávány meze. Poslední krok měření je zpracování dat a vypracování zprávy. Požadavky na tuto dokumentaci určuje Evropská směrnice 2004/108/ES [18].

Jelikož je tato práce zaměřena na rušivé signály a jejich eliminaci, byl zvolen takový postup, že finální měření bude provedeno pouze pro dva případy. V prvním případě se finálním měřením měřilo samotné zkoušené zařízení bez odrušovacích prvků. V druhém případě se měřilo zkoušené zařízení s odrušovacím prvkem, který nejvíce omezil rušení, což v případě vyzařovaných emisí byl ferit na začátku i na konci napájecího vedení. Nejprve bylo nutné provést finální měření pro samotné zkoušené zařízení, tím se zjistilo, v jakém uspořádání zkušebního stanoviště je rušení nejvyšší. Pro toto uspořádání se pak proměřily všechny varianty odrušovacích prvků i samotného zkoušeného zařízení kvazivrcholovým detektorem. Po porovnání průběhů rušivých signálů s jednotlivými odrušovacími prvky byl vybrán ten, co rušení nejvíce omezil a pro ten, jak už bylo řečeno, bylo použito finální měření. Získané průběhy jsou závislost rušivého napětí [$\text{dB}\mu\text{V}$] na frekvenci [Hz]. Průběh získaný z finálního měření je sestaven z maximálních hodnot emisí při jednotlivých uspořádáních zkušebního stanoviště.

První provedené měření tedy bylo finální měření pro samotný vysavač Kärcher NT 361. Během toho měření se přijímací anténa pohybovala po stožáru od 1m do 4 m, s krokem 1 m. Vysavač se při každé výšce antény otáčel pomocí otočného zařízení po 90° , zároveň se pro každé pootočení zkoušeného zařízení měnila i polarizace antény (vertikálně, horizontálně). Toto uspořádání zkušebního stanoviště bylo řízeno počítačem se softwarem

EMC32 z ovládací místnosti. Skutečné uspořádání bylo možno kontrolovat rovněž z ovládací místnosti pomocí kamery umístěné v komoře.

Druhé finální měření bylo měřené pro zkoušené zařízení, které mělo na obou koncích napájecí šňůry umístěný feritový magnet. Průběh měření je pak shodný jako v předchozím případě.



Obr. 4.3 Ferit na začátku (vlevo) i na konci vedení (vpravo)

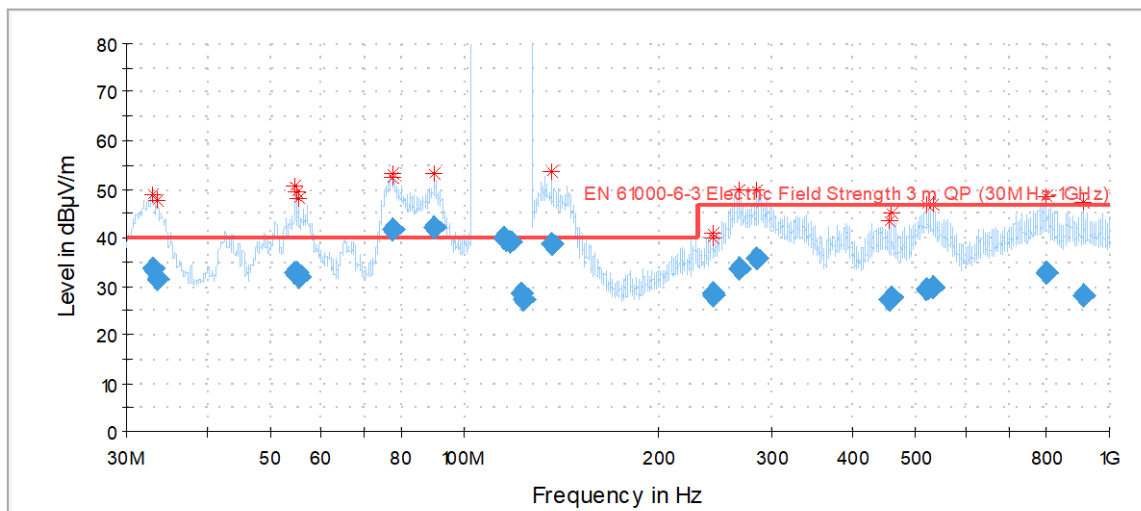
Ostatní měření probíhaly v tom uspořádání zkušebního stanoviště, ve kterém bylo rušení největší. V případě vysavače Kärcher NT 361 to bylo uspořádání, kdy byl oproti původní poloze otočen vůči anténě o 180°, to znamená napájecím vedením směrem k přijímací anténě. Dále byla anténa ve výšce 1 m a polarizována vertikálně. Pro jednotlivá měření byly použity různé typy filtrů a umístění feritových magnetů na napájecím vedení.

4.2.3 Získané výsledky

Získané výsledky měření rušivých signálů vyzařovaných z vysavače Kärcher NT 361 jsou zobrazeny graficky, jako závislosti rušivého napětí na frekvenci. Do výsledného grafu spolu s průběhem rušivého signálu je zobrazena i maximální přípustná mez rušení daná normou. Celkově bylo změřeno 7 různých způsobů, jak omezit vyzařované emise ze zkoušeného zařízení. Plus byl samozřejmě změřen počáteční stav, tedy zkoušené zařízení bez odrušovacích prvků. V práci jsou použité jen 3 závislosti. První zachycuje počáteční stav zařízení, změřený finálním měřením. Druhá závislost je průběh rušivého signálu vyzařovaného ze zařízení s tím odrušovacím prvkem, který rušení nejvíce omezil, také změřený finálním měřením. Třetí průběh je změřený s nejvíce nevhodným odrušovacím prvkem, který na vyzařované emise neměl žádný pozitivní vliv. V obou případech finálního měření jsou grafické závislosti doplněny také tabulkami se změřenými

hodnotami. Ostatní grafické závislosti jsou zobrazeny v přílohách.

Zkoušené zařízení bez odrušovacího prvku



Obr. 4.4 Průběh rušivého signálu zkoušeného zařízení bez odrušovacích prvků získaného finálním testem

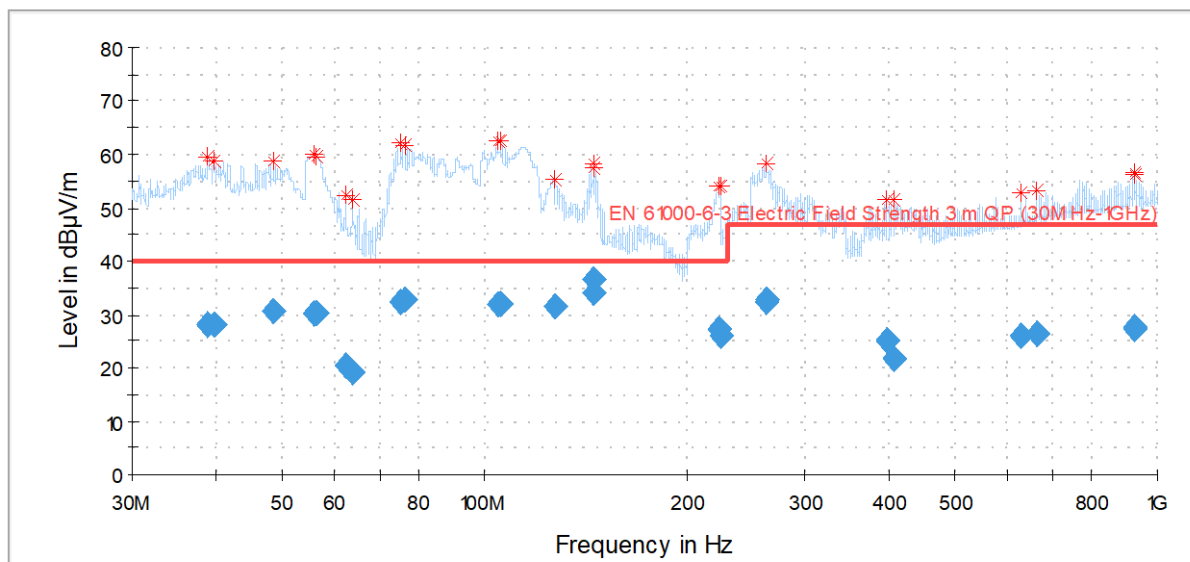
Na Obr. 4.4 je vidět průběh rušivého signálu vyzařovaného ze zkoušeného zařízení. Tento průběh je změřen vrcholovým detektorem, to že na mnoha místech překračuje danou mez pro zkoušené zařízení udávanou v kvazivrcholových hodnotách (vyznačena červenou čarou) není tedy tak důležité. Dále je na obrázku vidět, že na frekvencích zhruba od 100 MHz do 130 MHz dosahuje rušení neobvykle vysokých hodnot. Na tomto frekvenčním rozsahu bylo zřejmě rušení nejsilnější, tím došlo k zahlcení (přesycení) vstupu měřícího přijímače a ke zkreslení naměřeného průběhu. Pro další měření tedy bylo nutné zvýšit vstupní útlum měřícího přijímače z 10 dB na 30 dB. Ze změřeného průběhu získáme špičkové hodnoty (vyznačeny červenými hvězdičkami), ve kterých se potom měření opakuje kvazivrcholovým detektorem. Špičkové hodnoty jsou ve většině případů nad danou mezí, avšak některé jsou i pod touto mezí. Norma totiž udává, že maximální hodnoty rušení mají být menší alespoň o 6 dB. Po měření kvazivrcholovým detektorem na vytypovaných frekvencích a uspořádáních zkušebního stanoviště se ukázalo, že v kvazivrcholových hodnotách (vyznačeny modrými kosočtverci) překračují hodnoty rušení danou mez už jen na třech frekvencích. Ovšem k limitě se o více než 6 dB přiblížily hodnoty na dalších čtyřech frekvencích. Těchto 7 hodnot lze najít v Tab. 4.1. Zařízení tedy normě ČSN EN 61000-6-3 nevyhovělo a je nutné použít odrušovací prvky.

Frekvence	QP hodnota	Mez	Odchyłka od meze	Šířka pásma	Výška antény	Polarizace antény	Otočení zařízení
[MHz]	[dB μ V/m]	[dB μ V/m]	[dB]	[kHz]	[cm]		[°]
77,280000	41,71	40,00	-1,71	120,000	200,0	V	180,0
77,700000	41,79	40,00	-1,79	120,000	100,0	V	0,0
89,790000	42,02	40,00	-2,02	120,000	100,0	V	180,0
114,900000	39,97	40,00	0,03	120,000	300,0	H	90,0
115,860000	39,76	40,00	0,24	120,000	300,0	H	90,0
117,510000	39,23	40,00	0,77	120,000	300,0	H	90,0
136,650000	38,87	40,00	1,13	120,000	100,0	V	180,0

Tab. 4.1 Tabulka hodnot, ve kterých zařízení nevyhovělo normě

V tabulce jsou uvedeny pouze hodnoty rušení, které nevyhovují normě. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze. Z tabulky lze vidět jak kvazivrcholovou hodnotu rušivého napětí, tak i o kolik dB tato hodnota překročila mez. Dále je samozřejmě uvedeno, při jaké frekvenci byla daná hodnota změřena a pro jaké uspořádání zkušebního stanoviště. Uvedena je i šířka propustného pásma měřícího přijímače.

Zkoušené zařízení s feritovým magnetem na začátku a na konci napájecího vedení



Obr. 4.5 Průběh rušivého signálu pro zkoušené zařízení s nejlépe odrušujícím prvkem získaný finálním testem

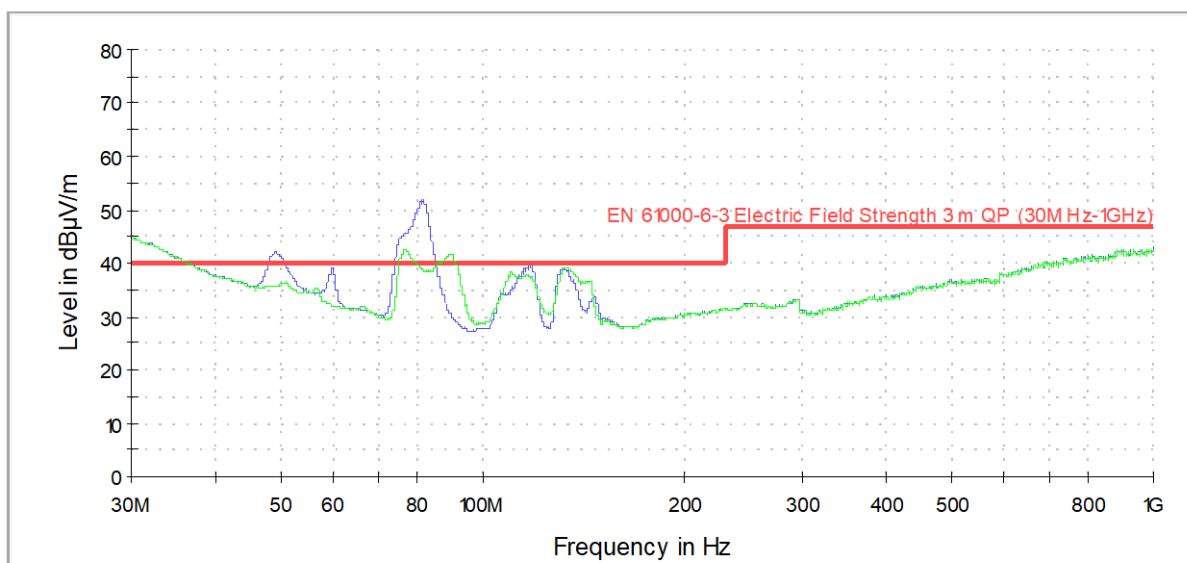
Rušivý signál, jehož průběh lze vidět na Obr. 4.5, je omezen dvěma feritovými magnety

umístěnými na obou koncích napájecího vedení. Umístění magnetů je vyobrazeno na *Obr. 4.3*. Ferity použité při měření vyrobila firma Würth Elektronik v sérii STAR-TEC. Feritové jádro je vyrobeno z NiZn materiálu, který poskytuje širokopásmové potlačení od 30 MHz do 1,5 GHz. Impedance tohoto feritu se při 100 MHz pohybuje od 182 Ω do 321 Ω . Při porovnání průběhu na *Obr. 4.4* a *Obr. 4.5* je vidět, že právě kolem tohoto kmitočtu ferit pomohl nejvíce omezit rušení. Rozsah jeho provozních teplot je od -25 °C do 105 °C [19]. Ferity zjednodušeně řečeno zachycují vyzářenou rušivou energii a přeměňují jí na teplo. Pro účinnost omezení rušení pomocí feritu je důležité, aby mezi feritovým jádrem a vedením byla co nejmenší vzduchová mezera. Na *Obr. 4.5* je vidět, že rušivý signál změřený vrcholovým detektorem překračuje téměř v celém kmitočtovém pásmu od 30 MHz do 1 GHz mez danou normou. Na *Obr. 4.4*, kde je průběh rušivého signálu jen pro samotné zkoušené zařízení, lze vidět, že rušivé napětí nedosahuje takových hodnot jako na *Obr. 4.5*. Zdálo by se tedy, že ferity mají tedy spíše negativní vliv na odrušení, ale rozdíl je v těchto dvou průbězích je dán tím, že v druhém případě byl nastaven již zmiňovaný vyšší útlum měřicího přijímače. Příčinou může být i to, že v prvním případě zařízení nebylo v provozu tak dlouho jako v druhém případě. Průběh rušivého signálu se tedy mohl zahřátím zařízení změnit.

