

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

Bakalářská práce

Test odolnosti proti rušením šířeným vedením

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Hromádka, Ph.D.

Autor

Mokráček Jakub

Plzeň 2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub MOKRÁČEK**
Osobní číslo: **E15B0009P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Test odolnosti proti rušením šířeným vedením**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Zpracujte postup při testování odolnosti proti rušením šířeným vedením.
2. Proveďte kalibrační měření pro různé metody aplikace zkušebního signálu.
3. Otestujte vybraná zařízení na odolnost proti tomuto rušení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Technická norma ČSN EN 61000-4-6.
2. Svačina: Encyklopedie EMC.


Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miroslav Hromádka, Ph.D.

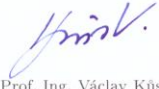
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2017


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Prohlášení

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

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

Obsah

1	Úvod do EMC	11
1.1	Rozdělení EMC	11
1.1.1	EMC technických systémů a zařízení.....	11
1.1.2	EMC biologických systémů.....	13
1.1.3	Další rozdělení EMC	13
1.1.4	Základní pojmy EMC	14
1.2	EMC – důvody samostatného rozvoje a důsledky jejího porušování.....	15
2	Vazební mechanizmy přenosu rušivých signálů	17
2.1	Galvanická vazba.....	17
2.2	Kapacitní vazba.....	18
2.3	Induktivní vazba.....	19
2.4	Vazba elektromagnetickým polem	19
3	Elektromagnetická odolnost a její testování.....	19
3.1	Kritéria elektromagnetické odolnosti.....	19
3.2	Vazební/oddělovací obvody a pracoviště pro zkoušky elektromagnetické odolnosti... 20	
4	Rozdělení zkoušek elektromagnetické odolnosti	22
5	ČSN EN 61000-4-6 Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli.....	22
6	Kalibrace	23
7	Vlastní měření.....	27
7.1	Zkouška odolnosti proti vf rušení metoda CDN lampička úroveň II.	27
7.2	Zkouška odolnosti proti vf rušení metoda CDN lampička úroveň III.....	28
7.3	Zkouška odolnosti proti vf. rušení lampičky metodou EM kleštiny úroveň II.	29
7.4	Zkouška odolnosti proti vf rušení lampičky pomocí EM kleštiny úroveň III.	31
7.5	Zkouška odolnosti proti vf rušení voltmetrů pomocí EM kleštiny.....	32
8	Závěr	34
9	Citovaná literatura.....	35

Seznam obrázků

Obr. 1-1 Příklady různého působení rušivých signálů (1).....	12
Obr. 1-2 Základní členění problematiky EMC (1).....	13
Obr. 1-3 Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti (1).....	14
Obr. 2-1 Druhy elektromagnetických vazeb: a) galvanická, b) kapacitní, c) induktivní, d) vyzařování (1).....	17
Obr. 2-2 Galvanická vazba společnou impedancí ve vedení napájecím (a), řídicím (b) a zemním (c) (1).....	18
Obr. 3-1 Kapacitní vazební a oddělovací obvod se vstupy pro symetrické, nesymetrické a asymetrické navázání zkušebního signálu do napájecího vedení (ZG - zkušební generátor; ZO - zkoušený objekt, CDN - vaz./odd. obvod) (1).....	21
Obr. 3-2 Induktivní vazební a oddělovací obvod pro navázání protifázového (a) a soufázového (b) rušivého zkušebního signálu do napájecího vedení (ZG - zkušební generátor; ZO - zkoušený objekt, CDN - vaz./odd. obvod) (1).....	21
Obr. 5-1 Průběh zkušebního signálu s 80 % AM (nemodulovaný signál má efektivní hodnotu 1 V) (4).....	23
Obr. 6-1 Blokové schéma zapojení kalibrace EM kleštiny (5).....	24
Obr. 6-2 Reálné zapojení kalibrace EM kleštiny (5).....	24
Obr. 6-3 Blokové schéma zapojení kalibrace CDN (5).....	25
Obr. 6-4 Reálné zapojení kalibrace CDN (5).....	25
Obr. 6-5 Blokové schéma zapojení kalibrace BCI (5).....	26
Obr. 6-6 Reálné zapojení kalibrace BCI (5).....	26
Obr. 7-1 Blokové schéma zapojení pro testování přes CDN (5).....	27
Obr. 7-2 Reálné zapojení testování přes CDN (5).....	29
Obr. 7-3 Blokové schéma zapojení testování pomocí EM kleštiny (5).....	30
Obr. 7-4 Reálné zapojení testování voltmetrů pomocí EM kleštiny úroveň III. (5).....	33

Anotace

Tato práce je zaměřena na testování elektromagnetické odolnosti stolního svítidla a dvojce voltmetrů podle normy ČSN EN 61000-4-6. V první části této práce je popsán stručný úvod do problematiky EMC, který je následně rozdělen na jednotlivé obory elektromagnetické kompatibility následované popsáním kalibrací měřící sestavy. Důležitou částí je praktická část tedy vlastní měření odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli se zhodnocením výsledků.

Abstract

This work is aimed at electromagnetic resistance of a table lamp and of a twin voltmeters according to norm ČSN. The first part is dedicated to brief introduction of EMC problems, which is afterward divided into single subjects of electromagnetic compability and calibration of measuring system. Very important is a self-made practic part, which is measuring of resistance against interference in line, Induced by high frequency field with results.

Klíčová slova

EMC, Elektromagnetická kompatibilita, test, odolnost, VF rušení

Keywords

EMC, Electromagnetic compatibility, test, resistance, RF interference

Úvod

Problematika elektromagnetické kompatibility je dnes velmi důležitá. Naše doba jde dopředu stejně tak jako vývoj nových technologií nebo inovace stávajících. Proto, abychom zajistili správnou funkci všech zařízení a systémů je elektromagnetická kompatibilita nepostradatelná. Cílem práce je provedení kalibrace měřící soustavy s následným změřením elektromagnetické odolnosti vybraných zařízení. Bakalářská práce obsahuje část teoretickou a část praktickou. Teoretická část je pojata formou stručného úvodu do problematiky EMC se základním rozdělením. V praktické části jsem se zaměřil na problematiku elektromagnetické susceptibilitu(odolnosti), konkrétně na vlastní měření odolnosti proti rušením šířeným vedením indukovaným vysokofrekvenčními poli v souladu s normou ČSN EN 61000-4-6. Dále se zabývám kalibrací spojenou s měřením . Předmětem měření je běžně prodávané stolní svítidlo se stmívačem regulovatelným na 5 stupňů svítivosti a dvojce multimetrů UNI-T Multimetr UT 39C, Metrahit 14-s.

1 Úvod do EMC

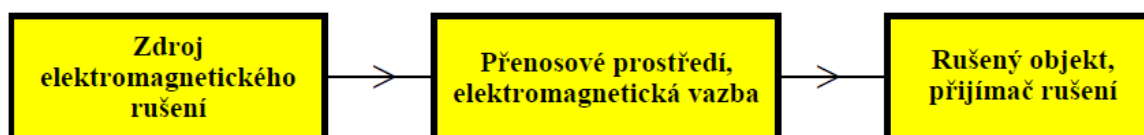
Elektromagnetická kompatibilita (z ang. „Electromagnetic Kompatibility“, z něhož je odvozena mezinárodně užívaná zkratka EMC) je definována jako schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), a naopak svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřípustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení. Vyjadřuje tedy schopnost současné správné funkce. (1)

1.1 Rozdělení EMC

EMC lze rozdělit do mnoha různých odvětví avšak, hlavní dvě oblasti jsou EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení.

1.1.1 EMC technických systémů a zařízení.

Elektromagnetická kompatibilita technických systémů je druhá základní oblast EMC. Tato oblast se zabývá vzájemným působením technických prostředků zejména elektrotechnických a elektronických zařízení a přístrojů. Problematika EMC se původně zabývala pouze ochranou proti rušení radiového příjmu, dnes se však rozvinula ve velmi rozsáhlý obor, který se dělí na několik dílčích podoborů. Pokud zkoumáme EMC daného zařízení nebo systému vycházíme z tzv. základního řetězce EMC uvedeno na obr. 1.1 .



Obr. 1.1 Základní řetězec EMC (1)

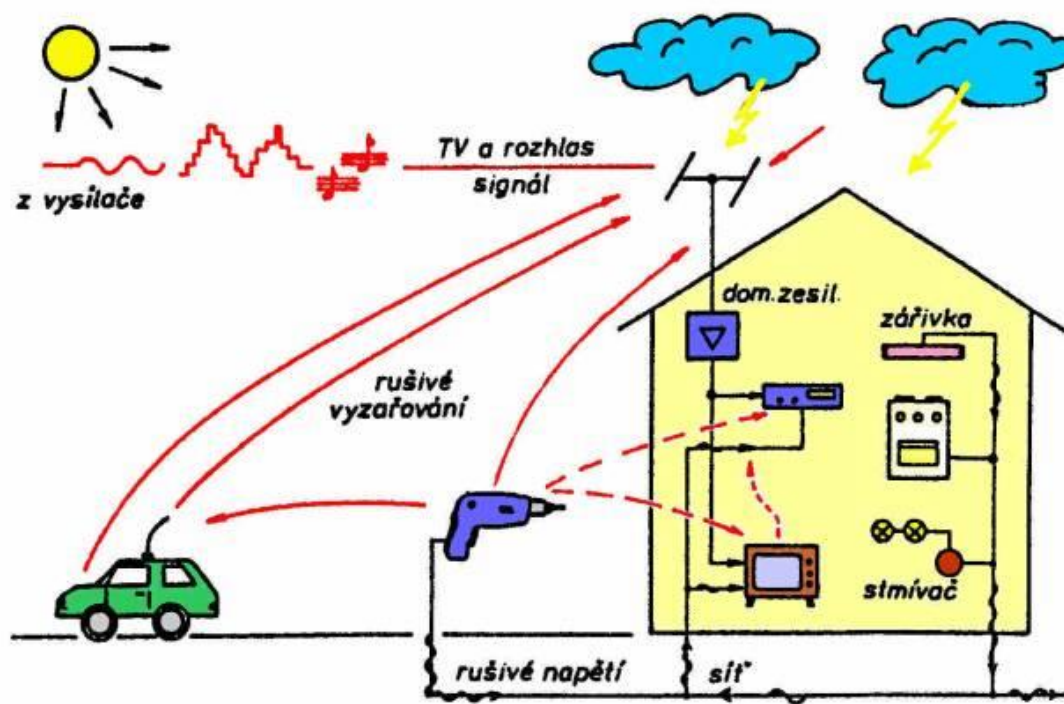
motory, spínače, relé,
energetické rozvody,
polovodičové měniče, zářivky,
obloukové pece, svářečky,
oscilátory, počítače,
číslicové systémy,
elektrostatický výboj

vzdušný prostor,
energetické kabely,
napájecí vedení, zemnění, stínění,
signálové vodiče, datové vodiče

