

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

EMC ZKUŠEBNÍ LABORATOŘ PRO JISTIČE NN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

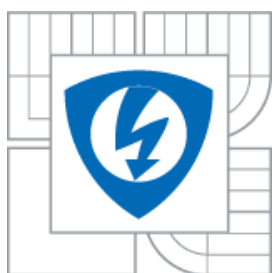
AUTHOR

Bc. Leoš Vejtasa

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

EMC ZKUŠEBNÍ LABORATOŘ PRO JISTIČE NN
EMC TEST LABORATORY FOR LOW VOLTAGE CIRCUIT BREAKER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

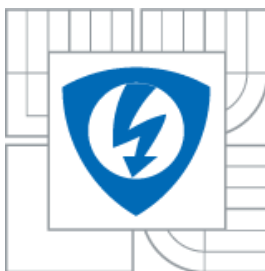
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Leoš Vejtasa

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr Dohnal, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Bc. Leoš Vejtasa

Ročník: 2

ID: 125692

Akademický rok: 2013/14

NÁZEV TÉMATU:

EMC zkušební laboratoř pro jističe NN

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte rešerši požadavků EMC na jističe NN.
2. Proveďte výběr vhodných zkušebních zařízení pro zkoušky EMC.
3. Vytvořte návrh zkušební laboratoře EMC pro jističe NN.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Havelka, Otto a kol. : Elektrické přístroje učebnice pro elektrotechnické fakulty vysokých škol technických, SNTL 1985
- [2] Měřička J., Zoubek Z. : Elektrické stroje, skriptum ČVUT 1990
- [3] Patočka, Miroslav: Magnetické jevy a obvody ve výkonové elektronice, měřicí technice a silnoproudé elektrotechnice, VUTIUM 2011

Termín zadání: 27.9.2013

Termín odevzdání: 28.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Petr Dohnal, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

Ing. Ondřej Vítek, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

V současné době se elektronika nachází téměř v každém zařízení, které vysílá i přijímá elektromagnetické rušení. Zároveň jsou zvyšovány požadavky na bezpečnost, tedy i jističe musí správně fungovat i v prostorech vystavených nejrůznějším typům elektromagnetického rušení. V této práci je rozebrána problematika elektromagnetické odolnosti jističů.

Abstract

Nowadays there are electronic systems almost in every new device. They are emitting and receiving electromagnetic interferences. The safety levels for circuit breakers are also increasing. Because of these issues the circuit breakers must work properly also in areas filled by electromagnetic interference. This thesis describes the issues of electromagnetic susceptibility of the circuit breakers.

Klíčová slova

jistič, elektromagnetická kompatibilita, podmínky měření, zkušební laboratoř, testovací zařízení, návrh zkušební laboratoře

Keywords

circuit breaker, electromagnetic compatibility, measurement conditions, construction of the testing laboratory, testing device

Bibliografická citace

VEJTASA, L. EMC zkušební laboratoř pro jističe NN. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Dohnal, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma EMC zkušební laboratoř pro jističe NN jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

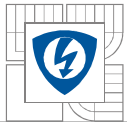
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Dohnalovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

