

Elektromagnetické interference spínaných napět'ových měničů

Bc. Jan Pilař

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Pilař**
Osobní číslo: **A13325**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Elektromagnetické interference spínaných
napěťových měničů**
Téma anglicky: **The Electromagnetic Interferences of Switched-mode Voltage
Converters**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte si problematiku elektromagnetické kompatibility s ohledem na interference vyzářované skrze svorky zařízení a prostřednictvím elektromagnetického pole.
2. Seznamte se s konstrukcí a zapojením vzorků měřených spínaných zdrojů.
3. Osvojte si práci s potřebným vybavením Laboratoře elektromagnetické kompatibility.
4. Provedte měření rušivého vyzářování u připravených vzorků měničů.
5. Zhodnoťte výsledky měření a v případě výskytu nadlimitních hodnot rušení navrhněte možná opatření směřující k jejich potlačení.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **FAKTOR, Zdeněk.** Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2002, 243 s. ISBN 80-860-5691-0.
2. **MILAN MIKULEC, Václav Havlíček.** Základy teorie elektrických obvodů. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2519-5.
3. **KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH.** EMC z hlediska teorie a aplikace. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006, 216 s. ISBN 80-730-0202-7.
4. **SVAČINA, Jiří.** Elektromagnetická kompatibilita: Principy a poznámky. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2001, 156 s. ISBN 80-214-1873-7.
5. **SVAČINA, Jiří.** Základy elektromagnetické kompatibility: Přednášky. 1. vyd. Brno: VUT, 2001, 155 s. ISBN 80-214-1573-8.
6. **KŮS, Václav.** Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2002, 183 s. ISBN 80-730-0062-8.
7. **MAYER, Daniel.** Aplikovaný elektromagnetismus: úvod do makroskopické teorie elektromagnetického pole pro elektrotechnické inženýry. 2. vyd. České Budějovice: KOPP nakladatelství, 2012, 538 s. ISBN 978-80-7232-436-1.
8. **VACULÍKOVÁ, P.** Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů. Praha, 1998, 504 s. ISBN 80-716-9568-8.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Pospíšilík, Ph.D.

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání diplomové práce:

12. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

15. května 2015

Ve Zlíně dne 6. února 2015



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu


Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně 7.5.2015


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato práce představuje úvod do elektromagnetické kompatibility. Můžeme říci, že nás zavádí do disciplíny zabývající se v současnosti celou škálou vědecko-technických vývoji a testování elektrických, elektronických a radiokomunikačních zařízení. Mimo jiné se může jednat o vznik a negativní působení různých elektromagnetických signálů, které v této práci budou testovány na spínaných napěťových měničích. Tyto signály mohou způsobovat nejen problémy okolních elektrických zařízení, ale dokonce i jejich nefunkčnost. Proto jsem se rozhodl pojednat o této vědecko-technické disciplíně se zaměřením na elektromagnetické interference způsobené napěťovými měniči.

Klíčová slova: elektromagnetická kompatibilita, elektromagnetická interference, napěťový měnič, proudová sonda, anténa

ABSTRACT

This thesis presents an introduction to electromagnetic compatibility. We can say that introduces us to the discipline dealing with at present the full range of scientific and technological development and testing of electrical, electronic and radio equipment. Among other things, this may be the emergence of a negative influence of various electromagnetic signals that in this work will be tested on a switched voltage converters. These signals can cause problems not only to the surrounding electrical equipment, but even their dysfunction. Therefore I decided to elaborate on this scientific discipline with a focus on electromagnetic interference caused by voltage inverter.

Keywords: electromagnetic compatibility, electromagnetic interferences, voltage converter, current probe, antenna

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Pospíšilíkoví, Ph.D. za odborné vedení, připomínky a rady při vypracovávání této diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	11
1.1 DEFINICE ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY	11
1.2 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA BIOLOGICKÝCH SYSTÉMŮ.....	12
1.3 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA TECHNICKÝCH SYSTÉMŮ	12
1.3.1 Elektromagnetická interference	14
1.3.2 Elektromagnetická susceptibilita	14
1.3.2.1 Základní pojmy elektromagnetické susceptibility	15
2 RUŠIVÉ SIGNÁLY.....	17
2.1 ŠÍŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ.....	19
2.1.1 Šíření po vedení.....	20
2.1.2 Šíření vazbou.....	21
2.1.2.1 Kapacitní vazba.....	21
2.1.2.2 Induktivní vazba	22
2.1.3 Šíření vyzářováním	22
3 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ	24
3.1 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ ŠÍŘENÝCH PO VEDENÍ	25
3.1.1 Měření s umělou zátěží	25
3.1.2 Měření s napěťovou sondou.....	26
3.1.3 Měření s proudovou sondou.....	27
3.1.4 Měření s absorpčními kleštěmi	27
3.2 MĚŘENÍ POMOCÍ ANTÉN	28
3.2.1 Rámová anténa	28
3.2.2 Prutová anténa.....	29
3.2.3 Symetrický půlvlnný dipól.....	29
3.2.4 Bikónická anténa	29
3.2.5 Logaritmicko-periodická anténa	30
3.2.6 Kónicko-logaritmická anténa.....	30
3.2.7 Trychtýřová anténa.....	31
4 MĚNIČE NAPĚTÍ	32
4.1 ROZDĚLENÍ SPÍNANÝCH ZDROJŮ.....	33
4.1.1 Topologie dle výstupního napětí.....	34
4.1.1.1 Spínaný zdroj snižující napětí.....	34
4.1.1.2 Spínaný zdroj zvyšující napětí	34
4.1.1.3 Spínaný zdroj invertující napětí.....	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
5 POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	37
5.1 ANTÉNA	37
5.2 PROUDOVÁ SONDA.....	38
5.3 TESTOVANÉ MĚNIČE.....	39
5.3.1 AP1501A-12	39
5.3.2 MC34063.....	39

5.4	PŘIJÍMAČ	41
5.5	ZDROJ.....	41
5.6	ZÁTĚŽ	42
6	MĚŘENÍ VYZAŘOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE V SEMIANECHOICKÉ KOMOŘE	43
6.1	TESTOVÁNÍ BEZODRAZOVÉ KOMORY A PODPŮRNÝCH PŘÍSTROJŮ	44
6.2	NAPĚŤOVÝ MĚNIČ AP1501	46
6.3	NAPĚŤOVÝ MĚNIČ MC34063	48
7	MĚŘENÍ RUŠIVÝCH PROUDŮ NA SVORKÁCH	51
7.1	KONTROLA SONDY	51
7.2	NAPĚŤOVÝ MĚNIČ AP1501	52
7.2.1	Svorky na vstupu	53
7.2.2	Svorky na výstupu	54
7.3	NAPĚŤOVÝ MĚNIČ MC34063	56
7.3.1	Svorky na vstupu	56
7.3.2	Svorky na výstupu	58
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

S elektromagnetickou kompatibilitou se setkáváme již více jak půl století. Tato disciplína se nás dotýká denně. Bez poznatků, které nám přináší věda okolo elektromagnetické kompatibility, by nebylo možné používat různé elektrické spotřebiče společně. V praxi je každý systém, nebo jeho části vystaven nějakým rušivým vlivům. Tyto rušivé vlivy se mohou projevit jako nežádoucí vazby, interferenční šum, rezonanční a přechodové jevy, které mohou způsobit nejen změnu a nesprávnou funkci zařízení, ale i jeho celkovou dysfunkci. V ideálním světě by byly systémy naprosto kompatibilní a elektromagnetická kompatibilita by ztratila svůj smysl, ale v tomto světě to není možné. V praxi nikdy nejde jen o jeden zdroj rušení a o jednoho příjemce, ale o sadu systémů, které se vzájemně ovlivňují. Proto jsem se rozhodl otestovat elektromagnetickou kompatibilitu spínaných napěťových měničů, zda byly sestaveny správně a splňují požadavky norem.

Tato diplomová práce se zabývá popsáním teoretických znalostí elektromagnetické kompatibility. Ta je zde rozdělena na biologické systémy a technické systémy. Technické systémy jsou dále děleny na elektromagnetickou interferenci a elektromagnetickou susceptibilitu. Pro splnění praktické části této práce, změřit elektromagnetické interference napěťových měničů, bylo potřeba také uvést teoretické znalosti týkající se rušivých signálů. Zabývám se zde popisem těchto signálů a jejich přenosem. Rozeznáváme tři druhy přenosu rušivých signálů a to po vedení, vazbou a vyzářováním. Není opomenuta ani metodologie měření šíření signálů po vedení a vyzářováním pomocí antén. Jsou zde uvedeny přístroje, které lze použít pro měření těchto signálů i jejich specifikace. V poslední teoretické kapitole jsou uvedeny měniče napětí, rozdělení měničů a jejich topologie.

Teoretické znalosti jsou uplatněny v praktické části, kde byly prováděny dvě sady měření. Jedná se o měření vyzářování elektromagnetického pole měničem napětí v semianechoické komoře a měření rušivých proudů na svorkách měničů napětí. Každá sada měření byla provedena za stejných podmínek pro oba testované měniče napětí. Výsledky měření těchto měničů byly porovnávány s normou ČSN EN 61000-6-3 ed. 2, která byla graficky znázorněna v každém výsledném grafu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

Elektromagnetická kompatibilita mapuje své počátky od druhé poloviny dvacátého století. Tato disciplína vznikla v USA jako disciplína samostatná a zaměřená primárně na vojenské a kosmické projekty. Při popularizaci a širokém záběru rozvoje elektroniky v oblastech všedního života tato disciplína přestala být jen úzce ohraničena a začala se týkat všech. [7]

EMC se dříve zaměřovala za „spolehlivost“. Tato záměna byla však na začátku sedmdesátých let vyvrácena H. M. Schlikem, spoluzakladatelem elektromagnetické kompatibility, který uvedl na pravou míru rozdíl mezi EMC a spolehlivostí: *"Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý – bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností"*. [7, s. 5]

Pro elektromagnetickou kompatibilitu se v České republice používá mezinárodní zkratka EMC, která vznikla z anglického „*Electromagnetic Compatibility*“. Slovo kompatibilita můžeme chápat jako určitou slučitelnost, kombinovatelnost funkcí systémů, nebo jejich částí v určitém prostoru mezi sebou. Pokud systémy, nebo jejich části splňují podmínku kompatibility, neměly by se mezi sebou negativně ovlivňovat.

V praxi je každý systém, nebo jeho části vystaven nějakým rušivým vlivům. Tyto rušivé vlivy se mohou projevat jako nežádoucí vazby, interferenční šum, rezonanční a přechodové jevy, které mohou způsobit nejen změnu a nesprávnou funkci zařízení, ale i jeho celkového zničení. [5]

Pro EMC můžeme vyhradit dvě základní dělení. EMC biologických systémů a EMC technických systémů.

1.1 Definice elektromagnetické kompatibility

Definovat EMC můžeme různými způsoby, například: *„Pod pojmem elektromagnetická kompatibilita (EMC) chápeme schopnost současné funkční koexistence zařízení nebo systémů – elektrických, ale také biologických – nacházejících se ve společném elektromagnetické prostředí, bez závažného ovlivňování jejich normálních funkcí. Zařízení mohou, ale nemusí mít vzájemnou souvislost. Na straně jedné musí být elektrické systémy odolné proti působení ostatních systémů a na straně druhé nesmí při své činnosti nepříznivě ovlivňovat normální fungování jiných zařízení“*. [5, s. 8]

1.2 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

Disciplína EMC biologických systémů se zabývá elektromagnetickými signály dopadající na živé organismy. Může se jednat jak o užitečné, tak i škodlivé signály. Za škodlivé můžeme považovat jak přímé působení elektromagnetického pole v blízkosti jeho vyzařování, například u vysílačů, tak i vyzařování domácích elektrických spotřebičů jako televize, rádia, počítače, kuchyňské spotřebiče, mobilní telefony apod. [7]

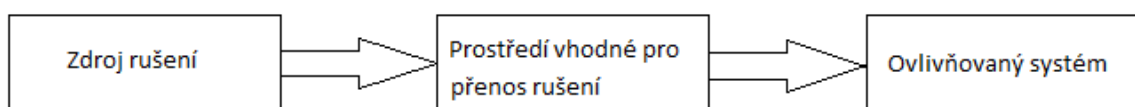
Můžeme říci, že působení elektromagnetických vlivů na lidský organismus je realitou. Účinky působení těchto vlivů je možné rozdělit na tepelné a netepelné. Tepelné účinky se projevují ohřevem tkání u vystavení vysokofrekvenčních, nebo mikrovlnných polí. Netepelné účinky je možné pozorovat u dlouhodobého vystavení polí s nízkou úrovní. [7]

1.3 Elektromagnetická kompatibilita technických systémů

Další částí je EMC technických systémů a zařízení, která se zabývá koexistencí elektrotechnických a elektronických zařízení. Tyto zařízení se ovlivňují, ale do jaké míry a jestli mohou správně fungovat, tím se zabývá EMC technických systémů a zařízení.

Tato disciplína je značně aplikační. Prof. C. R. Paul definoval EMC z aplikačního hlediska jako: *“Elektromagnetická kompatibilita není praktickou aplikací nějakých nových principů či postupů, ale je pouze specifickou aplikací obecných, základních a mnoha oblastem společných zákonů a principů.”*. Z této definice tedy vycházíme při praktických zkouškách elektrotechniky a elektroniky a aplikujeme základní a obecné zákony. [7, s. 8]

EMC se zabývá třemi složkami. Jsou to zdroj rušení, prostředí vhodné pro přenos rušení a daný ovlivňovaný systém. Abychom mohli aplikovat základní poznatky EMC, musíme tedy zohledňovat všechny tři složky vzájemně, jako propojené. Návaznost složek na sebe zobrazuje obr. 1.



Obrázek 1: Návaznost složek na sebe

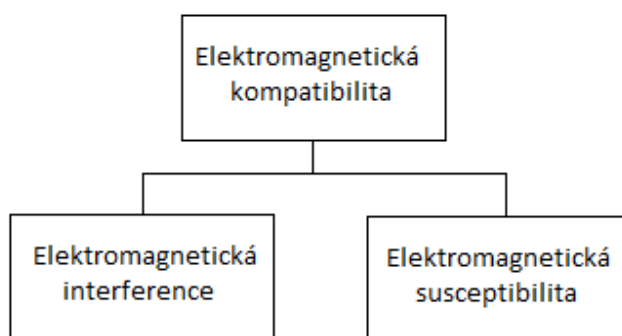
První složkou je zdroj rušení. Rušivé signály jsou vydávány buď přírodními zdroji, nebo umělými, člověkem vytvořenými, zdroji. Mezi hlavní přírodní zdroje patří slunce a elektrické procesy v atmosféře. Mezi umělé můžeme zařadit veškeré technické přístroje, které vyrobil člověk, jako jsou motory, počítače, telefony, zářivky, energetické rozvody a jiné. V této oblasti se zkoumá, proč rušení vzniká, jakou má intenzitu a jaký má charakter. [7]

Druhou složkou je prostředí vhodné pro přenos rušení. Signály, které vzniknou, musí být nějakým způsobem a určitou cestou dopraveny k systému, který je jimi ovlivňován. Takový systém nazýváme příjemce rušení. [7]

Třetí složkou je samotný příjemce rušení. Zbýváme se určitým systémem a zkoumáme účinky, které jsou dopadem rušivých signálů z okolí. Snažíme se je rozpoznat a konstrukčně, či technologicky je odstranit, nebo alespoň minimalizovat. Jak je systém odolný nám určuje jeho elektromagnetická odolnost. [7]

V ideálním světě by byly systémy naprosto kompatibilní a EMC by ztratila svůj smysl, ale v tomto světě to není možné. V praxi nejde nikdy jen o jeden zdroj rušení a o jednoho příjemce, ale o sadu systémů, které se vzájemně ovlivňují. Zdroj také není jen zdrojem, ale také příjemcem a obráceně. Obecně se zaměřujeme na jeden systém, který generuje větší úroveň rušení a je nejméně citlivý na ostatní rušivé signály a ten označujeme za zdroj rušení. Snaha je o co největší minimalizování vyzařování parazitického signálu tímto zdrojem a tím minimalizace rušení okolních systémů. Ze tří složek se snažíme nejvíce zaměřit na zdroj rušení. Vyzařované signály v praxi musí být v souladu s normami upravující tuto problematiku.

EMC technických systémů můžeme rozdělit do dvou skupin. Jednu skupinu tvoří elektromagnetická interference a druhou elektromagnetická susceptibilita. Toto dělení je znázorněno na obr. 2.



Obrázek 2: Dělení EMC [4]

1.3.1 Elektromagnetická interference

Elektromagnetická interference (EMI), neboli vzájemné ovlivňování dvou a více systémů, je disciplína zabývající se zdrojem, popisem a měřením rušení okolních zařízení. Z toho plyne, že EMI se zabývá výhradně zdrojem rušení a jeho přenášení skrz přenosovou cestu. EMI se zabývá také příčinami rušení a jejich odstraňováním pomocí aplikace obecných a základních zákonů. [4]

1.3.2 Elektromagnetická susceptibilita

Elektromagnetická susceptibilita (EMS), neboli odolnost přijímače rušení proti parazitickým signálům, udává schopnost zařízení pracovat v prostředí s jinými zařízeními bez změn vlastností, nebo změn, ale jen v určité, předem dané míře. EMS se zaměřuje na přijímač rušení a pomocí aplikace technologií se ho snaží ochránit a minimalizovat tak příjem parazitických signálů a změn vlastností zařízení. Z toho vyplývá, že se zabývá, na rozdíl od EMI, důsledky příjmu parazitických signálů. [4]

Při aplikaci EMS na dané zařízení je potřeba znát předem dané kritéria elektromagnetické odolnosti, definované meze narušení funkčnosti zařízení. Tato kritéria mohou být kvantitativní, nebo kvalitativní. U kvantitativní meze odolnosti je určena hodnota signálu, která může být přijata a nenaruší požadované vlastnosti zařízení. Tato metoda se používá zejména při vývoji elektronických a elektrotechnických systémů. Určením této meze zajistíme pro ostatní systémy stejného druhu hodnotu elektromagnetické odolnosti. Pro správné fungování systému v praxi se používá kvalitativní kritérium. Což znamená určit hodnotu, kdy systém je schopen provozu bez změn funkčnosti. Touto problematikou se zabývá norma 61000-6-1. Zde je definován nefunkční stav jako změna provozní způsobilosti zařízení, zhoršení jeho funkce během zkoušky, či jako důsledek zkoušky odolnosti. Zde můžeme rozlišit tři základní funkční kritéria: [7] [1]

- Funkční kritérium A – Zařízení musí během zkoušky pokračovat se své činnosti dle svého určení. Není dovoleno žádné zhoršení činnosti zařízení či ztráta jeho funkce.
- Funkční kritérium B – Zařízení musí po skončení zkoušky pokračovat ve své činnosti dle svého určení. Během zkoušky je dovoleno zhoršení činnosti zařízení, není však dovolena změna aktuálního provozního stavu zařízení ani změna dat v paměti. Po skončení zkoušky není dovoleno žádné zhoršení činnosti zařízení, či ztráta jeho funkce.

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

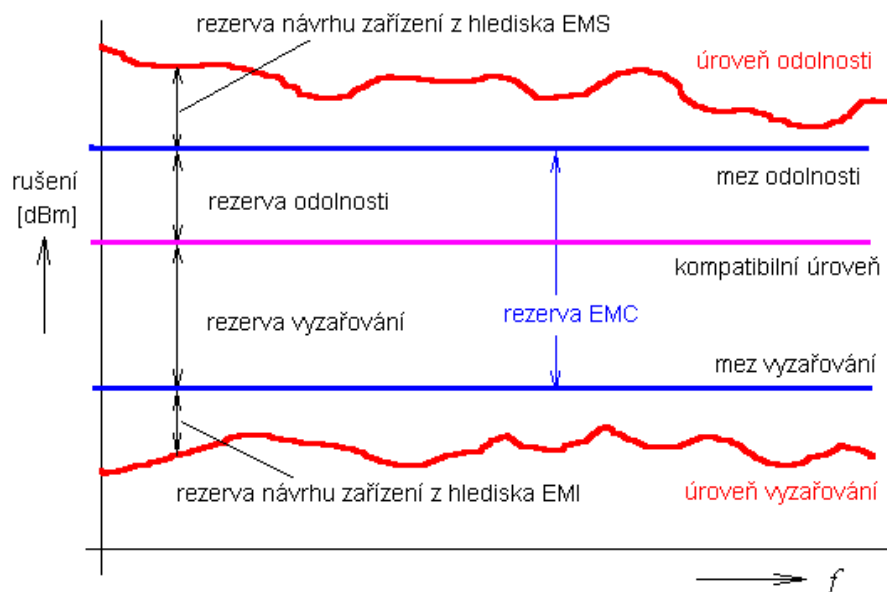
Při zkoušce každého zařízení je třeba definovat jeho vlastnosti a požadované funkce, které potřeba zachovat pro každé funkční kritérium. Může se stát, že zařízení zcela ztratí funkci, je poškozeno, nebo zničeno a není možné na něj aplikovat žádné, z výše uvedených, funkční kritérií. Poté je možné takový stav nazvat nezvratnou ztrátou funkce. Test elektromagnetické odolnosti není proveditelný. [7]

1.3.2.1 Základní pojmy elektromagnetické susceptibility

Každé zařízení je zdrojem rušení, ale i příjemcem rušení. Pro každé takové zařízení nám norma ČSN IEC 50(161), mezinárodní elektrotechnický slovník – elektromagnetická kompatibilita, definuje základní pojmy. [2]

- Elektromagnetické rušení - jakýkoliv elektromagnetický jev, který může zhoršit činnost přístroje, zařízení nebo systému a nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu. Elektromagnetické rušení může být elektromagnetický šum, nežádoucí signál nebo změna v přenosovém prostředí.
- Elektromagnetické vyzařování - jev, při němž elektromagnetická energie vychází ze zdroje.
- Odolnost (proti rušení) - schopnost přístroje, zařízení nebo systému být v provozu bez zhoršení charakteristik za přítomnosti elektromagnetického rušení.
- Úroveň - velikost veličiny vyhodnocené předepsaným způsobem. Úroveň veličiny může být vyjádřena v logaritmických jednotkách, například v decibelech vůči vztázně hodnotě.
- Úroveň rušení - úroveň daného elektromagnetického rušení měřeného předepsaným způsobem.
- Úroveň vyzařování - úroveň elektromagnetického rušení vyzařovaného konkrétním přístrojem, zařízením nebo systémem, měřená určeným způsobem.
- Mez vyzařování - maximální dovolená úroveň vyzařování.

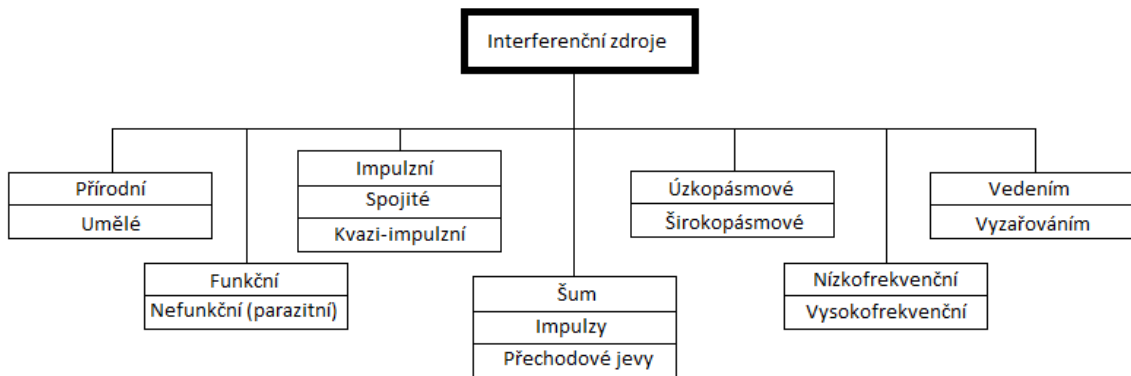
- Úroveň odolnosti - maximální úroveň elektromagnetického rušení působícího na konkrétní přístroj, zařízení nebo systém, při kterém se nevyskytuje zhoršení provozu.
- Mez odolnosti - nejnižší požadovaná úroveň odolnosti. Kompatibilní úroveň - předepsaná úroveň rušení, při které by měla být přijatelně vysoká pravděpodobnost elektromagnetické kompatibility.
- Rezerva vyzařování - poměr úrovně elektromagnetické kompatibility a meze vyzařování.
- Rezerva odolnosti - poměr meze odolnosti a úrovně elektromagnetické kompatibility.
- Rezerva kompatibility - poměr meze odolnosti a meze vyzařování. Rezerva kompatibility je součinem rezervy odolnosti a rezervy vyzařování.
- Potlačení rušení - opatření, které zmenšuje nebo odstraňuje elektromagnetické rušení.
- Odrušování - opatření k zeslabení nebo k odstranění elektromagnetické interference.