číslicová technika, počítače,
měřicí přístroje,
automatizační prostředky,
telekomunikační systémy,
systémy přenosu dat,
rozhlasové přijímače,
televizní přijímače

První část obrázku, tedy zdroje elektromagnetického rušení se zabývá zdroji rušení a jeho vzniku. Dále charakterem a intenzitou rušení. Toto odvětví zahrnuje jak přirozené zdroje (Slunce, kosmos, elektrické procesy v atmosféře atd.), tak i umělé zdroje rušení vytvořené člověkem. Mezi zdroje rušení vytvořené člověkem můžeme zařadit technická zařízení

– zapalovací systémy, elektrické motory, výroba, přenos a distribuce elektrické energie, elektronická zařízení, elektronické sdělovací prostředky, tepelné a světelné spotřebiče atd. Další část řetězce EMC se zabývá elektromagnetickým přenosovým prostředím a vazbami, tj. způsoby a cestami, kterými se energie ze zdroje dostává do objektů – přijímačů rušení. Koncovou částí řetězce EMC je problematika přijímačů rušení, která se zabývá klasifikací typů a detailní specifikací rušivých účinků. V praktickém zkoumání je tento EMC řetězec daleko složitější, než je na obr.1.1. Každý systém nebo jeho část může být zároveň jak zdrojem, tak i přijímačem elektromagnetického rušení. V reálném EMC řetězci se vždy jedná o působení více zdrojů rušení a více přijímačů. Řeší se vždy vzájemné vztahy více systémů, které se navzájem všestranně ovlivňují. Obvykle postupujeme tak, že jeden systém považujeme za systém ovlivňující (zdroj rušení) a všechny ostatní za systémy ovlivňované (přijímače rušení). Vzájemné působení různých systémů je tedy velmi složité a komplexní, což je názorně uvedeno na obr. 1.2. (1)



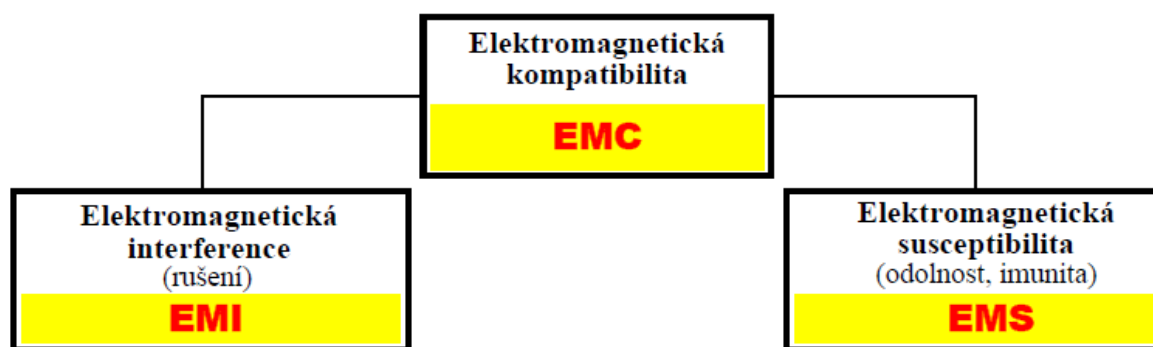
Obr. 1-1 Příklady různého působení rušivých signálů (1)

1.1.2 EMC biologických systémů

EMC biologických systémů se zabývá celkovým „elektromagnetickým pozadím“ našeho životního prostředí a přípustnými úrovněmi rušivých i užitečných elektromagnetických signálů s ohledem na jejich vlivy na živé organismy. I když tyto vlivy jsou pozorovány již delší dobu, nejsou výsledky dosavadních biologických a biofyzikálních výzkumů v této oblasti jednoznačné. Biologické účinky elektromagnetického pole závisí na jeho charakteru, době působení i na vlastnostech organismu. Protože nejsou známy receptory pole (tj. vstupy elektromagnetického pole do organismu), posuzují se tyto účinky jen podle nespecifických reakcí organismu.

1.1.3 Další rozdělení EMC

Celou problematiku EMC lze dělit do dvou základních odvětví. Tyto dvě základní odvětví jsou zobrazeny na obr. 1.3 .



Obr. 1-2 Základní členění problematiky EMC (1)

Jak je vidět na obrázku 1.3 problematiku EMC dělíme na skupinu EMI čili Elektromagnetická interference dále na EMS Elektromagnetickou susceptibilitu (odolnost , imunitu). elektromagnetická susceptibilita (EMS) (angl. electromagnetic Susceptibility nebo electromagnetic Immunity) nám udává způsobilost zařízení či systému pracovat v bezporuchovém stavu a nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, ve kterém se elektromagnetické rušení vyskytuje. Z toho plyne že EMS je zaměřeno hlavně na technické, opatření které má u objektu (přijímače rušení) za následek zvýšení elektromagnetické imunity, neboli odolnosti proti vlivu rušivých signálů. Tedy EMS je uplatněno spíše pro odstraňování důsledku rušení, bez odstraňování jejich příčin. Z druhého bloku vyplývá, že EMI se zabývá interferencí (rušením). Měření elektromagnetické interference je velmi důležitou oblastí, a to zejména měření rušivých signálů a jejich identifikace. Problematika měření, která je pro koncové posouzení EMC zvoleného zařízení klíčová, je navíc problematická tím, že i samotné měřící

zařízení je (nebo může být) zdrojem a současně přijímačem rušení, což je nutné při měření respektovat (technicky, kalibračně, početně).

1.1.4 Základní pojmy EMC

Všechna elektrotechnická zařízení jsou současně jak zdrojem elektromagnetického rušení, tak i jeho přijímačem pracujícím v určitém elektromagnetickém prostředí. Pro každé takové zařízení definuje Mezinárodní elektrotechnický slovník ČSN IEC 50 ve své kapitole 161 „Elektromagnetická kompatibilita“ některé základní pojmy, jejichž vztah je vysvětlen na obr. 1.3 (1) (2)

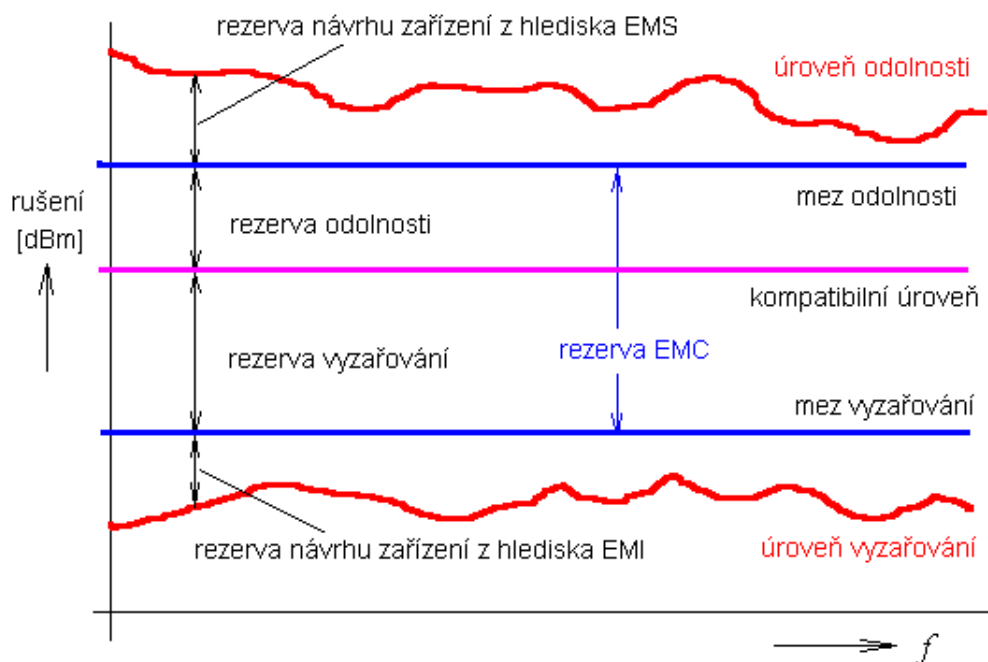
Úroveň vyzařování je generované rušení samotným konkrétním spotřebičem nebo zařízením.