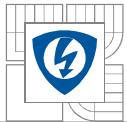
V Brně dne

Podpis autora

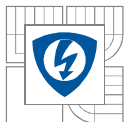


Obsah

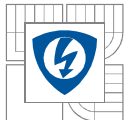
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	12
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	13
ÚVOD.....	15
1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA	16
1.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY	16
1.2 ZDROJE RUŠIVÝCH SIGNÁLŮ	17
1.3 ŠÍŘENÍ RUŠENÍ.....	18
1.4 POŽADAVKY EMC NA JISTIČE NN.....	18
1.4.1 ELEKTROMAGNETICKÁ ODOLNOST.....	19
2 JISTIČ A JEHO PŘÍSLUŠENSTVÍ.....	22
2.1 VÝVOJ ELEKTRONICKÉHO JISTIČE.....	22
2.1.1 ELEKTRONICKÝ JISTIČ 1. GENERACE	22
2.1.2 ELEKTRONICKÝ JISTIČ 2. GENERACE	23
2.1.3 ELEKTRONICKÝ JISTIČ 3. GENERACE	23
2.2 NADPROUDOVÉ SPOUŠTĚ.....	24
2.2.1 NADPROUDOVÁ SPOUŠŤ	25
2.2.2 ZPOŽDĚNÍ TEPELNÉ SPOUŠTĚ.....	25
2.2.3 PODPROUDOVÁ SPOUŠŤ	25
2.2.4 PODPĚŤOVÁ SPOUŠŤ	25
2.2.5 BLOK ZPOŽDĚNÍ PODPĚŤOVÉ SPOUŠTĚ	26
2.2.6 NAPĚŤOVÁ SPOUŠŤ	26
2.2.7 TEPELNÁ PAMĚŤ	26
2.2.8 ZÁSKOKOVÝ AUTOMAT	26
2.2.9 ŘÍDICÍ JEDNOTKA.....	26
2.2.10 DIALOGOVÁ JEDNOTKA	26
2.2.11 NAPÁJECÍ JEDNOTKA	27
2.2.12 RELÉ NA CHYBOVÝ PROUD	27
2.3 MOTOROVÝ POHON	27
3 TYPY ZKOUŠEK.....	28
3.1 ZKOUŠKY ELEKTROMAGNETICKÉ ODOLNOSTI PRO JISTIČE S ELEKTRONICKOU NADPROUDOVOU OCHRANOU – OBECNĚ.....	28
3.2 VAZEBNÍ A ODDĚLOVACÍ OBVODY A PRACOVÍŠTĚ.....	28
4 ZKOUŠKA VYZAŘOVANÝM VYSOKOFREKVENČNÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM.....	30
4.1 OBECNĚ.....	30
4.2 ZKUŠEBNÍ ÚROVNĚ A POŽADAVKY NA ODOLNOST ZAŘÍZENÍ.....	30
4.3 ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJE PRO ZKOUŠKU	31



4.3.1 BEZODRAZOVÁ KOMORA	31
4.3.2 VYSOKOFREKVENČNÍ GENERÁTOR	31
4.3.3 VÝKONOVÝ ZESILOVAČ	32
4.3.4 SMĚROVÉ ANTÉNY	32
4.4 KALIBRACE KOMORY	32
4.4.1 KALIBRAČNÍ METODA KONSTANTNÍ INTENZITY POLE	33
4.5 ZÁKLADNÍ PODMÍNKY MĚŘENÍ	34
4.6 PLÁN ZKOUŠKY A PROTOKOL O ZKOUŠCE	35
4.7 PROVEDENÍ ZKOUŠKY	35
4.8 VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY	36
5 ZKOUŠKA ELEKTRICKÝMI RYCHLÝMI PŘECHODOVÝMI JEVY / SKUPINAMI IMPULZŮ (EFT/B).....	37
5.1 OBECNĚ.....	37
5.2 ZKUŠEBNÍ ÚROVNĚ A POŽADAVKY NA ODOLNOST JISTIČE	37
5.3 ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJE PRO ZKOUŠKU	38
5.3.1 GENERÁTOR SKUPIN IMPULZŮ	38
5.3.2 VAZEBNÍ / ODDĚLOVACÍ SÍŤ.....	39
5.4 ZÁKLADNÍ PODMÍNKY MĚŘENÍ	40
5.5 PLÁN ZKOUŠKY	40
5.6 PROVEDENÍ ZKOUŠKY	41
5.7 PROTOKOL O ZKOUŠCE	41
6 ZKOUŠKA RÁZOVÝMI IMPULZY	42
6.1 OBECNĚ.....	42
6.2 ZKUŠEBNÍ ÚROVNĚ A POŽADAVKY NA ODOLNOST ZAŘÍZENÍ.....	42
6.3 ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJE PRO ZKOUŠKU	42
6.3.1 GENERÁTOR KOMBINOVANÉ VLNY 1,2 / 50 μ S.....	42
6.3.2 VAZEBNÍ / ODDĚLOVACÍ SÍŤ.....	43
6.3.3 DALŠÍ ZAŘÍZENÍ	45
6.4 ZÁKLADNÍ PODMÍNKY MĚŘENÍ	45
6.5 PLÁN ZKOUŠKY	45
6.6 PROVEDENÍ ZKOUŠKY	45
6.7 PROTOKOL O ZKOUŠCE	46
7 ZKOUŠKA RUŠENÍM ŠÍŘENÝM VEDENÍM A INDUKOVANÝM VYSOKOFREKVENČNÍMI POLI.....	47
7.1 OBECNĚ.....	47
7.2 ZKUŠEBNÍ ÚROVNĚ A POŽADAVKY NA ODOLNOST ZAŘÍZENÍ.....	47
7.3 ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJE PRO ZKOUŠKU	48
7.3.1 GENERÁTOR	48
7.3.2 VAZEBNÍ / ODDĚLOVACÍ OBVODY	48
7.3.3 DALŠÍ ZAŘÍZENÍ	49
7.4 ZÁKLADNÍ PODMÍNKY MĚŘENÍ	49
7.5 PROVEDENÍ ZKOUŠKY	49