Obrázek 3: Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti [7]

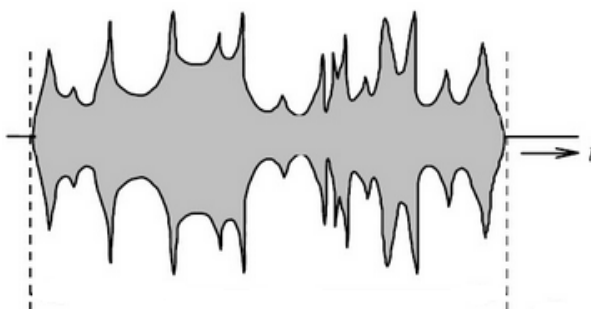
2 RUŠIVÉ SIGNÁLY

Rušivé signály jsou produkovány zdrojem rušení. Viz. obr. 1. Pokud mluvíme o zdroji, jedná se o systém, který produkuje negativní rušení, než je jeho příjem takových signálu z vnějšího prostředí. Takové zdroje nazýváme interferenční, neboli zdroje elektromagnetického rušení. Rušení můžeme dělit pomocí různých kritérií. Rozdělení prezentuje obr. 4. [7]



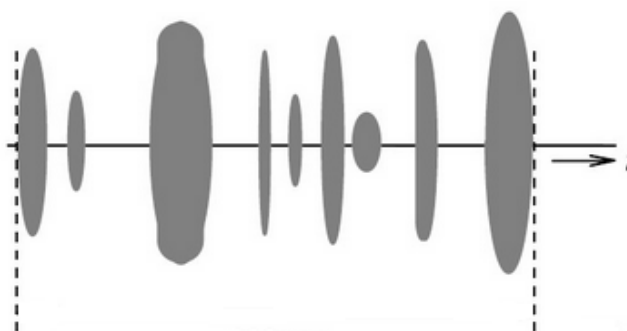
Obrázek 4: Klasifikace interferenčních signálů

- Přírodní interferenční zdroje – nejsou uměle vytvořeny a téměř nikdy jim nemůžeme zabránit. Jediná ochrana je prevence a omezování koncových následků.
- Umělé interferenční zdroje – uměle vytvořeny člověkem. Na tuto část se zaměřuje naše pozornost, ohledně EMC.
- Funkční interferenční zdroje – jsou funkčními signály daného zařízení, ale u jiného zařízení mohou působit jako nežádoucí a mohou tak ovlivnit jeho základní funkce.
- Nefunkční interferenční zdroje- produkují nefunkční, neboli parazitické signály, které neslouží kladně danému zařízení, ani jinému zařízení v okolí.
- Impulzní interferenční zdroje – mají časovou posloupnost jednotlivých impulzů a nejsou tedy nepřetržité v čase.



Obrázek 5: Impulzní signál [19]

- Spojité interferenční zdroje – nemají časovou posloupnost a jsou v čase kontinuální.



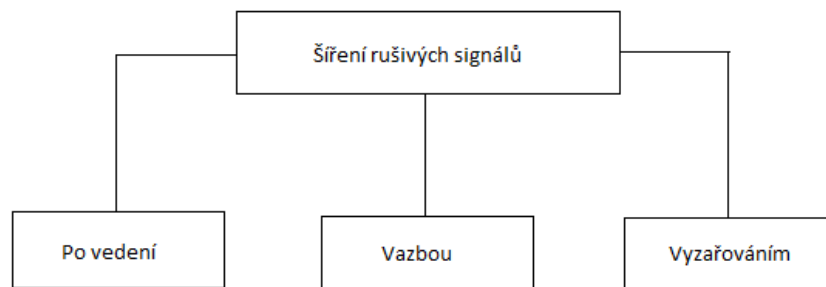
Obrázek 6: Spojitý signál [19]

- Kvazi-impulzní interferenční zdroje – jsou spojením impulzních a spojitých interferenčních zdrojů.
- Šum – je škodlivý signál, který mění tvar signálu, který produkuje zařízení za funkčním účele. Tento škodlivý signál má většinou opakující se tendenci.
- Impulzy – jsou škodlivým signálem, který se projevuje velkou hodnotou vztáženou na krátkou dobu trvání, tento jev nazýváme vytvářením kladné, či záporné špičky.
- Přechodné jevy – jsou náhodné jednorázové škodlivé signály, které mohou mít velice rozličnou dobu trvání. Mohou vznikat například při zatěžování sítě zapínáním, nebo vypínáním elektrických spotřebičů.
- Úzkopásmový zdroj rušení – se vztahuje na časový průběh vzhledem k šířce pásma. Úzkopásmové rušení představují téměř výhradně signály rozhlasových a televizních vysílačů.

- Širokopásmový zdroj rušení – se vztahuje na časový průběh vzhledem k šířce pásma. Širokopásmové rušení představují průmyslové a přírodní zdroje.
- Nízkofrekvenční zdroje – můžeme dělit na dvě části a to na energetické nízkofrekvenční a akustické nízkofrekvenční rušení. Energetické nízkofrekvenční rušení má vliv na napájecí soustavu zařízení a mění tvar užitečného signálu. To může být problém pro všechny zařízení, které jsou závislé na tvaru signálu z napájecí soustavy. Akustické nízkofrekvenční rušení negativně ovlivňuje přenosové informační systémy, jako jsou telefony a rozhlas. Toto rušení je generováno každým energetickým zdrojem.
- Vysokofrekvenční zdroje – neboli radiové rušení patří do pásma nad 10 kHz. Do tohoto pásma patří všechny zdroje rušení, kterým jejich frekvenční pásma sahají nad tuto hranici.
- Interferenční zdroje vedením – jsou takové, ve kterých převažuje vyzařování rušivých signálů z interferenčního zdroje skrz vedení.
- Interferenční zdroje vyzařováním – jsou takové, ve kterých převažuje vyzařování rušivých signálů z interferenčního zdroje prostorem.

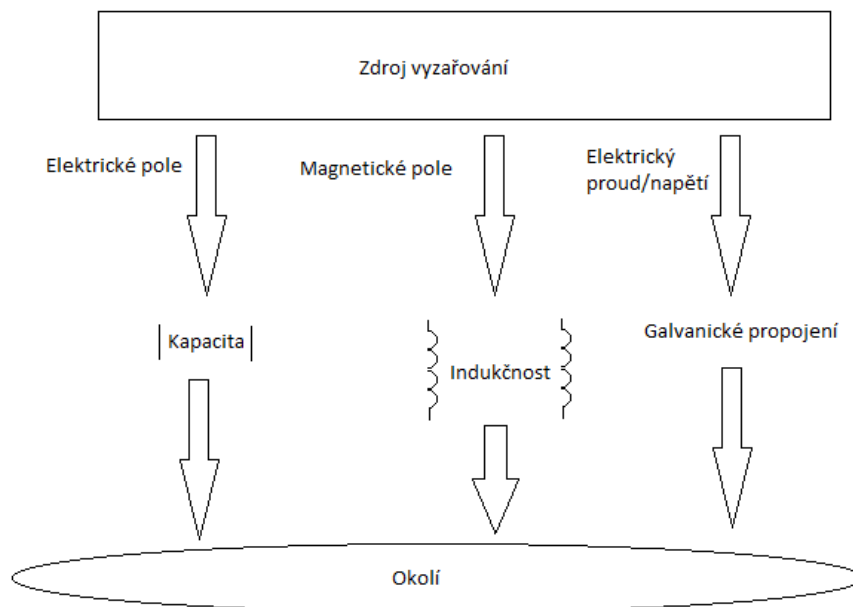
2.1 Šíření rušivých signálů

Vazební prostředí neboli prostředí vhodné pro přenos parazitických signálů je zakresleno na obr. 1. Jde o přenos signálů ze zdroje rušení do přijímače. Signály se šíří třemi základními způsoby a to kontaktně po vedení, bezkontaktně vazbami, nebo vyzařováním. [14]



Obrázek 7: Způsoby šíření rušivých signálů [7]

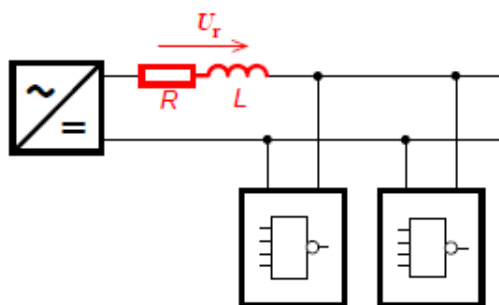
Vazební prostředí můžeme rozdělit dle několika hledisek. Například podle technické realizace, kde je vazební prostředí bráno jako vzdušný prostor, stínící materiály, napájecí kabely apod. Nebo můžeme vazební prostředí dělit podle fyzikálních principů na galvanické, indukční, kapacitní a vazbu vyzařováním.



Obrázek 8: Způsoby vzájemného elektromagnetického ovlivňování [5]

2.1.1 Šíření po vedení

Aby se jednalo o galvanickou vazbu neboli šíření po vedení, musíme mít dvě, nebo více zařízení s alespoň jedním společným vodičem, který ta zařízení propojuje. Pokud jsou splněny tyto požadavky, můžeme říci, že zde bude docházet ke galvanické vazbě, tedy ovlivňování, právě díky společnému vedení. Schematicky znázorněno na obrázku 8, kde jsou dvě zařízení připojená k jednomu napájení. Zajímá nás zde velikost pracovních kmitočtů jednotlivých zařízení a délky společných vodičů. Vcházíme z předpokladu, že elektrotechnické komponenty nejsou ideální, obsahují tedy jisté parazitní kapacity, indukčnosti a reálné odpory. Pro vyšší kmitočty, v řádech MHz a vyšších, proudů, které procházejí propojovacími vodiči, musíme pro získání výsledků o existenci galvanické vazby uvažovat propojovací vodiče jako obvody s rozloženými parametry. Pro nižší kmitočty, v řádech kHz, proudů můžeme vlastnosti reprezentovat pomocí soustředných parametrů. [5]



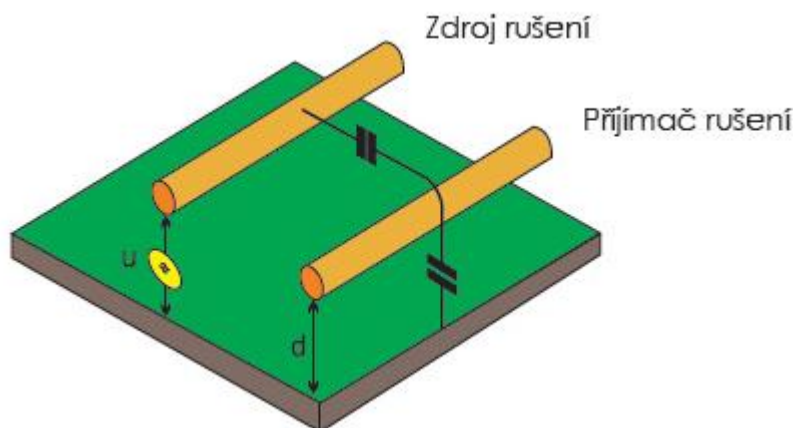
Obrázek 9: Galvanická vazba se společnou impedancí ve vedení napájecím [7]

2.1.2 Šíření vazbou

Šíření vazbami je typické pro blízké vodiče, které se mezi sebou ovlivňují. Jeden vodič je brán jako zdroj rušení a druhý jako příjemce rušení. Uplatňuje se zde vzájemná indukčnost a kapacita mezi vodiči. [14]

2.1.2.1 Kapacitní vazba

S kapacitní vazbou se můžeme setkat především u uzlů elektrických obvodů galvanicky oddělených, mezi nimiž existuje vzájemné působení skrze jednotlivé vektory intenzit elektrostatického pole. Tato vazba je způsobena výskytem parazitních kapacit mezi vodiči. Jak se obvody mezi sebou ovlivňují, záleží na nárůstu, nebo poklesu potenciálu příslušného uzlu, velikostí plochy elektrod a geometrickým uspořádáním vodičů. Tato situace nastává například při vedení datových kabelů, nebo vedení souběžných energetických linek. [5]

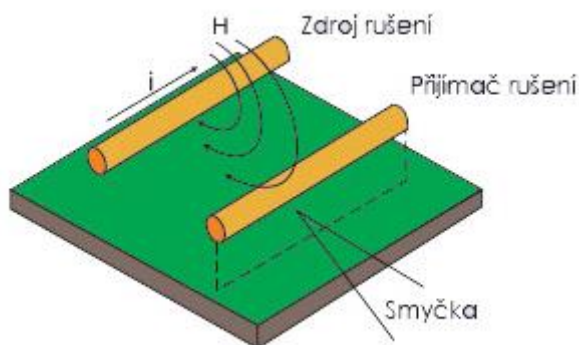


Obrázek 10: Kapacitní vazba [11]

2.1.2.2 Induktivní vazba

O induktivní vazbu se jedná, pokud daným obvodem prochází proud, vzniká v jeho okolí magnetické pole, konstantní, nebo proměnné, v závislosti na časovém průběhu proudu. V druhém vodiči, který je v elektromagnetickém poli se indukují napětí, jehož velikost závisí na změnách kmitočtů v primárním obvodu. Toto napětí je možné změřit pomocí Faradayova indukčního zákona. [7]

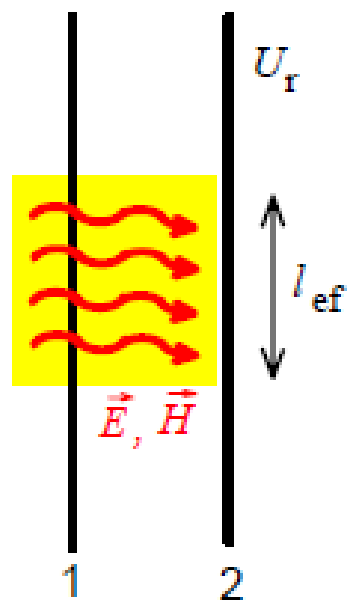
Pokud změny v primárním obvodu budou rychlé, například při zasažení bleskem, nastane velká parazitní induktivní vazba, která je v těchto případech velice nebezpečná. Nemusí se však jednat jen o přírodní elektrostatické výboje, ale může se tak jednat o uměle vytvořené. K minimalizaci induktivní vazby můžeme přistoupit minimalizováním délky souběžných vodičů a co největší vzdáleností vodičů od sebe. [7]



Obrázek 11: Induktivní vazba [11]

2.1.3 Šíření vyzařováním

Pokud jsou vzdálenosti zdroje a příjemce rušení velké a nemůže tedy nastat kapacitní, nebo indukční vazba, je možné, že dochází k vzájemné vazbě vyzařovaným elektromagnetickým polem. Toto rušení se vztahuje výhradně k rádiovým přijímačům, do nichž se dostává anténou z blízkých vysílačů, nebo atmosférickými vlivy. Pokud je takový signál přijat, elektromagnetické vlny se v přístroji sčítají a mohou narušit funkčnost zařízení. Tomuto problému se dá předejít, nebo alespoň minimalizovat stínícím zařízením, které část signálu pohltí a část odrazí zpět. [7]



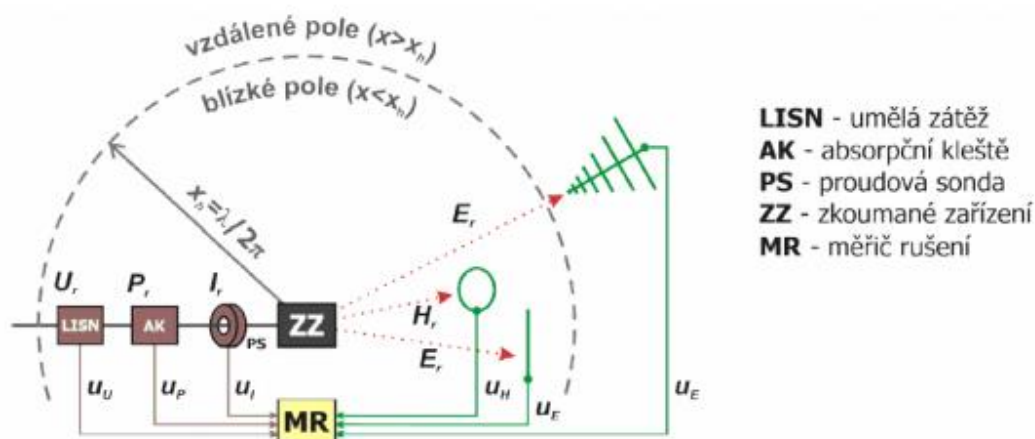
Obrázek 12: Šíření vyzářováním [7]

3 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ

Pokud chceme prakticky ověřit elektromagnetickou kompatibilitu vyvíjeného, nebo testovaného zařízení, musíme ho podrobit měření rušivých signálů. Tato část je jednou z nejdůležitějších částí problematiky EMC, neboť bez toho aniž by pozitivně prošel tímto testováním, nesmí být zařízení prodáváno. U tohoto měření stanovujeme maximální hodnoty, kterých může zařízení nabývat, a měřením testujeme, zda je toho schopno. Pro testy smějí být použity pouze metody, postupy, podmínky a měřicí přístroje, které jsou jednoznačně předepsány mezinárodními, nebo národními normami a to z důvodu různorodosti podmínek panujících při testování a pro možnost porovnání výsledků mezi sebou. Komplikace při měření EMC je také v tom, že i samotné měřicí zařízení může být zdrojem rušení, což je nutné respektovat a zohledňovat ve výsledcích. Abychom mohli určit správnou metodu měření, musíme především vědět, o jaký přenos signálů se jedná. Toto rozdělení je rozděleno na obr. 7. [7]

Definujme měřené veličiny u přenosů rušivých signálů přes vedení, elektrickou či magnetickou vazbou a vyzařováním. U přenosu přes vedení definujeme veličiny, kterými definujeme elektromagnetické rušení, jsou rušivé napětí U_r , rušivý proud I_r a rušivý výkon P_r signálu. U přenosu elektrickou či magnetickou vazbou určujeme parazitní vazbu a pro ní definujeme intenzitu rušivého elektrického pole E_r , nebo intenzitou rušivého magnetického pole H_r . U přenosu vyzařováním elektromagnetických vln definujeme intenzity elektrického pole E_r či magnetického pole H_r a hustotu vyzářeného výkonu p_r rušivého signálu. Pro tyto dané veličiny je možné provádět převod. Převod je závislý na způsobu a zařízení, kterým danou veličinu měříme. [7]

Mějme testovaný objekt, u kterého chceme změřit rušivé signály na vedení a vyzařování rušivých signálů. K tomu bude zapotřebí základní přístroje jako selektivní mikrovolt-metr, spektrální analyzátor, nebo speciální přístroj pro měření požadovaného rozsahu kmitočtů. Pro měřenou veličinu, ať už napětí, proud, výkon rušivého signálu, nebo intenzitu pole je potřeba mít vhodný vyhodnocovací prvek, senzor, jímž je převedena na napětí. Toto napětí je změřeno měřičem rušení. Vyhodnocovacím prvkem může být například umělá zátěž vedení, napěťová sonda, proudová sonda, absorpční kleště, nebo antény. [7]



Obrázek 13: Způsoby měření rušení vedením a vyzářováním [7]

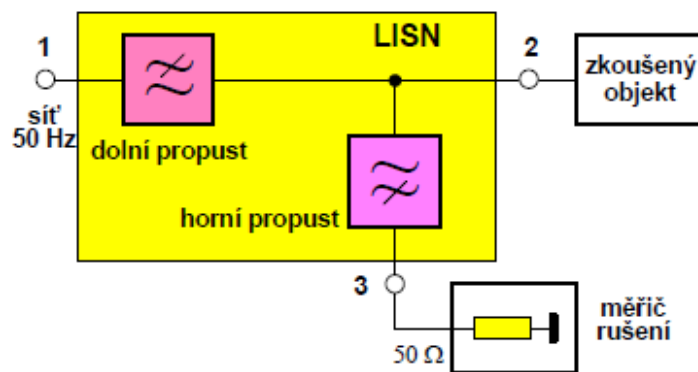
3.1 Měření rušivých signálů šířených po vedení

Problematiku šíření signálu po vedení můžeme rozdělit do několika skupin, podle toho, s jakým zařízením pracujeme.

- Měření s umělou zátěží
- Měření s napěťovou sondou
- Měření s proudovou sondou
- Měření s absorpčními kleštěmi

3.1.1 Měření s umělou zátěží

Umělá zátěž vedení, označovaná zkratkou LISN z anglického Line Impedance Stabilizing Network, je používána k měření rušivého signálu vycházejícího ze zařízení, které je napájeno z rozvodné elektrické sítě. Tato umělá zátěž vedení zajišťuje připojení měřícího zařízení s horní propustí, ta umožňuje přivést na vstup měřiče rušení jen vysokofrekvenčních signálů, které vznikají ve zkoušeném zařízení. Také zajišťuje, že na vstup měřícího zařízení se dostane jen rušivý signál ze zkoušeného zařízení a ne z elektrické sítě, to nazýváme funkce dolní propusti. [7]



Obrázek 14: Schéma umělé sítě LISN [7]

3.1.2 Měření s napěťovou sondou

Pokud chceme měřit rušivé napětí na jiných místech, než na napájecích svorkách a není možné použít LISN, je možné použít napěťovou sondu. Tuto sondu je možné připevnit kdekoliv na zařízení a zjistit v jakémkoliv místě napětí. Je vhodná například na zařízení ve vývojové fázi. [7]



Obrázek 15: Napěťová sonda [17]

3.1.3 Měření s proudovou sondou

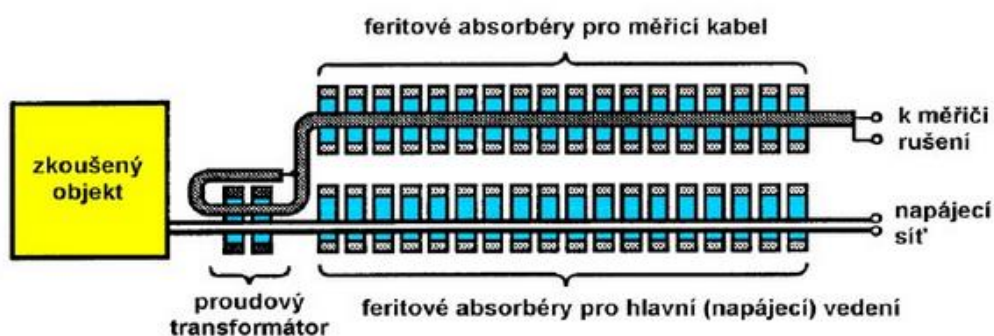
Proudovou sondu můžeme použít k měření velikosti proudu, který protéká vodičem bez jeho narušení. Sonda je principiálně zhotovena tak, abychom mohli kleštěmi obepnout vodič a na displeji viděli výslednou hodnotu. Princip sondy spočívá ve dvou vinutí transformátoru sondy. První vinutí je představováno měřeným vodičem a druhé je představováno samotnou sondou. Po vložení vodiče do sondy je změřen rušivý proud a ten je přepočítán na napětí. Tato hodnota se měří připojeným měřicím přístrojem. [7]



Obrázek 16: Proudová sonda [18]

3.1.4 Měření s absorpčními kleštěmi

Absorpční kleště jsou složeny z proudového transformátoru a z přizpůsobené zátěže (feritového absorbéru). Používají se pro zkoušení výkonu rušivého signálu, který vyzářován skrze připojených vodičů. Je možné měřit v pásmu 30 MHz-1 GHz. [7]



Obrázek 17: Absorpční sonda [7]

3.2 Měření pomocí antén

Antény se používají pro měření rušivých signálů od 10 kHz až do řádů GHz. Existují různé druhy antén pro měření v různém rozsahu kmitočtů. Zejména se využívají antény pro měření elektromagnetického pole ve vysokých kmitočtech kvůli problematickému přímému měření napětí či proudu. Druhy antén jsou uvedeny v tabulce číslo 1. [7]

Tabulka 1: Druhy antén [7]

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

3.2.1 Rámová anténa

Rámová anténa slouží k měření v kmitočtovém pásmu 9 kHz až 30 MHz. V tomto rozsahu kmitočtů se většina rušivých jevů objevuje jako magnetická složka pole (*H*). Anténa obsahuje cívku, která je umístěna do stínícího krytí, kvůli odstranění parazitických vlivů. Tato antény mohou být pasivní, nebo aktivní a jsou vždy vybavené měřicím zesilovačem. [7]



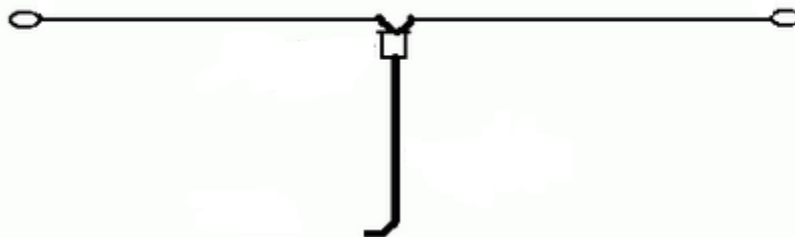
Obrázek 18: Rámová anténa [7]

3.2.2 Prutová anténa

Prutovou anténou je používána k měření rušivého elektrického pole (E). Doporučená délka antény pro rozsah kmitočtu 150 kHz – 30 MHz je jeden metr. Prutová anténa nelze použít pro měření blízkého elektrického pole E z důvodu vzniku rušivé přímé kapacitní vazby mezi zdrojem rušení a rámovou anténou. [7]

3.2.3 Symetrický půlvlnný dipól

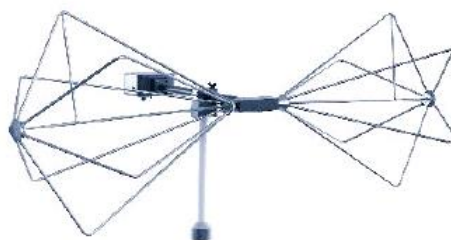
Symetrický dipól je schopen přijímat rušivé signály v kmitočtovém pásmu 30 MHz až 1 GHz. Tato anténa je složena ze dvou stejně dlouhých ramen, které přijímají rušivé signály ve formě elektrické složky E . Pomocí této antény je možné také určit směr měřeného pole i průběh siločar v okolí rušivého zdroje. Samostatný symetrický půlvlnný dipól, je určen pouze pro laboratorní měření kvůli jeho malé efektivní výšce. [7]



Obrázek 19: Schéma půlvlnného dipólu

3.2.4 Bikónická anténa

Měření elektromagnetického rušení v pásmu 20 MHz – 300 MHz se často provádí s bikónickou anténou. Tato anténa patří mezi širokopásmové a je v podstatě určitým druhem zkráceného dipólu. Tato anténa reaguje na elektrickou složku E rušivého elektromagnetického pole s lineární polarizací. [7]



Obrázek 20: Bikónická anténa [7]

3.2.5 Logaritmicko-periodická anténa

Pro měření v kmitočtovém rozsahu 200 MHz – 3 GHz je používána logaritmicko-periodická anténa. Ta je tvořena sadou unipólů, které jsou řazeny v pevném poměru daném podílem logaritmů jejich rezonančních kmitočtů. Vstupní impedance a vyzařovací diagram je u logaritmicko-periodické antény pracovní pásmo téměř konstantní. Tato anténa reaguje na elektrickou složku E rušivého elektromagnetického pole s lineární polarizací. Měření probíhá v té rovině, ve které probíhá měření rušivého pole. [7]



Obrázek 21: Logaritmicko-periodická anténa [7]

3.2.6 Kónicko-logaritmická anténa

Kónicko-logaritmická anténa není vhodná pro civilní testování EMC, neboť civilní normy předepisují měření s lineární polarizací signálů a tato anténa je uzpůsobena pro příjem kruhově polarizovaného elektromagnetického pole. Proto se využívá výhradně pro testování podle vojenských norem. S touto anténou je možné měřit v kmitočtovém pásmu až v řádech GHz. [7]



Obrázek 22: Kónicko-logaritmická anténa [7]

3.2.7 Trychtýřová anténa

Dle civilních norem je ale možné využívat pro kmitočtové pásmo v řádech GHz trychtýřové antény. Jelikož jsou tyto antény úzkopásmové, je potřeba pro měření v pásmu jednotek GHz do několika desítek GHz použít sadu trychtýřových antén, které zajistí kontinuitu pro dílčí rozsahy. [7]



Obrázek 23: Sada trychtýřovitých antén [7]

4 MĚNIČE NAPĚTÍ

Oblast napájecích zdrojů se začala rozvíjet v šedesátých letech minulého století. Výsledkem je spínaný napájecí zdroj. Předchůdce spínaných zdrojů byly lineární zdroje. Ty byly ale velmi rozměrné a měly malou účinnost. Spínací zdroje mohou být více jak dvojnásobně účinnější a jsou daleko menší, než lineární zdroje. [16]

I přes cenovou náročnost spínaných napájecích zdrojů, jsou dnes na trhu dominantní.