Úroveň odolnosti je maximální úroveň rušení působícího na dané zařízení, při němž ještě nedojde ke zhoršení jeho provozu.

Mez odolnosti je nejnižší normou požadovaná úroveň odolnosti zařízení.

Rezerva návrhu je rozdíl úrovně odolnosti a meze odolnosti.

Rezerva (rozpětí) EMC je dána rozdílem meze odolnosti a meze vyzařování daného zařízení.



Obr. 1-3 Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti (1)

1.2 EMC – důvody samostatného rozvoje a důsledky jejího porušování

Jezřejmé, že problematika EMC je velmi důležitá. Zde je pár příkladů situací kdy nedodržení požadavků EMC mělo katastrofální následky.

Zničení stíhacího letounu NATO typu Tornado v roce 1984. Příčinou bylo rušení elektronického řídicího systému letadla elektromagnetickým vlněním. Letadlo letělo ve výšce 230 m rychlostí 800 km/hod. nad vysílačem velkého výkonu v Holkirchenu u Mnichova v SRN. V důsledku selhání automatického systému řízení se letadlo zřítilo. Hmotná škoda byla 100 miliónů marek.

- Potopení britského křižníku Sheffield roku 1982 ve falklandské válce argentinským letadlem. Příčinou bylo nedodržení EMC mezi komunikačním zařízením lodi a jejím rádiovým obranným protiletadlovým systémem určeným k rušení cílové navigace nepřátelských raket. Tento systém způsoboval tak velké poruchy při vlastní rádiové komunikaci křižníku, že musel být během rádiového spojení lodi s velitelstvím ve Velké Británii vypínán. A právě v takovém okamžiku odpálilo argentinské letadlo raketu Exocet, která křižník potopila. Dvacet lidí přišlo o život. 1)

- Havárie rakety typu Pershing II v SRN v důsledku elektrostatického výboje. Při převozu rakety byl její pohon neúmyslně odpálen elektrostatickou elektřinou z okolní bouřky.

- Havárie v hutích na východě USA v roce 1983. Příčinou havárie bylo rušení mikroprocesorového systému řízení jeřábu přenášejícího pánev s tekutou ocelí příruční vf. vysílačkou. Licí pánev se předčasně převrhla a rozžhavený kov zabil na místě jednoho dělníka a čtyři další vážně zranil. Rovněž v tuzemsku je známa řada případů poruch a neštěstí vlivem nedodržení zásad EMC [34]:

- Havárie hromadného dálkového ovládání těžních mechanismů na Náchodsku. K havárii došlo při připojení těžního stroje o výkonu 3,4 MW k rozvodné síti 35 kV. Těžní zařízení tvořil pohon s tyristorovou regulací, jehož měnič byl připojen k rozvodné síti přímo bez odpovídající filtrace. Rušivý zpětný vliv měniče způsobil zhroucení systému hromadného dálkového ovládání (a tím i sama sebe) nejen v okolí dolu, ale prakticky v celé oblasti Náchodska.

- Ze stejných důvodů vznikl havarijný stav v cukrovaru Mělník po instalaci odstředivek s tyristorovými měniči o výkonu 200 kW. Po jejich připojení k napájecí síti došlo k takovému

kolísání a deformacím napájecího napětí, že nastal skupinový výpadek měničů vlivem napěťových ochran. Přitom toto zhoršení kvality sítě vyvolaly samy měniče, které byly připojeny na síť přímo bez potřebné filtrace. Vznikla paradoxní situace, kdy se zdroj rušení stal obětí vlastního rušení.

- Ztráta rádiového spojení na lodích Labské plavby a v dolech na Ostravsku. V těchto případech docházelo k intenzivnímu rušení znemožňujícímu rádiové spojení na kmitočtech 1 až 2 MHz. Kromě toho v dolech toto rušení narušilo i funkci automatického havarijního vypínání důlního kombajnu. Zdrojem rušení v dolech byl tyristorový měnič v pohonu kombajnu, na lodích byl zdrojem rušení mikroprocesorový řídicí systém obsahující výkonové tranzistorové napáječe.

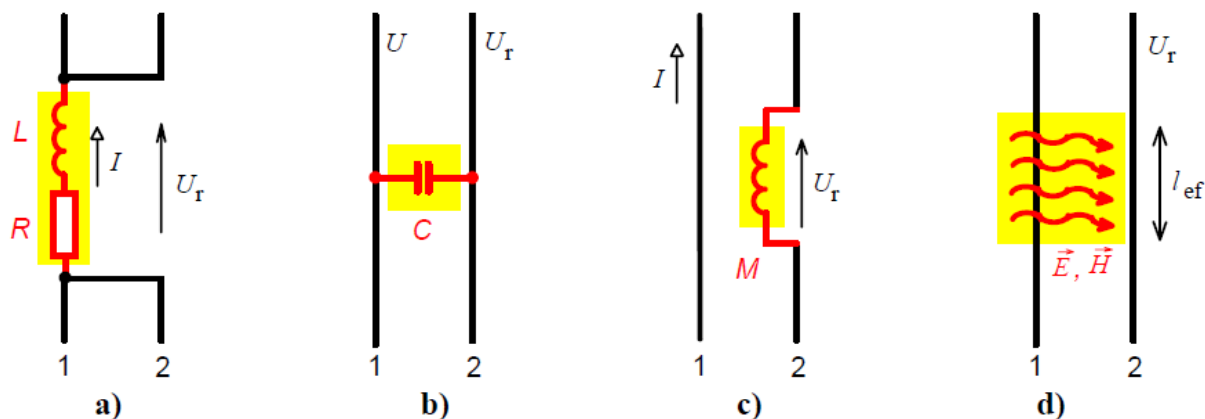
- Diagnostická souprava na jednotce intenzivní péče nemocnice v Praze monitorovala dech, tep a teplotu připojených pacientů. Spínání okolních silových spotřebičů však vyvolávalo v kardiografu přídatné pulzy, které byly vyhodnocovány jako nesynchronní tep srdce. Navíc vadný startér zářivkového svítidla poblíž jednotky, který spínal každou sekundu, vyvolával trvale hlášení překročení meze tepů a blokoval měření. Celá souprava vzhledem k její naprosté neodolnosti vůči rušení musela být vyměněna za jiný systém od jiného výrobce, splňující požadavky EMC.

- Při bouřkách jsou přepětím poškozovány telefonní ústředny a koncová zařízení, jako faxy, záznamníky a telefony. Důvodem je jejich nízká odolnost proti přepětí a nevhodné či chybějící přepětíové ochrany na vedení.

1) Uvedená událost a důvody jejího vzniku jsou v různé literatuře interpretovány různě, mnohdy i zcela protichůdně. Zde použité vysvětlení je převzato z originálu základní anglické literatury o EMC (1)

2 Vazební mechanismy přenosu rušivých signálů

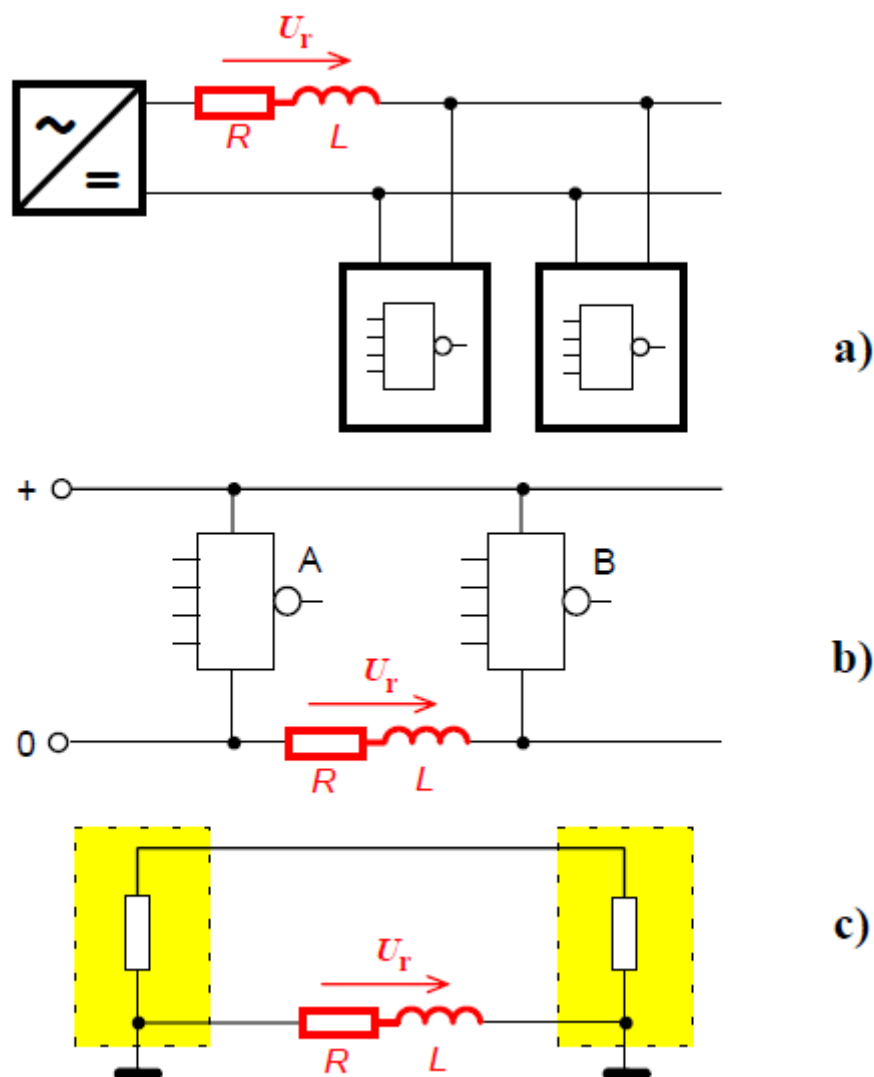
Přenos rušivých (interferenčních) signálů ze zdroje do přijímače závisí na elektromagnetickém vazebním prostředí tj. na druhu a způsobu vazby mezi zdrojem a přijímačem rušení. Z pohledu fyzikálního principu dělíme vazby na galvanickou, kapacitní, induktivní, a vazbu vyzařováním, tedy elektromagnetickým polem. Principy těchto jednotlivých vazeb jsou zobrazeny na obr. 2.1 (3)