Při měření kvazivrcholovým detektorem na daných frekvencích a uspořádáních zkušebního stanoviště, které byly vytipovány na základě měření vrcholovým detektorem je již ale vidět, že všechny kvazivrcholové hodnoty jsou pod danou limitou. Na více než 6 dB se kvazivrcholová hodnota rušivého napětí přiblížila k limitě danou normou jen ve dvou případech. Tyto hodnoty lze vidět v *Tab. 4.2*. Při použití feritů na obou koncích napájecího vedení lze tedy říci, že zařízení normu ČSN EN 61000-6-3 splňuje.

Frekvence	QP hodnota	Mez	Odchylka od meze	Šířka pásma	Výška antény	Polarizace antény	Otočení zařízení
[MHz]	[dB μ V/m]	[dB μ V/m]	[dB]	[kHz]	[cm]		[°]
145,020000	34,02	40,00	5,98	120,000	300,0	V	0,0
145,350000	36,49	40,00	3,51	120,000	200,0	H	-90,0

Tab. 4.2 Tabulka hodnot nejvíce se přibližujících limitě

Zkoušené zařízení s nevhodným odrušovacím prvkem

Obr. 4.6 Porovnání průběhů rušivého signálu bez odrušovacího prvku a s nevhodným odrušovacím prvkem

Průběh na Obr. 4.6 zobrazený modrou barvou je průběh rušivého signálu zkoušeného zařízení, ke kterému byl připojen odrušovací filtr značky ELSYST, typ BMV 01/10. Zelenou barvou je zobrazen průběh rušivého signálu zkoušeného zařízení bez odrušovacích prvků. Tento průběh slouží k porovnání rušivých signálů před a po připojení odrušovacího prvku a názorně ukázce, že nevhodně zvolený odrušovací prvek může rušivý signál naopak zesílit. Správně navržený a použitý filtr by měl plnit tu funkci, že proudy o určitých frekvencích propouští bez omezení, v praxi spíše s minimálním útlumem a proudy ostatních frekvencí jsou potlačovány. Filtry lze většinou chápat jako dvojbrany složené z různých kombinací odrušovacích tlumivek a kondenzátorů. Filtr má tři pásma. První je pásmo propustné, obecně je toto pásmo od 0 Hz do f_{mez} . V tomto pásmu filtr vykazuje jen minimální útlum. Druhé pásmo je přechodové, definované od f_{mez} do f_{α} , toto pásmo je spojitě a má svojí určitou strmou danou zapojením filtru. Posledním, třetím pásmem je pásmo nepropustné. V tomto pásmu filtr maximálně potlačuje proudy daných frekvencí. Potlačení je pak úměrné frekvenci. Od f_{mez} se proudy uzavírají přes kondenzátor, který má na rozdíl od tlumivky minimální impedanci. Důležité je však, aby kondenzátor měl nižší impedanci než připojená zátěž a proudy se uzavíraly kondenzátorem a ne zátěží [21].

Filtr ELSYST BMV 01/10 byl tedy nevhodně zvolen ke zkoušenému zařízení. Filtr měl zřejmě pro rušivý signál vycházející ze zkoušeného zařízení špatná frekvenční pásma. Tedy i zapojení a velikosti odrušovacích kondenzátorů a tlumivek. Filtr tedy nevykazoval útlum, ale zisk. Respektive nevykazoval zisk v celém měřeném frekvenčním spektru, ale z průběhů je vidět, že jen na frekvencích přibližně od 45 MHz do 130 MHz. Na ostatních frekvencích však nevykazoval ani útlum rušivého signálu. Nejvyšší zisk je zřejmý přibližně v 80 MHz, což nejspíše byla rezonanční frekvence. Následně došlo rezonancí k zesílení signálu.

4.3 Měření konduktivních emisí

4.3.1 Zkušební stanoviště

Zkušební stanoviště pro měření konduktivních emisí je téměř stejné, jako pro měření vyzařovaných emisí, které je popsáno v kapitole 4.2.1. Hlavní rozdíl mezi těmito zkušebními stanovišti je, že pro měření konduktivních emisí se nepoužívá anténa, ale jako příslušenství k měřicímu přijímači je použita umělá síť. Rušivý signál se totiž v tomto případě šíří po napájecím vedení do sítě. Umělá síť je stejně jako v předchozím případě anténa, připojena k měřicímu přijímači značky ROHDE&SCHWARZ, typ ESR 7. Umělá síť byla umístěna na otočném zařízení pod stolem, do ní byla připojena napájecí šňůra vysavače a umělá síť byla napájena ze zásuvky umístěné v otočném zařízení. V případě měření s filtrem je toto zapojení pozměněno tak, že napájecí šňůra vysavače je zapojena na výstup filtru a vstup filtru je zapojen do umělé sítě.



Obr. 4.7 Skutečné uspořádání zkušebního stanoviště pro měření konduktivních emisí

4.3.2 Postup měření

Měření konduktivních emisí stejně jako vyzařovaných emisí řídil software EMC32. Měření probíhalo na kmitočtech od 150 kHz do 30 MHz, protože na kmitočtech od 9 kHz do 150 kHz norma stanovuje pouze měření pro zařízení ISM třídy B [18]. V tomto případě není měření zcela automatizované, ale je nutná i spolupráce obsluhy. Při finálních měřeních je totiž nutné na umělé síti přepnout, lépe řečeno zvolit, na kterém z vodičů bude probíhat měření. Jelikož v tomto případě se měřilo na jednofázovém spotřebiči, volilo se pouze mezi vodičem L a N. Software EMC32 vždy na obrazovce počítače zobrazil, jaký vodič se má přepínačem na umělé síti zvolit, po zvolení software pokračoval v měření.

Při měření konduktivních emisí byl zvolen postup, jako při měření vyzařovaných emisí. Finální měření tedy byla provedena opět ve stejných případech jako při měření vyzařovaných emisích. Ostatní varianty byly změřené rychlejším zjednodušeným testem. Tento test měřil rušivé signály jen na jednom vodiči. V našem případě se měřilo na vodiči N. Tato zrychlená měření nemohou sloužit jako certifikační, ale pro orientaci, který odrušovací prvek nejlépe fungoval je lze použít. Rozdíl mezi rušivým signálem na vodiči

N a L je totiž minimální.

V prvním případě se tedy měřilo na vysavači Kärcher NT 361 bez odrušovacích prvků, finálním měřením. V průběhu měření se přepínalo mezi jednotlivými vodiči, na kterých se rušivé signály měřily. Finální test, stejně jako zjednodušené testy byly měřeny jak kvazivrcholovým detektorem, tak i detektorem střední hodnoty.

Druhé finální měření bylo pro zkoušené zařízení s ferity na konci a na začátku napájecího vedení. V případě konduktivních emisí to ovšem nebylo opatření, které rušení omezilo nejvíce.



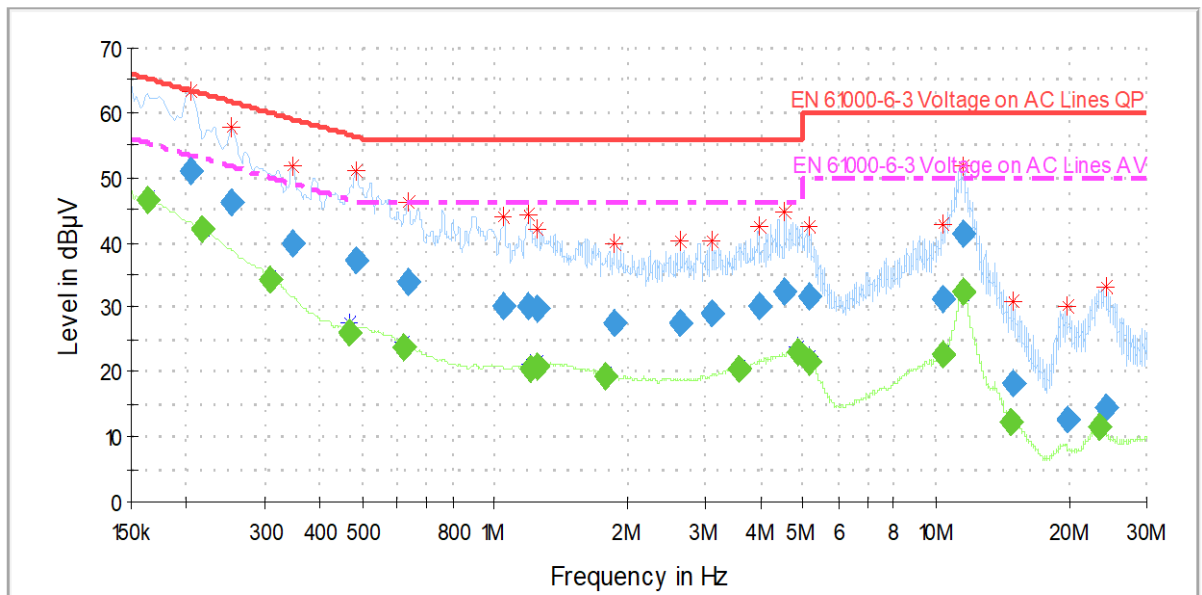
Obr. 4.8 Finální měření s feritem na začátku (vlevo) i na konci vedení (vpravo)

4.3.3 Získané výsledky

Získané výsledky při měření konduktivních emisí jsou rovněž zobrazeny graficky i tabulkově jako v případě vyzařovaných emisí. Grafické zpracování se ale mírně v tomto případě liší. Není už totiž zobrazena jen mez a výsledný průběh v kvazivrcholových hodnotách, ale přibyly i hodnoty střední. Graf získaný finálním měřením je tedy složen z mezí v kvazivrcholových (červená čára) i středních hodnotách (přerušovaná čára) daných normou ČSN EN 61000-6-3. Dále průběh změřený vrcholovým detektorem s vyznačenými červenými hvězdičkami, které označují vytipované špičky. Na těchto frekvencích je dále měřeno. Modré kosočtverce zobrazují kvazivrcholové hodnoty změřené na vytipovaných frekvencích. Na stejných frekvencích se měřily i střední hodnoty, ty jsou vyznačeny zelenými kosočtverci. V práci jsou zobrazeny obě finální měření a jedno zjednodušené měření. Tentokrát se ovšem nejedná o nejvíce nevhodný odrušovací prvek, ale právě o ten nejvhodnější. Ostatní grafy jsou zařazeny do příloh, společně s tabulkami z finálních

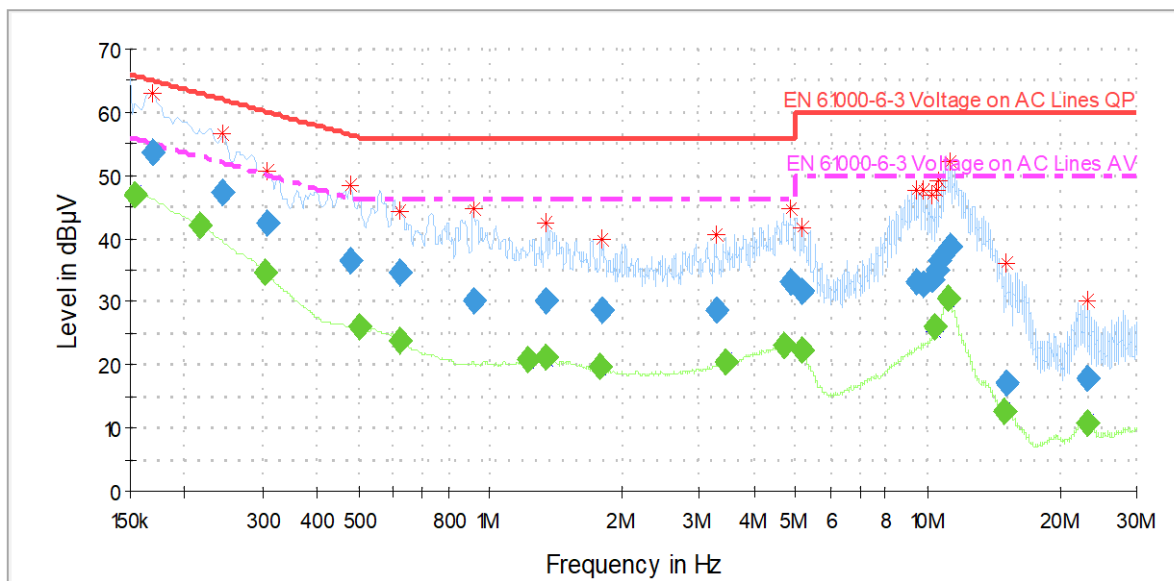
měření.