Tabulka 2: Porovnání lineárních a spínaných zdrojů [3]

	Lineární zdroje	Spínané zdroje
Rozsah napětí	10 až 100 V	1 až 1000 V
Rozsah proudů	Tisíciny až jednotky A	Jednotky až tisíce A
Rozsah výkonů	Jednotky W	Jednotky až desetitisíce W
Kmitočet usměrňovače napětí	50 Hz	50 Hz Desítky kHz až jednotky MHz při úpravě účinníku
Přesnost nastavení napětí	0,02 až 0,05 %	0,05 až 0,1 %
Přesnost regulace výkonu	0,02 až 0,1 %	0,1 až 1 %
Zvlnění výstupního napětí	500 až 2000 mV _{ef}	25 až 100 mV(š-š)
Rozsah vstupního napětí	±10 %	±30 % některé zdroje v rozsahu až 4:1
Účinnost	30 až 50 %	70 až 90 %
Měrný výkon	0,033 W/cm ³	0,2 až 10 W/cm ³
Přípustná doba výpadku vstupního napětí	2 ms	32 ms

Měnič napětí je využíván pro změnu velikosti a hodnoty napětí a pro změnu polarity napětí. Tyto měniče mohou být používány v přístrojích, které jsou napájeny z baterií a je u nich potře-

ba dosahovat co nejvyšší účinnosti. Ze zdroje s jednou hodnotou napětí je použitím měniče možné vytvořit více hodnot napětí. [16]

Měniče jsou tvořeny integrovanými obvody, které řídí spínací výkonový prvek. Obsahují zdroj referenčního napětí, zesilovač odchylky a jiné obvody. Měniče pracují v rozsahu kmitočtů vyšších 20 kHz. Většinou se můžeme setkat s rozsahem mezi 100 kHz až 200 kHz. [16]

4.1 Rozdělení spínaných zdrojů

Spínané zdroje je možné rozlišit podle různých kritérií. Zdroje mnohdy kombinují různé principy, a proto rozdělení není jednoznačné. Je možné tedy spínané zdroje rozdělit na čtyři hlavní skupiny a to: podle velikosti spínacího kmitočtu, podle obsazení cívky, podle výstupního napětí a podle způsobu přenosu energie.

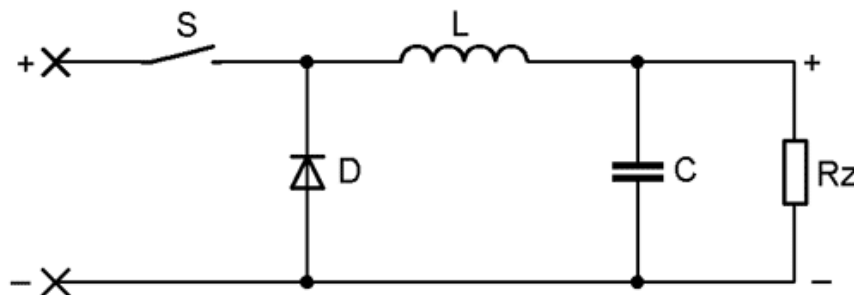
- Podle velikosti spínacího kmitočtu
 - Zdroje s kmitočtem sítě
 - Zdroje s kmitočtem vyšším, než síťovým
- Podle obsazení cívky
 - Zdroje s indukčností
 - Zdroje bez indukčnosti
- Podle výstupního napětí
 - Snižující napětí
 - Zvyšující napětí
 - Invertující napětí
- Podle způsobu přenosu energie
 - S propustným zapojením
 - S akumulujícím zapojením
 - S dvojčinným zapojením
 - S můstkovým zapojením

4.1.1 Topologie dle výstupního napětí

Spínané zdroje můžeme rozdělit na tři základní skupiny. Jedná se o spínané zdroje snižující napětí, spínané zdroje zvyšující napětí a spínané zdroje invertující napětí.

4.1.1.1 Spínaný zdroj snižující napětí

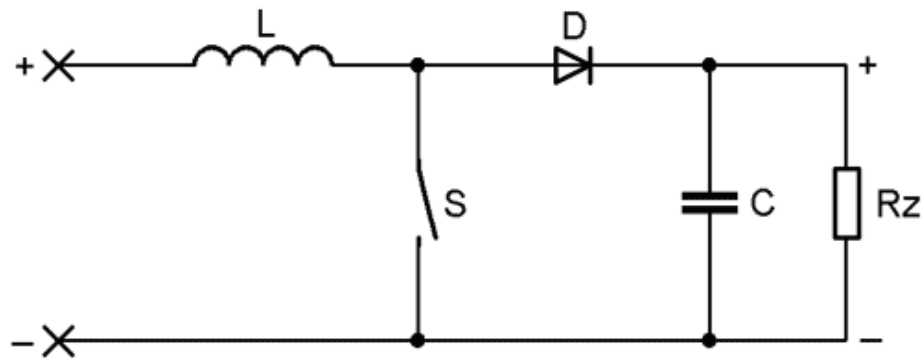
Tento spínaný zdroj se skládá ze spínače S , diody D , kondenzátoru C a cívky L . Princip můžeme popsat jako: Při sepnutí spínače S se začne nabíjet kondenzátor C a proud tekoucí cívku L se začne zvětšovat. Při dosažení požadované hodnoty výstupního napětí se spínač S rozezne. Proud skrz cívku L se začne uzavírat díky diodě D . Následně proud procházející cívku L klesá a kondenzátor se vybíjí. Tento proces se opakuje periodicky po dosažení hodnoty výstupního napětí. O tomto obvodu můžeme říci, že má malé ztráty. [16]



Obrázek 24: Schéma spínaného zdroje snižující napětí [20]

4.1.1.2 Spínaný zdroj zvyšující napětí

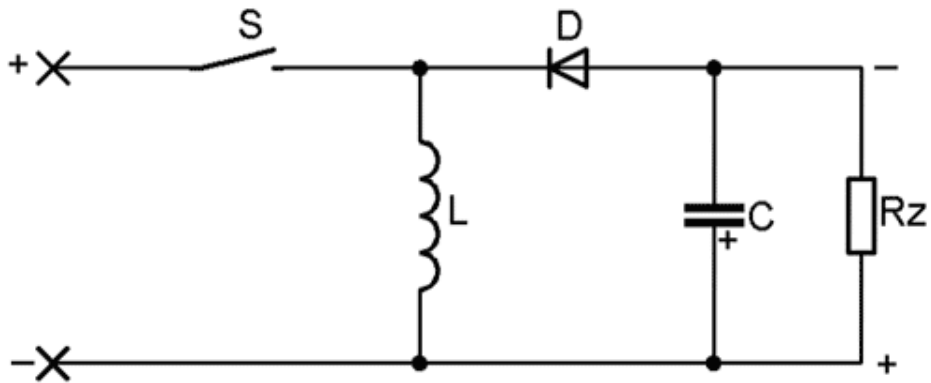
Tento spínaný zdroj se skládá ze spínače S , diody D , kondenzátoru C a cívky L . Princip můžeme popsat jako: Kondenzátor C se nabíjí na vstupní napětí. Jakmile se sepe spínač S , proud protékající cívku L se začne zvětšovat a začne se také indukovat napětí. Aby se cívka L nepřesytila, musí být spínač opět rozeznut. Naindukované napětí se sčítá s vstupnímu napětím. Proud tekoucí cívku L následuje do diody D , nabíjí kondenzátor a pokračuje na výstup. Proud postupně klesá. Jakmile napětí klesne na nastavenou hodnotu, je proces opětovně spuštěn. [16]



Obrázek 25: Schéma spínaného zdroje zvyšující napětí [20]

4.1.1.3 Spínaný zdroj invertující napětí

Tento spínaný zdroj se skládá ze spínače S , diody D , kondenzátoru C a cívky L . Princip můžeme popsat jako: Při zapnutí spínače S roste proud tekoucí cívku L . Jakmile hodnota proudu dosáhne horní hranice, spínač S se rozezne. Na cívce L je indukováno napětí o opačné polaritě. Proud skrz cívku L se začne uzavírat přes rekuperační diodu D a kondenzátor C se nabije na záporné napětí. Tento typ měniče má maximálně 60 % účinnost. [16]



Obrázek 26: Schéma spínaného zdroje invertující napětí [20]

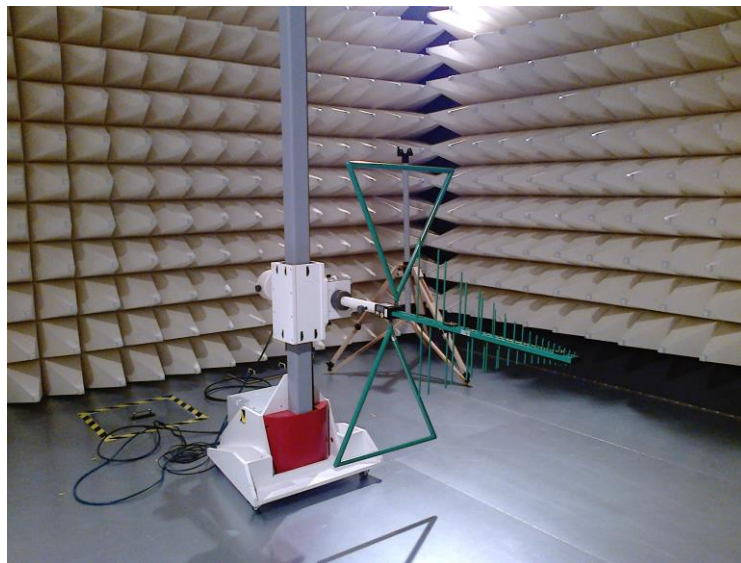
II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POUŽITÉ PŘÍSTROJE

V této kapitole jsou uvedeny všechny hlavní přístroje, které byly potřeba k provedení laboratorního měření.

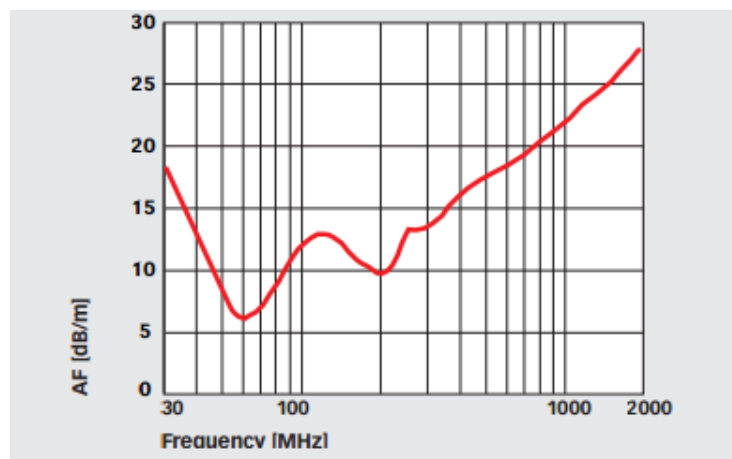
5.1 Anténa

Pro měření v semianechoické komoře byla použita pro měření vyzařovaného elektromagnetického pole anténa Bilog CBL 6112 od firmy Teseq.



Obrázek 27: Anténa Bilog CBL 6112

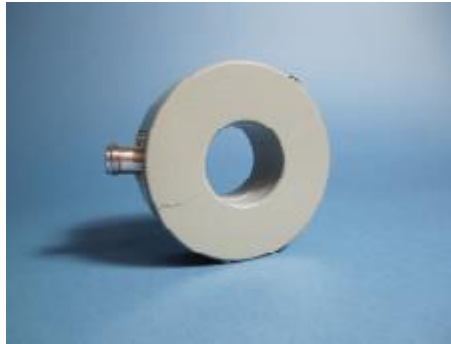
Korekce proběhla dle anténního faktoru, udávaného výrobcem. Anténní faktor pro danou anténu je uveden na obr. 28.



Obrázek 28: Anténní faktor [9]

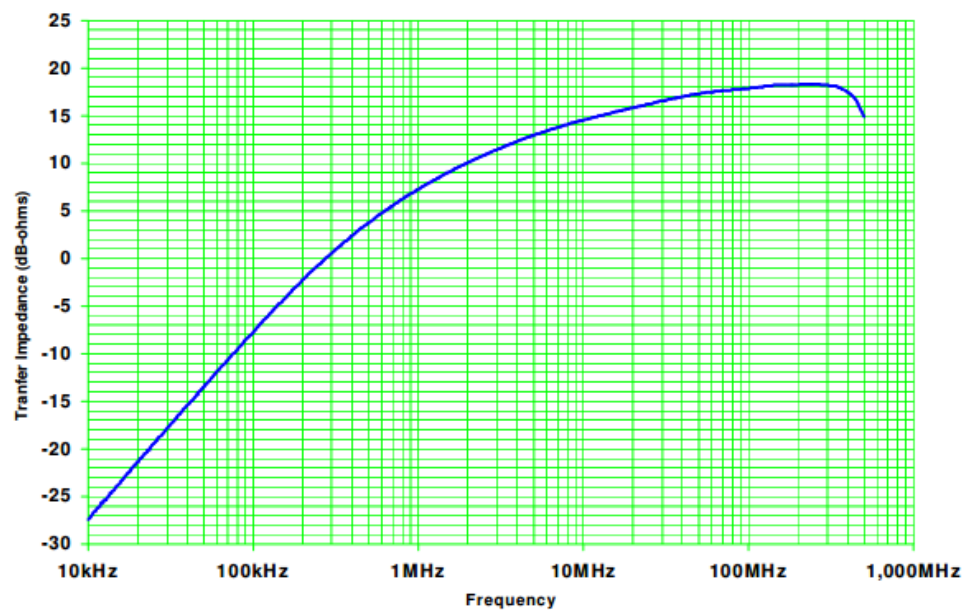
5.2 Proudová Sonda

Pro měření rušivých proudů na vstupních a výstupních vodičích u napěťových měničů byla použita proudová sonda Current Probe F-52 od firmy Fischer Custom Communications.



Obrázek 29: Proudová sonda F-52 [10]

Proudová sonda byla nastavena dle specifikací výrobce, uvedené na obr. 30.



F-52 Specifications

Frequency: 10 kHz – 500MHz
Internal diameter: 40mm
External diameter: 98mm
Height: 38mm
 Z_0 : 8
 $dB\Omega$: 18

Connector: Type-N
DC to 400 Hz: 350 amperes
RF(CW): 50 amperes
Peak Pulse Current²: 100 amperes

1: Probe calibrated with 50 Ω +j0 Ω Load Impedance
 2: Depends upon the pulse width and pulse rep. Rate.

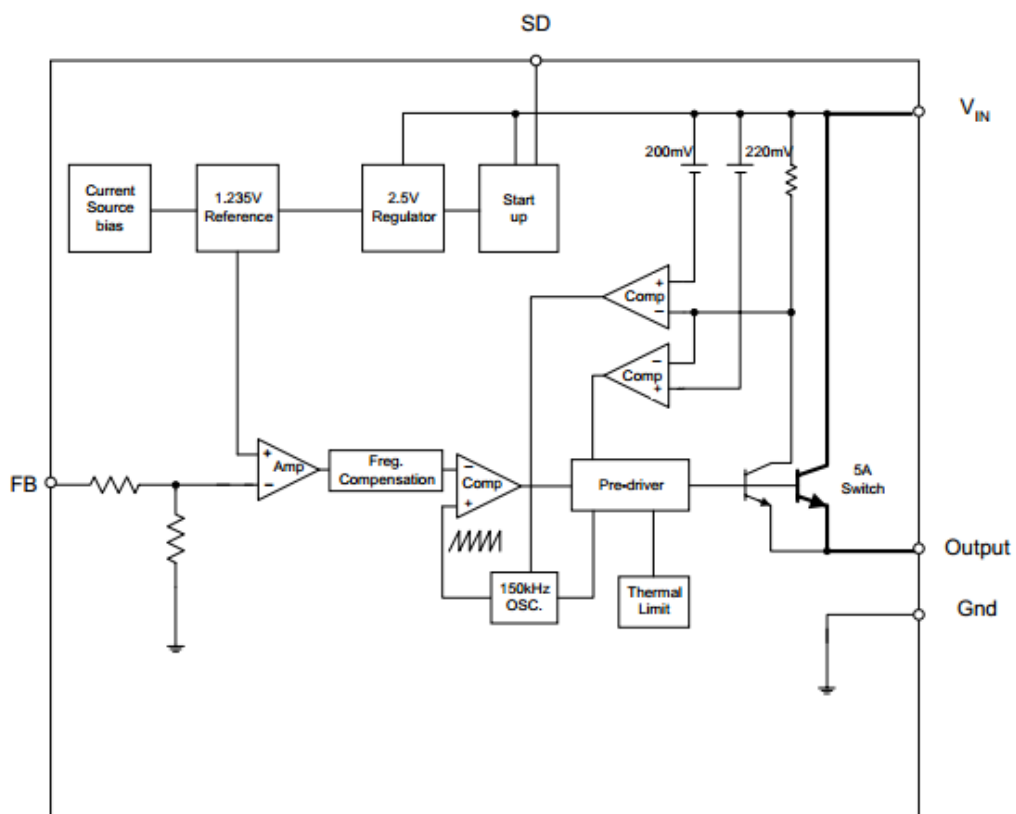
Obrázek 30: Specifikace pro proudovou sondu F-52[10]

5.3 Testované měniče

Testovanými objekty byly dva napěťové měniče. Jeden z nich nese označení AP1501A-12. Druhý pak MC34063. Měniče jsou tvořeny integrovanými obvody, které řídí spínací výkonový prvek. Obsahují zdroj referenčního napětí, zesilovač odchyly a jiné obvody.

5.3.1 AP1501A-12

Nejdůležitějším prvkem tohoto měniče je integrovaný obvod AP1501A-12 od výrobce Diodes Incorporated, který má hodnotu referenčního napětí 12 V a pracovní frekvenci 150 ± 25 kHz. Očekávaná účinnost měniče pak je cca 80 % při 2 A. Blokové schéma je zobrazeno na obr. 31.

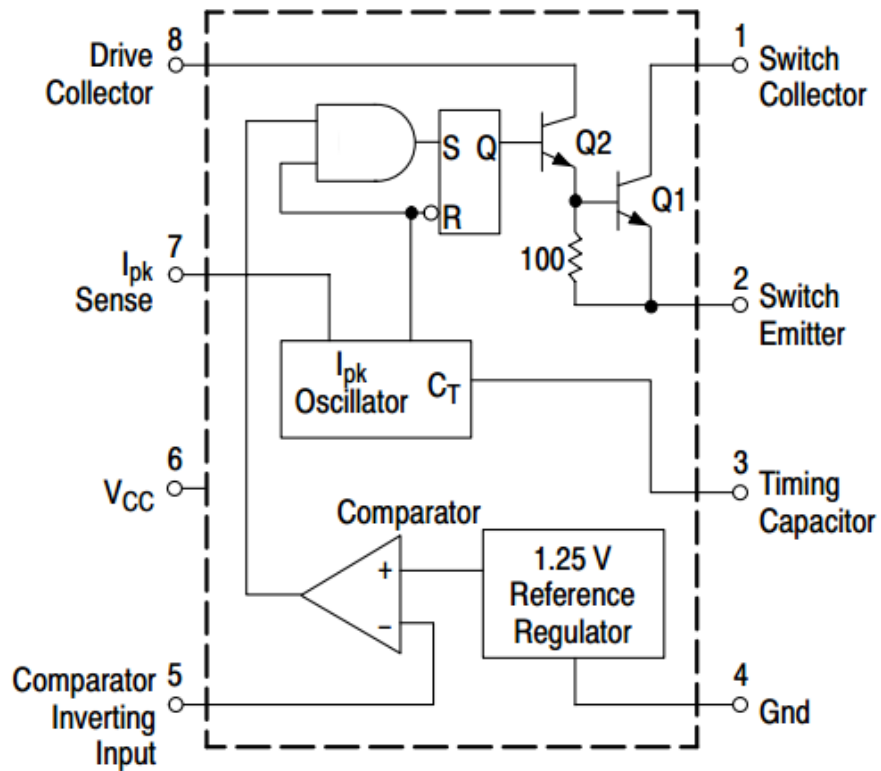


Obrázek 31: Blokové schéma AP1501A-12 [12]

5.3.2 MC34063

Druhý nese pojmenování dle integrovaného obvodu MC34063 od výrobce Texas Instruments. Integrovaný obvod pracuje na frekvenci od 100 kHz a s napětím až do 40 V. Maxi-

mální dosažitelný výstupní proud je 1,5 A při výstupním napětí 12 V. Měnič dosahuje maximálního výkonu 18 W. Pro zvýšení výstupního výkonu je měnič osazen výkonovým MOSFET tranzistorem IRFR5305. Očekávaná účinnost je 75 %. Blokové schéma je zobrazeno na obr. 32.



Obrázek 32: Blokové schéma MC34063 [15]

5.4 Přijímač

Pro všechna měření byl použit přijímač ESU8 od firmy Rhode&Schwarz.



Obrázek 33: R&S ESU8 [13]

5.5 Zdroj

Pro všechna měření byl použit zdroj HQ Power PS 3010. Jedná se o stabilizovaný a lineární zdroj, na kterém bylo nastaveno napětí 24 V.



Obrázek 34: Zdroj HQ Power PS3010 [21]

5.6 Zátěž

Pro všechna měření byla použita zátěž Array 3721A v režimu odběru konstantního proudu o hodnotě 1 A.