Obr. 2-1 Druhy elektromagnetických vazeb: a) galvanická, b) kapacitní, c) induktivní, d) vyzařováním (1)

2.1 Galvanická vazba

Galvanická vazba neboli vazba společnou impedancí je vazbou dvou elektrických systémů či bloků, jejichž proudové smyčky se uzavírají společnými úseky spojovacích vedení, tedy přes společnou impedanci. Společná impedance může být tvořena více způsoby a to vnitřní impedancí společného napájecího zdroje (obr. 2.2.a), společného přívodu řídicích obvodů (obr.2.2.b), nebo impedancí společného zemnicího systému (obr. 2.2.c). Společnou impedancí tečou proudy oběma bloky, takže napětí U_r vznikající na této impedanci průtokem proudu prvního bloku představuje pro druhý blok rušivé napětí.



Obr. 2-2 Galvanická vazba společnou impedancí ve vedení napájecím (a), řídicím (b) a zemním (c) (1)

2.2 Kapacitní vazba

Kapacitní vazba je způsobena existencí parazitních kapacit mezi vodiči (rušícím a rušeným) nebo mezi jednotlivými částmi obvodů či konstrukce zařízení. Parazitní kapacitou modelujeme elektrické pole, které existuje mezi každými dvěma vodiči (vodivými částmi) s různým potenciálem. Tato situace typicky nastává např. při souběžném vedení energetických a signálových či datových kabelů a linek, případně při paralelním vedení vodivých drah plošných spojů.

Kapacitních vazeb rozlišujeme více druhů:

- Kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů
- Kapacitní vazba dvou stíněných párů
- Kapacitní vazba nezúčastněným vodičem
- Kapacitní vazba vůči zemi

(1)

2.3 Induktivní vazba

Pokud elektrickým obvodem prochází proud, vzniká v okolním prostoru magnetické pole a to proměnné nebo konstantní. To závisí na časovém průběhu proudu. Pokud je vodič v magnetickém poli, které je časově proměnné, indukuje se do něj napětí. Velikost tohoto napětí se zvyšuje, pokud se zvyšuje frekvence, nebo pokud roste rychlost časových změn proudu v primárním obvodu.

2.4 Vazba elektromagnetickým polem

V případě větších vzdáleností mezi zdrojem a přijímačem rušení, kde je induktivní a kapacitní vazba prakticky vyloučena, přichází v úvahu vazba elektromagnetickým polem (vyzařováním). Za typické příklady parazitní vazby vyzařováním lze uvést rušení dvou, nebo více blízkých vysílačů. Například atmosférická rušení, některé druhy průmyslových poruch.

3 Elektromagnetická odolnost a její testování

Elektromagnetická odolnost EMS (imunita) neboli citlivost (susceptibilita) je druhou částí celkové problematiky EMC podle obr. 1.3. Není prakticky možné odstranit zdroje rušivých signálů a to už jen z toho důvodu že některé z těchto signálů jsou signály funkční. Je tedy potřeba zajistit fungování všech technických zařízení a to i za přítomnosti signálů rušivých i funkčních. Z toho důvodu nutné zajistit aby byla technická zařízení dostatečně odolná vůči všem možným druhům rušení, které můžeme uvažovat v daném prostoru a čase.

3.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti

Zjištění elektromagnetické odolnosti je podmíněno znalostí nebo stanovením kritéria. Tedy je třeba znát či stanovit definované meze narušení funkce technického systému. Tyto meze mohou být obecně definovány kvantitativně nebo kvalitativně.

V praxi se častěji užívá kvalitativní (funkční) kritérium elektromagnetické odolnosti, které nám posuzuje změny provozního stavu, a tedy ovlivnění funkčnosti daného zařízení. Funkční kritéria rozlišujeme tři základní:

Funkční kritérium A – Vlastní činnost daného zařízení musí během zkoušky pokračovat dle svého určení. Není přípustné žádné zhoršení činnosti či ztráta funkce.

Funkční kritérium B – Během zkoušky je přípustné zhoršení činnosti zkoušeného zařízení. Změna aktuálního stavu či změna dat v paměti však přípustná není. Vlastní činnost daného zařízení musí po skončení zkoušky pokračovat dle svého určení.

Funkční kritérium C – Dočasná ztráta funkce je dovolená za předpokladu, že po skončení zkoušky lze tuto funkci obnovit činností řídicího systému.

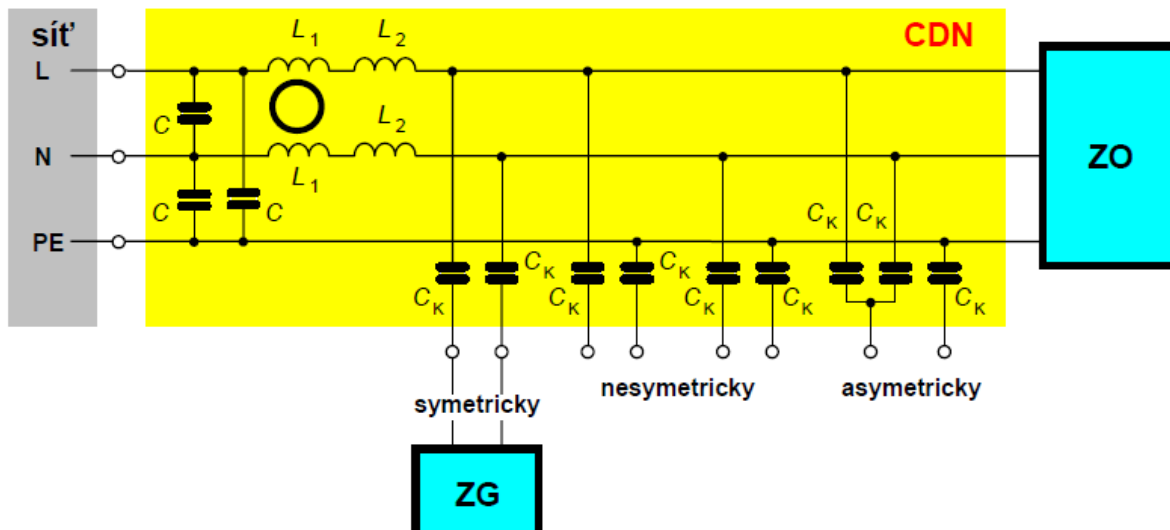
Další uváděné funkční kritérium je specifikováno nevratnou ztrátou funkce (poškození či zničení) zkoušeného zařízení. Výsledkem funkčního (kvalitativního) testování odolnosti je tedy posouzení pokračující funkčnosti zařízení po provedené zkoušce.

3.2 Vazební/oddělovací obvody a pracoviště pro zkoušky elektromagnetické odolnosti

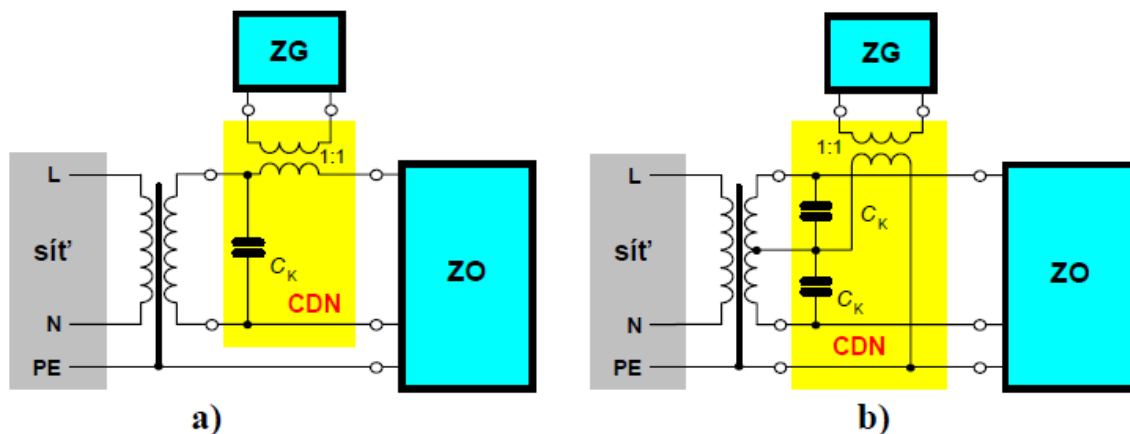
Při zkouškách elektromagnetické odolnosti hraje velmi významnou roli způsob navázání zkušební (rušivého) signálu ke zkoušenému objektu. Tedy k jeho napájecímu přívodu, k signálovým či datovým svorkám, případně k dalším „vstupům“. Vazební a oddělovací obvod označovaný jako CDN (Coupling-Decoupling Network) přitom plní dvě základní funkce. Funkcí vazební a funkci oddělovací.

Vazební funkce- Zajišťuje přenos zkušební signálu z generátoru do ovládacích energetických nebo dalších vstupů zkoušeného zařízení v požadovaném frekvenčním intervalu. Dále blokuje zpětný vliv síťového či signálového napětí zařízení na generátor.