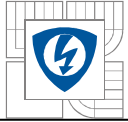


7.6 PROTOKOL O ZKOUŠCE	49
8 ZKOUŠKA HARMONICKÝMI PROUDY	51
8.1 OBECNĚ.....	51
8.2 ZKUŠEBNÍ ÚROVNĚ A POŽADAVKY NA ODOLNOST ZAŘÍZENÍ.....	51
8.3 ZAŘÍZENÍ A PŘÍSTROJE PRO ZKOUŠKU	52
8.3.1 ZKUŠEBNÍ GENERÁTOR	52
8.3.2 ANALYZÁTOR HARMONICKÝCH SLOŽEK	52
8.4 ZÁKLADNÍ PODMÍNKY MĚŘENÍ	52
8.5 PLÁN ZKOUŠKY	52
8.6 PROVEDENÍ ZKOUŠKY.....	52
8.7 PROTOKOL O ZKOUŠCE	53
9 ZKOUŠKA POKLESY PROUDU.....	54
10 ZKOUŠKA ELEKTROSTATICKÝM VÝBOJEM (ESD)	56
10.1 NÁVRH ZKUŠEBNÍ LABORATOŘE PRO ZKOUŠKU ESD	58
10.2 POŽADAVKY NA ESD GENERÁTOR	59
10.3 PROVEDENÍ ZKOUŠKY ESD	61
10.3.1 POSTUP PŘI ZKOUŠCE.....	61
10.3.2 ZKOUŠKA JISTIČE ELEKTROSTATICKÝM VÝBOJEM	61
11 ZKUŠEBNÍ PLÁN	63
12 ZÁVĚR.....	64
13 PŘÍLOHA	65
POUŽITÁ LITERATURA	67

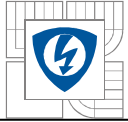


SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1.1: Přenos rušení [1].....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 1.2: Úrovně a meze vyzařování a odolnosti [3].....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 2.1: Blokové schéma první generace elektronického jističe [9].....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 2.2: Blokové schéma druhé generace elektronického jističe [9].....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 2.3: Blokové schéma třetí generace elektronického jističe [9].....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 2.4: Vypínací charakteristika nadproudové spouště [4].....</i>	<i>25</i>
<i>Obrázek 3.1: Příklad kapacitní vazební a oddělovací obvod; ZG – zkušební generátor, ZO – zkoušený objekt, CDN – vazební / oddělovací obvod [1].....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 3.2: Uspořádání pro měření EMS; ZG – zkušební generátor, ZO – zkoušený objekt, CDN – vazební / oddělovací obvod, KZ – kontrolní zařízení [1].....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 4.1: Zkušební signál s amplitudovou modulací 80 %.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 4.2: Principiální schéma zapojení.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 4.3: Vertikální plocha homogenního pole [1].....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 4.4: Zkušební laboratoř pro zkoušku vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem [1].....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 4.5: Blokové schéma zapojení přístrojů v laboratoři.....</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 5.1: Zkušební signál [1].....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 5.2: Principiální schéma zapojení generátoru EFT [1].....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 5.3: Uspořádání pracoviště [1].....</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 6.1: Zkušební rázová vlna: a) napěťová naprázdno, b) proudová nakrátko [1].....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 6.2: Principiální schéma zapojení generátoru kombinované vlny [1, 15].....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 6.3: Zkouška rázy, dvoufázové póly, zapojení fáze proti zemi (zkušební napětí 4 kV) [11, 15].....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 6.4: Zkouška rázy, dvoufázové póly, zapojení fáze proti fázi (zkušební napětí 2 kV) [11, 15].....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 7.1: Znázornění rozmístění zařízení během zkoušky [16].....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 9.1: Zkušební proud [11].....</i>	<i>54</i>
<i>Obrázek 10.1: Zkouška odolnosti vůči ESD - zde konkrétně výboj vzduchovou mezerou (NZ – napájecí zdroj vysokého napětí (ESD generátor), OF – oddělovací filtr, P – pistole, ZO – zkoušený objekt, KZ – kontrolní zařízení).....</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 10.2: Průběh proudu při zkoušce kontaktním výbojem [1].....</i>	<i>57</i>
<i>Obrázek 10.3: Uspořádání stanoviště pro měření odolnosti vůči elektrostatickým výbojům [1]... </i>	<i>59</i>
<i>Obrázek 10.4: Zjednodušené zapojení zkoušek odolnosti vůči ESD; ZO – zkoušený objekt [1]... </i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 10.5: Zkušební hroty.....</i>	<i>60</i>