Zkoušené zařízení bez odrušovacích prvků



Obr. 4.9 Rušivý signál zařízení bez odrušovacích prvků získaný finálním měřením

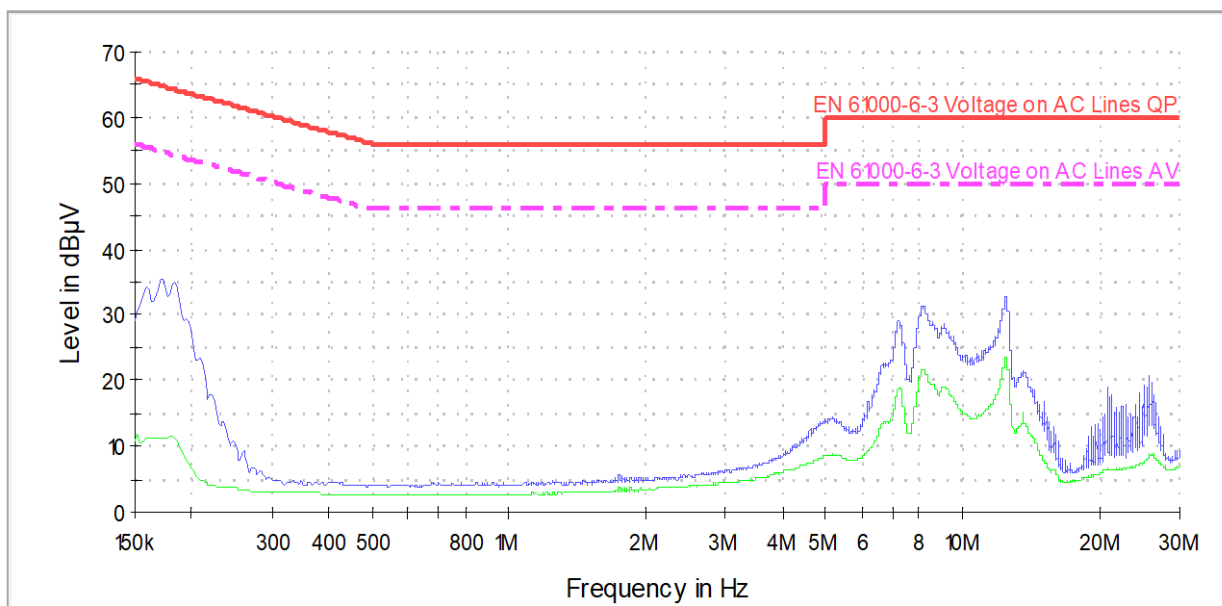
Jak je vidět z Obr. 4.9, rušivý signál změřený vrcholovým detektorem na žádné frekvenci nepřekračuje mez udávanou v kvazivrcholových hodnotách. Dalo by se už tedy po tomto měření říci, že zařízení normě ČSN EN 61000-6-3 vyhovuje. Avšak na frekvenci okolo 200 kHz se signál ve špičce (zvýrazněné červenou hvězdičkou) dostal na hodnotu meze. Měřilo se tedy dále kvazivrcholovým detektorem a detektorem střední hodnoty na vybraných frekvencích. Těmito měřeními se prokázalo, že kvazivrcholové i střední hodnoty, kterých rušivý signál na frekvenčním pásmu od 150 kHz do 30 MHz dosahuje, nepřekračují stanovenou mez, dokonce jsou výrazně pod touto mezí. Tabulka těchto hodnot je zobrazena v přílohách. Při běžném provozu tedy vysavač Kärcher NT 361 nepřekračuje meze konduktivních emisí stanovené normou. Není tedy nutné k zařízení přidávat odrušovací prvky, ale při tomto laboratorním měření byly k zařízení připojeny a změřeny stejné typy odrušovacích prvků jako při měření vyzářovaných emisí.

Zkoušené zařízení s ferity na obou koncích napájecího vedení

Obr. 4.10 Průběh rušivého signálu zařízení s ferity na obou koncích napájecího vedení změřený finálním testem

Při pohledu na Obr. 4.9 a Obr. 4.10 je vidět, že jak průběh změřený vrcholovým detektorem, tak následné doměření hodnot na jednotlivých frekvencích detektorem střední hodnoty a kvazivrcholovým detektorem se nijak výrazně nezměnily. Ferity na napájecím vedení tedy na omezení konduktivních emisí nemají téměř žádný vliv. Respektive ferity použité při tomto měření. Při měření byly totiž použity ferity s jádrem z materiálu NiZn. Tyto ferity potlačují rušení na frekvencích od 30 MHz do 1,5 GHz [19]. Jejich odrušovací schopnosti tedy začínají na frekvenci, na které toto měření končí. Ferity z materiálu NiZn jsou tedy vhodné pro omezení vyzařovaných emisí. Pro omezení konduktivních emisí by byl vhodnější ferit s jádrem z materiálu MnZn. Tento materiál má totiž lepší absorpční vlastnosti na nižších kmitočtech. Konkrétně lze opět vybrat ferit od společnosti Würth Elektronik, ze série STAR-FIX. Tento ferit má tedy jádro z MnZn a jeho frekvenční rozsah je od 150 kHz do 30 MHz [20]. Je tedy ideální pro omezování konduktivních emisí.

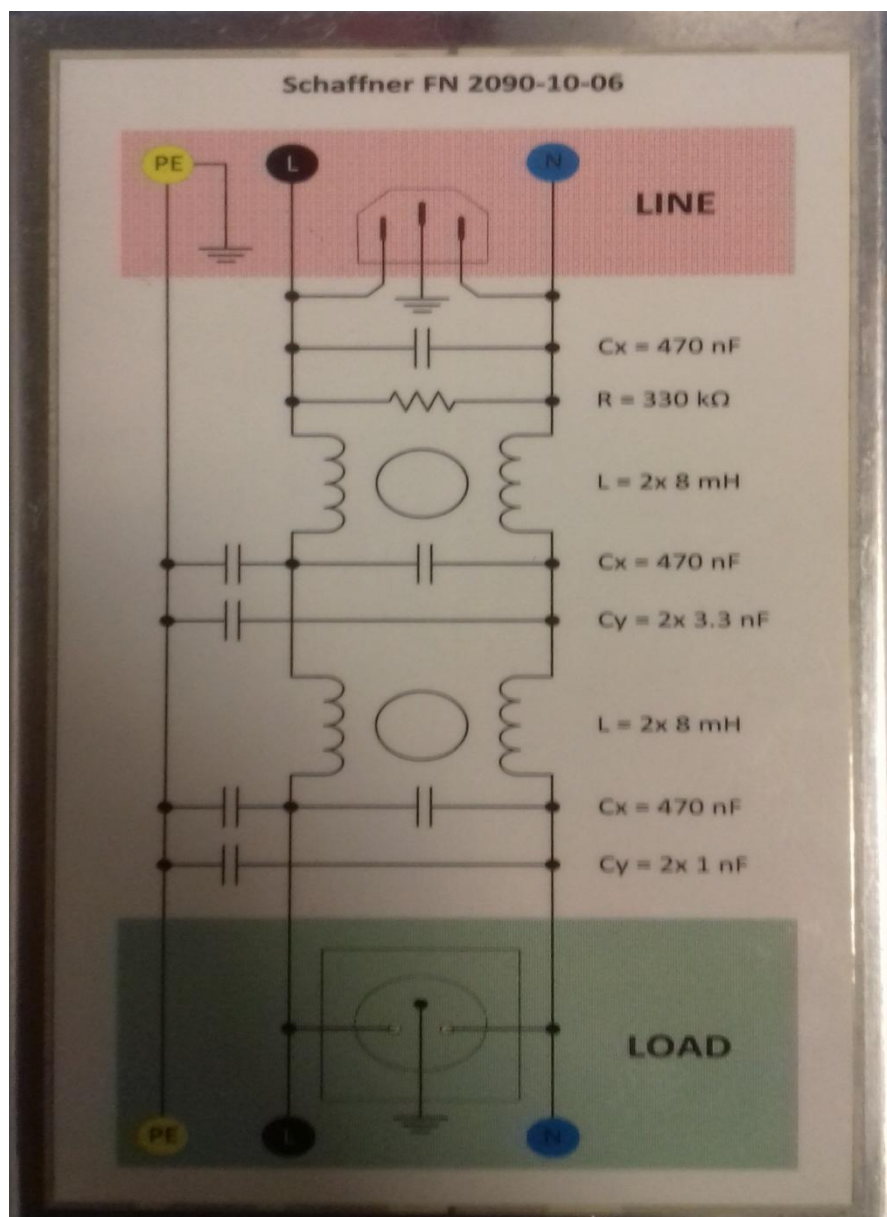
To že námi použitý ferit rušení neomezil, nevadí, jelikož jak je uvedeno výše, zkoušené zařízení i bez odrušovacích prvků meze dané normou ČSN EN 61000-6-3 splňuje.

Zkoušené zařízení s odrušovacím prvkem nejvíce omezujícím rušení

Obr. 4.11 Průběh rušivého signálu zkoušeného zařízení s odrušovacím filtrem Schaffner

Na Obr. 4.11 je zobrazen průběh rušivého signálu šířícího se napájecím vedením do sítě, který je omezen odrušovacím filtrem Schaffner FN 2090-10-06. Na tomto obrázku jsou zobrazeny meze, stejně jako u předchozích a zároveň jsou zobrazeny dva průběhy. Modrý průběh je průběh rušivého signálu změřený kvazivrcholovým detektorem a zelený je průběh změřený detektorem střední hodnoty. Tento filtr byl vybrán jako nejvhodnější z námi měřených typů filtrů, jelikož už od počátku (150 kHz) filtr výrazně omezil rušivý signál. Pro porovnání, kvazivrcholová hodnota rušivého napětí zařízení bez odrušovacího prvku byla téměř 55 dB μ V při 150 kHz, zatímco při stejné frekvenci, ale s filtrem Schaffner byla kvazivrcholová hodnota 30 dB μ V. Filtr tedy dokázal snížit kvazivrcholovou hodnotu rušení při 150 kHz o 25 dB μ V, což je velice výrazné snížení. Je to sice hodnota získaná v laboratorních podmínkách, nicméně dá se předpokládat, že v praxi nebude tato hodnota o mnoho menší. Dále je z obrázku vidět, že filtr dokázal rušení snížit v celém měřeném frekvenčním rozsahu. Ovšem na frekvencích přibližně od 4 MHz do 30 MHz lépe odrušovaly filtry značky ELSYST. Konkrétně typy BMV 01/16-3 a BMV 01/10. Tyto filtry však neomezily rušivý signál od počátku (150 kHz) do přibližně 400 kHz tak výrazně jako zmiňovaný filtr Schaffner. Průběhy rušivého signálu omezeného těmito filtry lze vidět v přílohách. Principiální schéma zapojení a parametry jednotlivých prvků

filtru Schaffner FN 2090-10-06 jsou zobrazeny na Obr. 4.12.



Obr. 4.12 Filtr Schaffner FN 2090-10-06

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo nejprve změřit emise na vybraném elektrickém zařízení a následně použít několik typů odrušovacích prvků k omezení těchto emisí. Získané výsledky vyhodnotit a porovnat jednotlivá opatření použitá k omezení rušení.

Práce se nejprve zabývá možnými zdroji rušení a vazbami, kterými se rušivý signál šíří mezi zdrojem a přijímačem rušení. Dále jsou v práci popsány měřiče rušení a jejich příslušenství. Následuje praktická část, která byla zaměřena na měření vyzařovaných a konduktivních emisí zkoušeného zařízení. Jako zkoušené zařízení byl vybrán vysavač Kärcher NT 361. Jelikož je tento vysavač určen spíše pro domácí prostředí, byly změřené emise porovnávány s limitami danými normou ČSN EN 61000-6-3. Tato norma totiž stanovuje požadavky EMC pro emise a platí pro přístroje, které jsou určeny k použití v prostředích obytných, obchodních a lehkého průmyslu.

V případě vyzařovaných emisí vyšlo při měření finálním testem, že na několika frekvencích přesahuje úroveň rušení danou mez. Bylo tedy na místě použít odrušovací prvek. Celkem bylo zkoušené zařízení měřeno se čtyřmi odrušovacími filtry a se třemi různými umístěními feritů na napájecí šňůře. Jako nejvíce omezující rušení se ukázalo umístění feritu na začátku a na konci vedení. Není však pravidlem, že proti vyzařovaným emisím působí lépe ferity než odrušovací filtry. Filtry, které byly použity k měření, neměly ideální parametry pro frekvenční rozsah, na němž bylo měřeno. Naopak ferity byly vhodné pro odrušování na vyšších frekvencích, jelikož se jednalo o ferity s jádrem z materiálu NiZn. Z měření také vyplynulo, že nevhodně vybraný odrušovací prvek nejen že rušení neomezí, ale může úroveň rušení i zvýšit. Tento jev je vidět v kapitole 4.2.3 na *Obr. 4.6*, kde jsou pro lepší představu porovnány průběhy s nevhodným odrušovacím prvkem a samotného zařízení. V praxi je tedy nutné na základě parametrů zařízení nebo předchozího měření navrhnout a zvolit nejvhodnější odrušovací prvek.