Oddělovací funkce- Tato funkce zajišťuje zabraňování zpětného šíření zkušební (rušivého) signálu do vnější napájecí, signálové či datové sítě připojené ke zkoušenému zařízení. Čili je možné tuto oddělovací funkci nazvat zpětnou filtrací, kvůli které je působení zkušební signálu skutečně omezeno pouze na testované zařízení a jsou chráněny nezkoušené prvky a jiná zařízení připojená k téže síti.



Obr. 3-1 Kapacitní vazební a oddělovací obvod se vstupy pro symetrické, nesymetrické a asymetrické navázání zkušební signálu do napájecího vedení (ZG - zkušební generátor; ZO - zkoušený objekt, CDN - vaz./odd. obvod) (1)



Obr. 3-2 Induktivní vazební a oddělovací obvod pro navázání protifázového (a) a soufázového (b) rušivého zkušební signálu do napájecího vedení (ZG - zkušební generátor; ZO - zkoušený objekt, CDN - vaz./odd. obvod) (1)

4 Rozdělení zkoušek elektromagnetické odolnosti

Pokud mluvíme o elektromagnetické odolnosti, je třeba definovat, vůči čemu je zmíněna odolnost, proto dělíme zkoušky do jednotlivých skupin.

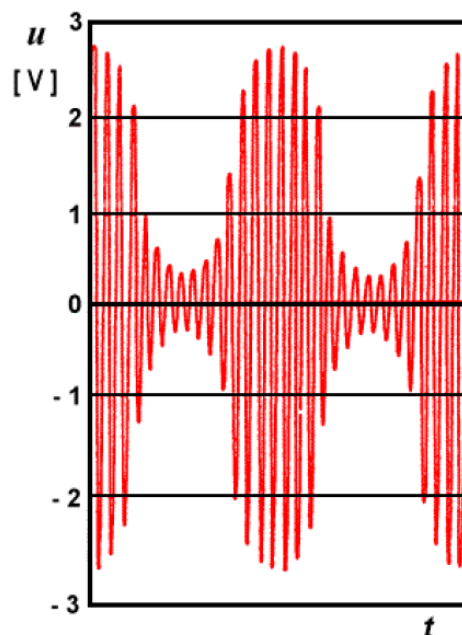
- ČSN EN 61000-4-2 Elektrostatický výboj
- ČSN EN 61000-4-3 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole
- ČSN EN 61000-4-4 Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny impulzů
- ČSN EN 61000-4-5 Rázový impulz
- ČSN EN 61000-4-6 Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli
- ČSN EN 61000-4-8 Magnetické pole síťového kmitočtu
- ČSN EN 61000-4-9 Pulzy magnetického pole
- ČSN EN 61000-4-10 Tlumené kmity magnetického pole
- ČSN EN 61000-4-11 Krátkodobé poklesy napětí, krátká přerušení a pomalé změny napětí
- ČSN EN 61000-4-12 tlumená sinusová vlna

(4)

Zkoušek odolnosti je velmi mnoho já se však ve své práci budu zabývat především problematikou popsanou normou ČSN EN 61000-4-6 tedy odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli.

5 ČSN EN 61000-4-6 Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli

Vlastní měření vychází z normy ČSN EN 61000-4-6, což jak napovídá název této normy je odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčním rušením. Tato norma se zabývá požadavky na odolnost elektrických či elektronických zařízení proti elektromagnetickým rušením šířeným vedením, jejichž zdrojem jsou úmyslné vysokofrekvenční vysílače v kmitočtovém rozsahu od 9 kHz do 80 MHz. Mé vlastní měření jsem prováděl pro úroveň II a úroveň III v rozsahu od 150 kHz do 80 MHz a to s krokem po 1 % s časovou náročností 0,5 s na jeden krok. Úrovně odpovídají efektivním hodnotám intenzity pole harmonického nemodulovaného signálu. Pro zkoušku odolnosti je však tento signál amplitudově modulován do hloubky 80 % harmonickým napětím 1 kHz. Časový průběh zkušebního vf. signálu (zkušebního pole) je na obr. 5.1. Tento průběh simuluje skutečné rušivé vf. signály, které jsou vždy rovněž určitým způsobem modulovány.



Obr. 5-1 Průběh zkušebního signálu s 80 % AM (nemodulovaný signál má efektivní hodnotu 1 V) (4)

Úroveň odolnosti	Zkušební napětí naprázdno	
	[dB (μ V)]	[V]
1	120	1
2	130	3
3	140	10
X	zvláštní	

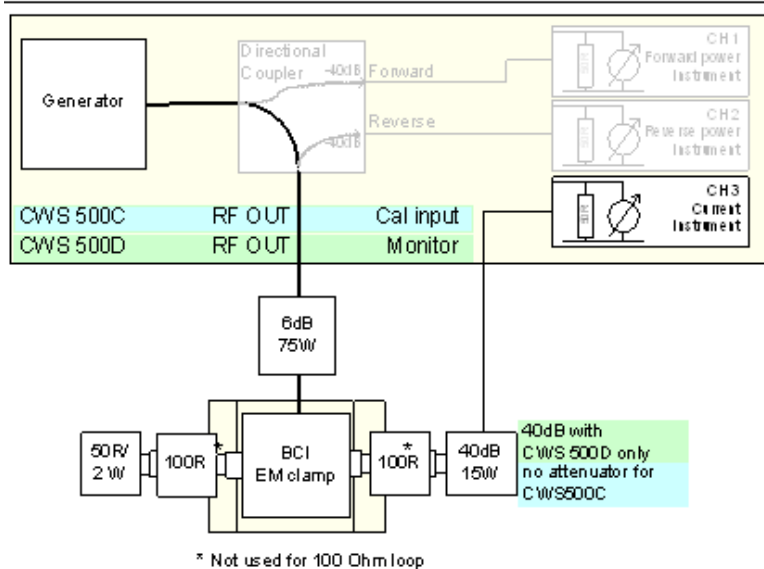
Tabulka 5-1 Zkušební úrovně nemodulovaného vf. napětí naprázdno v kmitočtovém pásmu 150 kHz až 80 MHz (4)

6 Kalibrace

Kalibrace je velmi důležitou součástí měření a to z důvodu, abychom zvýšili přesnost měření a předešli případným chybám, aby měření bylo opakovatelné. Kalibraci jsem prováděl dle návodu vf generátoru pro každou metodu zvlášť a pro každou úroveň zvlášť. Schématické znázornění zapojení těchto kalibrací jsou na obr. 6.1, 6.3, 6.5. Reálné zapojení kalibrací které jsem prováděl jsou na obr.6.2, 6.4, 6.6.

Při přípravě kalibrační sestavy jsem se řídil blokovým schématem. Připojil jsem tedy výstup vf. generátoru k EM kleštině přes útlumový článek s parametry 6 dB a 75 W. Skrz EM kleštinu bylo nataženo vedení propojující na vstupní straně odpor a na výstupní straně útlumový článek 40 dB, který byl napojen zpět do vf. generátoru jako zpětná vazba.

IEC / EN 61000-4-6 BCI/EM clamp calibration



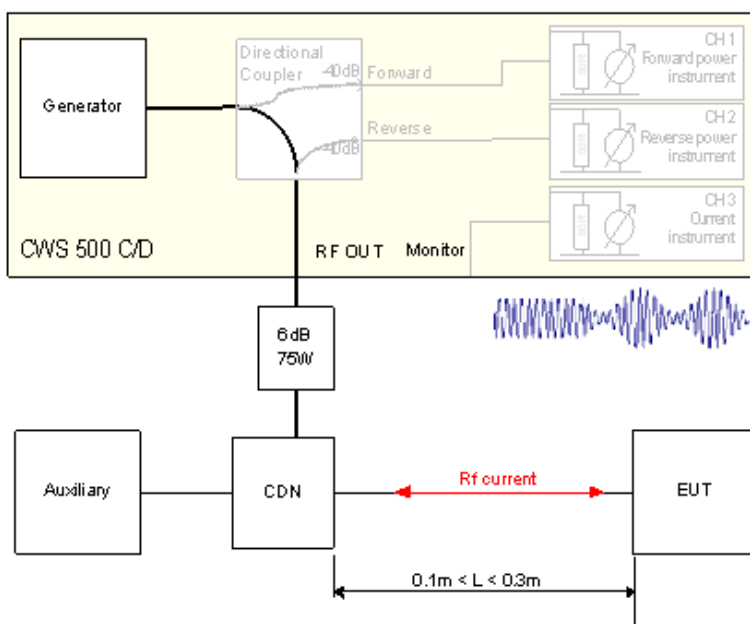
Obr. 6-1 Blokové schéma zapojení kalibrace EM kleštiny (5)