Obrázek 35: Zátěž Array 3721A [8]

6 MĚŘENÍ VYZAŘOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE V SEMIANECHOICKÉ KOMOŘE

Měření elektromagnetického pole vyzařované napěťovými měniči bylo provedeno v semianechoické, neboli bezodrazové komoře. Je to elektromagneticky stíněná místnost, jejíž vnitřní stěny a strop jsou obloženy absorpčním materiálem, který omezuje vnitřní odrazy v místnosti.



Obrázek 36: Obložení místnosti

Měřeny byly napěťové měniče AP1501 a MC34063. Vzhledem k tomu, že nebyly vestavěné v žádném zařízení, ani krytu, měření probíhalo dle ČSN EN 61000-6-3 ed. 2. Tato norma je v příloze PI a PII.

Některá nastavení přístrojů byla nastavena pro všechna měření v semianechoické komoře stejně, jedná se o:

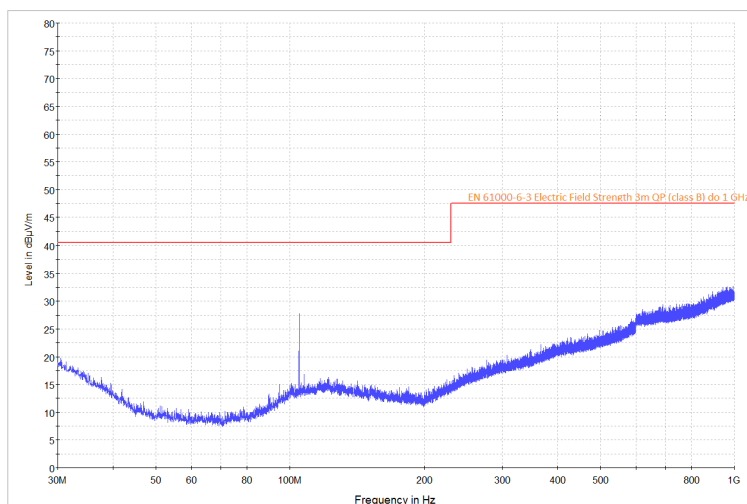
- Výšku antény: 1,5 m nad vodivým povrchem.
- Vzdálenost antény od přístroje: 3 m.
- Rozsah: 30 MHz – 1 GHz.
- Přijímač: Atenuátor 0 dB, předzesilovač 20 dB, délka měření 100 ms.
- Metodu měření detektoru: Předdefinovaný ScanFast.
- Typ detektoru: maximální hodnota (MP), kvazivrcholová hodnota (QP) a průměrná hodnota (AV)
- Šířku pásma: 120 kHz dle doporučení CISPR.

Ostatní nastavení se měnila dle potřeby každého jednotlivého měření. Jedná se o:

- Polarizaci antény.
- Nastavení detektoru.

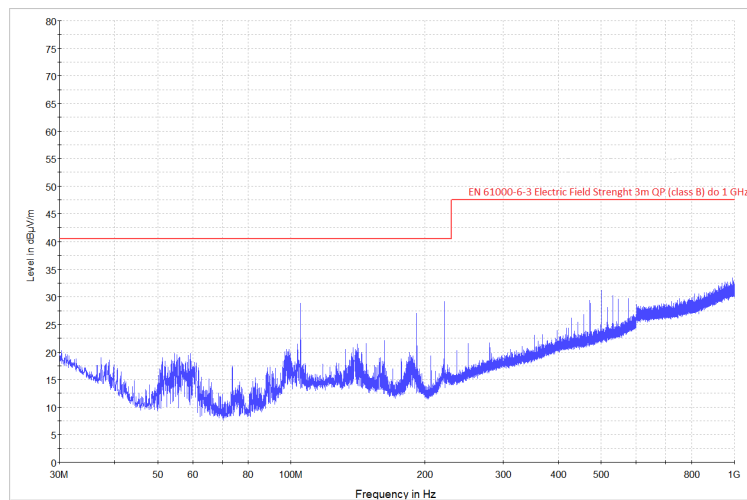
6.1 Testování bezodrazové komory a podpůrných přístrojů

Bezodrazová komora byla testována z důvodu ověření její funkčnosti. V komoře nebyl žádný aktivní přístroj. Polarizace antény byla nastavena horizontálně. Detektor byl nastaven na maximální hodnotu, který měl ukázat nejvyšší naměřené hodnoty. Výsledek tohoto testu byl uspokojivý. V grafu se objevilo jen spektrum blízkých vysílačů. Výsledek měření, v plném rozlišení, je v příloze PIII.

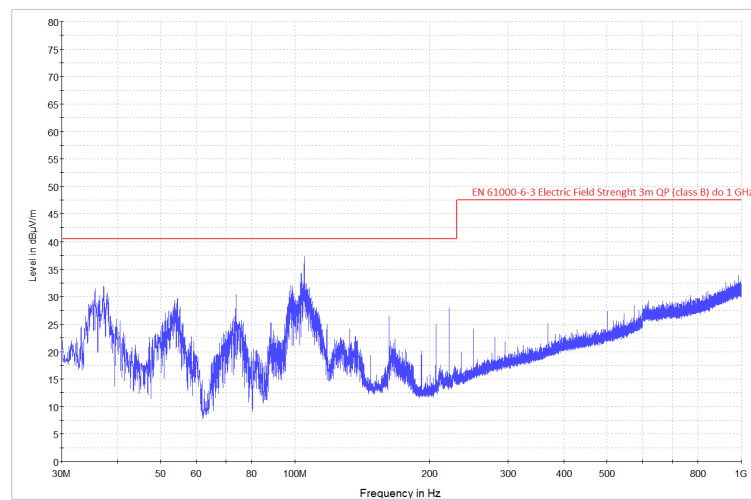


Obrázek 37: Pozadí komory při horizontální polarizaci antény (MP)

V bezodrazové komoře byly také ověřeny podpůrné přístroje, zda jejich vyzařování elektromagnetického pole není nadlimitní a mohou být použity pro následující měření. Jedná se o umělou zátěž Array 3721A a zdroj HQ Power PS 3010. Polarizace byla nastavena pro první měření horizontálně a pro druhé měření vertikálně. Detektor byl nastaven na maximální hodnotu. Výsledky obou měření byly vyhovující a zdroj i umělá zátěž byly využity k následujícím měřením. Výsledky, v plném rozlišení, jsou v příloze PIV a PV.



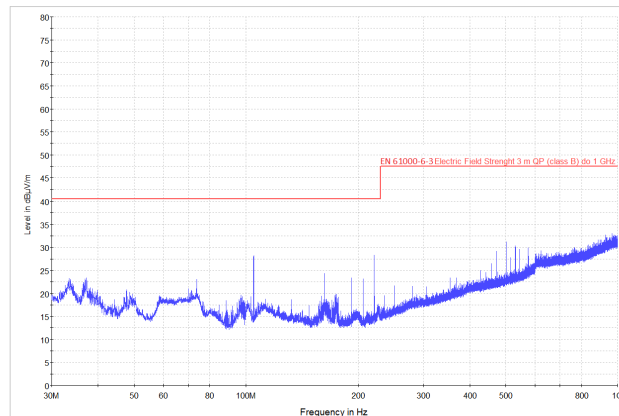
Obrázek 38: Výsledek testu podpůrných přístrojů, horizontální polarizace antény (MP)



Obrázek 39: Výsledek testu podpůrných přístrojů, vertikální polarizace antény (MP)

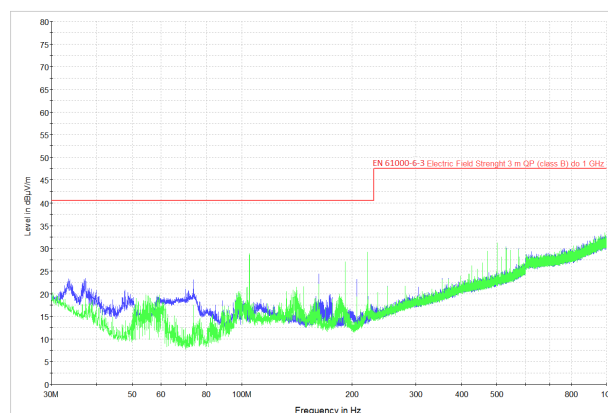
6.2 Napěťový měnič AP1501

Jako první ze dvou napěťových měničů byl testován měnič AP1501. Polarizace antény pro první měření byla nastavena horizontálně a detektor byl nastaven na maximální hodnotu. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PVI.



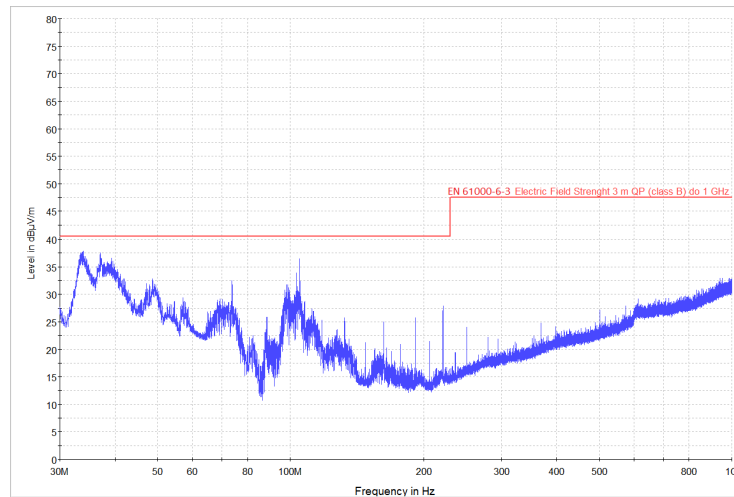
Obrázek 40: Výsledek měření měniče AP1501, horizontální polarizace antény (MP)

Jelikož norma požaduje mezní hodnoty jako výsledek nastavení detektoru na kvazivrcholovou hodnotu, bylo provedeno i měření s tímto nastavením. V grafu jsou dvě linie. Modrá znázorňuje výsledek pro maximální hodnotu a zelená kvazivrcholovou hodnotu. Kvazivrcholová hodnota vykazuje viditelně nižší hodnoty. Pro normu ČSN EN 61000-6-3 ed. 2 byl tedy výsledek vyhovující. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PVII.



Obrázek 41: Výsledek měření měniče AP1501, horizontální polarizace antény (MP +QP)

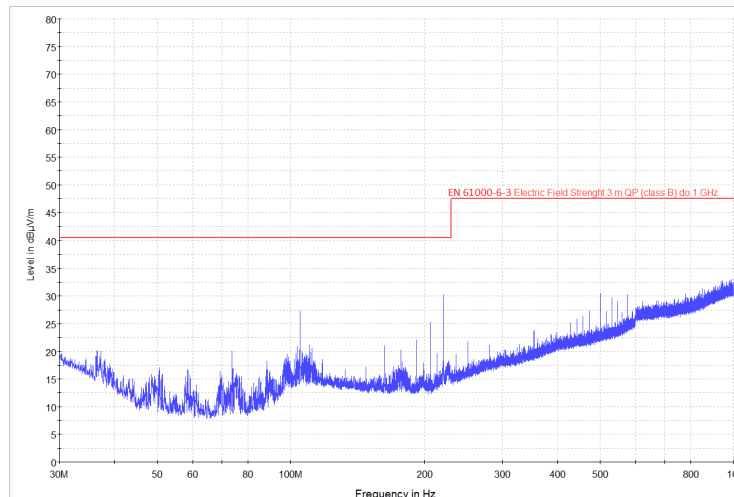
Pro kontrolu bylo přistoupeno ještě k jednomu měření. Polarizace antény byla nastavena vertikálně a detektor nastaven na maximální hodnotu. Jelikož i toto měření bylo vyhovující, nebylo již přistoupeno k měření s detektorem kvazivrcholové hodnoty. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PVIII.



Obrázek 42: Výsledek měření měniče AP1501, vertikální polarizace antény (MP)

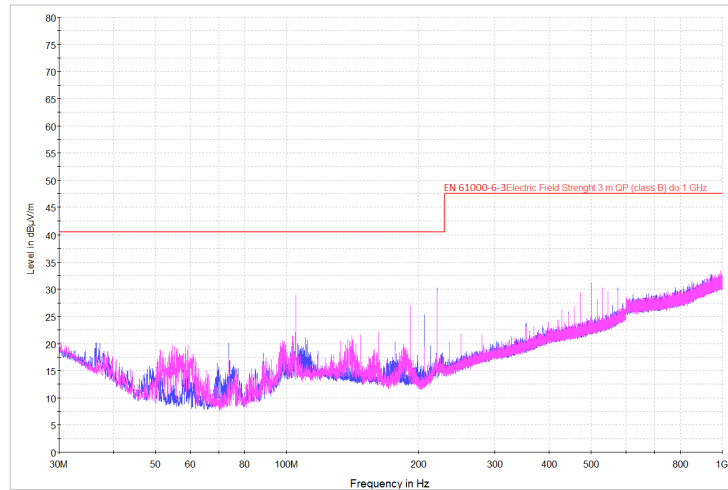
6.3 Napěťový měnič MC34063

Jako druhý byl testován napěťový měnič MC34063. Polarizace antény pro první měření byla nastavena horizontálně a detektor byl nastaven na maximální hodnotu. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PIX.



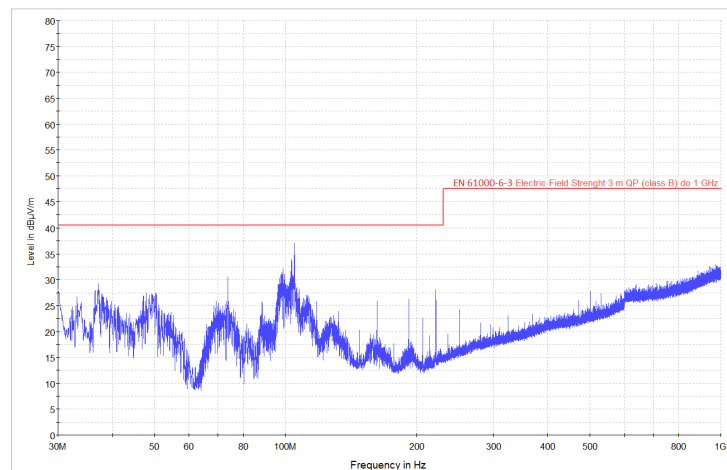
Obrázek 43: Výsledek měření měniče MC34063, horizontální polarizace antény (MP)

Jelikož norma požaduje mezní hodnoty jako výsledek nastavení detektoru na kvazivrcholovou hodnotu, bylo provedeno i měření s tímto nastavením. V grafu jsou dvě linie. Modrá znázorňuje výsledek pro maximální hodnotu a růžová kvazivrcholovou hodnotu. Pro normu ČSN EN 61000-6-3 ed. 2 byl tedy výsledek vyhovující. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PX.



Obrázek 44: Výsledek měření měniče MC34063, horizontální polarizace antény (MP + QP)

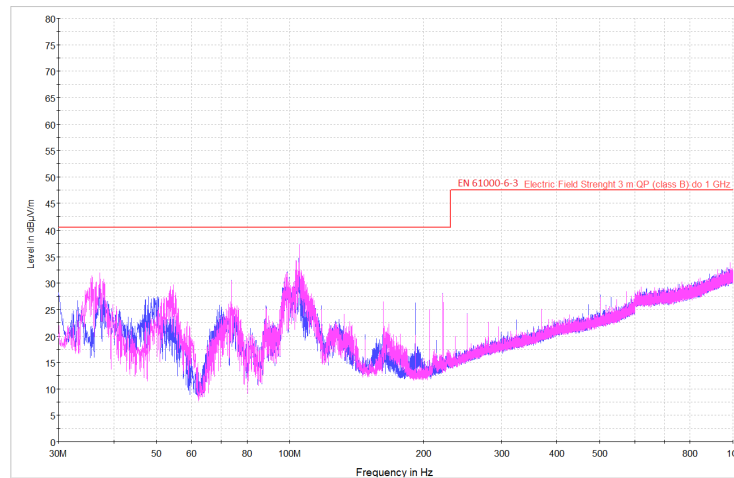
Pro kontrolu bylo přistoupeno ještě k dalšímu měření. Polarizace antény byla nastavena vertikálně a detektor nastaven na maximální hodnotu. I toto měření bylo vyhovující. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXI.



Obrázek 45: Výsledek měření měniče MC34063, vertikální polarizaci antény (MP)

Pro poslední měření byla anténní polarizace nastavena vertikálně a detektor nastaven na kvazivrcholovou hodnotu. Toto měření splňovalo meze normy ČSN EN 61000-6-3 ed. 2.

V grafu jsou dvě linie. Modrá znázorňuje výsledek pro maximální hodnotu a růžová kvazivrcholovou hodnotu. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXII.



Obrázek 46: Výsledek měření měniče MC34063, vertikální polarizace antény (MP + QP)

7 MĚŘENÍ RUŠIVÝCH PROUDŮ NA SVORKÁCH

Měření rušivých proudů na svorkách měničů bylo provedeno pomocí proudové sondy Current Probe F-52. Tato sonda byla připevněna k přijímači ESU8 pomocí krátkého koaxiálního kabelu a její korekce byla provedena dle specifikací výrobce.

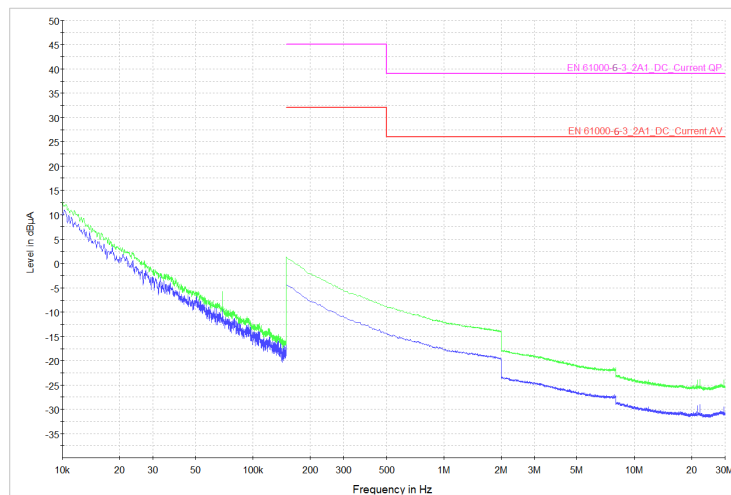
K měření byly použity podpůrné přístroje. Zdroj HQ Power PS 3010, který byl nastaven jako lineární, stabilizovaný a pro napětí 24 V a umělá zátěž Array 3721A v režimu odběru konstantního proudu 1 A. Pro veškerá měření byla použita předdefinovaná metoda měření ScanFast.

7.1 Kontrola sondy

Před samotným měřením na svorkách měničů bylo přistoupeno k měření pozadí sondy, zda je způsobilá k měření rušivých proudů na svorkách měničů s mezními hodnotami, které nám udává norma ČSN EN 61000-6-3 ed. 2. Tato norma nám udává dvě mezní hodnoty pro průměrnou a kvazivrcholovou hodnotu v rozsahu mezi 150 kHz - 500 kHz pro průměrnou hodnotu a 500 kHz – 30 MHz pro kvazivrcholovou hodnotu. Šířka pásma byla zvolena dle doporučení CISPR pro průměrnou hodnotu na 9 kHz a pro kvazivrcholovou hodnotu na 120 kHz.

Při tomto měření byl atenuátor přijímače nastaven na 0 dB a uvnitř sondy nebyl žádný napájený vodič.

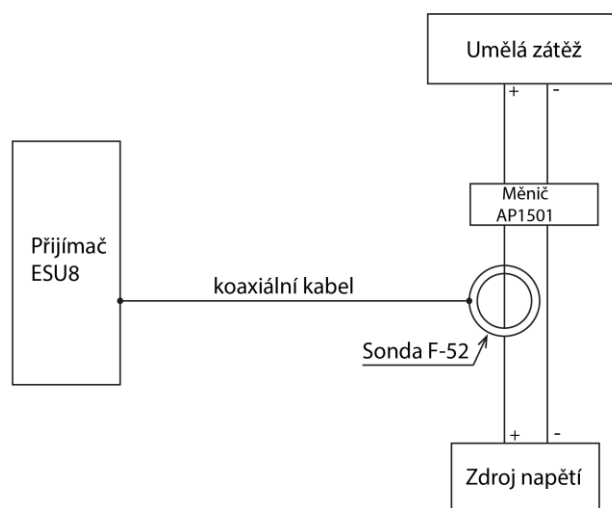
Výsledek byl dle očekávání v pořádku, naměřené hodnoty spadaly do hodnot dané normou a nebyly zjištěny žádné výrazné výkyvy. V grafu jsou dvě linie. Modrá znázorňuje výsledek pro průměrnou hodnotu a zelená kvazivrcholovou hodnotu. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXIII.



Obrázek 47: Výsledek testu pozadí sondy (AV + QP)

7.2 Napěťový měnič AP1501

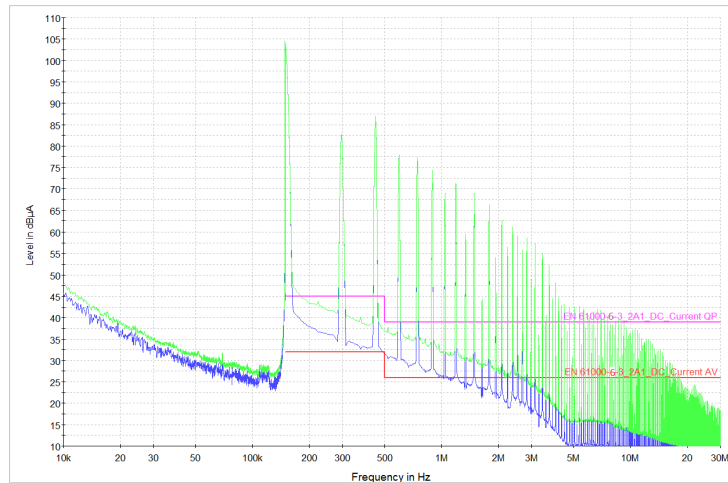
Jako první testovaný měnič byl AP1501. Při tomto měření byl atenuátor přijímače nastaven na 35 dB. Měření probíhalo na vstupech i výstupech měniče, dle schématu.



Obrázek 48: Schéma zapojení při měření rušivých proudů na měniči AP1501

7.2.1 Svorky na vstupu

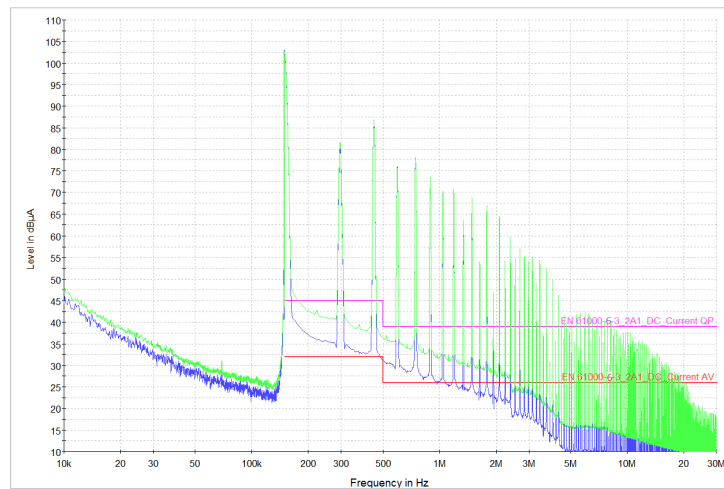
Hodnoty byly měřeny ve dvou sadách a to na kladném a záporném vstupu měniče AP1501. Meze byly dány normou ČSN EN 61000-6-3 ed. 2, která je uvedena v příloze PI a PII. V první sadě byl měřen rušivý proud na kladném vstupu.



Obrázek 49: Výsledek testu AP1501, kladný vstup měniče (AV + QP)

Na grafu jsou zaznačeny dvě meze a to pro průměrnou a kvazivrcholovou hodnotu dané normou. Výsledek nebyl vyhovující, protože jak průměrná hodnota (modrá část grafu), tak hodnota kvazivrcholová (zelená část grafu) byla nad mezními hodnotami. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXIV.

V druhé sadě byl měřen rušivý proud na záporném vstupu.

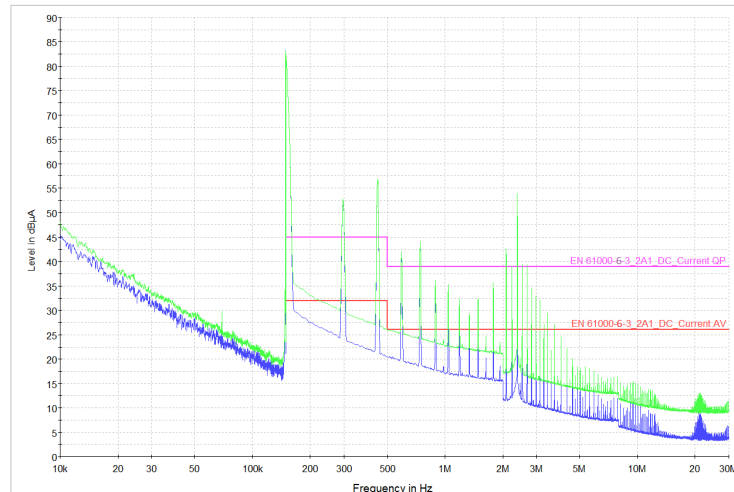


Obrázek 50: Výsledek testu AP1501, záporný vstup měniče (AV + QP)

Na grafu jsou zaznačeny dvě meze a to pro průměrnou a kvazivrcholovou hodnotu dané normou. Výsledek nebyl vyhovující, protože jak průměrná hodnota (modrá část grafu), tak hodnota kvazivrcholová (zelená část grafu) byla nad mezními hodnotami. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXV.