Při druhém měření, tedy měření konduktivních emisí, které se šíří napájecím vedením do sítě, změřené hodnoty ukázaly, že zkoušené zařízení i bez odrušovacích prvků normu ČSN EN 61000-6-3 splňuje. I přes tuto skutečnost měření pokračovalo s využitím stejných typů odrušovacích prvků jako v případě vyzařovaných emisí. Omezení rušení s použitím stejných prvků však byly dle očekávání v tomto případě rozdílné. Konduktivní emise se

totiž měří na nižších frekvencích než emise vyzařované. Odrušovací filtry, které se v předchozím případě neosvědčily, v případě konduktivních emisí rušení velice výrazně omezovaly. Naopak ferity, které vyzařované emise dokázaly omezit pod mez danou normou, konduktivní emise omezit nedokázaly. Nedošlo u nich ovšem ani k zesílení rušení.

V kapitole 4.2.3 na *Obr. 4.4* lze vidět problém, který nastal při měření vyzařovaných emisí na frekvencích přibližně od 100 MHz do 130 MHz. Úroveň rušení zde byla tak velká, že zřejmě došlo k přesycení a tím zahlcení vstupu měřicího přijímače. Kvůli tomu lze v průběhu rušivého signálu vidět neobvykle vysoké hodnoty. Tyto hodnoty tedy nebyly reálné, ale zkreslené. Pro další měření tedy bylo nutné najít řešení, kterým bylo zvýšení vstupního útlumu měřicího přijímače. Konkrétně se jednalo o zvýšení z 10 dB na 30 dB.

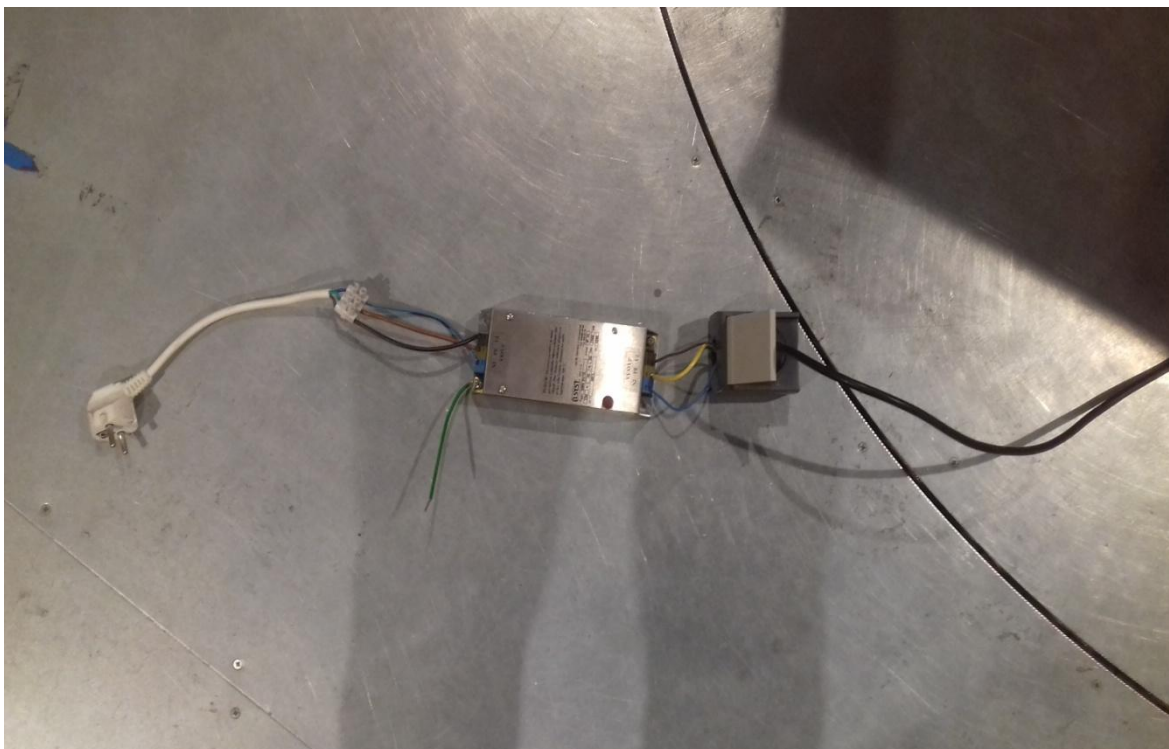
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] VACULÍKOVÁ, Polina, VACULÍK, Emil. *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů*. Praha : Grada Publishing, 1998. ISBN 80-7169-568-8
- [2] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility* [online]. [Cit. 10.11.2018]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/00031/index.html>
- [3] SVOBODA, Jaroslav, VACULÍKOVÁ, Polina, VONDRÁK, Miroslav, ZEMAN, Tomáš. *Základy elektromagnetické kompatibility*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 80-01-00982-3
- [4] NOVOTNÝ, Ondřej. *Interpretace testů impulzním napětím*. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. 2016
- [5] TESAŘOVÁ, Miloslava. přednášky z předmětu Průmyslová energetika. Plzeň, 2018.
- [6] MATUŠEK, Martin. *Zjišťování elektromagnetické emise el. pohonů strojirenských zařízení*. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. 1999
- [7] HOME.PILSFREE.NET [online] [citace 14.2.2019]. Dostupné z: <https://home.pilsfree.net/fantom/FEL/EMC/kompletEMC.pdf>
- [8] LAURENC, Jiří. přednášky z předmětu Elektromagnetická kompatibility zařízení. Plzeň, 2018.
- [9] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility* [online]. [Cit. 5.3.2019]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/01021/index.html#kap6>
- [10] LEVKO, Martin. *Měření elektromagnetických emisí*. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. 2017
- [11] MONTROSE, Mark I., NAKAUCHI, Edward M. *Testing for EMC Compliance Approaches and Techniques*. Canada : Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2004. ISBN 978-0-471-43308-8
- [12] OK1IKE.C-A-V.COM [online] [citace 25.3.2019]. Dostupné z: <http://ok1ike.c-a-v.com/soubory/ramovky.htm>
- [13] FRANKONIA-SOLUTIONS.COM [online] [citace 15.4.2019]. Dostupné z: <https://frankonia-solutions.com/wp-content/uploads/2016/12/Anechoic-Chambers-2018.pdf>

- [14] RELIANTEMC.COM [online] [citace 15.4.2019]. Dostupné z:
<https://www.reliantemc.com/download/FRANKONIA/Frankonia-Group-Ferrite-Absorber-FrankoSorb-F006.pdf>
- [15] RELIANTEMC.COM [online] [citace 15.4.2019]. Dostupné z:
<https://www.reliantemc.com/download/FRANKONIA/Frankonia-Group-Hybrid-Absorber-FrankoSorb-H450-A2.pdf>
- [16] EMCTEST.IT [online] [citace 16.4.2019]. Dostupné z:
https://www.emctest.it/public/pages/strumentazione/elenco/Frankonia/Log%20Periodic%20Antenna%2030MHz%20-%202GHz/Datasheet/Log-periodica%20Frankonia_30MHz-2GHz.pdf
- [17] ROHDE&SCHWARZ.COM [online] [citace 16.4.2019]. Dostupné z:
https://www.rohde-schwarz.com/us/product/esr-productstartpage_63493-17877.html
- [18] VONDRÁK, Miroslav. *Vybrané stati z elektromagnetické kompatibility*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03573-5
- [19] CZ.FARNELL.COM [online] [citace 23.4.2019]. Dostupné z:
<https://cz.farnell.com/wurth-elektronik/74271131/ferrite-core-split-7-5mm-246ohm/dp/1635617>
- [20] CZ.FARNELL.COM [online] [citace 29.4.2019]. Dostupné z:
<https://cz.farnell.com/wurth-elektronik/74272733/ferrite-core-split-8mm-30mhz/dp/1800423>
- [21] ANTLOVÁ, Kateřina, ERBALOVÁ, Kateřina, KRBCOVÁ, Jitka, MACOUNOVÁ, Lucie, ŽIVNÁ, Jaromíra. *Odrušovací vysokofrekvenční filtry*. Západočeská univerzita v Plzni. 2001
- [22] VALUETRONICS.COM [online] [citace 16.5.2019]. Dostupné z:
<https://www.valuetronics.com/product/esr7-rohde-schwarz-receiver-used>

Přílohy

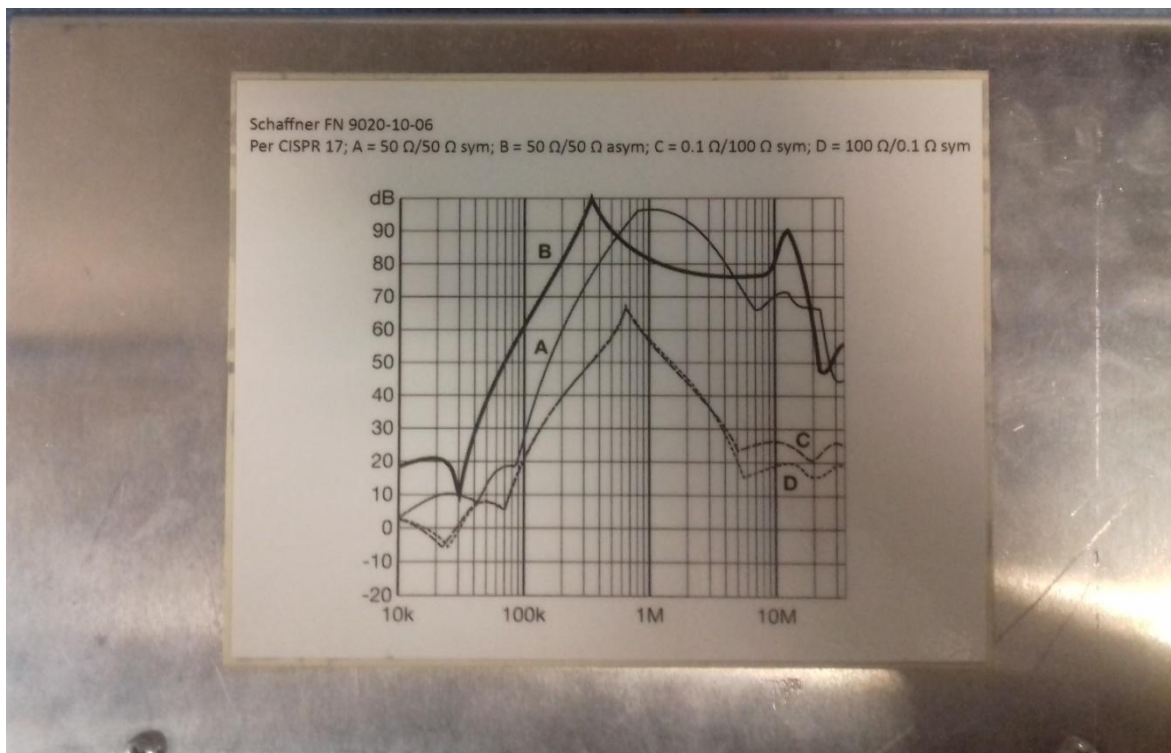
Příloha A: Fotografie z měření v bezdrazové komoře



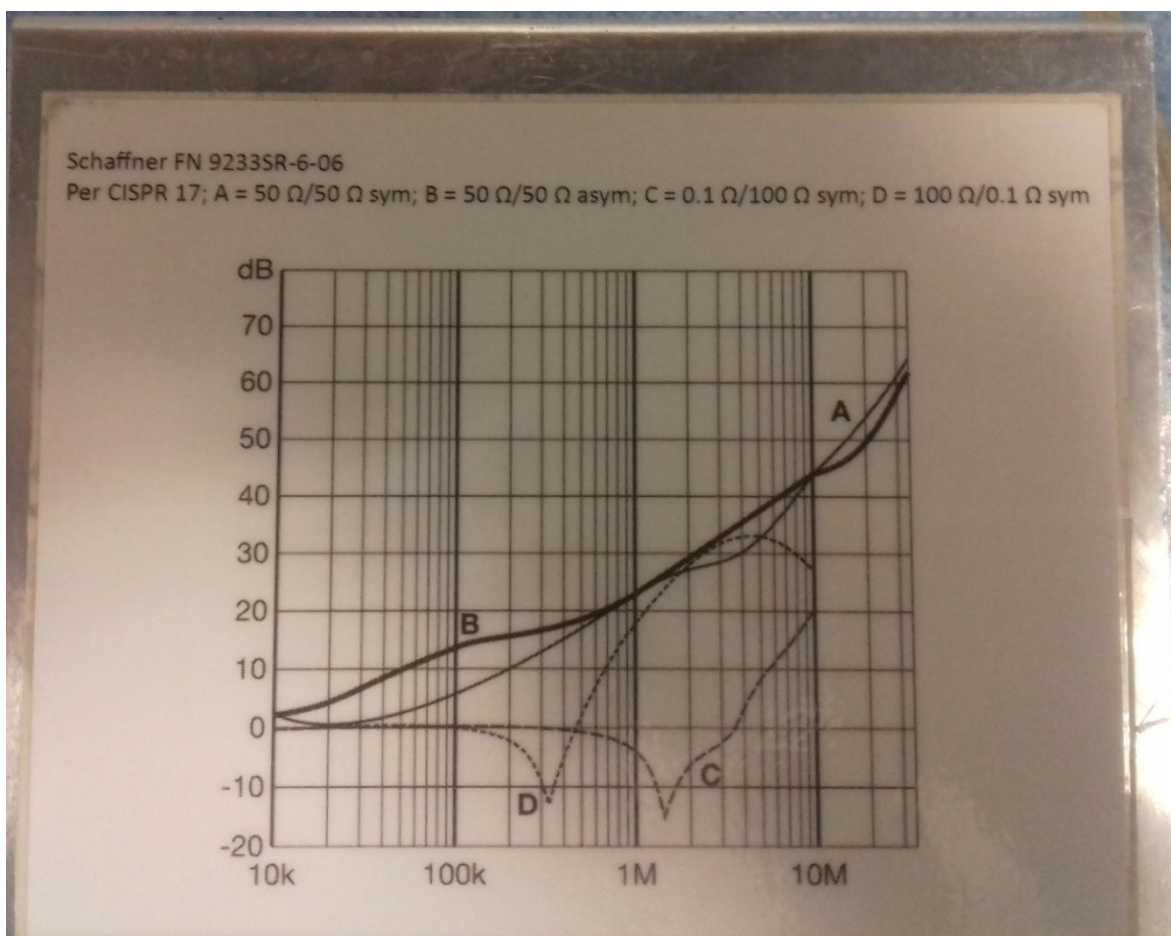
Obr. 1. A Zapojení odrušovacího filtru ELSYST