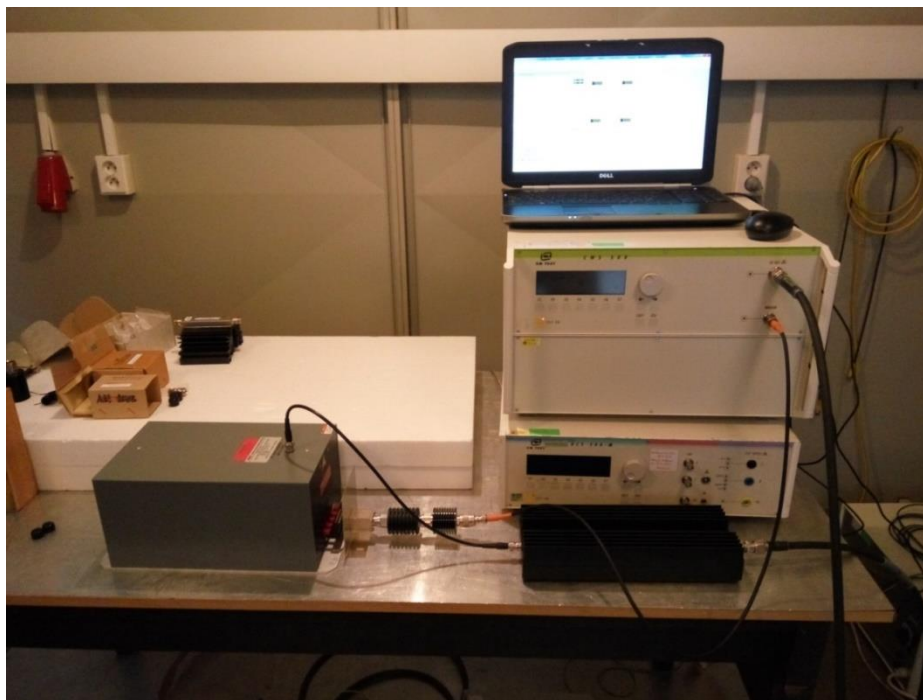
Obr. 6-2 Reálné zapojení kalibrace EM kleštiny (5)

Příprava kalibrační sestavy pro metodu CDN probíhala obdobně jako u metody přes EM kleštinu s rozdílem, že vf. generátor byl připojen přes útlumový článek s parametry 6 dB a 75 W k vazebnímu a oddělovacímu obvodu CDN který byl opět připojen zpět do vf. generátoru přes útlumový článek 40 dB.

IEC / EN 61000-4-6 CDN

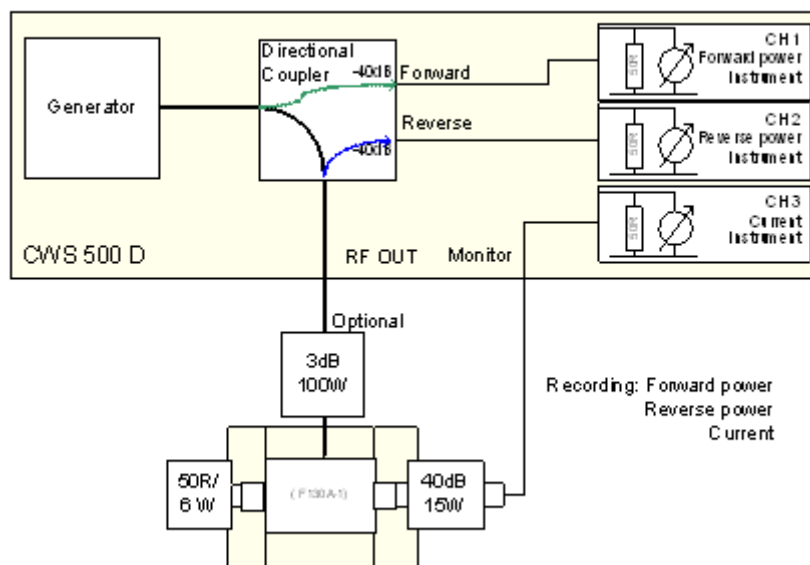


Obr. 6-3 Blokové schéma zapojení kalibrace CDN (5)

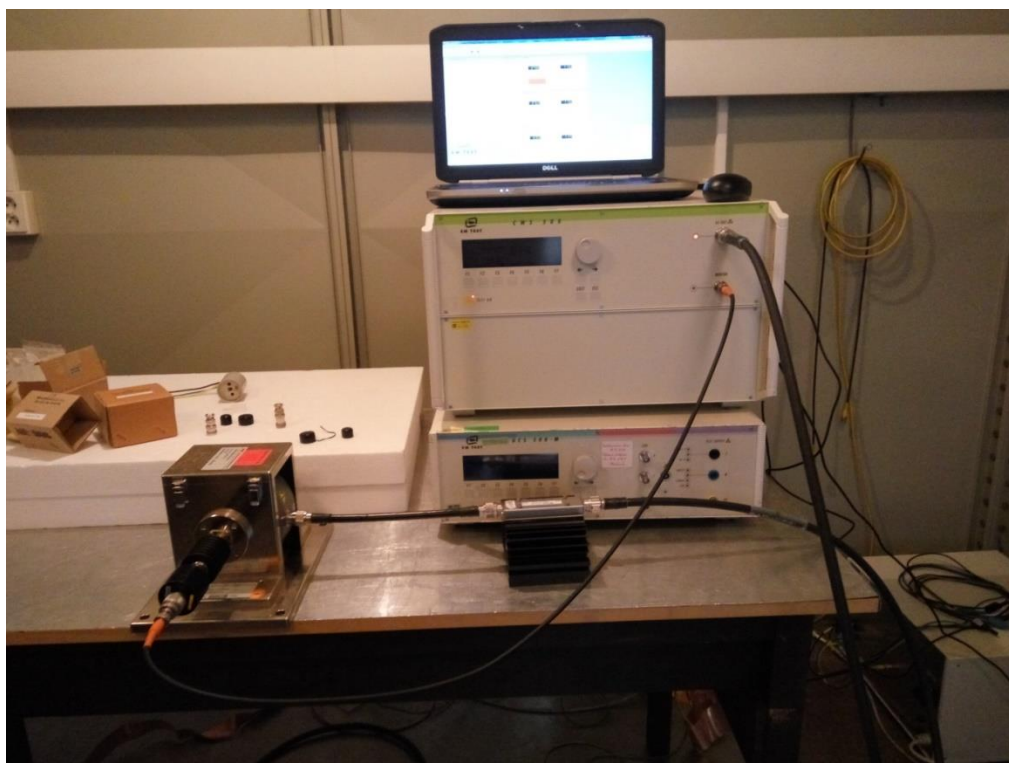


Obr. 6-4 Reálné zapojení kalibrace CDN (5)

ISO 11452-4 BCI calibration



Obr. 6-5 Blokové schéma zapojení kalibrace BCI (5)



Obr. 6-6 Reálné zapojení kalibrace BCI (5)

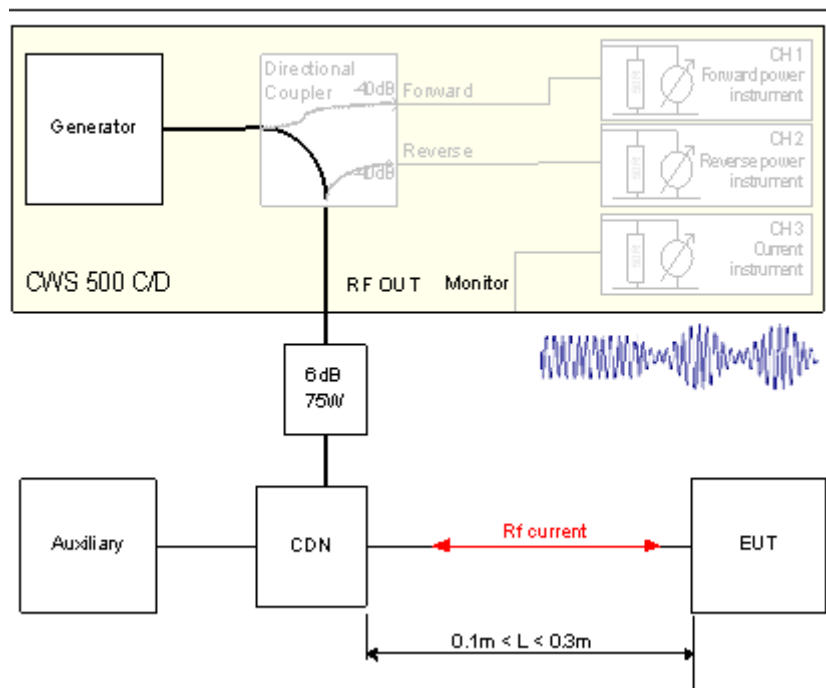
7 Vlastní měření

Pro své vlastní měření jsem vybral stolní svítidlo se stmívačem a dva voltmetry. Stolní svítidlo (lampička) je regulovatelné na 5 stupňů a je zástupcem zařízení splňující normu pro obytné prostředí. Tato lampička je běžně dostupným zbožím na českém trhu a podle štítkových údajů splňuje prohlášení o shodě CE. Já jsem se rozhodl v rámci své bakalářské práce tuto lampičku podrobit testu odolnosti proti vf rušením šířeným vedením. Abych mohl výsledky porovnávat rozhodl jsme se test provést více metodami a to testování přes CDN a pomocí EM kleštiny.

7.1 Zkouška odolnosti proti vf rušení metoda CDN lampička úroveň II.

Jako první metodu měření jsem zvolil testování přes CDN (vazební a oddělovací obvod) pro úroveň II viz. tab. 7.1 . Zapojení tohoto měření jsem provedl podle normy, přičemž blokové schéma je zobrazeno na obr. 7.1, kde můžeme vidět jednotlivé části zapojení – generátor vf signálu, útlumový člen 6 dB 75W, CDN (vazební a oddělovací obvod)viz kap.3.2, EUT testované zařízení, auxiliary (v našem případě napájecí síť). Reálné zapojení je vidět na obr. 7.2. Pro testování jsem použil kalibrační soubor, který byl mnou vytvořen pro tuto metodu a tuto úroveň viz kapitola 6 obr. 6.3.