7.2.2 Svorky na výstupu

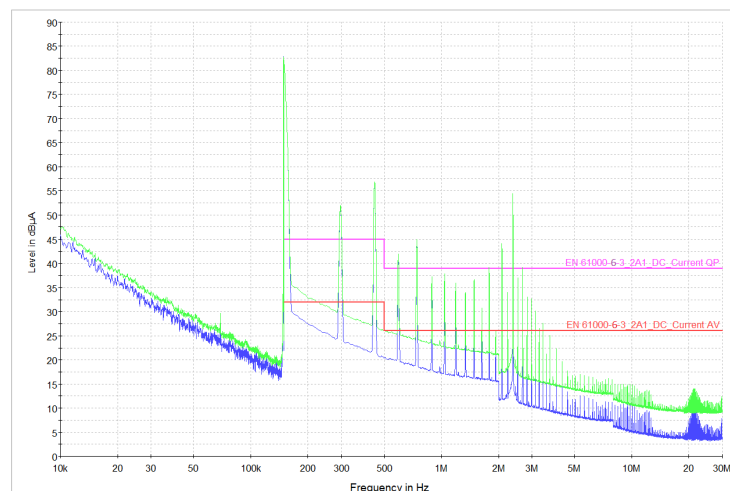
Hodnoty byly měřeny ve dvou sadách a to na kladném a záporném výstupu měniče AP1501. Meze byly dány normou ČSN EN 61000-6-3 ed. 2, která je uvedena v příloze PI a PII. V první sadě byl měřen rušivý proud na kladném výstupu.



Obrázek 51: Výsledek testu AP1501, kladný výstup měniče (AV + QP)

Na grafu jsou zaznačeny dvě meze a to pro průměrnou a kvazivrcholovou hodnotu dané normou. Výsledek nebyl vyhovující, protože jak průměrná hodnota (modrá část grafu), tak hodnota kvazivrcholová (zelená část grafu) byla nad mezními hodnotami. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXVI.

V další sadě byl měřen rušivý proud na záporném výstupu.

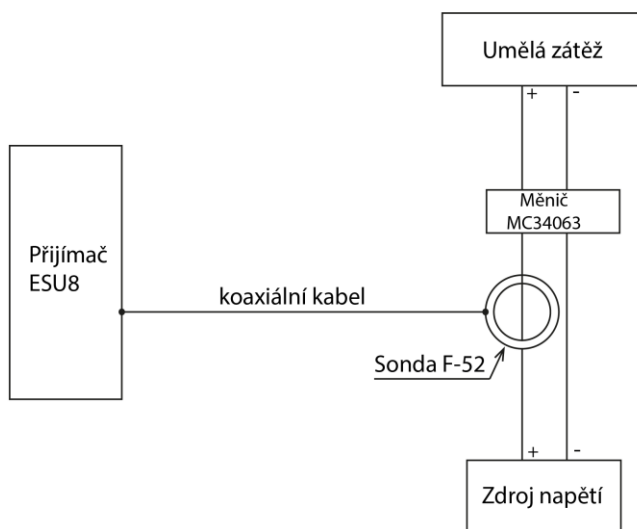


Obrázek 52: Výsledek testu AP1501, záporný výstup měniče (AV+ QP)

Na grafu jsou zaznačeny dvě meze a to pro průměrnou a kvazivrcholovou hodnotu dané normou. Výsledek nebyl vyhovující, protože jak průměrná hodnota (modrá část grafu), tak hodnota kvazivrcholová (zelená část grafu) byla nad mezními hodnotami. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXVII.

7.3 Napěťový měnič MC34063

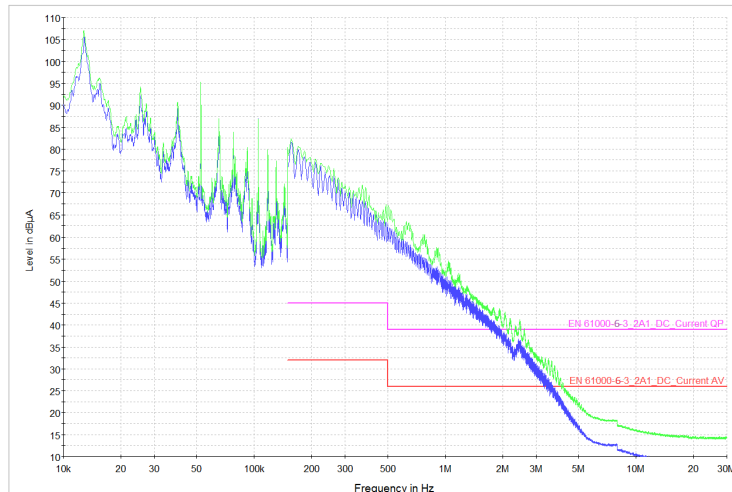
Jako druhý testovaný měnič byl MC34063. Při tomto měření byl atenuátor přijímače nastaven na 40 dB. Měření probíhalo na vstupech i výstupech měniče, jak je zakresleno na schématu.



Obrázek 53: Schéma zapojení při měření rušivých proudů na měniči MC34063

7.3.1 Svorky na vstupu

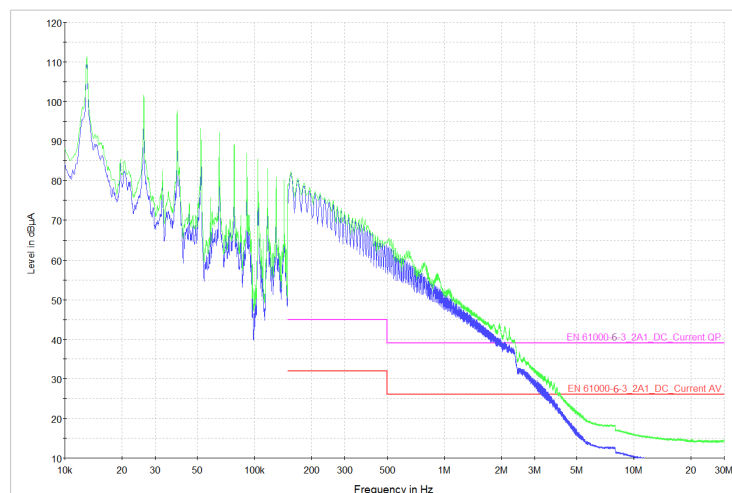
Hodnoty byly měřeny ve dvou sadách a to na kladném a záporném vstupu měniče MC34063. Meze byly dány normou ČSN EN 61000-6-3 ed. 2, která je uvedena v příloze PI a PII. V první sadě byl měřen rušivý proud na kladném vstupu.



Obrázek 54: Výsledek testu MC34063, kladný vstup měniče (AV + QP)

Na grafu jsou zaznačeny dvě meze a to pro průměrnou a kvazivrcholovou hodnotu dané normou. Výsledek nebyl vyhovující, protože jak průměrná hodnota (modrá část grafu), tak hodnota kvazivrcholová (zelená část grafu) byla nad mezními hodnotami. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXVIII.

V druhé sadě byl měřen rušivý proud na záporném vstupu.

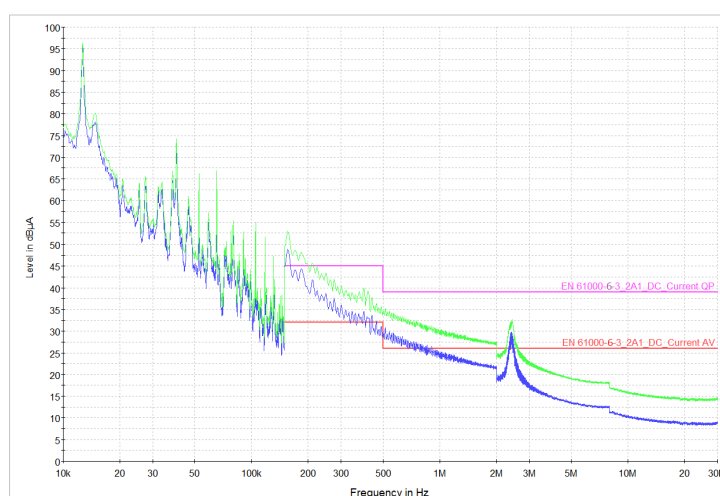


Obrázek 55: Výsledek testu MC34063, záporný vstup měniče (AV + QP)

Na grafu jsou zaznačeny dvě meze a to pro průměrnou a kvazivrcholovou hodnotu dané normou. Výsledek nebyl vyhovující, protože jak průměrná hodnota (modrá část grafu), tak hodnota kvazivrcholová (zelená část grafu) byla nad mezními hodnotami. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXIX.

7.3.2 Svorky na výstupu

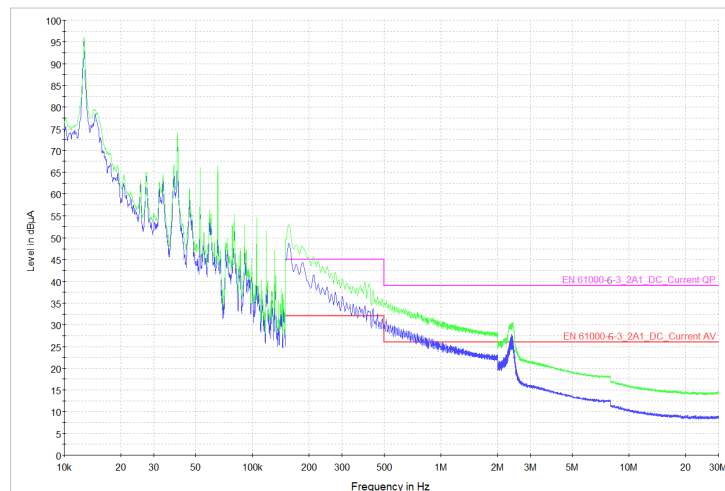
Hodnoty byly měřeny ve dvou sadách a to na kladném a záporném výstupu měniče MC34063. Meze byly dány normou 61000-6-3 ed. 2, která je uvedena v příloze PI a PII. V první sadě byl měřen rušivý proud na kladném výstupu.



Obrázek 56: Výsledek testu MC34063, kladný výstup měniče (AV+ QP)

Na grafu jsou zaznačeny dvě meze a to pro průměrnou a kvazivrcholovou hodnotu dané normou. Výsledek nebyl vyhovující, protože jak průměrná hodnota (modrá část grafu), tak hodnota kvazivrcholová (zelená část grafu) byla nad mezními hodnotami. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXX.

V druhé sadě byl měřen rušivý proud na záporném výstupu.



Obrázek 57: Výsledek testu MC34063, záporný výstup měniče (AV + QP)

Na grafu jsou zaznačeny dvě meze a to pro průměrnou a kvazivrcholovou hodnotu dané normou. Výsledek nebyl vyhovující, protože jak průměrná hodnota (modrá část grafu), tak hodnota kvazivrcholová (zelená část grafu) byla nad mezními hodnotami. Výsledek, v plném rozlišení, je v příloze PXXI.

Pro snížení nadlimitních hodnot by bylo možné na měnič nainstalovat přídavné filtry, popřípadě je zasadit do stínícího zařízení, nebo krytu.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá popsáním teoretických znalostí elektromagnetické kompatibility a měřením elektromagnetických interferencí. Je zde shrnuta problematika rušivých signálů. Jednak šíření těchto signálů po vodičích a okolnímu prostředí, tak problematika měření takových signálů.

V této práci byly popsány dva napěťové měniče, pojmenované jako AP1501A a MC34063, dle vnitřních obvodů, které byly objektem měření rušivých proudů na svorkách a měření vyzářování elektromagnetického pole v semianechoické komoře.

V první sadě byly provedeny dvě měření pro každý napěťový měnič. Obě sady měření probíhaly dle doporučení CISPR a dle normy ČSN EN 61000-6-3 ed. 2. Jako první jsem otestoval samotnou semianechoickou komoru, z důvodu otestování funkčnosti komory. Výsledek byl pozitivní. Pro měření elektromagnetického pole byla použita logaritmicko-periodická anténa Bilog CBL 6112. Dále jsem pokračoval k měření samotných napěťových měničů AP1501A a následně MC34063. Po naměření hodnot u obou měničů byla provedena analýza a porovnání s mezními hodnotami, které udává norma ČSN EN 61000-6-3 ed. 2. Závěrem tohoto měření jsem došel k výsledku, že oba měniče jsou v souladu s požadavky normy, jelikož naměřené hodnoty byly vždy pod mezními hodnotami.

V druhé sadě byly provedeny dvě měření pro každý napěťový měnič. Měření se týká stejných napěťových měničů AP1501A a MC34063 jako v předešlém měření. Nyní jsem měřil rušivý proud na svorkách měničů pomocí proudové sondy Currnet Probe F-52. Sonda byla sama otestována, kvůli ověření funkčnosti. Poté jsem přistoupil k měření rušivých proudů na svorkách obou měničů. Po naměření hodnot byly výsledky analyzovány a porovnány s mezními hodnotami, které nám udává norma ČSN EN 61000-6-3 ed. 2. Závěrem jsem došel k výsledku, že oba měniče nejsou v souladu s danou normou a nemohly by být v takovémto stavu používány. Pro snížení naměřených nadlimitních hodnot by bylo možné na měniče nainstalovat přídavné filtry, popřípadě je zasadit do stínícího zařízení, nebo krytu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN 61000-6-1. *Elektromagnetická kompatibilita - Kmenová norma pro odolnost - Část 1: Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu*. 2007. 2.
- [2] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN IEC 50 161. *Mezinárodní elektro-technický slovník: Elektromagnetická kompatibilita*. 1993.
- [3] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 243 s. ISBN 80-860-5691-0.
- [4] IVANKA, Ján. *Systematizace bezpečnostního průmyslu*. Zlín, 2011. ISBN 978-80-7454-122-3. Skripta. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [5] KOVÁČ, Dobroslav, Irena KOVÁČOVÁ a Ján KAŇUCH. *EMC z hlediska teorie a aplikace*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 216 s. ISBN 80-730-0202-7.
- [6] SVAČINA, Jiří. *Elektromagnetická kompatibilita: Principy a poznámky*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2001, 156 s. ISBN 80-214-1873-7.
- [7] SVAČINA, Jiří. *Základy elektromagnetické kompatibility: Přednášky*. 1. vyd. Brno: VUT, 2001, 155 s. ISBN 80-214-1573-8.
- [8] ARRAY 3721A Programmable DC Electronic Load 0~80V / 0~40A. *CircuitSpecialists* [online]. 2015 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.circuitspecialists.com/dc-load-400-watt-array-3721a.html>
- [9] CBL 6112. *TESEQ* [online]. 2013 [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <http://www.teseq.com/products/CBL-6112.php>
- [10] Current Probe. *FCC Instrumentation* [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <http://fischercc.com/ViewProductGroup.aspx?productId=7139&productGroupId=127>
- [11] Druhy vazeb (pronikání) přepětí. *HAKEL.CZ* [online]. 2015 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.hakel.cz/standard/druhy-vazeb-pronikani-prepeti/>
- [12] Electronic Components Datasheet Search. *ALLDATASHEET.COM* [online]. 2003, 2015 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/99354/ANACHIP/AP1501A-12.html>

- [13] EMI Test Receiver: R&S ESU(8,26,40). *RHODE&SCHWARZ* [online]. 2015 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: [http://www3.rohde-schwarz.com/www/barglist.nsf/show?readForm&profile=ogindia§ion=EMC&product=ogindiaESU\(8,26,40\)&count=99999](http://www3.rohde-schwarz.com/www/barglist.nsf/show?readForm&profile=ogindia§ion=EMC&product=ogindiaESU(8,26,40)&count=99999)
- [14] FCC PUBLIC. KÜNZEL, Karel a Jaroslav ŽÁČEK. *EMC v technické praxi II: Rušivé signály, jejich zdroje a šíření* [online]. 2015 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30991
- [15] MC34063A, MC33063A, NCV33063A. *Sparkfun* [online]. 2003 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/MC34063A.pdf>
- [16] Měníče napětí a spínané zdroje - teoretická základna. *TZBINFO* [online]. 2001 [cit. 2015-02-27]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4263-menice-napeti-a-spinane-zdroje-teoreticka-zakladna>
- [17] Napěťová sonda. *AMT měřící technika* [online]. 2011 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: <http://www.amt.cz/index.php?id=CP3601R>
- [18] Osciloskopy. *Skolab* [online]. 2015 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: http://www.skolab.cz/ucebni_pomucky/osciloskopy.html
- [19] Rušivé signály a jejich zdroje. *Encyklopedie EMC* [online]. 2009 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node7>
- [20] Spínané zdroje. *HW.cz* [online]. 2011 [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/spinane-zdroje.html>
- [21] Stabilizovaný laboratorní zdroj PS 3010 (DF 3010). *GES electronics* [online]. 2015 [cit. 2015-03-05]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/cz/ps-3010-GES07507301.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Ampér
AV	Průměrná hodnota
C	Kondenzátor
CISPR	Mezinárodní výbor pro studium rušení
ČSN	Česká technická norma
D	Dioda
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Elektromagnetická interference
EMS	Elektromagnetická susceptibilita
EN	Evropská norma
f	Frekvence
GHz	Gigahertz
Hz	Hertz
I	Proud
IEC	Mezinárodní úřad pro elektrotechniku
kHz	Kilohertz
l	Délka
L	Cívka
LISN	Umělá zátěž vedení
MHz	Megahertz
MP	Maximální hodnota
mV	Milivolt
P	Výkon
QP	Kvazivrcholová hodnota

R	Odpor
S	Spínač
U	Napětí
W	Watt

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Návaznost složek na sebe.....	12
Obrázek 2: Dělení EMC [4].....	13
Obrázek 3: Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti [7].....	16
Obrázek 4: Klasifikace interferenčních signálů.....	17
Obrázek 5: Impulzní signál [19].....	18
Obrázek 6: Spojitý signál [19].....	18
Obrázek 7: Způsoby šíření rušivých signálů [7].....	19
Obrázek 8: Způsoby vzájemného elektromagnetického ovlivňování [5].....	20
Obrázek 9: Galvanická vazba se společnou impedancí ve vedení napájecím [7].....	21
Obrázek 10: Kapacitní vazba [11].....	21
Obrázek 11: Induktivní vazba [11].....	22
Obrázek 12: Šíření vyzařováním [7].....	23
Obrázek 13: Způsoby měření rušení vedením a vyzařováním [7].....	25
Obrázek 14: Schéma umělé sítě LISN [7].....	26
Obrázek 15: Napěťová sonda [17].....	26
Obrázek 16: Proudová sonda [18].....	27
Obrázek 17: Absorpční sonda [7].....	27
Obrázek 18: Rámová anténa [7].....	28
Obrázek 19: Schéma půlvlnného dipólu.....	29
Obrázek 20: Bikónická anténa [7].....	29
Obrázek 21: Logaritmicko-periodická anténa [7].....	30
Obrázek 22: Kónicko-logaritmická anténa [7].....	30
Obrázek 23: Sada trychtýřovitých antén [7].....	31
Obrázek 24: Schéma spínaného zdroje snižující napětí [20].....	34
Obrázek 25: Schéma spínaného zdroje zvyšující napětí [20].....	35
Obrázek 26: Schéma spínaného zdroje invertující napětí [20].....	35
Obrázek 27: Anténa Bilog CBL 6112.....	37
Obrázek 28: Anténní faktor [9].....	37
Obrázek 29: Proudová sonda F-52 [10].....	38
Obrázek 30: Specifikace pro proudovou sondu F-52[10].....	38
Obrázek 31: Blokové schéma AP1501A-12 [12].....	39
Obrázek 32: Blokové schéma MC34063 [15].....	40

Obrázek 33: R&S ESU8 [13].....	41
Obrázek 34: Zdroj HQ Power PS3010 [21].....	41
Obrázek 35: Zátěž Array 3721A [8].....	42
Obrázek 36: Obložení místnosti	43
Obrázek 37: Pozadí komory při horizontální polarizaci antény (MP).....	44
Obrázek 38: Výsledek testu podpůrných přístrojů, horizontální polarizace antény (MP).....	45
Obrázek 39: Výsledek testu podpůrných přístrojů, vertikální polarizace antény (MP).....	45
Obrázek 40: Výsledek měření měniče AP1501, horizontální polarizace antény (MP)	46
Obrázek 41: Výsledek měření měniče AP1501, horizontální polarizace antény (MP +QP)	46
Obrázek 42: Výsledek měření měniče AP1501, vertikální polarizace antény (MP).....	47
Obrázek 43: Výsledek měření měniče MC34063, horizontální polarizace antény (MP).....	48
Obrázek 44: Výsledek měření měniče MC34063, horizontální polarizace antény (MP + QP)	49
Obrázek 45: Výsledek měření měniče MC34063, vertikální polarizaci antény (MP).....	49
Obrázek 46: Výsledek měření měniče MC34063, vertikální polarizace antény (MP + QP).....	50
Obrázek 47: Výsledek testu pozadí sondy (AV + QP)	52
Obrázek 48: Schéma zapojení při měření rušivých proudů na měniči AP1501	52
Obrázek 49: Výsledek testu AP1501, kladný vstup měniče (AV + QP)	53
Obrázek 50: Výsledek testu AP1501, záporný vstup měniče (AV + QP)	54
Obrázek 51: Výsledek testu AP1501, kladný výstup měniče (AV + QP)	55
Obrázek 52: Výsledek testu AP1501, záporný výstup měniče (AV+ QP)	55
Obrázek 53: Schéma zapojení při měření rušivých proudů na měniči MC34063	56
Obrázek 54: Výsledek testu MC34063, kladný vstup měniče (AV + QP)	57
Obrázek 55: Výsledek testu MC34063, záporný vstup měniče (AV + QP)	57
Obrázek 56: Výsledek testu MC34063, kladný výstup měniče (AV+ QP)	58
Obrázek 57: Výsledek testu MC34063, záporný výstup měniče (AV + QP)	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Druhy antén [7].....	28
Tabulka 2: Porovnání lineárních a spínaných zdrojů [3].....	32

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha I ČSN EN 61000-6-3 ED. 2 (1/2)
- Příloha II ČSN EN 61000-6-3 ED. 2 (2/2)
- Příloha III Pozadí komory (MP)
- Příloha IV Podpurné přístroje při horizontální polarizaci antény (MP)
- Příloha V Podpurné přístroje při vertikální polarizaci antény (MP)
- Příloha VI Výsledek testu AP1501 při horizontální polarizaci antény (MP)
- Příloha VII Výsledek testu AP1501 při horizontální polarizaci antény (MP + QP)
- Příloha VIII Výsledek testu AP1501 při vertikální polarizaci antény (MP)
- Příloha IX Výsledek testu MC34063 při horizontální polarizaci antény (MP)
- Příloha X Výsledek testu MC34063 při horizontální polarizaci antény (MP + QP)
- Příloha XI Výsledek testu MC34063 při vertikální polarizaci antény (MP)
- Příloha XII Výsledek testu MC34063 při vertikální polarizaci antény (MP + QP)
- Příloha XIII Výsledek testu pozadí sondy (AV + QP)
- Příloha XIV Výsledek testu AP1501, kladný vstup měniče (AV + QP)
- Příloha XV Výsledek testu AP1501, záporný vstup měniče (AV + QP)
- Příloha XVI Výsledek testu AP1501, kladný výstup měniče (AV + QP)
- Příloha XVII Výsledek testu AP1501, záporný výstup měniče (AV + QP)
- Příloha XVIII Výsledek testu MC34063, kladný vstup měniče (AV + QP)
- Příloha XIX Výsledek testu MC34063, záporný vstup měniče (AV + QP)
- Příloha XX Výsledek testu MC34063, kladný výstup měniče (AV + QP)
- Příloha XXI Výsledek testu MC34063, záporný výstup měniče (AV + QP)