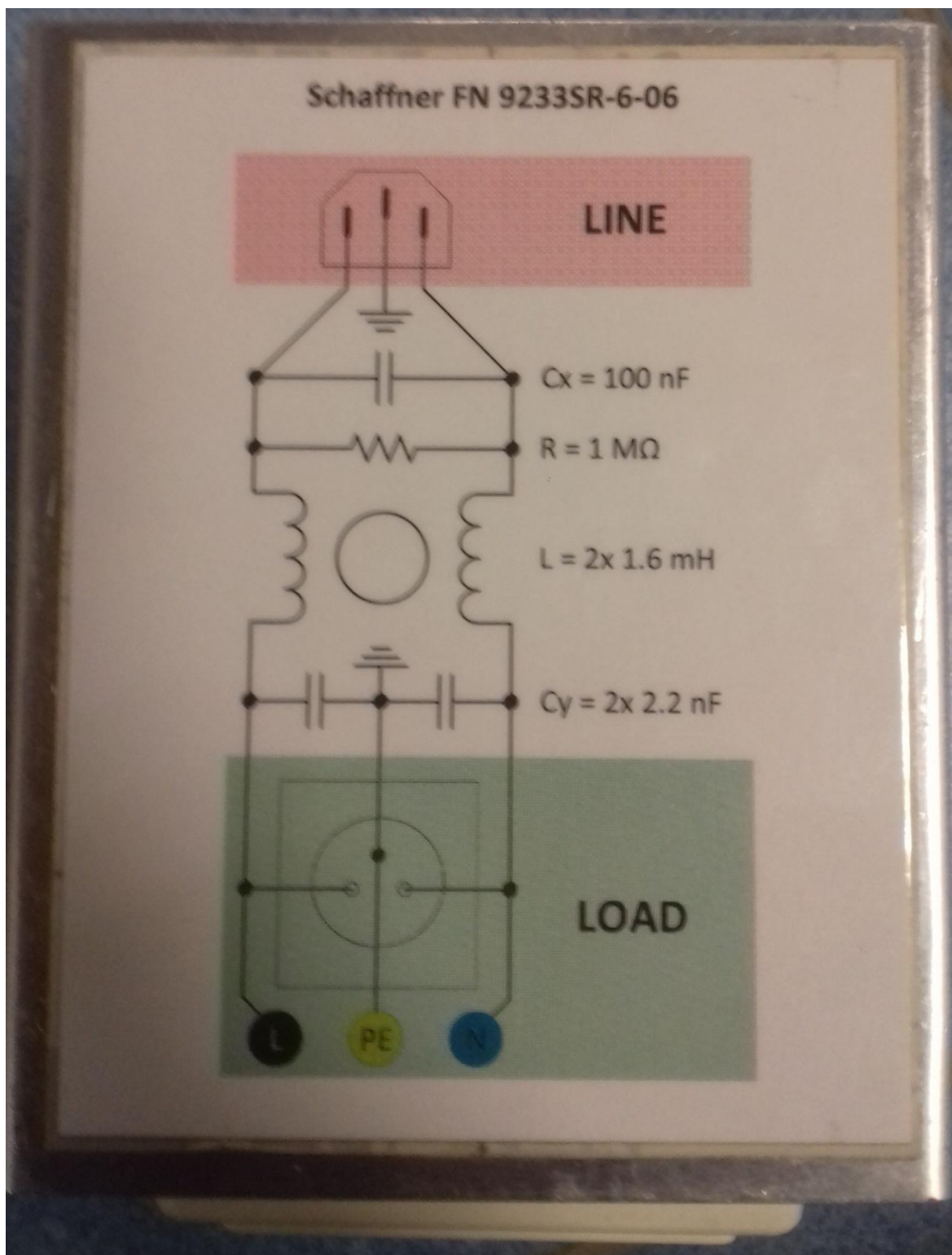
Obr. 2. A Zapojení odrušovacího filtru Schaffner



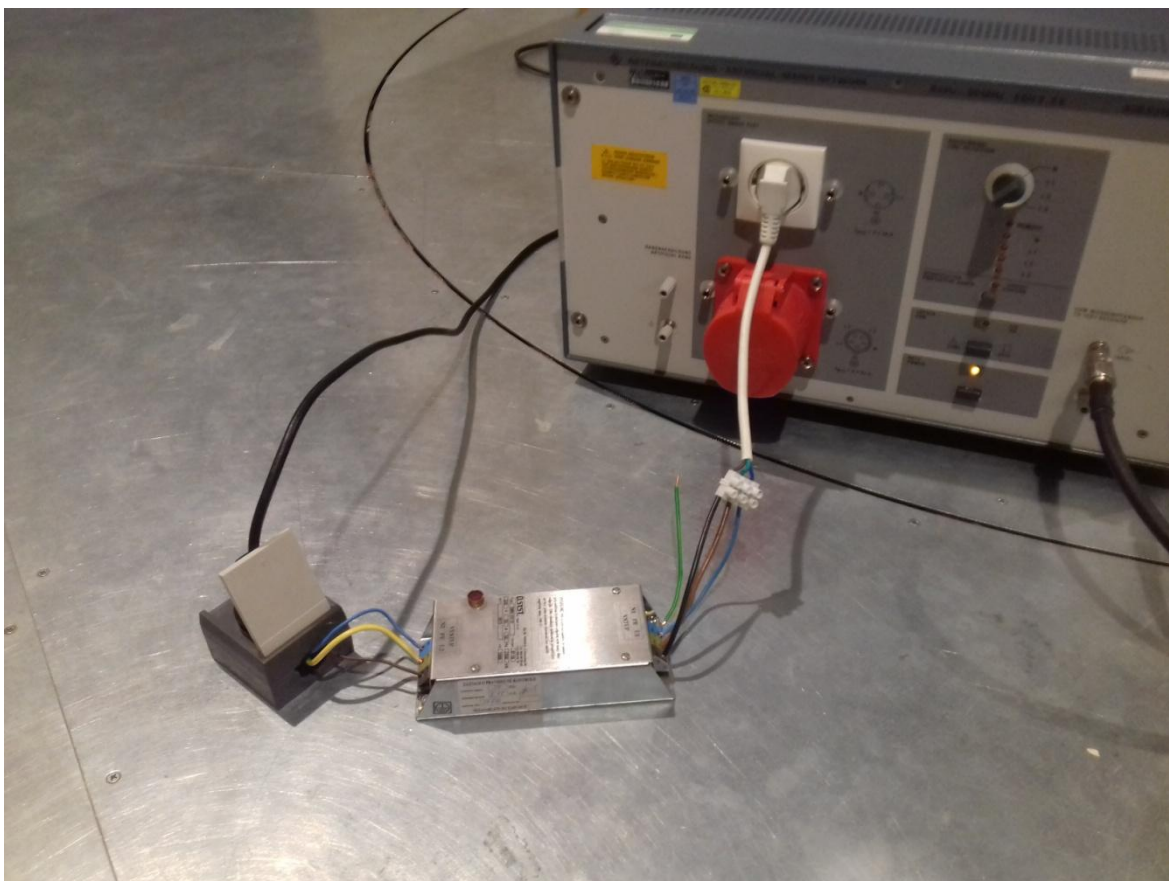
Obr. 3. A Frekvenční útlumová charakteristika filtru Schaffner FN 9020-10-06



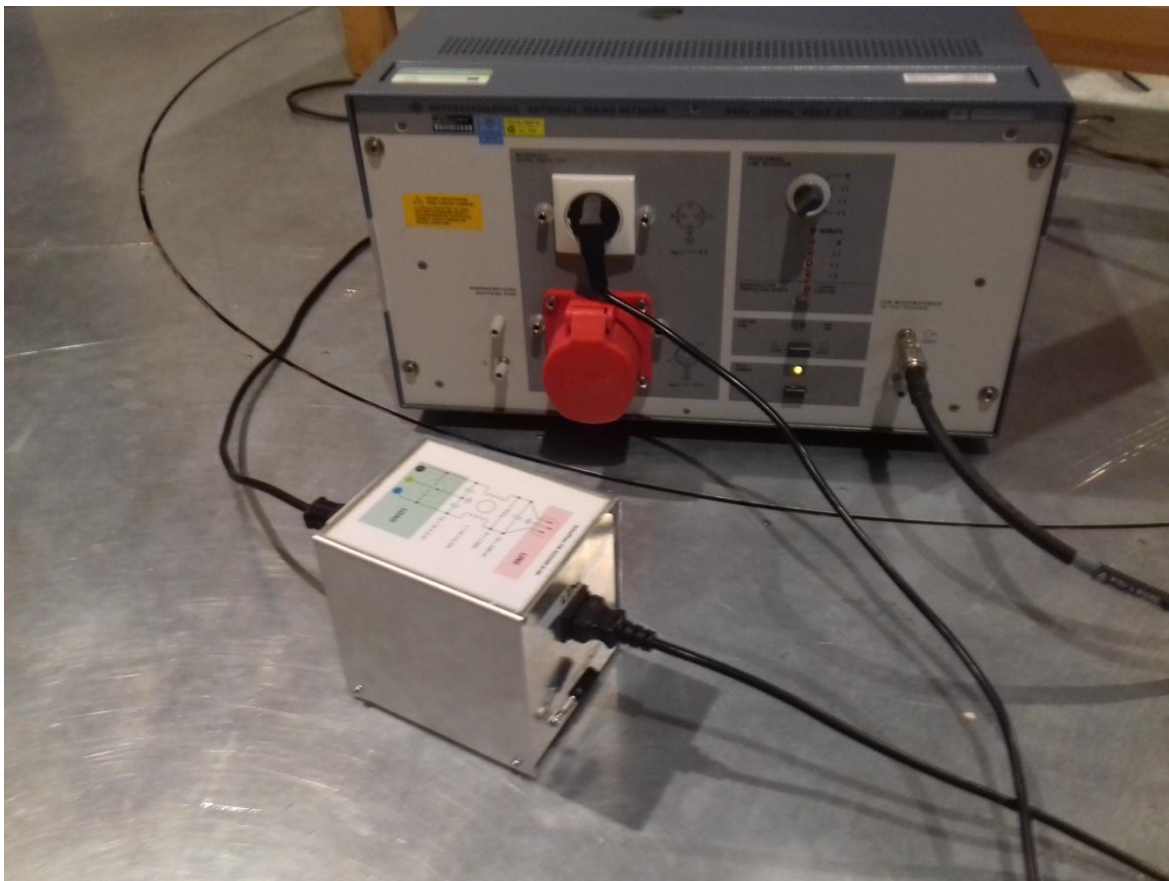
Obr. 4. A Frekvenční útlumová charakteristika filtru Schaffner FN 9233SR-6-06



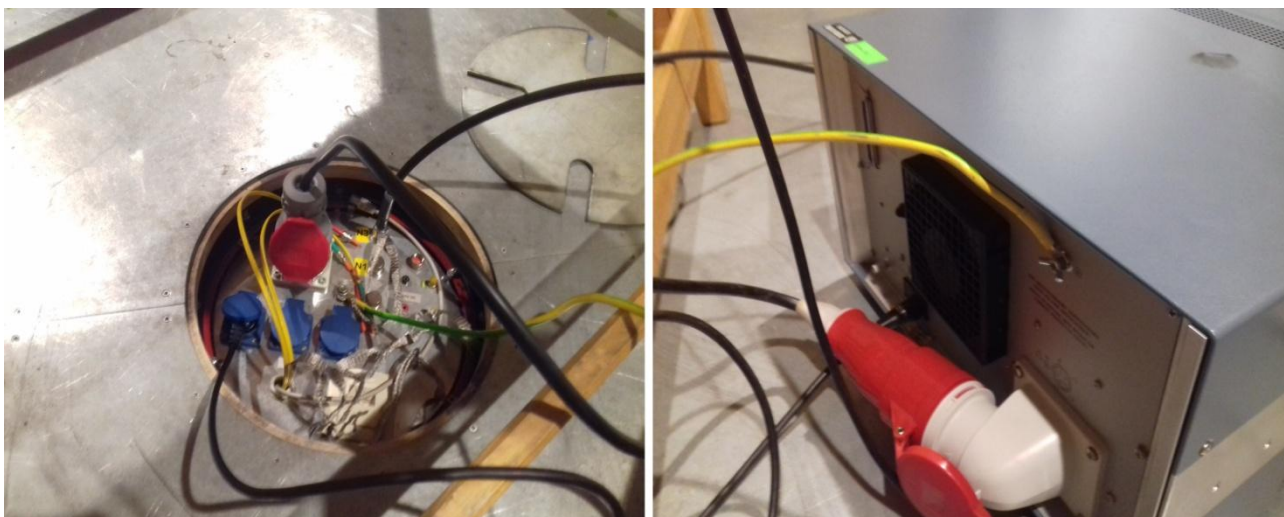
Obr. 5. A Principiální zapojení filtru Schaffner FN 9233SR-6-06