IEC / EN 61000-4-6 CDN



Obr. 7-1 Blokové schéma zapojení pro testování přes CDN (5)

Zkouška odolnosti dle ČSN EN 61000-4-6 metodou CDN - lampička LEVEL II.		
f MHz	Kritérium	Stav
0,22	B	problíknutí - reaguje
1,6	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení - reaguje
1,8	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení - reaguje
1,9	B	zhasnutí lampičky
3	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení - reaguje
3,1	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení - reaguje
3,3	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení - reaguje
3,6	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení - reaguje
4,6	B	rychlé přeskoky na jinou úroveň intenzity osvětlení - reaguje
4,7	C	rychle bliká - nereaguje
9,5	A	zastavení blikání
28	B	opětovné blikání
33	A	zastavení blikání
80	A	konec testu

Tabulka 7-1 Výsledky testování lampičky přes CDN – úroveň II. (5)

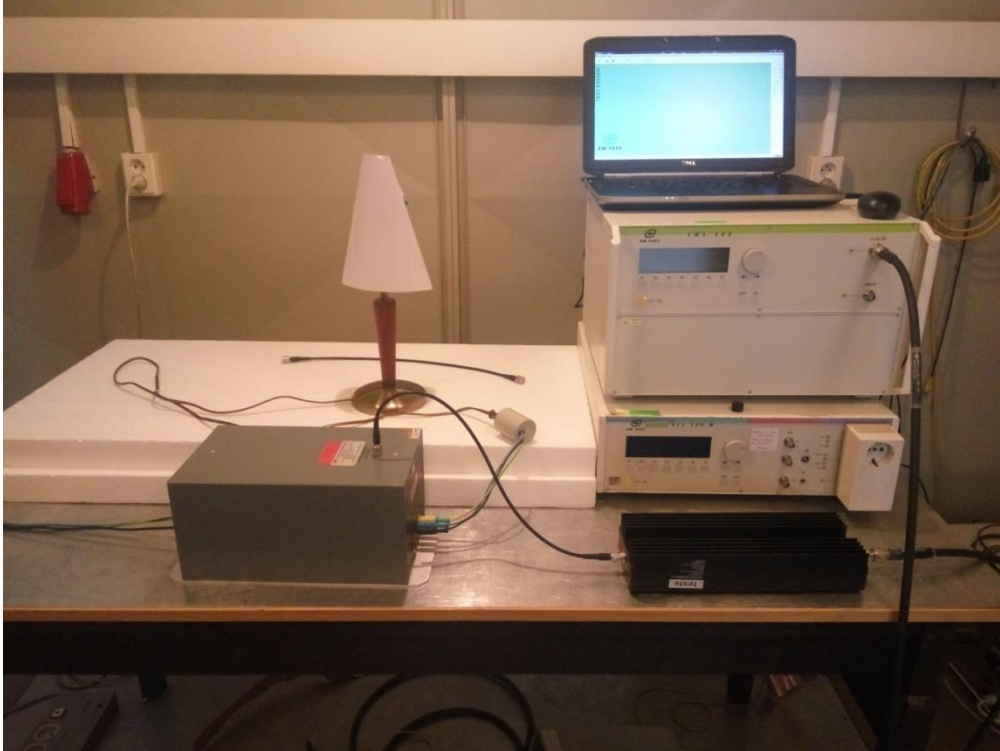
V tabulce 7.1 můžeme vidět chování lampičky pro jednotlivé frekvence nebo pro intervaly frekvencí. Ve všech ostatních intervalech hodnotím kritériem (A), pokud není stanoveno jinak. V průběhu testu lampička vykazovala nezvyklé chování pro běžný stav. Na začátku testu byla lampička spuštěna na první stupeň intenzity osvětlení, tento stav však neměl dlouhé trvání. Během několika kroků testu začala lampička vykazovat abnormální chování formou problíkávání, přeskoků mezi jednotlivými intenzitami osvětlení, či zhasnutí.

7.2 Zkouška odolnosti proti vf rušení metoda CDN lampička úroveň III.

Zkouška odolnosti dle ČSN EN 61000-4-6 metodou CDN - lampička úroveň III.		
f MHz	Kritérium	Stav
0,15	B	začátek testu přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení
0,4	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení
0,62	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení
1	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení
1,1	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení - reaguje
1,5	B	přeskoky mezi jednotlivými intenzitami
16	B	ustálení na jedné intenzitě osvětlení
16,5	C	blikání - nereaguje
40	B	konec blikání - reaguje
80	A	konec testu reaguje

Tabulka 7-2 Výsledky testování lampičky přes CDN – úroveň III. (5)

Zapojení testování je stejné pro úroveň II pro úroveň III. V intervalech frekvencí mezi přeskoky je stanoveno kritérium A jak je vidět v tab. 7.2 intervalů s kritériem A je méně a ve většině frekvencí lampička vykazuje poruchovou činnost. Po ukončení testu však lampička opět nabyla své původní funkce.

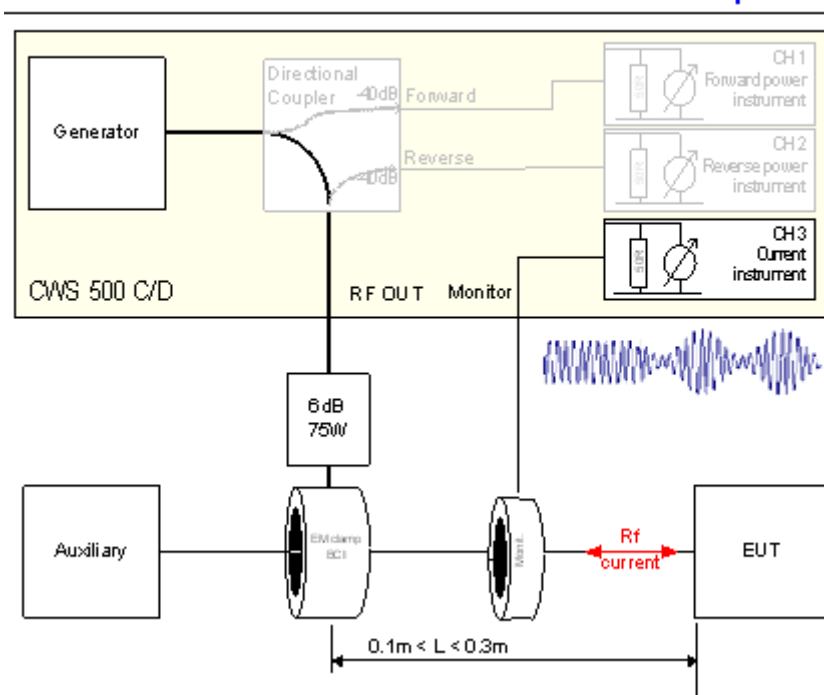


Obr. 7-2 Reálné zapojení testování přes CDN (5)

7.3 Zkouška odolnosti proti vf. rušení lampičky metodou EM kleštiny úroveň II.

Jako druhou metodu testování jsem zvolil testování pomocí EM kleštiny. Na obr. 7.3 je vidět blokové schéma zapojení. stejně jako u první metody je i zde generátor vf. signálu, EUT testované zařízení, auxiliary (napájecí síť) a útlumový člen 6 dB 75 W. Rozdílem oproti první metodě však je že zde je v obvodu EM kleština skrz kterou prochází vedení napájející lampičku a proudová sonda která zajišťuje případné omezení generátoru.

IEC / EN 61000-4-6 BCI / EM clamp



Obr. 7-3 Blokové schéma zapojení testování pomocí EM kleštiny (5)

Z tab. 7.3 je možné vidět chování lampičky během testu, které je podle mého názoru překvapivé stejně jako u první metody. Během frekvencí mezi jednotlivými přeskoky na jinou úroveň intenzity osvětlení se lampička chová podle kritéria A. Na ostatních frekvencích je kritérium stanoveno tab 7.3. Po skončení testu byla lampička plně funkční bez jakýchkoliv následků.

Zkouška odolnosti dle ČSN EN 61000-4-6 Kleština - lampička úroveň II.		
f MHz	Kritérium	Stav
0,15	A	začátek testu
0,18-0,19	C	nereaguje
1,8	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení
2,6	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení
3,8	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení
4,5	B	bliká
5,5	B	konec blikání - špatně reaguje
7,4	B	bliká
10,5	B	konec blikání - špatně reaguje
16	B	přeskok na jinou úroveň intenzity osvětlení - špatně reaguje
80	A	konec testu

Tabulka 7-3 Výsledky testování lampičky pomocí EM kleštiny - úroveň II. (5)