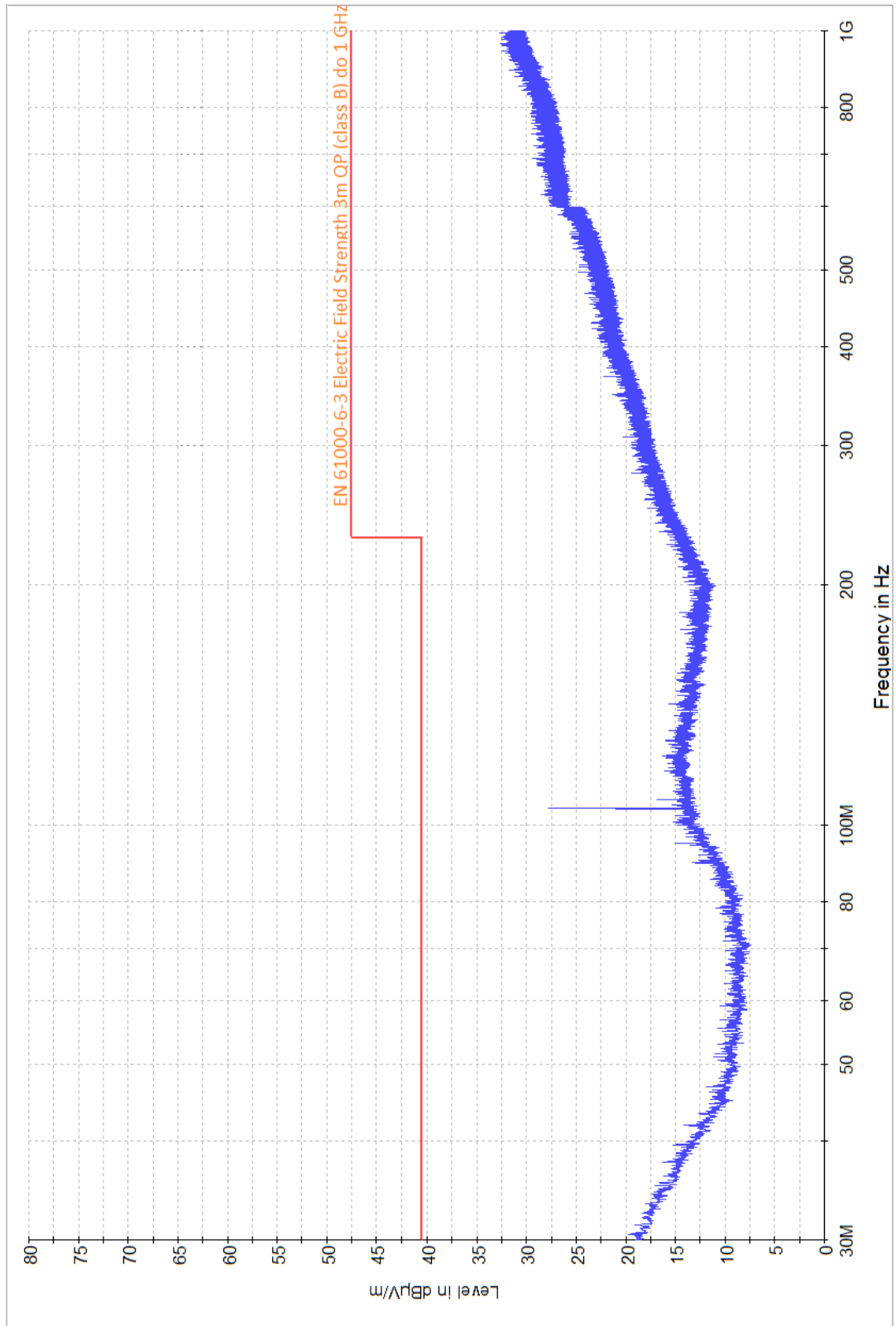
PŘÍLOHA P I: ČSN EN 61000-6-3 ed. 2 (1/2)

Vstup/výstup (port)	Kmitočtový rozsah	Meze	Základní norma	Poznámky k použitelnosti	Poznámka
1) Kryté přístroje- Metoda Pro zkušební stanoviště ve venkovní prostoru (OATS) nebo pro částečně bezodrazovou komoru	30 MHz - 230 MHz 230 MHz - 1 000 MHz	30 dB (µV/m) kvazivrcholová hodnota v 10 m 37 dB (µV/m) kvazivrcholová hodnota v 10 m	CISPR 16-2-3	Viz poznámky 1 a 4.	Může se měřit ve vzdálenosti 3 m s použitím mezí zvýšených o 10 dB.
	0 kHz - 2 kHz		IEC 61000-3-2 IEC 61000-3-3 IEC 61000-3-11 IEC 61000-3-12	Viz poznámky 2 a 3.	
2) Střídavé (AC) napájení nízkého napětí	0,15 MHz - 0,5 MHz	66 dB (µV) - 56 dB (µV) kvazivrcholová hodnota 56 dB (µV) - 46 dB (µV) střední hodnota	CISPR 16-2-1, 7.4.1	Viz poznámky 4 a 5.	
	0,5 MHz - 5 MHz	56 dB (µV) kvazivrcholová hodnota 46 dB (µV) střední hodnota	CISPR 16-1-2, 4.3		
	5 MHz - 30 MHz	60 dB (µV) kvazivrcholová hodnota 50 dB (µV) střední hodnota			
	0,15 MHz - 15 MHz	Viz základní normu, kapitolu, nespojitě rušení	CISPR 14-1		
Poznámka 1	Jestliže interní zdroj (e) pracuje (pracují) na kmitočtu pod 9 kHz, měření je třeba provádět pouze do 230 MHz.				
Poznámka 2	Použitelné pro přístroje, na které se vztahují normy IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3, nebo IEC 61000-3-12.				
Poznámka 3	Jestliže se na přístroj vztahuje IEC 61000-3-11, může se IEC 61000-3-11 použít místo IEC 61000-3-3.				
Poznámka 4	Na rozhraní kmitočtů platí nižší mez.				
Poznámka 5	V kmitočtovém rozsahu 0,15 MHz až 0,5 MHz meze klesají lineárně s logaritmem kmitočtu.				
Poznámka 6	Meze pro rušivé napětí a proud jsou odvozeny pro použití s impedanční stabilizační sítí (ISN), která představuje zkoušenému telekomunikačnímu portu nesymetrickou (common mode) impedanci 150 Ω (přepočítávací činitel je 20 lg 150 / 1 = 44 dB)				

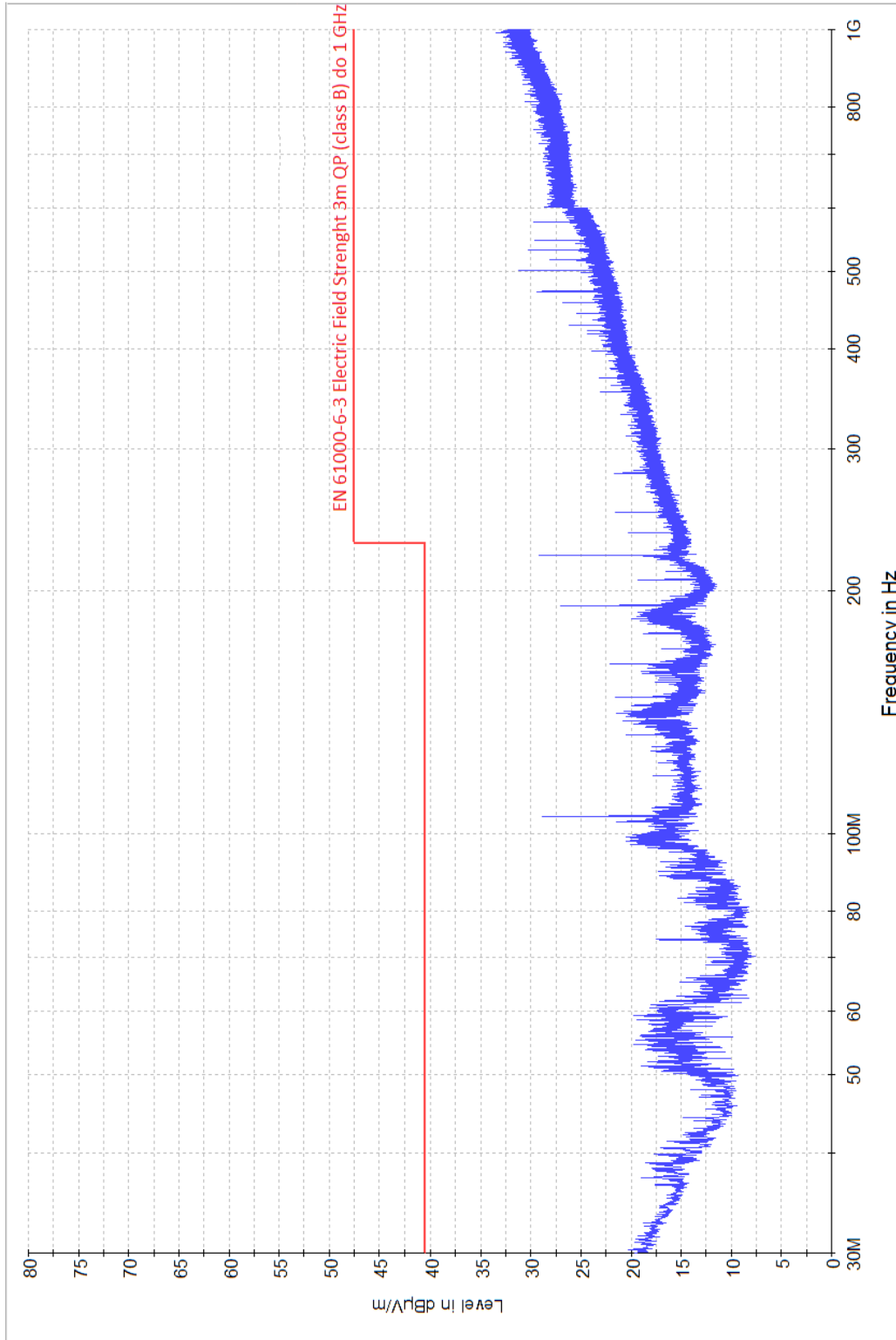
PŘÍLOHA P II: ČSN EN 61000-6-3 ed. 2 (2/2)

Vstup/výstup (port)	Kmitočtový rozsah	Meze	Základní norma	Poznámky k použitelnosti	Poznámka
3) Stejnoseměrné (DC) napájení	0,15 MHz - 0,50 MHz	79 dB (µV) kvazivrcholová hodnota 66 dB (µV) střední hodnota	CISPR 16-2-1, 7.4.1 CISPR 16-1-2, 4.3	Použitelné pouze na vstupy/výstupy (port) určené pro připojení k místní DC napájecí síti, nebo vzdálené místní baterii propojovacím kabelem delším než 30m. Viz poznámku 4	
	0,50 MHz - 30 MHz	73 dB (µV) kvazivrcholová hodnota 60 dB (µV) střední hodnota			
	0,15 MHz - 0,5 MHz	84 dB (µV) - 74 dB (µV) kvazivrcholová hodnota 74 dB (µV) - 64 dB (µV) střední hodnota 40 dB (µV) - 30 dB (µA) kvazivrcholová hodnota 30 dB (µV) - 20 dB (µA) střední hodnota			
4) Telekomunikační/síťový	0,5 MHz - 30 MHz	74 dB (µV) kvazivrcholová hodnota 64 dB (µV) střední hodnota 30 dB (µA) kvazivrcholová hodnota 20 dB (µA) střední hodnota	CISPR 22	Viz poznámky 4, 5 a 6	
	0,5 MHz - 30 MHz	74 dB (µV) kvazivrcholová hodnota 64 dB (µV) střední hodnota 30 dB (µA) kvazivrcholová hodnota 20 dB (µA) střední hodnota			
	0,5 MHz - 30 MHz	74 dB (µV) kvazivrcholová hodnota 64 dB (µV) střední hodnota 30 dB (µA) kvazivrcholová hodnota 20 dB (µA) střední hodnota			
Poznámka 1	Jestliže interní zdroj (e) pracuje (pracují) na kmitočtu pod 9 kHz, měření je třeba provádět pouze do 230 MHz.				
Poznámka 2	Použitelné pro přístroje, na které se vztahují normy IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3, nebo IEC 6100-3-12.				
Poznámka 3	Jestliže se na přístroj vztahuje IEC 61000-3-11, může se IEC 61000-3-11 použít místo IEC 61000-3-3.				
Poznámka 4	Na rozhraní kmitočtů platí nižší mez.				
Poznámka 5	V kmitočtovém rozsahu 0,15 MHz až 0,5 MHz meze klesají lineárně s logaritmem kmitočtu.				
Poznámka 6	Meze pro rušivé napětí a proud jsou odvozeny pro použití s impedanční stabilizační sítí (ISN), která představuje zkoušenému telekomunikačnímu portu nesymetrickou (common mode) impedanci 150 Ω (přepočítávací činitel je 20 lg 150 / 1 = 44 dB)				

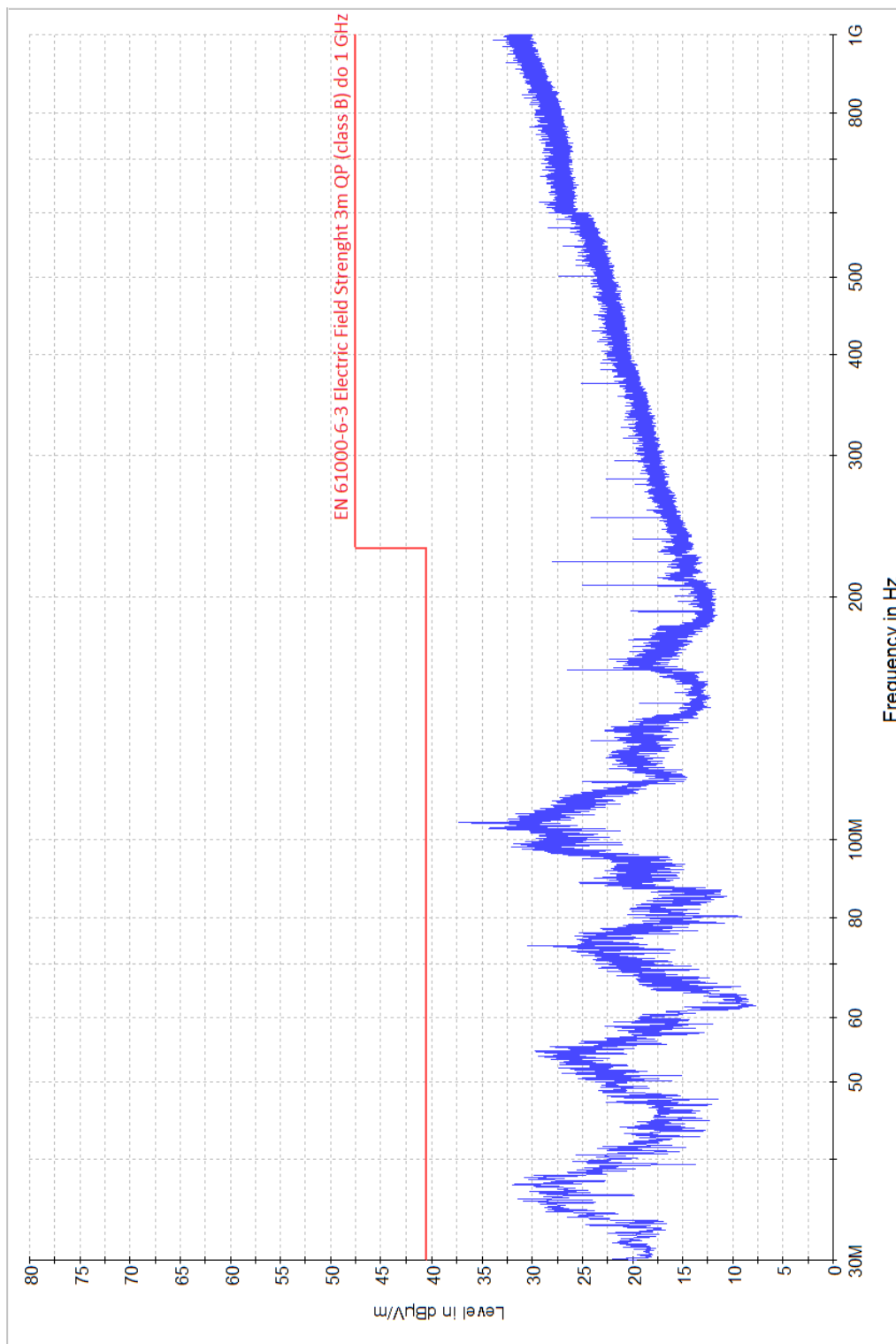
PŘÍLOHA P III: POZADÍ KOMORY (MP)



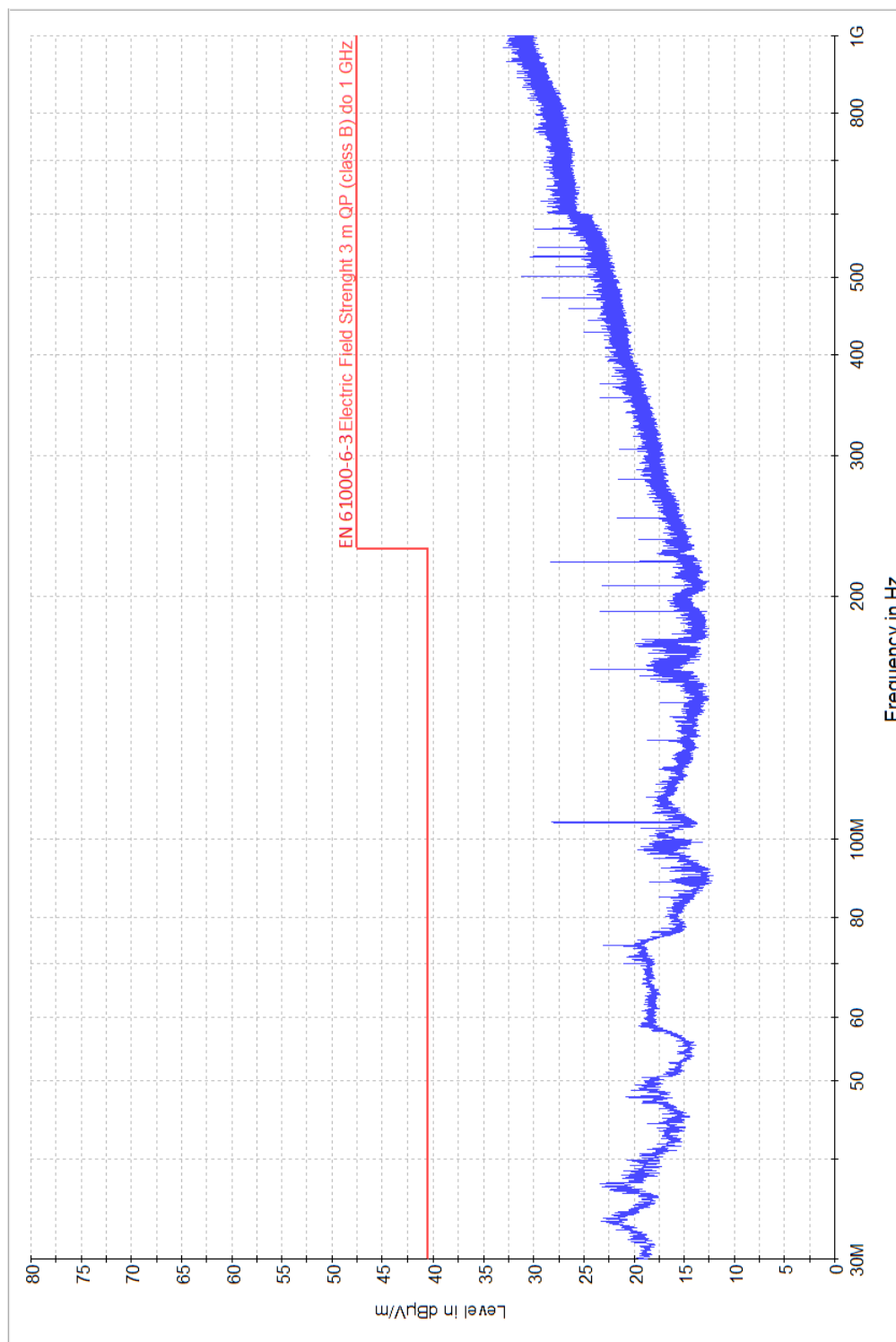
PŘÍLOHA P IV: PODPŮRNÉ PŘÍSTROJE PŘI HORIZONTÁLNÍ POLARIZACI ANTÉNY (MP)



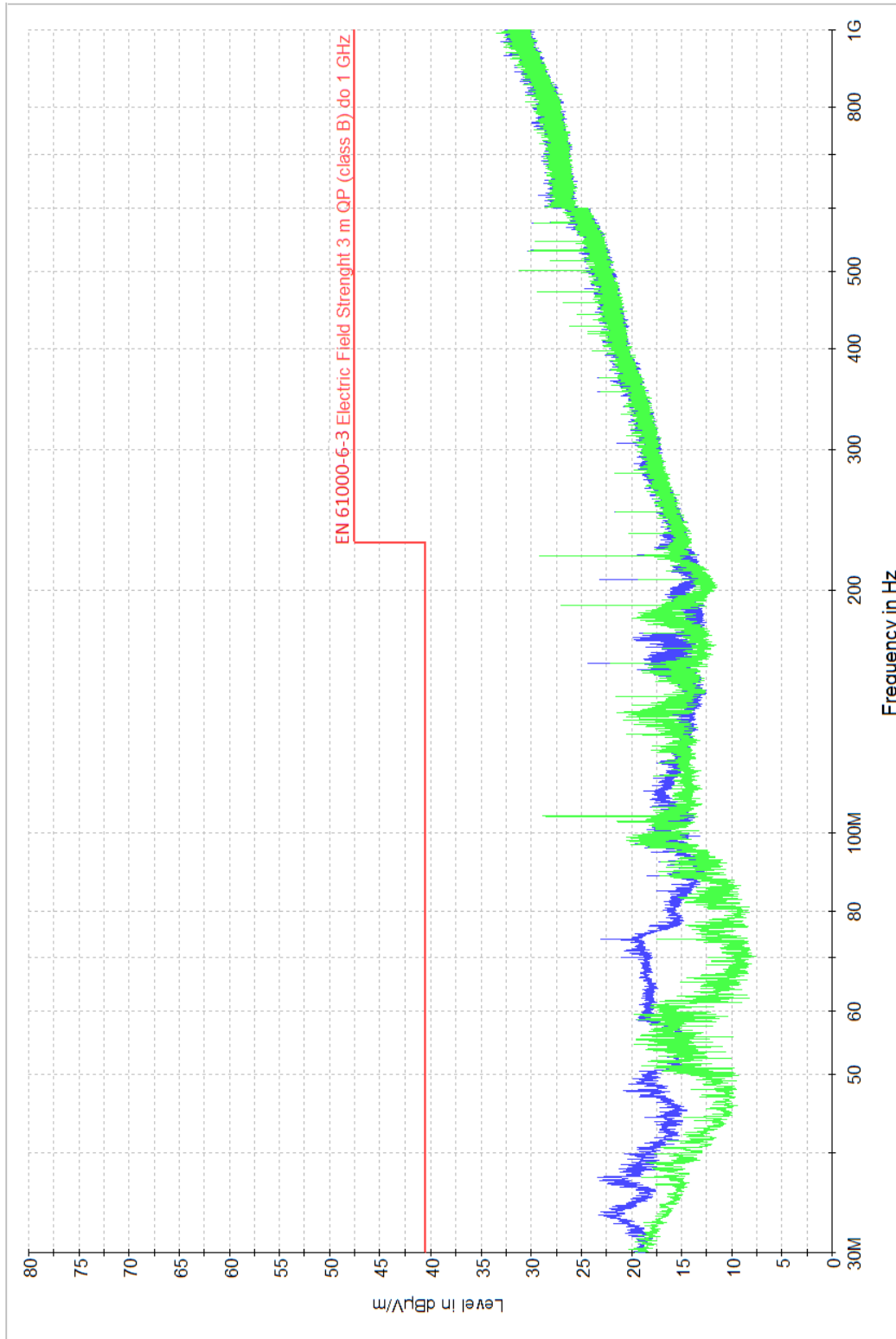
PŘÍLOHA V: PODPŮRNÉ PŘÍSTROJE PŘI VERTIKÁLNÍ POLARIZACI ANTÉNY (MP)