Obr. 6. A Zapojení filtru ELSYST k umělé síti



Obr. 7. A Zapojení filtru Schaffner k umělé síti

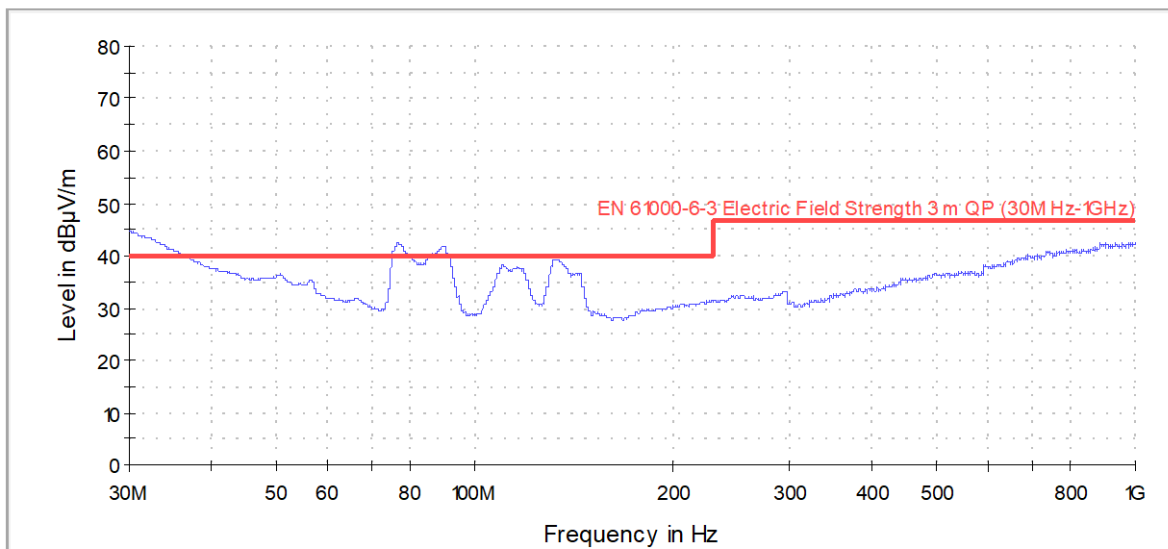


Obr. 8. A Zapojení umělé sítě k napájecí síti

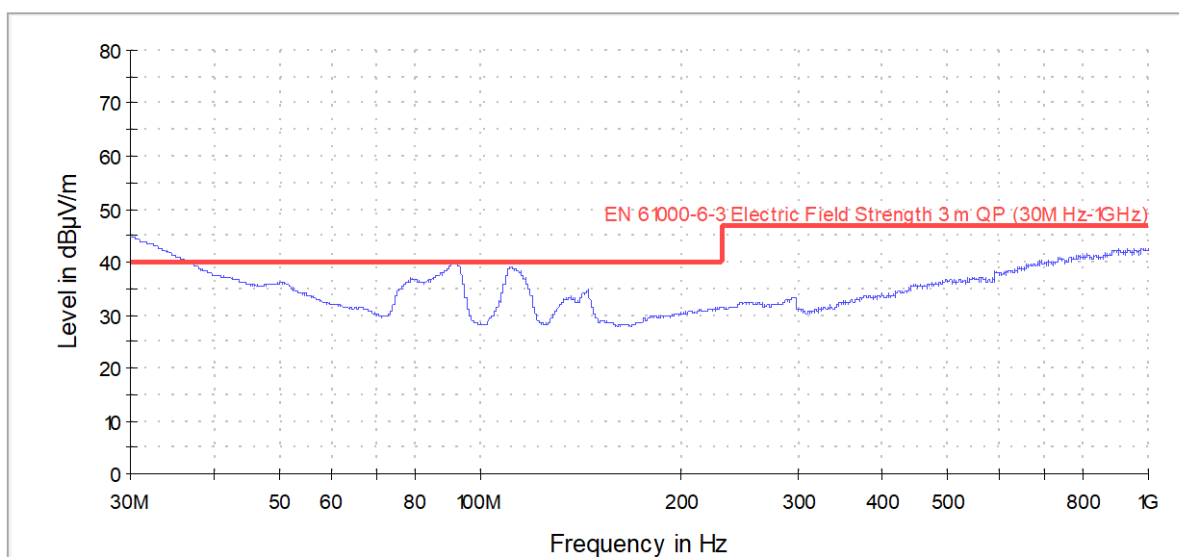


Obr. 9. A Detail na ovládací část umělé sítě

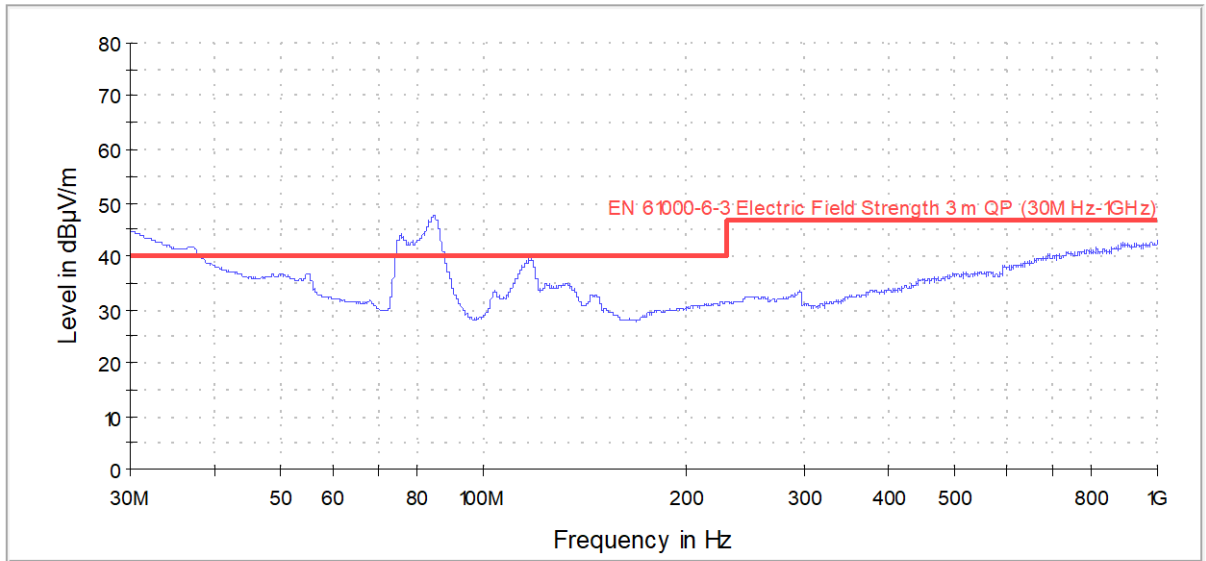
Příloha B: Naměřené průběhy rušivých signálů



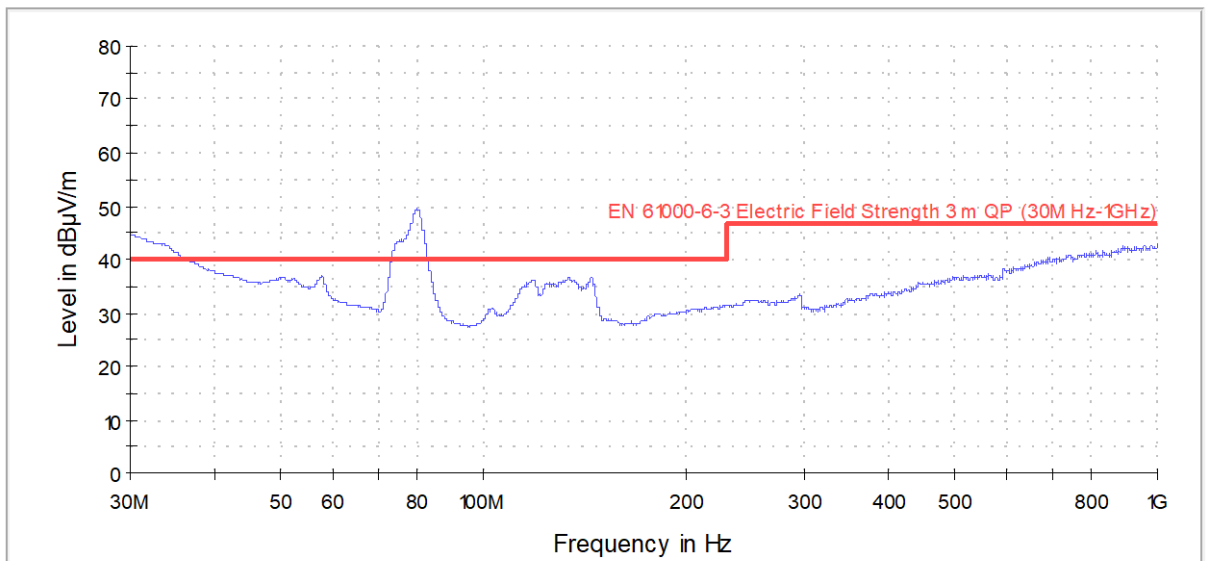
Obr. 1. B Průběh vyzařovaných emisí zkoušeného zařízení



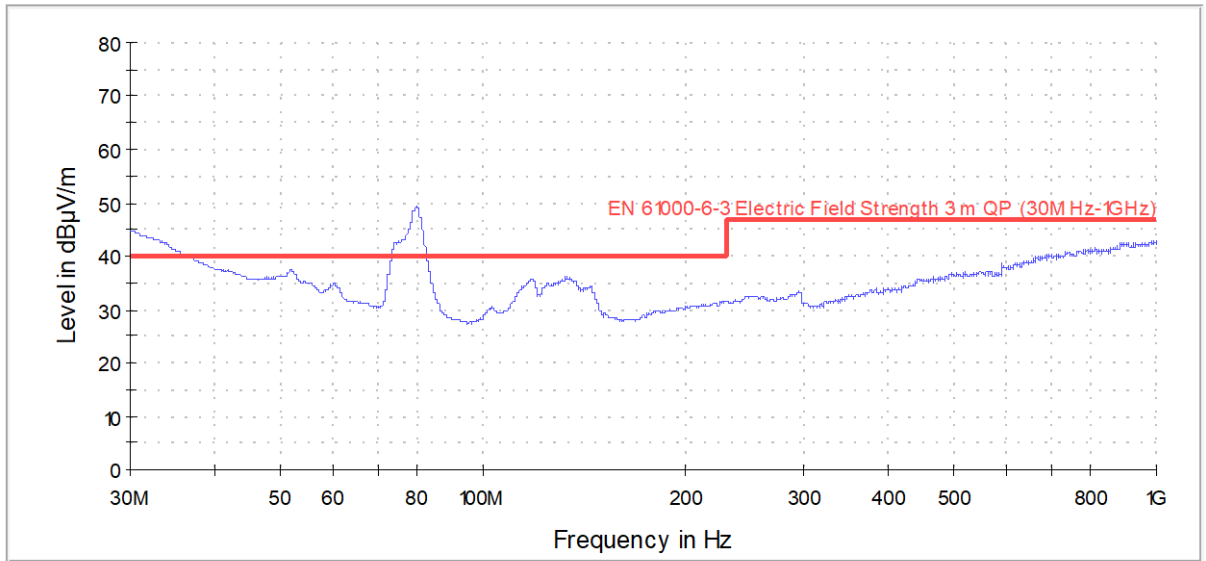
Obr. 2. B Průběh vyzařovaných emisí zkoušeného zařízení s feritem na začátku napájecího vedení