<i>Obrázek 10.6: Zkouška přímým kontaktním elektrostatickým výbojem</i>	<i>62</i>
<i>Obrázek 13.1: Zkušební obvod – dva fázové póly v sérii, na třetí je aplikováno rušení. Obrázek je bez vazebních/oddělovacích obvodů</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 13.2: Zkušební obvod – tři fázové póly v sérii, na které je aplikováno rušení. Obrázek je bez vazebních/oddělovacích obvodů</i>	<i>65</i>
<i>Obrázek 13.3: Zkušební obvod – tři fázové póly v sérii, na třetí je aplikováno rušení. Obrázek je bez vazebních/oddělovacích obvodů</i>	<i>66</i>



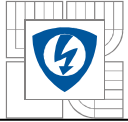
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Hodnoty proudového impulsu pro jistič při zkoušce kontaktním výbojem [1]:57

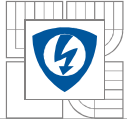


SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Veličina	Jednotka
I_R	Proudové nastavení nastavitelných spouští na přetížení	[A]
I_D	Pokles zkušebního proudu	[A]
T	Perioda sinusového proudu	[s]
t_r	doba náběhu	[s]
I_{max}	špičková hodnota proudu	[A]
I_{30}	hodnota proudu v čase 30 ns od okamžiku dosažení I_{max}	[A]
I_{60}	hodnota proudu v čase 60 ns od okamžiku dosažení I_{max}	[A]
P_c	maximální propustný výkon	[W]
U_e	jmenovité pracovní napětí jističe	[V]
Z_{ce}	celková impedance vazebního/oddělovacího obvodu	[Ω]



Zkratka	Název anglicky	Název česky
EMC	Electromagnetic compatibility	Elektromagnetická kompatibilita
EMI	Electromagnetic interference	Elektromagnetické rušení
EMS	Electromagnetic susceptibility	Elektromagnetická imunita
ESD	Electrostatic Discharge	Elektrostatický výboj
LEMP	Lightning Electromagnetic Pulse	Bleskový výboj
NEMP	Nuclear Electromagnetic Pulse	Nukleární elektromagnetický impulz



ÚVOD

Na současném trhu s elektrotechnickými produkty je kladen velký důraz nejen na cenu, ale i na vlastnosti a funkce veškerých nových přístrojů a zařízení, jejich minimalizaci a integraci. Namísto lidské obsluhy se využívá ovládání pomocí jednočipových mikropočítačů nebo celých programovatelných logických jednotek. Tyto přístroje sice mají mnoho kladů, ale mají, nebo mohou mít, i své zápory; mohou se u nich vyskytovat problémy, které předchází zařízení z principu své funkce nemohla mít. To tedy přináší nové problémy a požadavky na vývoj daných přístrojů.