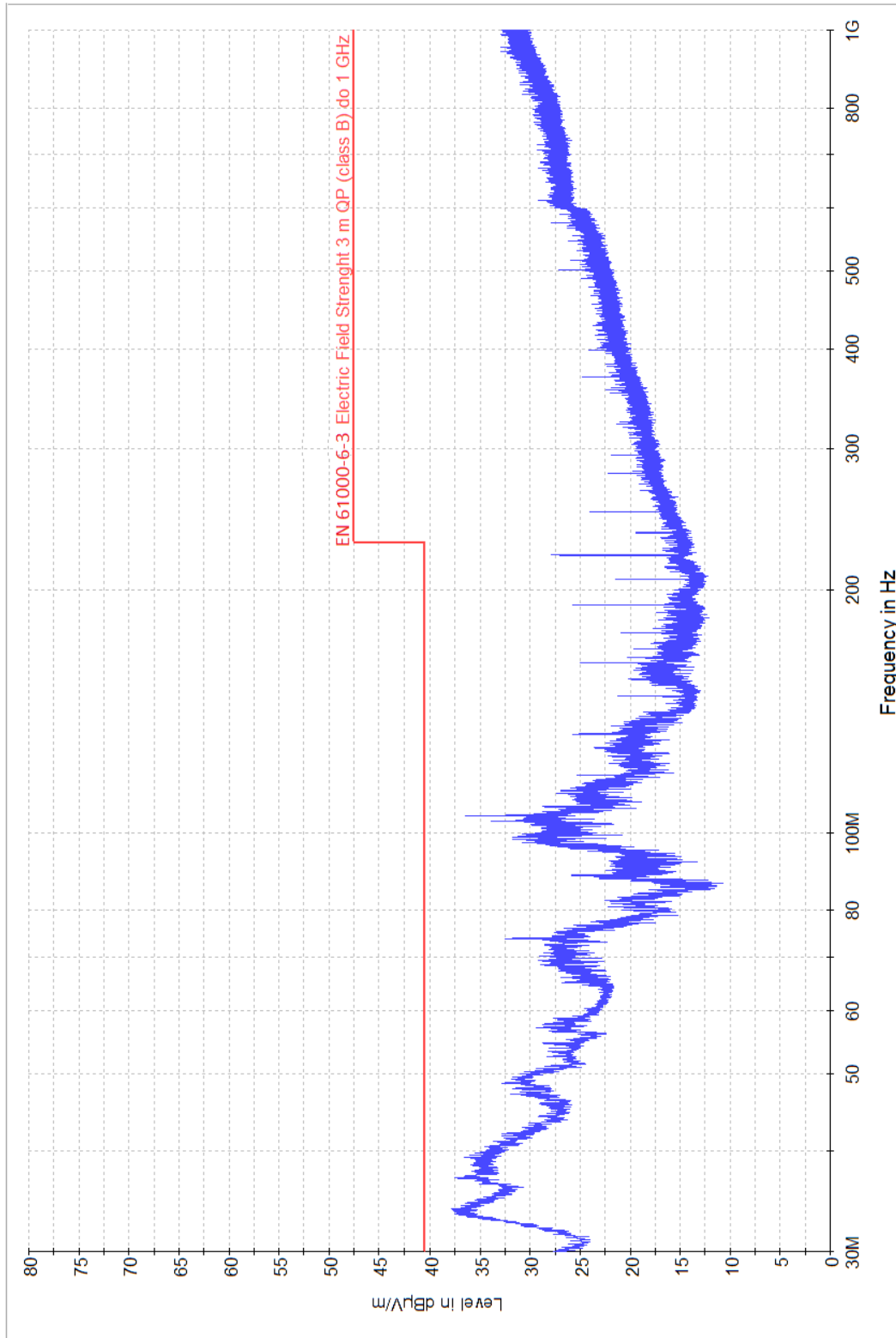
PŘÍLOHA P VI: VÝSLEDEK TESTU AP1501 PŘI HORIZONTÁLNÍ POLARIZACI ANTÉNY (MP)



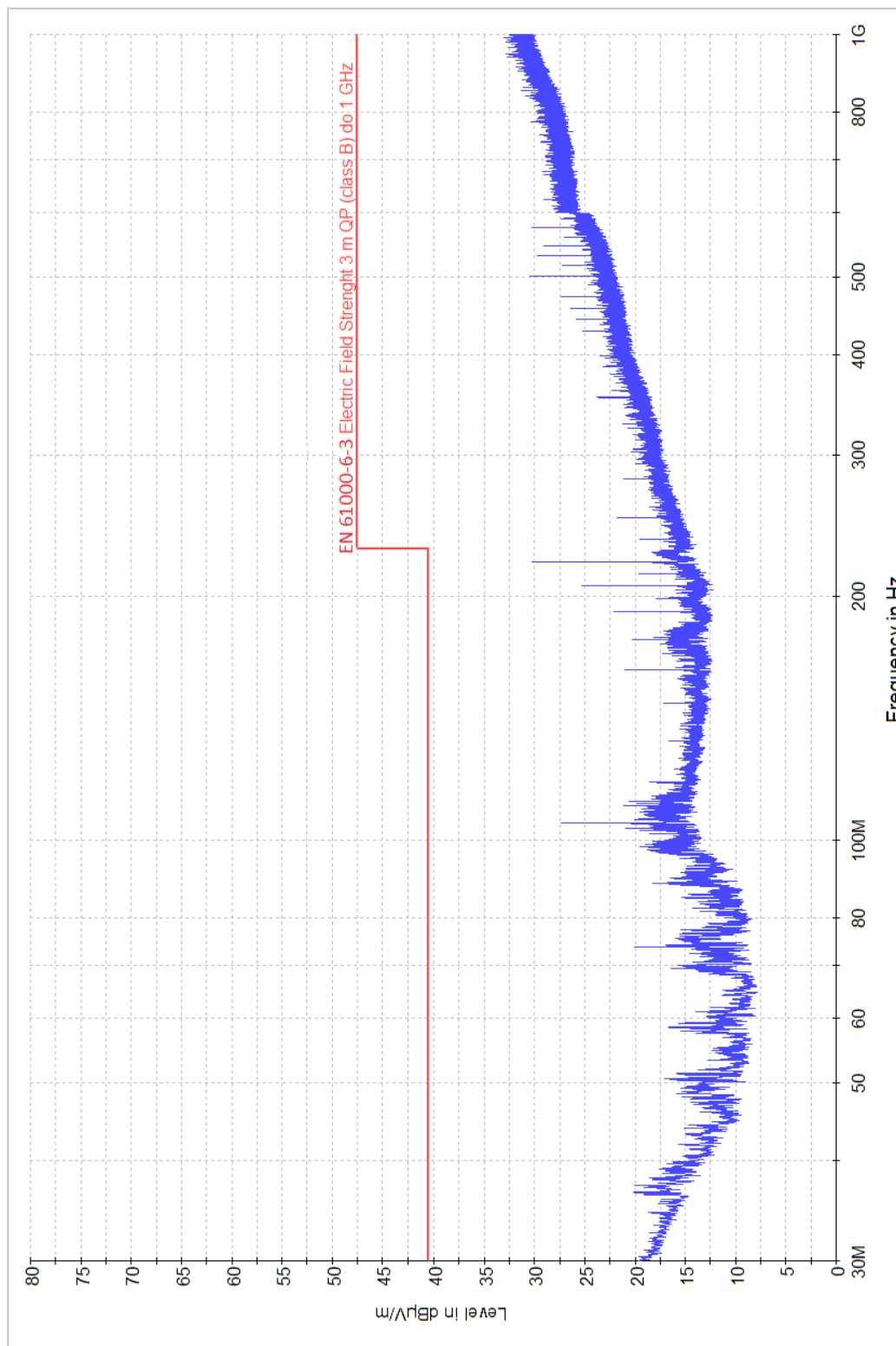
PŘÍLOHA P VII: VÝSLEDEK TESTU AP1501 PŘI HORIZONTÁLNÍ POLARIZACI ANTÉNY (MP + QP)



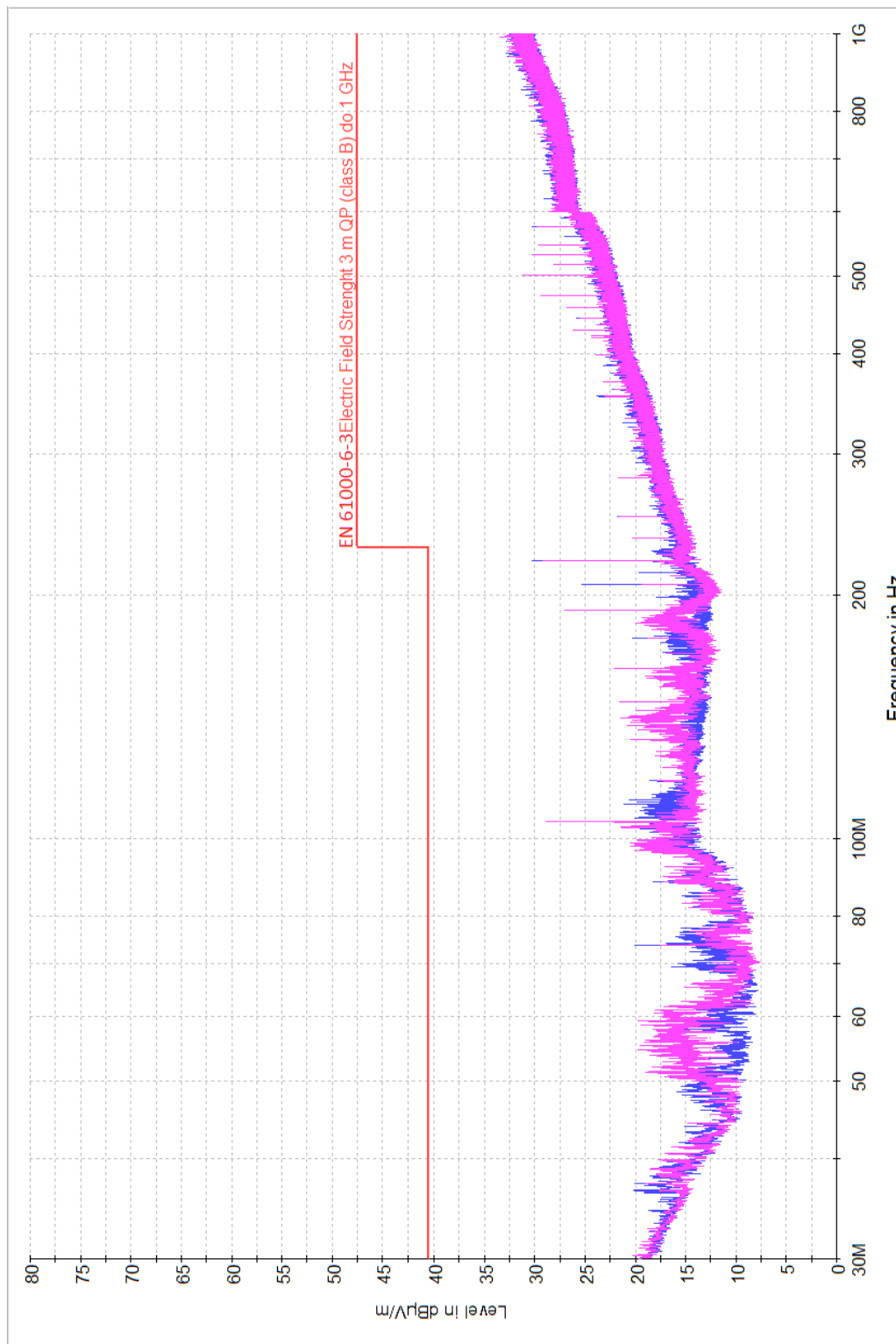
PŘÍLOHA P VIII: VÝSLEDEK TESTU AP1501 PŘI VERTIKÁLNÍ POLARIZACI ANTÉNY (MP)



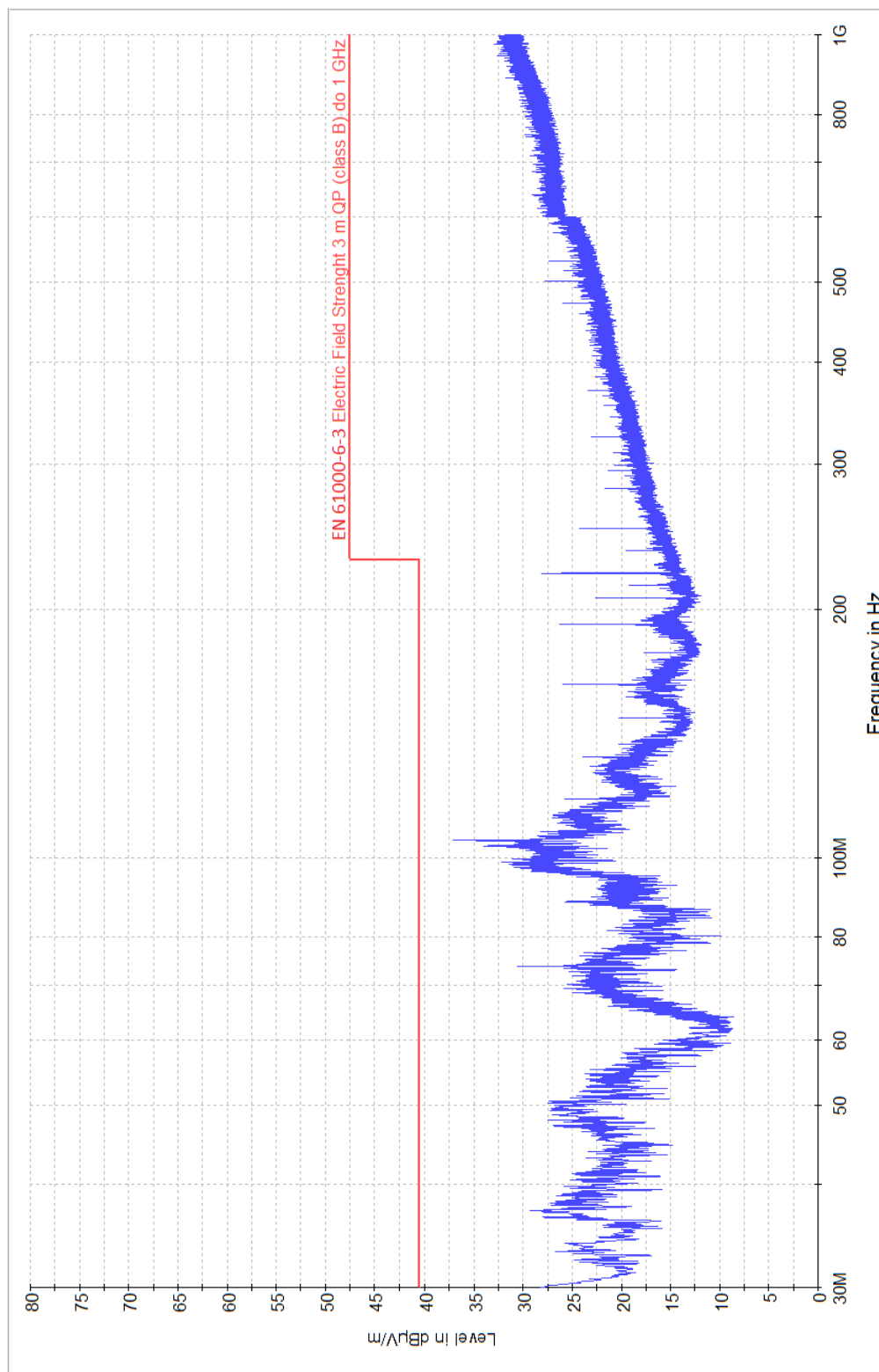
PŘÍLOHA P IX: VÝSLEDEK TESTU MC34063 PŘI HORIZONTÁLNÍ POLARIZACI ANTÉNY (MP)



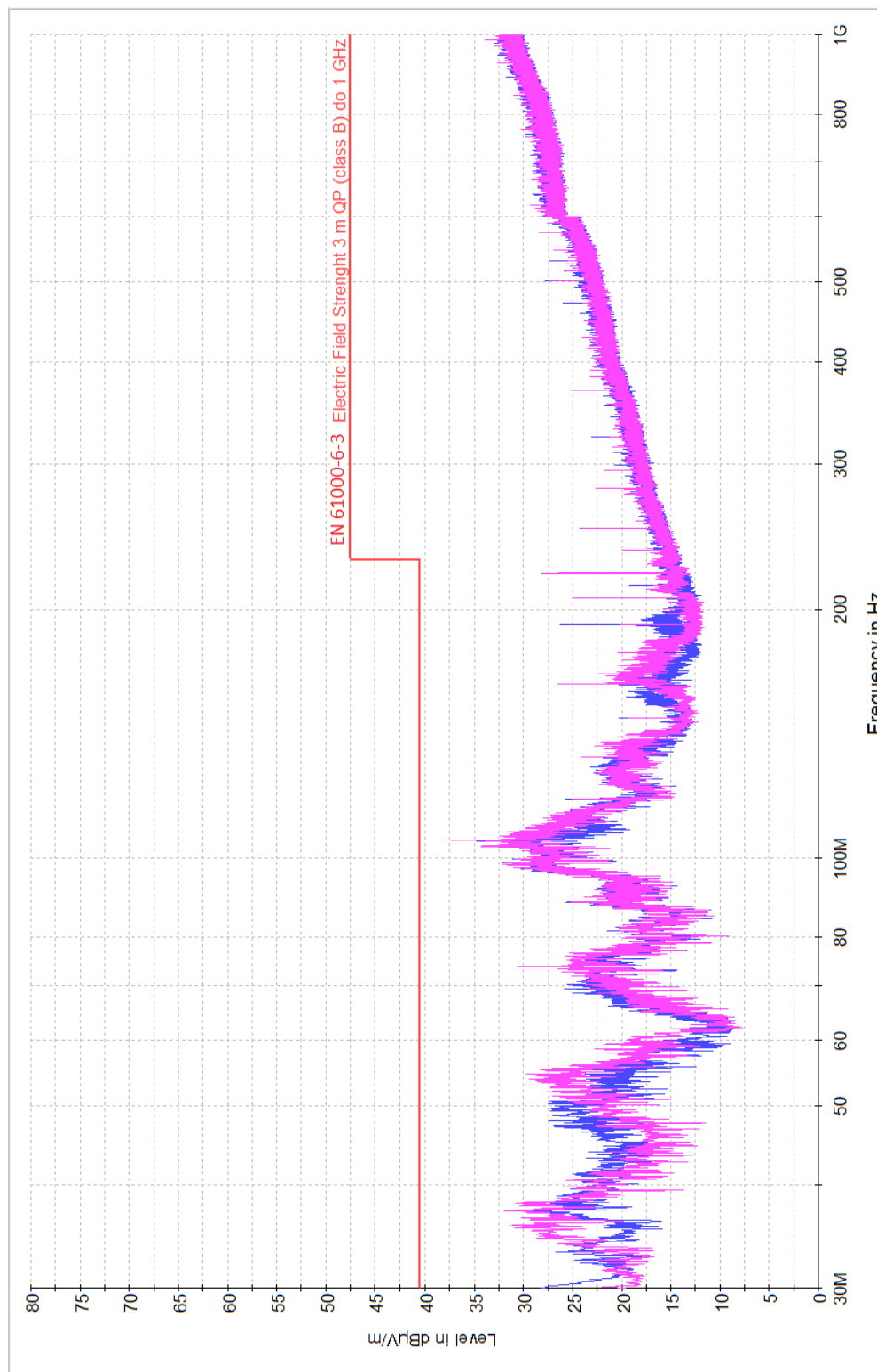
PŘÍLOHA P X: VÝSLEDEK TESTU MC34063 PŘI HORIZONTÁLNÍ POLARIZACI ANTÉNY (MP + QP)



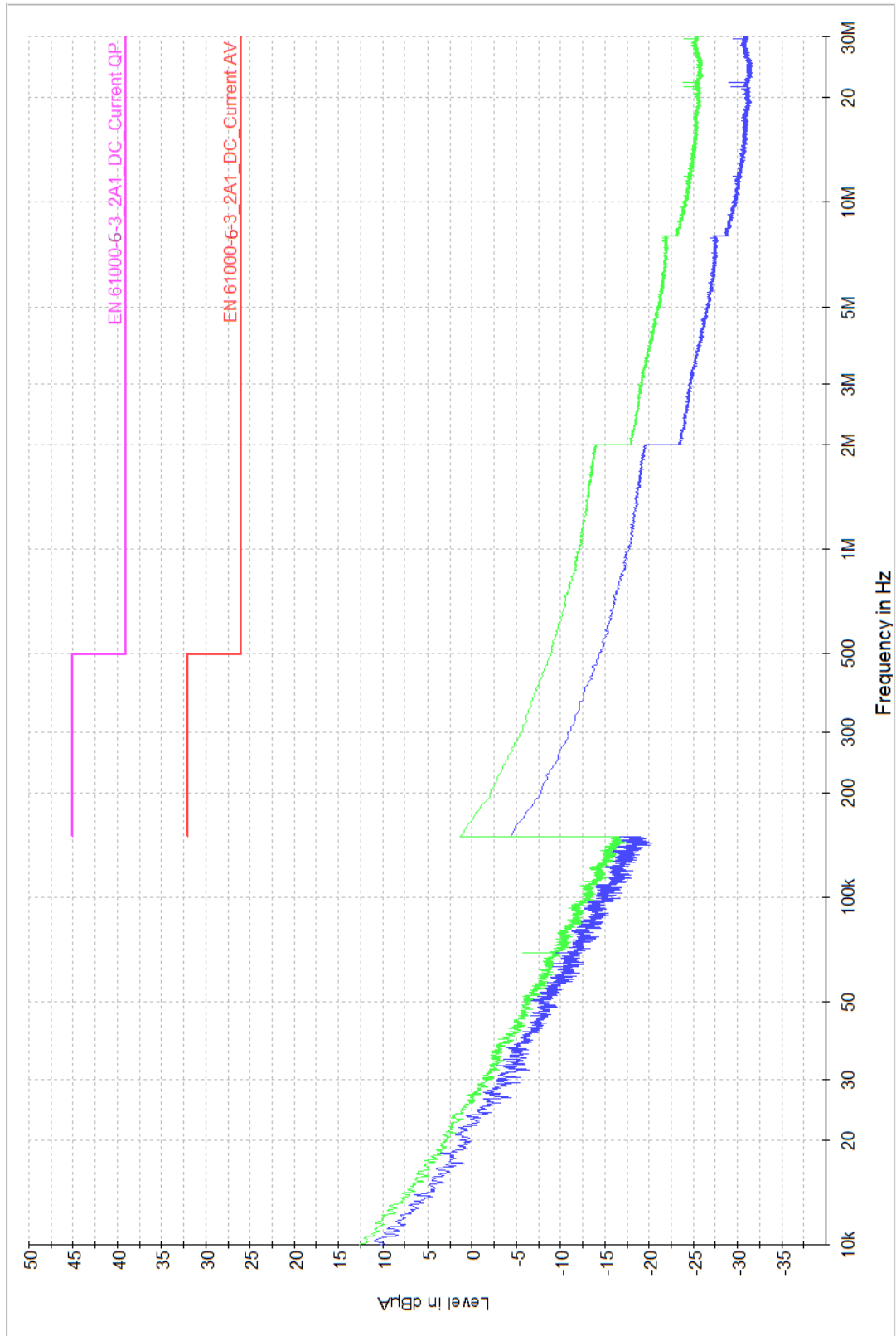
PŘÍLOHA P XI: VÝSLEDEK TESTU MC34063 PŘI VERTIKÁLNÍ POLARIZACI ANTÉNY (MP)



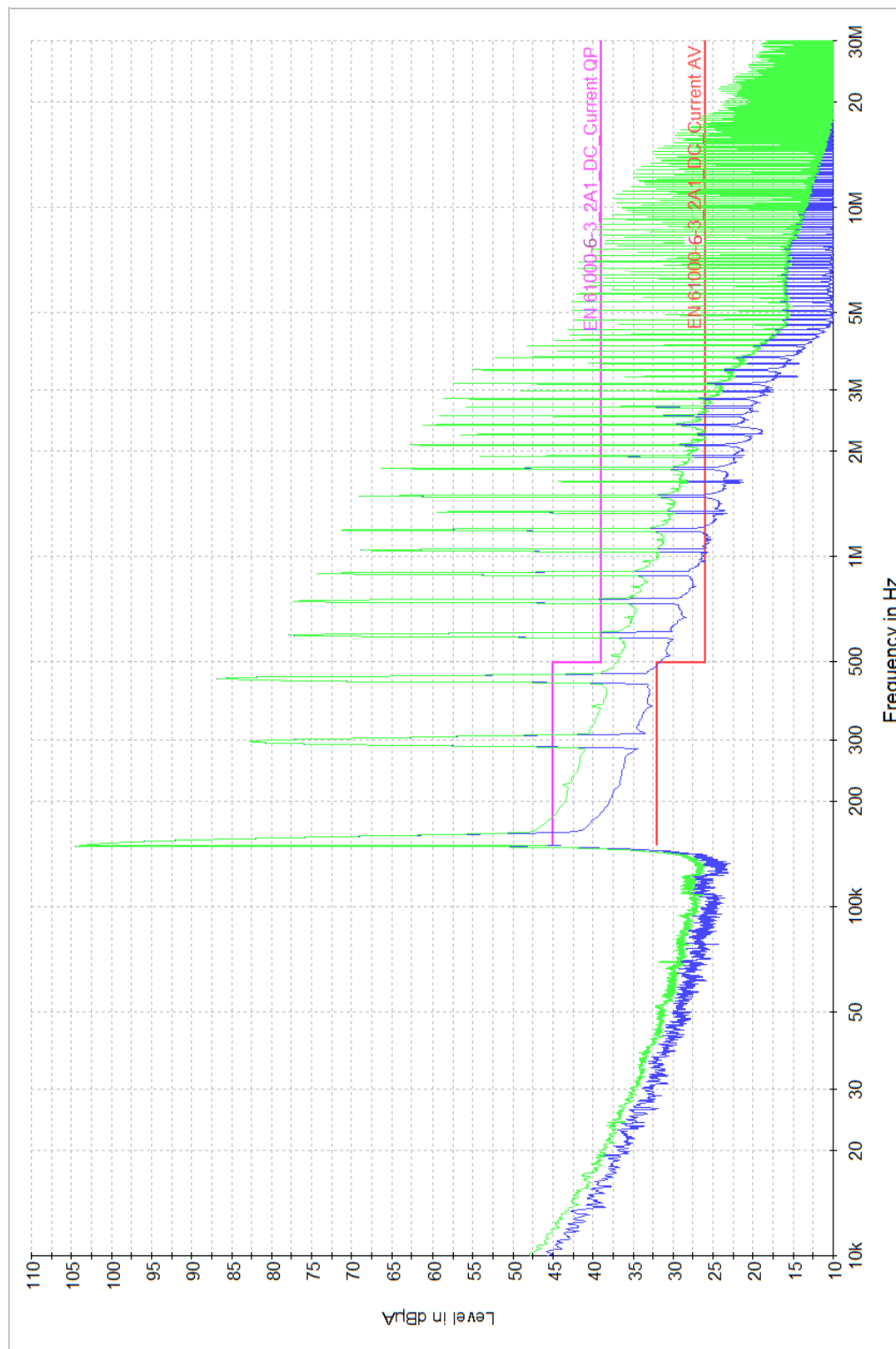
PŘÍLOHA P XII: VÝSLEDEK TESTU MC34063 PŘI VERTIKÁLNÍ POLARIZACI ANTÉNY (MP + QP)