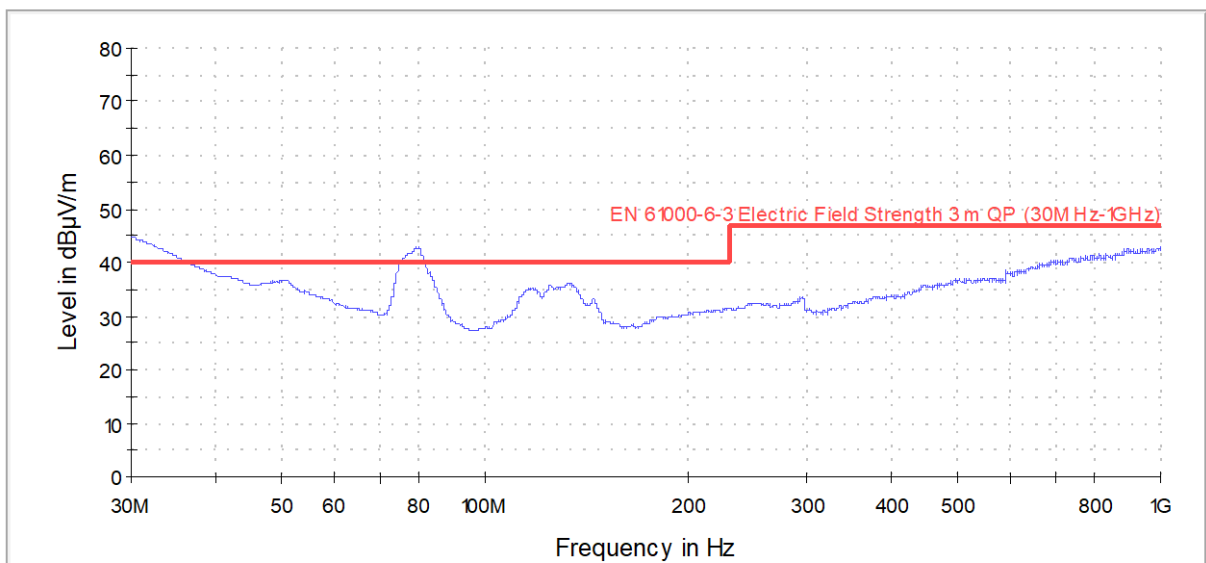
Obr. 3. B Průběh vyzařovaných emisí zkoušeného zařízení s filtrem ELSYST BMV 01



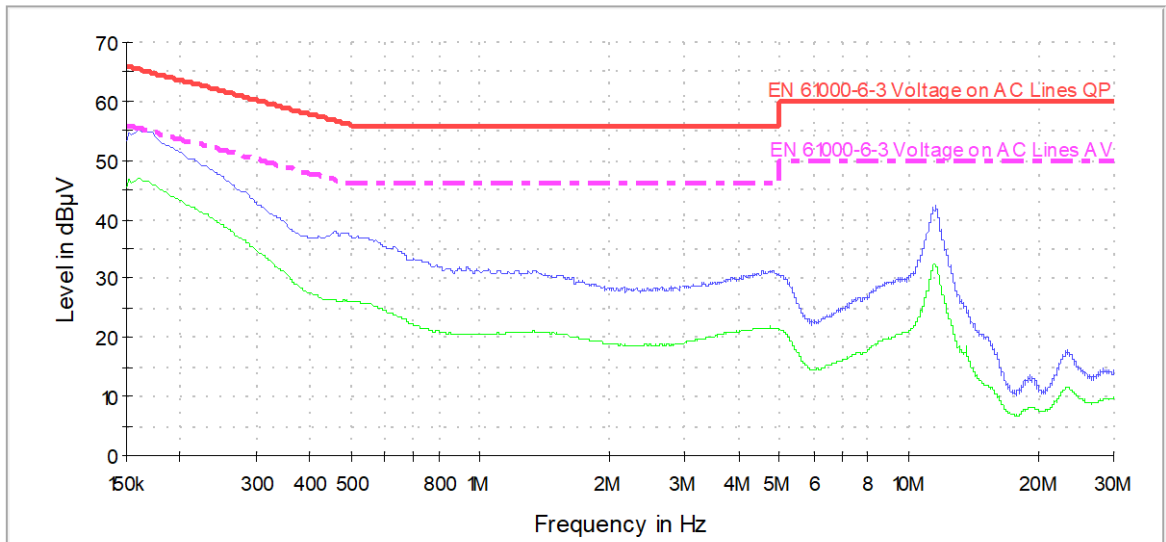
Obr. 4. B Průběh vyzařovaných emisí zkoušeného zařízení s filtrem Schaffner FN 9233SR-6-06



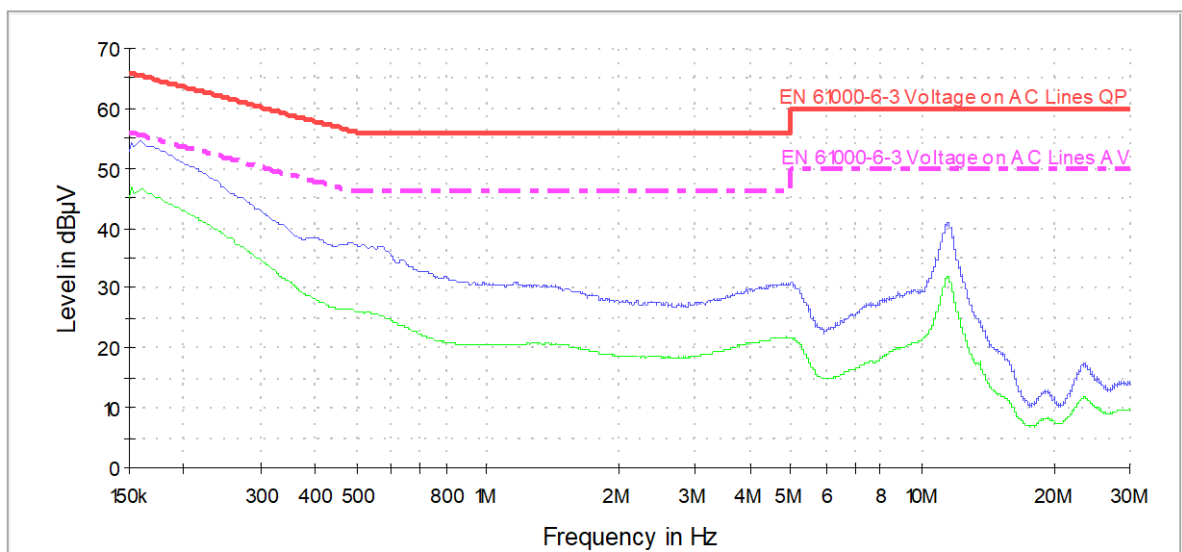
Obr. 5. B Průběh vyzařovaných emisí zkoušeného zařízení Schaffner FN 2090-10-06



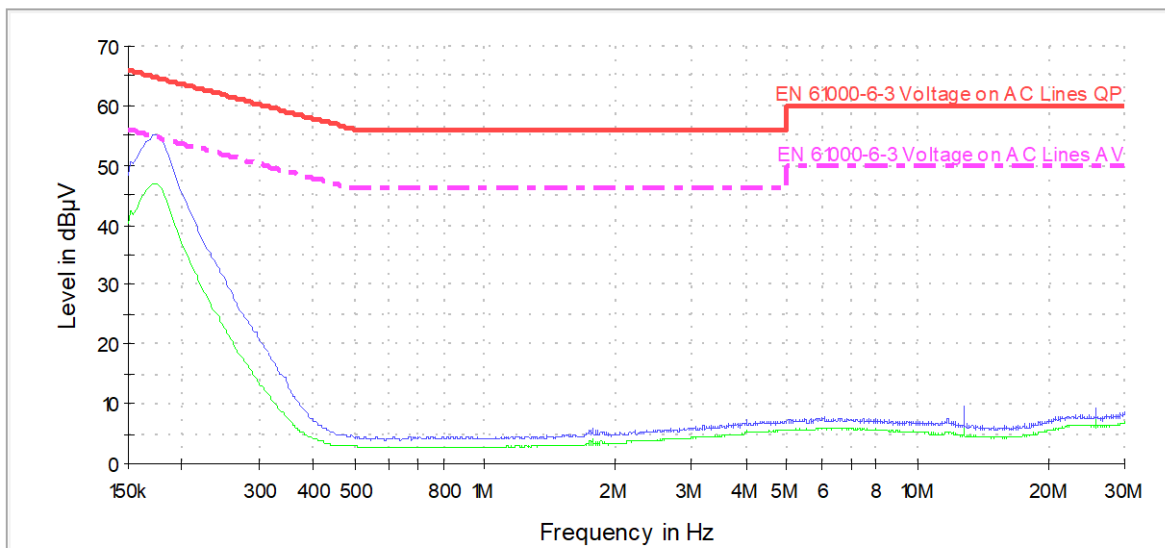
Obr. 6. B Průběh vyzařovaných emisí zkoušeného zařízení s feritem na konci napájecího vedení



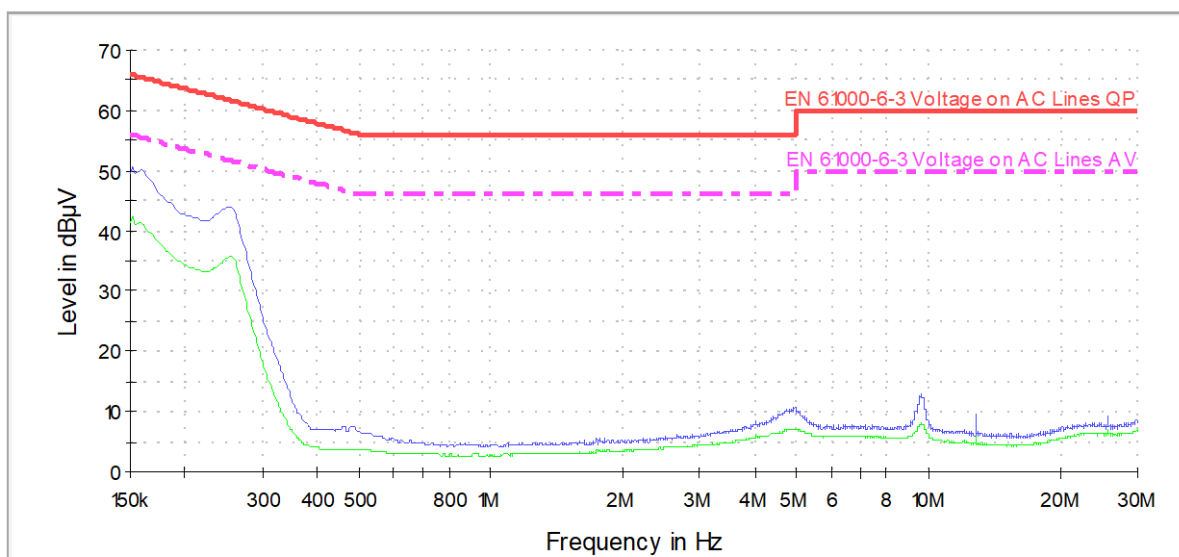
Obr. 7. B Průběh konduktivních emisí zkoušeného zařízení



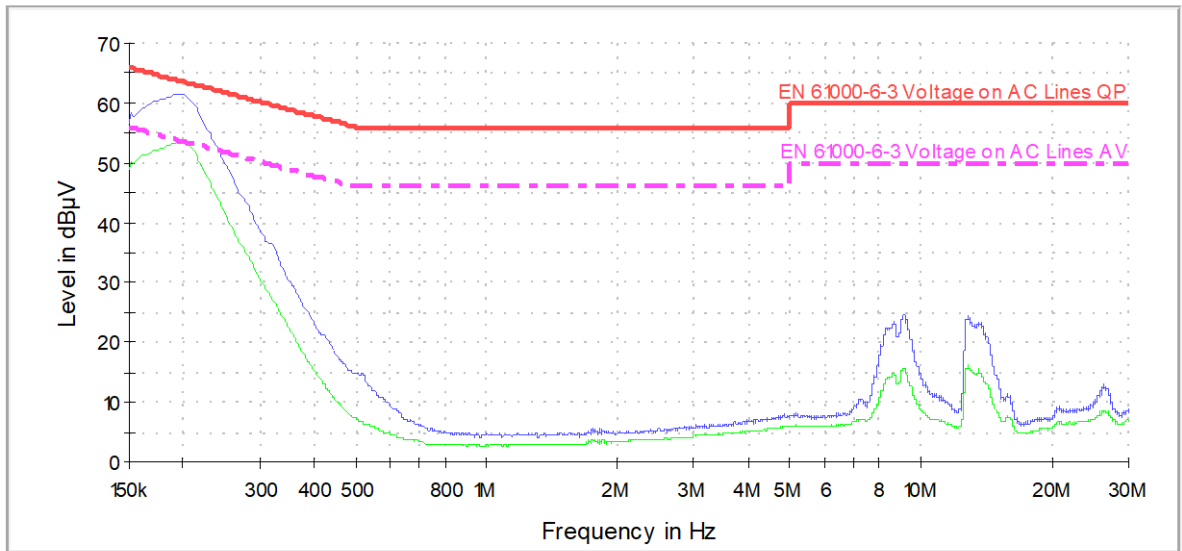
Obr. 8. B Průběh konduktivních emisí zkoušeného zařízení s feritem na začátku vedení



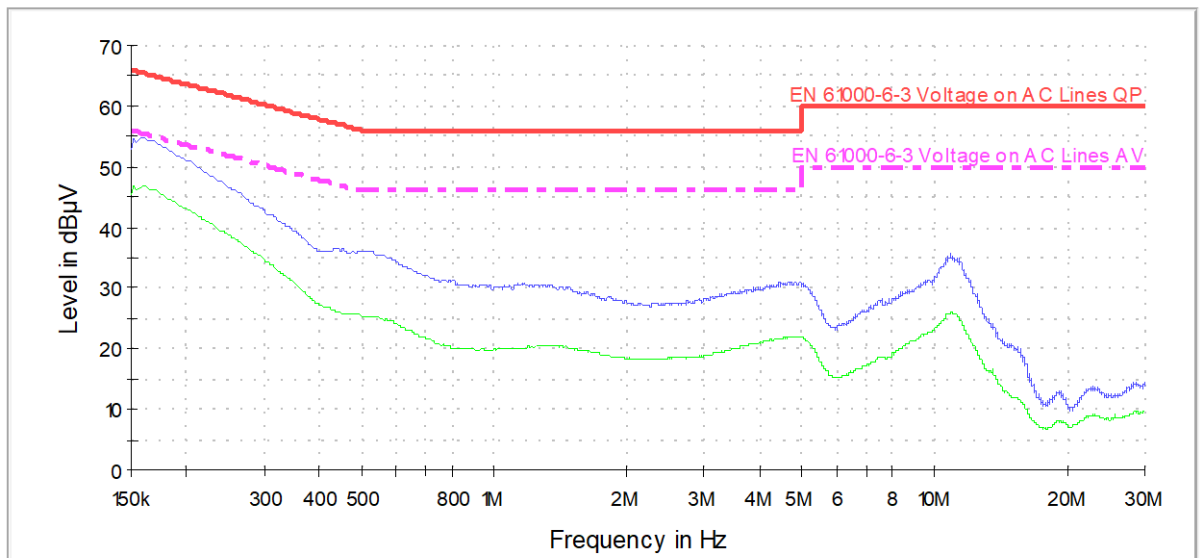
Obr. 9. B Průběh konduktivních emisí zkoušeného zařízení s filtrem ELSYST BMV 01/10