7.4 Zkouška odolnosti proti vf rušení lampičky pomocí EM kleštiny úroveň III.

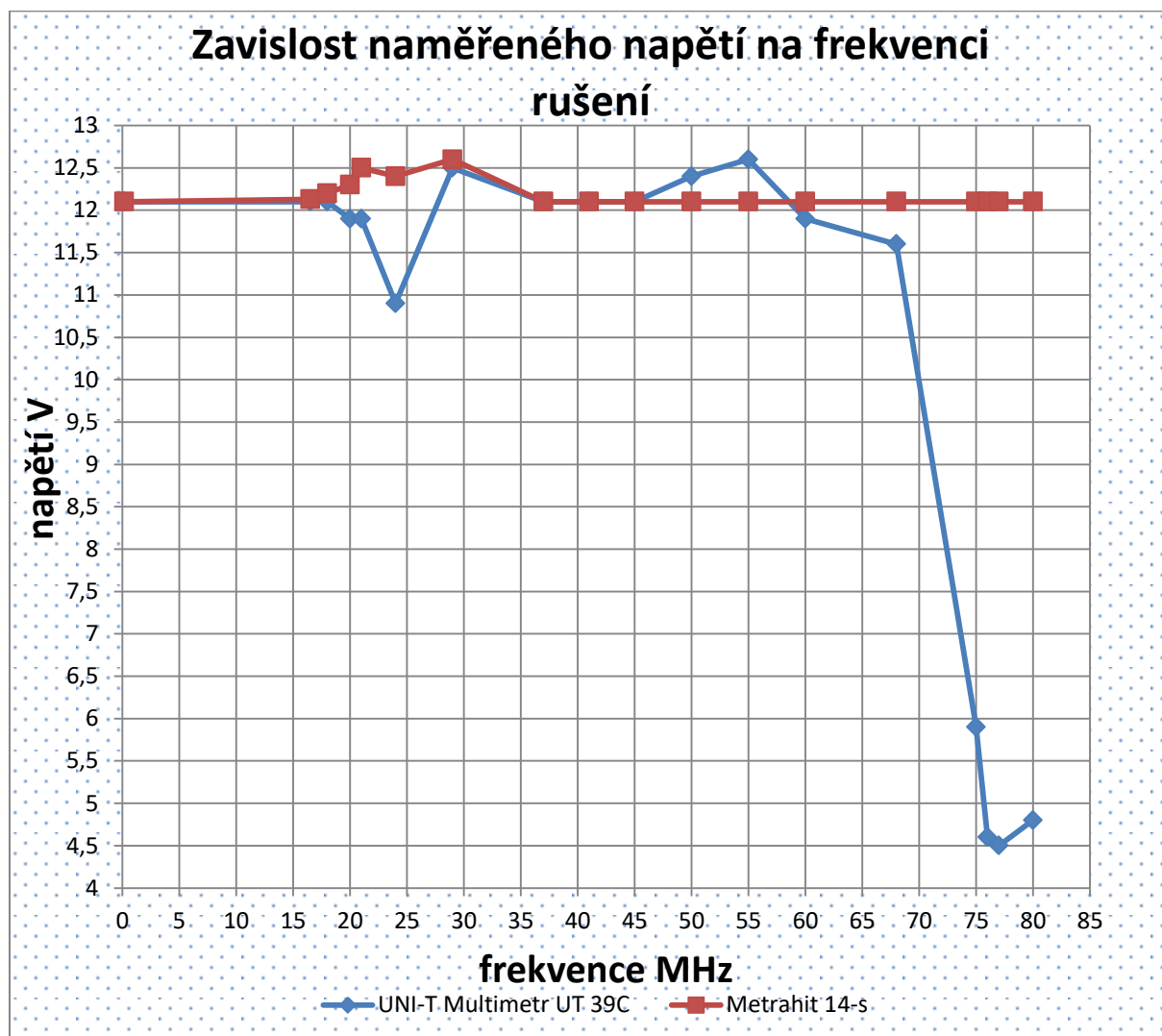
Výsledky testování lampičky pomocí EM kleštiny – úroveň III jsou vidět v tab.7.4 . Počet kroků ve kterých je lampička zhodnocena jinak než kritérium (A) je vyšší než u úrovně II.

Zkouška odolnosti dle ČSN EN 61000-4-6 Kleština - lampička úroveň III.		
<i>f</i> MHz	Kritérium	Stav
0,15	A	začátek testu
0,18	C	bliká - nereaguje
0,2	A	konec blikání - reaguje
0,6	B	opět bliká -reaguje
1,4	B	rychle bliká během jedné frekvence
9	A	konec blikání - reaguje
12	B	opět bliká -reaguje
66	B	nebliká - reaguje
80	A	konec testu - reaguje

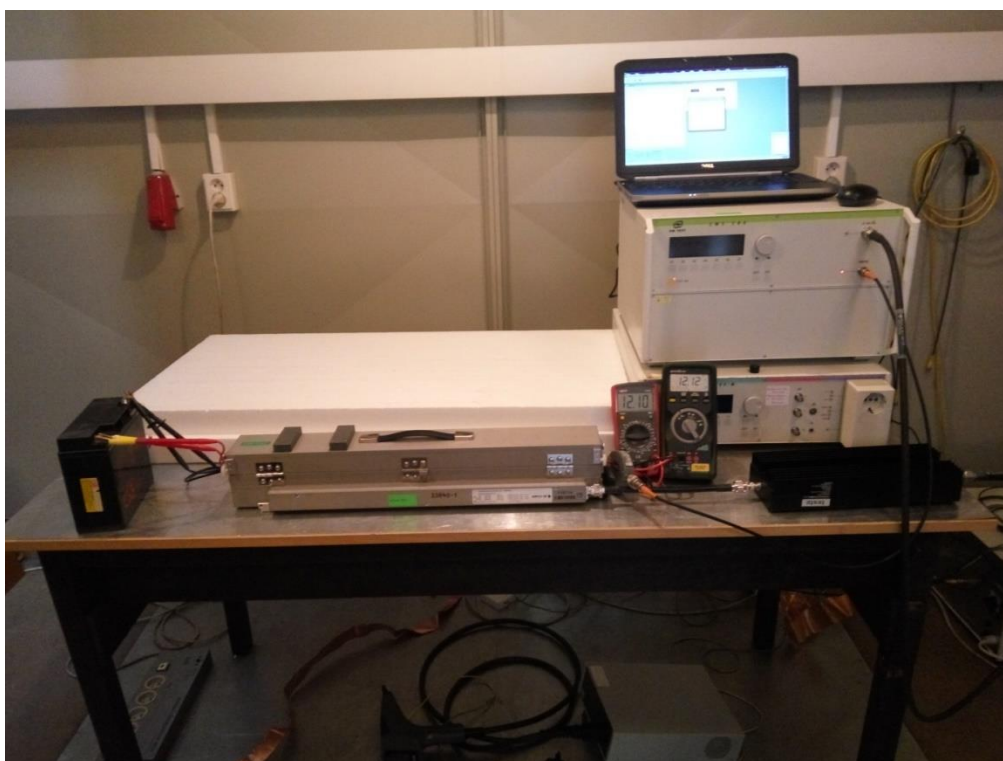
Tabulka 7-4 Výsledky testování lampičky pomocí EM kleštiny – úroveň III. (5)

7.5 Zkouška odolnosti proti vf rušení voltmetrů pomocí EM kleštiny

Další zařízení, které jsem si vybral pro svá měření byly dva voltmetry, které jsem podrobil testu odolnosti proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli a to přes EM kleštinu úrovní III. Voltmetry bylo měřeno stejnosměrné napětí na baterii 12 V a to po celou dobu testu. Vedení těchto voltmetrů bylo vloženo do EM kleštiny. Během testu jsem pozoroval zobrazované hodnoty voltmetrů které jsem zaznamenával v závislosti na frekvenci. Závislost naměřeného napětí na frekvencích rušení pro oba voltmetry je zobrazena grafem 7.1. Při testování voltmetrů došlo k omezení proudu generátoru a to od 30 MHz. Po ukončení testu oba voltmetry opět zobrazovaly hodnotu 12 V. Nedošlo tedy ke zkreslení výsledků v důsledku vybíjení baterie.



Graf 7-1 Závislost naměřeného napětí na frekvencích rušení (5)



Obr. 7-4 Reálné zapojení testování voltmetrů pomocí EM kleštiny úroveň III. (5)

8 Závěr

Po analýze problematiky a dostupných vzorků jsem zvolil pro testy zařízení na kterých je možné vidět problémy s EMS. V rámci dostupných elektrotechnických zařízení jsem vybral lampičku se stmívačem regulovatelnou na 5 stupňů jako zástupce zařízení splňující normu pro obytné prostředí. Jako zástupce zařízení pro průmyslové prostory jsem vybral dvojici voltmetrů a to UNI-T Multimetr UT 39C, Metrahit 14-s. Tato zařízení jsem podrobil testům EMC dle normy ČSN EN 61000-4-6. První z voltmetrů je vhodný pro lehký průmysl, avšak v těžkém by neobstál. Druhý je vhodný i pro těžký průmysl. Většina dnes dostupných zařízení splňující CE by měla spadat do kategorie A pro obytné prostředí (Lampička). U tohoto zařízení by se neměly vyskytnout žádné problémy, avšak tyto problémy se vyskytly a to jak pro úroveň III.(10 V) tak i pro úroveň II. (3 V). Lampička pro úroveň II. převážně splňuje kritérium B při frekvencích viz tabulky 7.1 a 7.3 toto zařízení nesplňuje podmínky pro prohlášení o shodě CE čili by se nemělo na dnešním trhu prodávat a přesto se prodává. Tyto výsledky jsou téměř shodné pro obě metody ani jednou z těchto metod jsem nedosáhl uspokojivých výsledků, proto lampička nesplňuje podmínky pro prohlášení o shodě CE. Z této práce je patrné že všechna zařízení nemusí plnit svoji očekávanou funkci. Výsledky mé práce jsou v souladu s dnešním trendem zvyšování elektromagnetické odolnosti a současně se snižováním jejich náchylnosti na rušení.

9 Citovaná literatura

1. **Ing. Jiří Dřínovský, Ph.D. a spol.** *Elektromagnetická kompatibilita* . Brno : VUT v Brně, 2010. 978-80-214-4202-3.
2. **SELTEKO PLUS, s.r.o.** Soubor elektrotechnických předpisů v oblasti elektromagnetické kompatibility, přepětí a. Praha : autor neznámý, 1999.
3. **Vaculíková P., Vaculík E.** *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů*. Praha : Grada Publishing, 1998. 8071695688.
4. *Mezinárodní, evropská a česká norma ČSN EN 61000-4-6*. 2014.
5. **Mokráček, Jakub**. 2017.