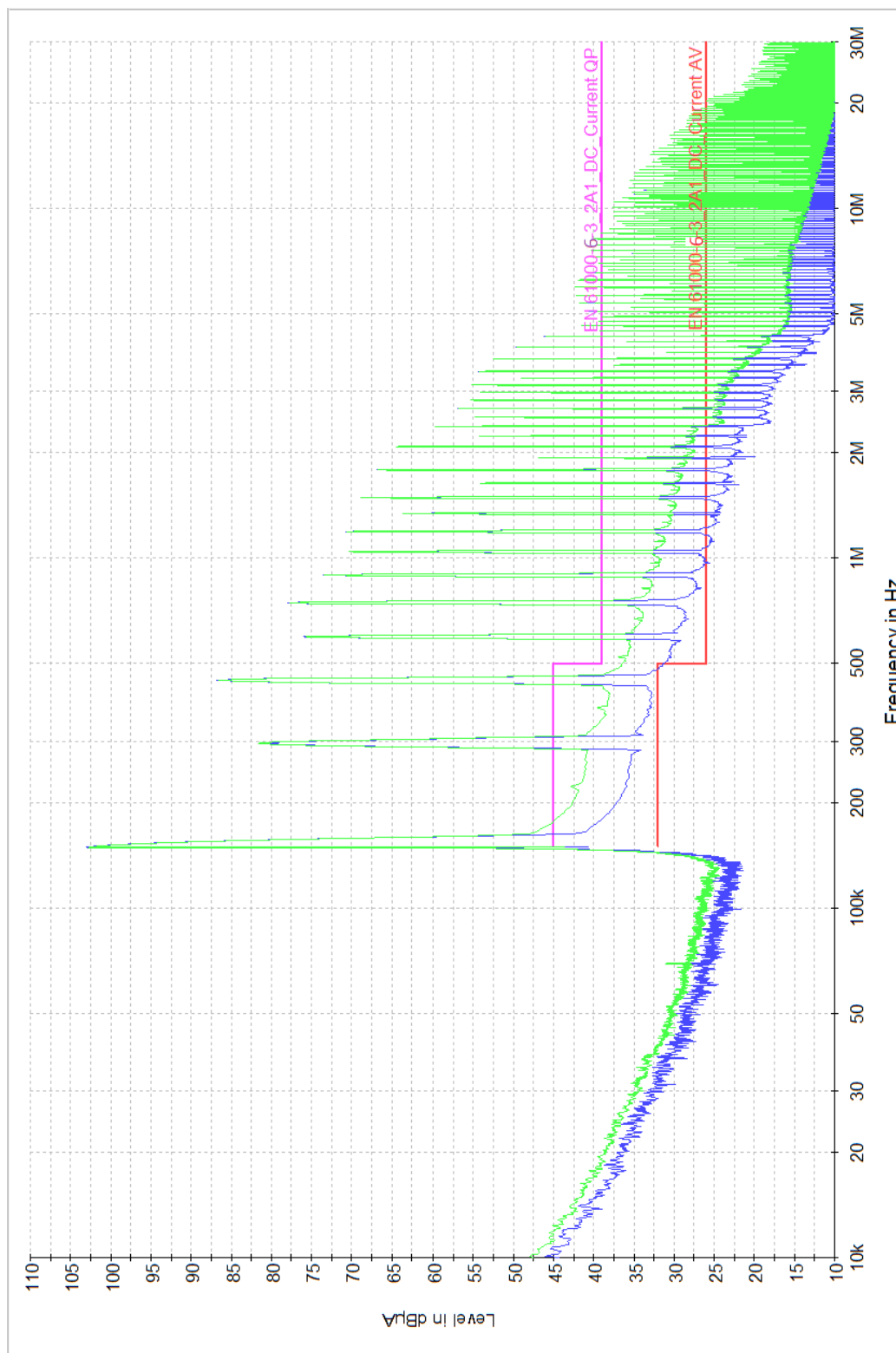
PŘÍLOHA P XIII: VÝSLEDEK TESTU POZADÍ SONDY (AV + QP)



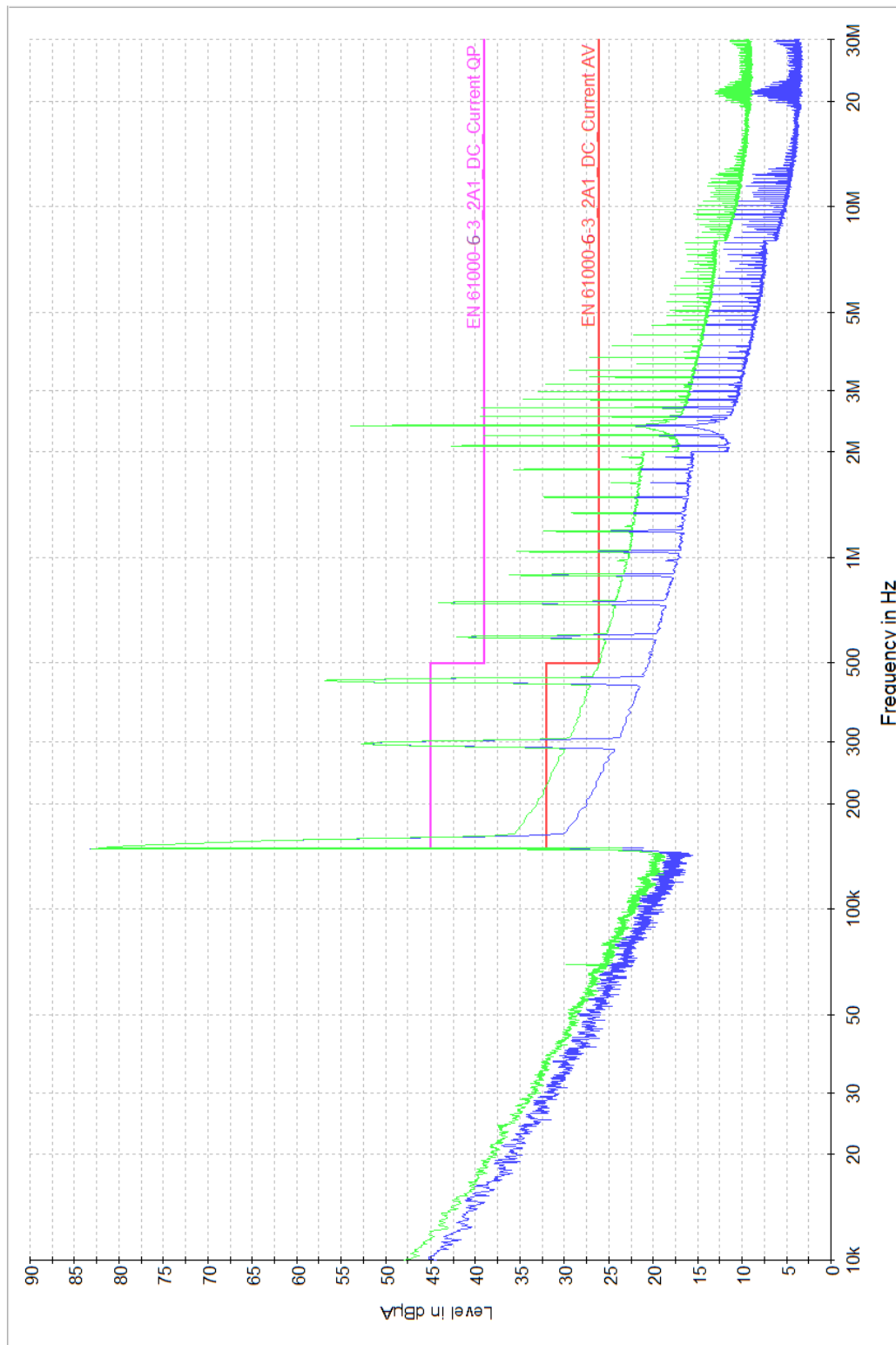
PŘÍLOHA XIV: VÝSLEDEK TESTU AP1501, Kladný vstup MĚNIČE (AV + QP)



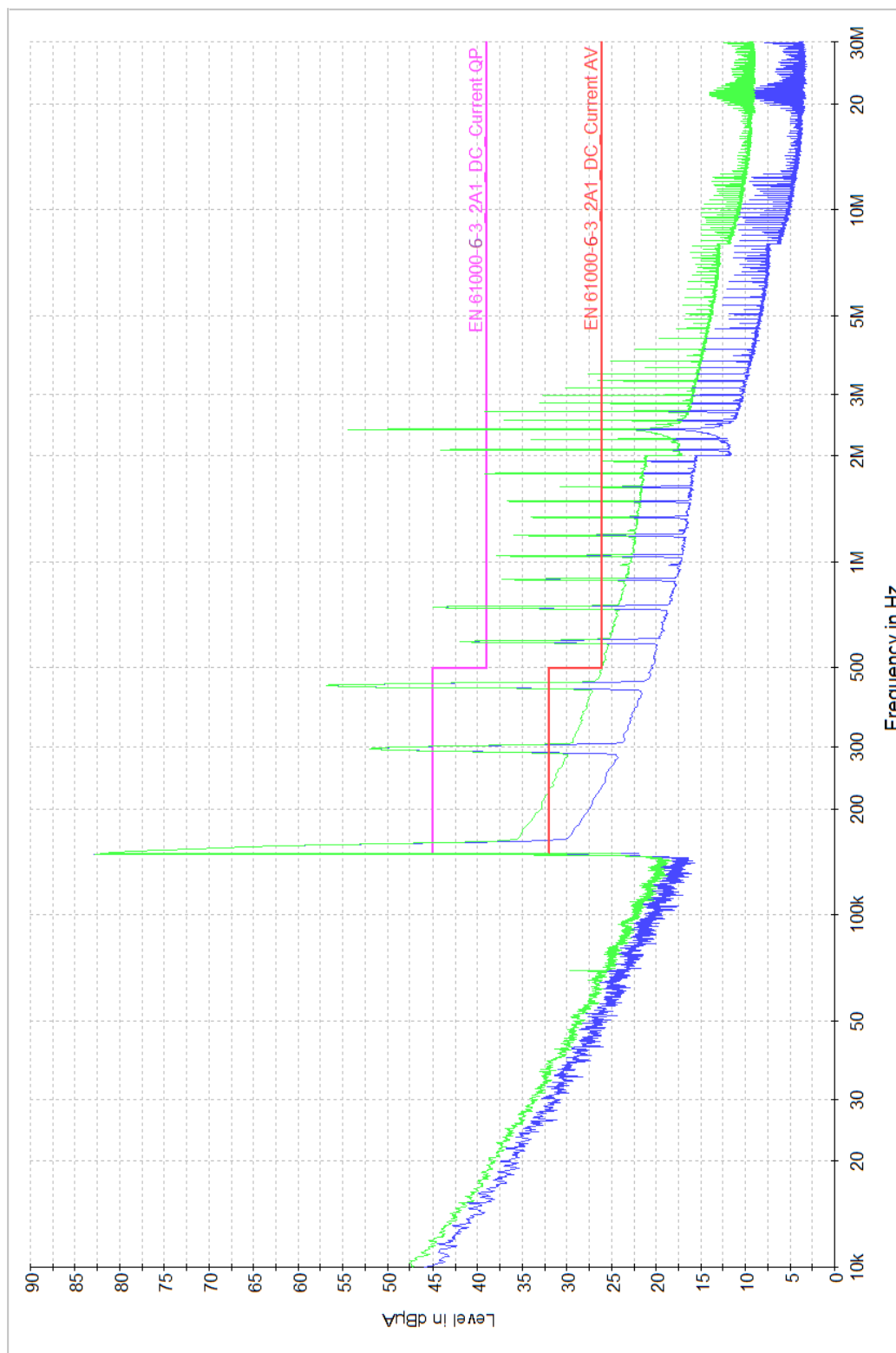
PŘÍLOHA XV: VÝSLEDEK TESTU AP1501, ZÁPORNÝ VSTUP MĚNIČE (AV + QP)



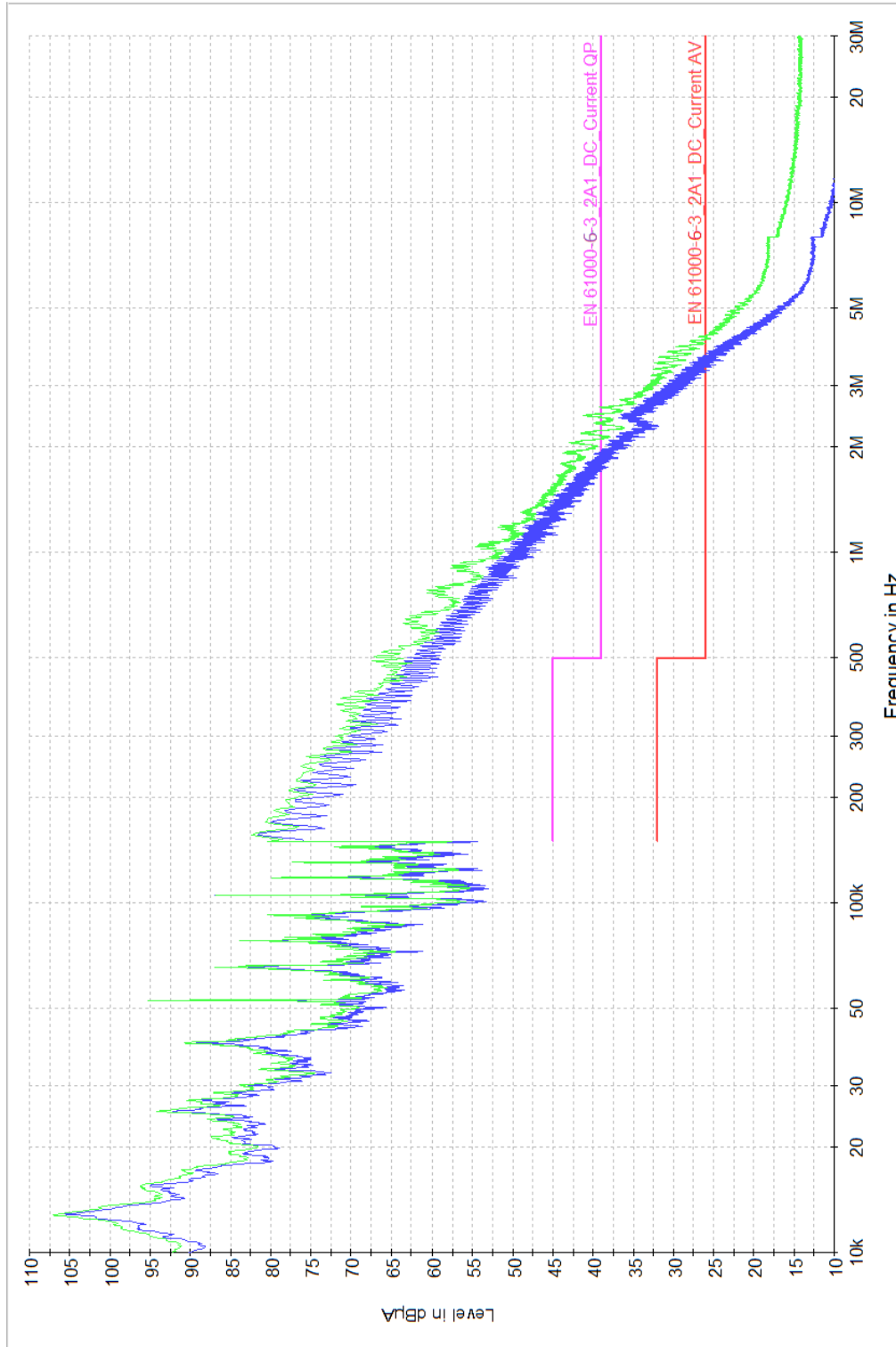
PŘÍLOHA XVI: VÝSLEDEK TESTU AP1501, Kladný výstup Měniče (AV + QP)



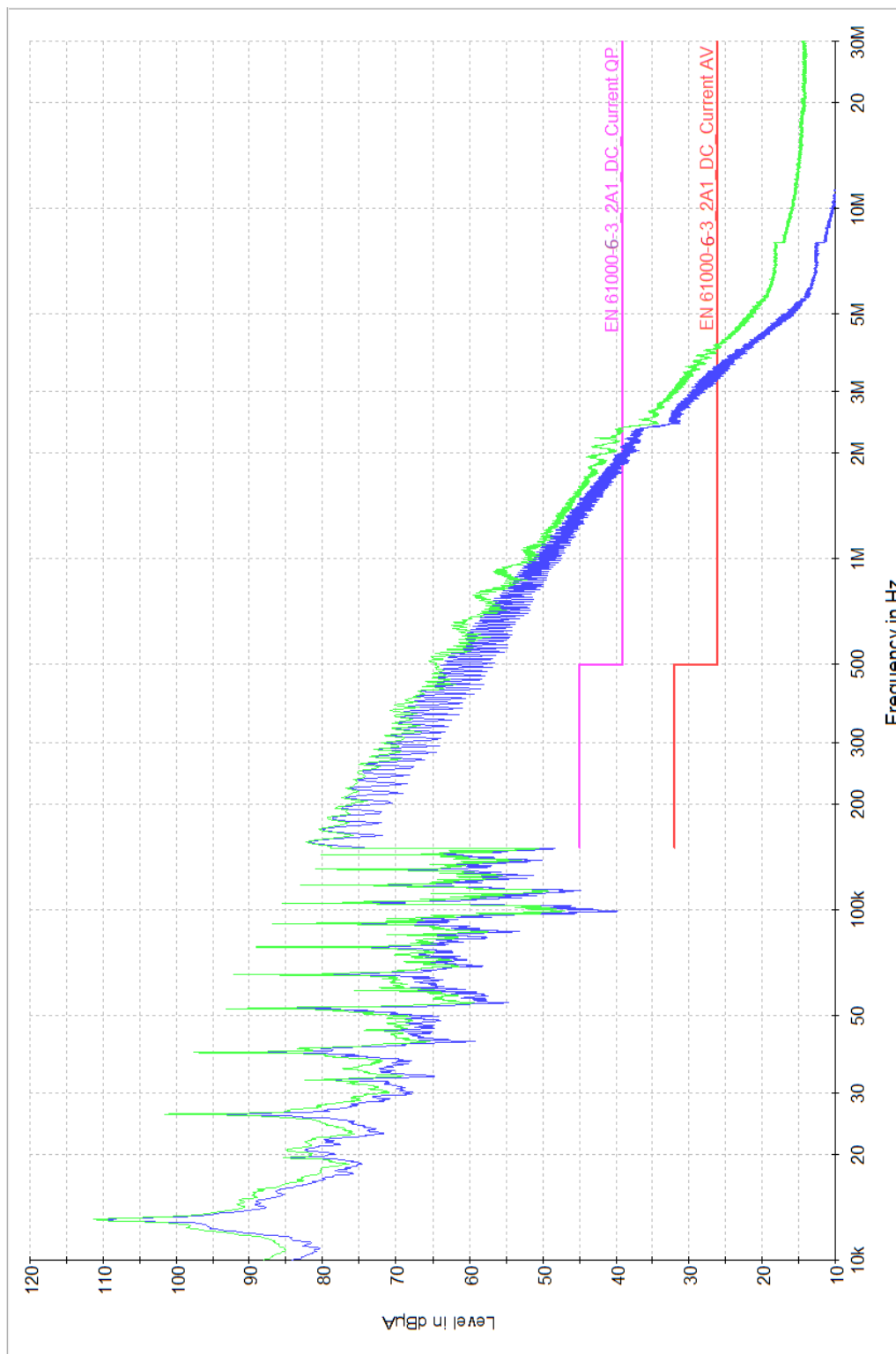
PŘÍLOHA XVII: VÝSLEDEK TESTU AP1501, ZÁPORNÝ VÝSTUP MĚNIČE (AV + QP)



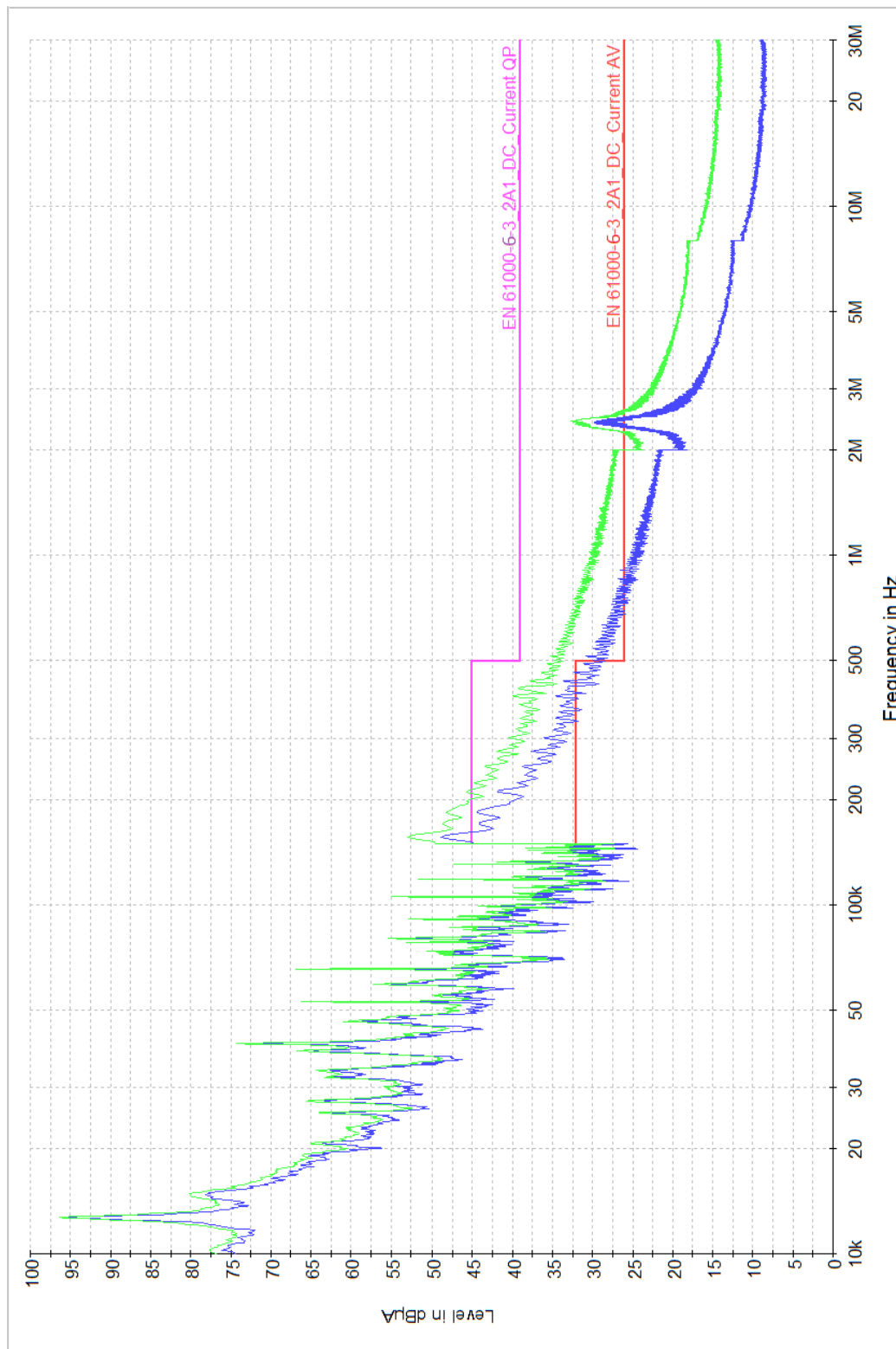
PŘÍLOHA XVIII: VÝSLEDEK TESTU MC34063, Kladný vstup MĚNIČE (AV + QP)



PŘÍLOHA XIX: VÝSLEDEK TESTU MC34063, ZÁPORNÝ VSTUP MĚNIČE (AV + QP)



PŘÍLOHA XX: VÝSLEDEK TESTU AP1501, Kladný výstup měniče (AV + QP)



PŘÍLOHA XXI: VÝSLEDEK TESTU AP1501, ZÁPORNÝ VÝSTUP MĚNIČE (AV + QP)