Obr. 10. B Průběh konduktivních emisí zkoušeného zařízení s filtrem ELSYST BMV 01



Obr. 11. B Průběh konduktivních emisí zkoušeného zařízení s filtrem Schaffner FN 9233SR-6-06



Obr. 12. B Průběh konduktivních emisí zkoušeného zařízení s feritem na konci napájecího vedení

Příloha C: Tabulky hodnot rušivých emisí

Frekvence	Test	QP hodnota	Mez	Odchylka od meze	Doba měření	Šířka pásma	Výška antény	Polarizace antény	Otočení zařízení
[MHz]		[dB μ V/m]	[dB μ V/m]	[dB]	[ms]	[kHz]	[cm]		[°]
32,940000	FINAL	33,75	40,00	6,25	1000,0	120,000	200,0	V	-90,0
33,420000	FINAL	31,41	40,00	8,59	1000,0	120,000	200,0	V	-90,0
54,510000	FINAL	32,95	40,00	7,05	1000,0	120,000	100,0	V	-90,0
54,840000	FINAL	32,88	40,00	7,12	1000,0	120,000	100,0	V	-90,0
55,530000	FINAL	32,07	40,00	7,93	1000,0	120,000	100,0	V	-90,0
77,280000	FINAL	41,71	40,00	-1,71	1000,0	120,000	200,0	V	180,0
77,700000	FINAL	41,79	40,00	-1,79	1000,0	120,000	100,0	V	0,0
89,790000	FINAL	42,02	40,00	-2,02	1000,0	120,000	100,0	V	180,0
114,900000	FINAL	39,97	40,00	0,03	1000,0	120,000	300,0	H	90,0
115,860000	FINAL	39,76	40,00	0,24	1000,0	120,000	300,0	H	90,0
117,510000	FINAL	39,23	40,00	0,77	1000,0	120,000	300,0	H	90,0
122,970000	FINAL	28,68	40,00	11,32	1000,0	120,000	300,0	H	90,0
123,720000	FINAL	27,43	40,00	12,57	1000,0	120,000	300,0	H	90,0
136,650000	FINAL	38,87	40,00	1,13	1000,0	120,000	100,0	V	180,0
243,060000	FINAL	28,00	47,00	19,00	1000,0	120,000	100,0	H	-90,0
243,540000	FINAL	28,31	47,00	18,69	1000,0	120,000	100,0	H	-90,0
267,090000	FINAL	33,70	47,00	13,30	1000,0	120,000	100,0	H	90,0
284,460000	FINAL	35,70	47,00	11,30	1000,0	120,000	100,0	H	-90,0
457,680000	FINAL	27,32	47,00	19,68	1000,0	120,000	300,0	H	-90,0
457,860000	FINAL	27,53	47,00	19,47	1000,0	120,000	300,0	H	-90,0
521,010000	FINAL	29,16	47,00	17,84	1000,0	120,000	100,0	H	90,0
531,120000	FINAL	29,90	47,00	17,10	1000,0	120,000	100,0	H	90,0
795,090000	FINAL	32,73	47,00	14,27	1000,0	120,000	100,0	V	0,0
914,340000	FINAL	28,07	47,00	18,93	1000,0	120,000	100,0	H	0,0

Tab. 1. C Tabulka hodnot vyzářovaných emisí zkoušeného zařízení

Frekvence	Test	QP hodnota	Mez	Odchylka od meze	Doba měření	Šířka pásma	Výška antény	Polarizace antény	Otočení zařízení
[MHz]		[dB μ V/m]	[dB μ V/m]	[dB]	[ms]	[kHz]	[cm]		[°]
38,910000	FINAL	27,92	40,00	12,08	1000,0	120,000	300,0	V	180,0
39,660000	FINAL	28,26	40,00	11,74	1000,0	120,000	300,0	V	180,0
48,630000	FINAL	30,84	40,00	9,16	1000,0	120,000	200,0	V	90,0
55,800000	FINAL	30,14	40,00	9,86	1000,0	120,000	100,0	V	180,0
56,310000	FINAL	30,15	40,00	9,85	1000,0	120,000	100,0	V	180,0
62,310000	FINAL	20,32	40,00	19,68	1000,0	120,000	400,0	H	90,0
63,660000	FINAL	19,07	40,00	20,93	1000,0	120,000	400,0	H	90,0
75,210000	FINAL	32,15	40,00	7,85	1000,0	120,000	200,0	V	-90,0
76,020000	FINAL	32,62	40,00	7,38	1000,0	120,000	200,0	V	-90,0
104,910000	FINAL	31,96	40,00	8,04	1000,0	120,000	100,0	H	0,0
105,750000	FINAL	31,84	40,00	8,16	1000,0	120,000	100,0	H	0,0
127,170000	FINAL	31,56	40,00	8,44	1000,0	120,000	300,0	H	90,0
145,020000	FINAL	34,02	40,00	5,98	1000,0	120,000	300,0	V	0,0

145,350000	FINAL	36,49	40,00	3,51	1000,0	120,000	200,0	H	-90,0
223,650000	FINAL	27,11	40,00	12,89	1000,0	120,000	100,0	H	-90,0
224,220000	FINAL	25,98	40,00	14,02	1000,0	120,000	100,0	H	-90,0
261,840000	FINAL	32,18	47,00	14,82	1000,0	120,000	300,0	H	-90,0
262,050000	FINAL	32,82	47,00	14,18	1000,0	120,000	300,0	H	-90,0
396,510000	FINAL	25,27	47,00	21,73	1000,0	120,000	200,0	H	90,0
406,980000	FINAL	21,50	47,00	25,50	1000,0	120,000	200,0	H	90,0
629,100000	FINAL	26,11	47,00	20,89	1000,0	120,000	200,0	V	0,0
662,580000	FINAL	26,41	47,00	20,59	1000,0	120,000	200,0	V	0,0
922,140000	FINAL	27,16	47,00	19,84	1000,0	120,000	300,0	H	-90,0
923,340000	FINAL	27,85	47,00	19,15	1000,0	120,000	300,0	H	-90,0

Tab. 2. C Tabulka hodnot vyzařovaných emisí zkoušeného zařízení s feritem na obou koncích napájecího vedení

Frekvence	Test	QP hodnota	AV hodnota	Mez	Odchylka od meze	Doba měření	Šířka pásma	Vodič
[MHz]		[dB μ V]	[dB μ V]	[dB μ V]	[dB]	[ms]	[kHz]	
0,163499	FINAL	---	46,64	55,28	8,64	1000,0	9,000	L1
0,203999	FINAL	51,04	---	63,45	12,41	1000,0	9,000	N
0,215249	FINAL	---	42,09	53,00	10,92	1000,0	9,000	N
0,253499	FINAL	46,33	---	61,64	15,31	1000,0	9,000	L1
0,307499	FINAL	---	34,08	50,04	15,96	1000,0	9,000	L1
0,347999	FINAL	39,98	---	59,01	19,03	1000,0	9,000	L1
0,464999	FINAL	---	26,20	46,60	20,41	1000,0	9,000	L1
0,485249	FINAL	37,14	---	56,25	19,10	1000,0	9,000	L1
0,617999	FINAL	---	23,66	46,00	22,34	1000,0	9,000	N
0,633749	FINAL	33,96	---	56,00	22,04	1000,0	9,000	L1
1,047749	FINAL	30,22	---	56,00	25,78	1000,0	9,000	L1
1,189499	FINAL	30,11	---	56,00	25,89	1000,0	9,000	N
1,207499	FINAL	---	20,40	46,00	25,60	1000,0	9,000	N
1,252499	FINAL	29,97	---	56,00	26,03	1000,0	9,000	N
1,252499	FINAL	---	20,68	46,00	25,32	1000,0	9,000	N
1,785749	FINAL	---	19,18	46,00	26,82	1000,0	9,000	N
1,873499	FINAL	27,69	---	56,00	28,31	1000,0	9,000	L1
2,620499	FINAL	27,40	---	56,00	28,60	1000,0	9,000	L1
3,081749	FINAL	28,87	---	56,00	27,13	1000,0	9,000	L1
3,585749	FINAL	---	20,65	46,00	25,35	1000,0	9,000	L1
3,950249	FINAL	30,26	---	56,00	25,74	1000,0	9,000	L1
4,548749	FINAL	32,57	---	56,00	23,43	1000,0	9,000	L1
4,865999	FINAL	---	23,07	46,00	22,93	1000,0	9,000	L1
5,133749	FINAL	31,50	---	60,00	28,50	1000,0	9,000	L1
5,140499	FINAL	---	21,78	50,00	28,22	1000,0	9,000	L1
10,308749	FINAL	31,14	---	60,00	28,86	1000,0	9,000	L1
10,385249	FINAL	---	22,67	50,00	27,33	1000,0	9,000	L1
11,476499	FINAL	---	32,36	50,00	17,64	1000,0	9,000	N
11,478749	FINAL	41,36	---	60,00	18,64	1000,0	9,000	L1
14,810999	FINAL	---	12,40	50,00	37,60	1000,0	9,000	N
14,936999	FINAL	18,09	---	60,00	41,91	1000,0	9,000	L1

19,889249	FINAL	12,79	---	60,00	47,21	1000,0	9,000	L1
23,529749	FINAL	---	11,69	50,00	38,31	1000,0	9,000	N
24,312749	FINAL	14,57	---	60,00	45,43	1000,0	9,000	L1

Tab. 3. C Tabulka hodnot konduktivních emisí zkoušeného zařízení

Frekvence	Test	QP hodnota	AV hodnota	Mez	Odchylka od meze	Doba měření	Šířka pásma	Vodič
[MHz]		[dB μ V]	[dB μ V]	[dB μ V]	[dB]	[ms]	[kHz]	
0,154499	FINAL	---	46,99	55,76	8,77	1000,0	9,000	L1
0,167999	FINAL	53,61	---	65,06	11,45	1000,0	9,000	L1
0,215249	FINAL	---	41,96	53,00	11,04	1000,0	9,000	N
0,244499	FINAL	47,18	---	61,94	14,77	1000,0	9,000	N
0,305249	FINAL	---	34,66	50,10	15,44	1000,0	9,000	N
0,307499	FINAL	42,32	---	60,04	17,72	1000,0	9,000	N
0,478499	FINAL	36,37	---	56,37	20,00	1000,0	9,000	N
0,503249	FINAL	---	26,09	46,00	19,91	1000,0	9,000	N
0,620249	FINAL	---	24,00	46,00	22,00	1000,0	9,000	N
0,622499	FINAL	34,80	---	56,00	21,20	1000,0	9,000	N
0,914999	FINAL	30,23	---	56,00	25,77	1000,0	9,000	N
1,209749	FINAL	---	20,86	46,00	25,14	1000,0	9,000	N
1,335749	FINAL	---	21,04	46,00	24,96	1000,0	9,000	N
1,344749	FINAL	30,29	---	56,00	25,71	1000,0	9,000	N
1,783499	FINAL	---	19,59	46,00	26,41	1000,0	9,000	N
1,787999	FINAL	28,70	---	56,00	27,30	1000,0	9,000	N
3,288749	FINAL	28,54	---	56,00	27,46	1000,0	9,000	L1
3,464249	FINAL	---	20,66	46,00	25,34	1000,0	9,000	L1
4,663499	FINAL	---	23,21	46,00	22,79	1000,0	9,000	L1
4,859249	FINAL	33,10	---	56,00	22,90	1000,0	9,000	L1
5,133749	FINAL	---	22,42	50,00	27,58	1000,0	9,000	L1
5,174249	FINAL	31,61	---	60,00	28,39	1000,0	9,000	L1
9,381749	FINAL	32,96	---	60,00	27,04	1000,0	9,000	L1
9,734999	FINAL	32,63	---	60,00	27,37	1000,0	9,000	L1
10,270499	FINAL	33,63	---	60,00	26,37	1000,0	9,000	L1
10,385249	FINAL	---	26,01	50,00	23,99	1000,0	9,000	L1
10,434749	FINAL	35,11	---	60,00	24,89	1000,0	9,000	L1
10,632749	FINAL	36,60	---	60,00	23,40	1000,0	9,000	L1
11,163749	FINAL	---	30,47	50,00	19,53	1000,0	9,000	N
11,269499	FINAL	38,81	---	60,00	21,19	1000,0	9,000	L1
14,869499	FINAL	---	12,56	50,00	37,44	1000,0	9,000	N
15,175499	FINAL	17,29	---	60,00	42,71	1000,0	9,000	L1
23,007749	FINAL	---	10,63	50,00	39,37	1000,0	9,000	N
23,027999	FINAL	17,95	---	60,00	42,05	1000,0	9,000	N

Tab. 4. C Tabulka hodnot konduktivních emisí zkoušeného zařízení s feritem na obou koncích napájecího vedení