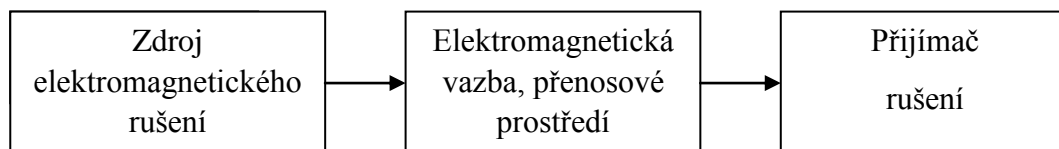
Tato práce je zaměřena na požadavky elektromagnetické kompatibility pro jističe nízkého napětí a jejich příslušenství. Od těchto výrobků je vyžadováno, aby nikterak nerušily jiná zařízení a zejména, aby byly odolné vůči rušení od ostatních zařízení. Pod těmito slovy se skrývá nutnost navrhovat a zkoušet nové přístroje například vůči krátkodobým poklesům napětí, rázovým impulsům, elektrostatickým výbojům, vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli a dalším jevům, které budou všechny vyjmenovány a popsány dále. Zkouškami musí projít nejen jistič samotný, nýbrž i jeho příslušenství jako například motorový pohon nebo řídicí elektronika jističe.

1 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA

1.1 Základní požadavky

„Elektromagnetická kompatibilita (slučitelnost) je schopnost zařízení, systému či přístroje správně fungovat i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé) a zároveň však svou vlastní elektromagnetickou činností nepřípustně neovlivňovat své okolí, tj. nesmí produkovat signály, jež by byly nepřípustně rušivé pro jiná zařízení (technická či biologická).“ [1]

Při zkoumání vlivů EMC na dané zařízení je třeba vycházet ze základního řetězce EMC:



Obrázek 1.1: Přenos rušení [1]

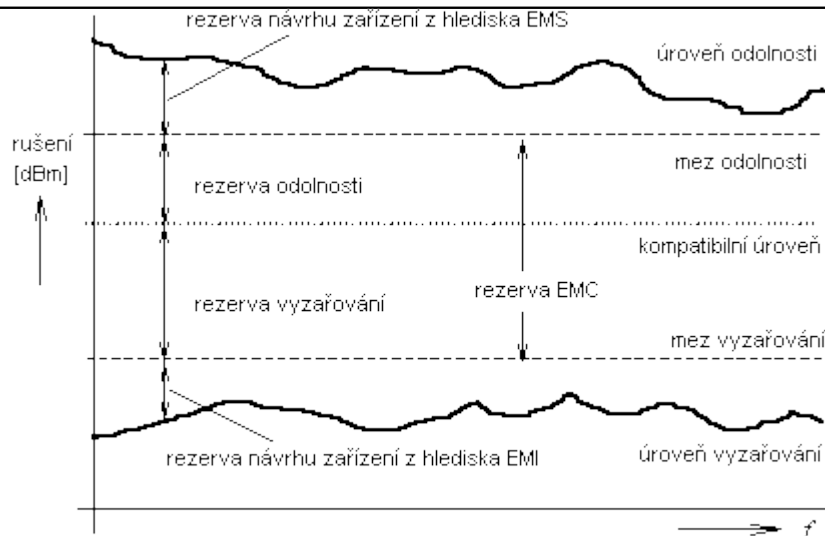
Přičemž zdrojem elektromagnetického rušení mohou být motory, spínače, relé, energetické rozvody, svářečky, počítače a mnohé další. Vazbou mezi zdrojem a přijímačem rušení může být vzduch, energetické kabely, napájecí vedení atd. Přijímači rušení mohou být počítače, resp. obecně číslicová technika apod. Pokud bude eliminována jedna z částí řetězce, je problém rušení zařízení vyřešen a systém by byl kompatibilní. [1, 2]

Elektromagnetická kompatibilita se dále dělí na elektromagnetickou interferenci (rušení) EMI a elektromagnetickou susceptibilitu (odolnost) EMS.

EMI se zabývá přenosovými cestami rušení a zdroji rušení, jejich příčinami a eliminací.

EMS označuje schopnost zařízení pracovat bez poruch v prostředí s definovaným elektromagnetickým rušením. Zabývá se tedy technickými opatřeními zvyšujícími elektromagnetickou odolnost zařízení, čili odstraňování důsledků bez zjišťování jejich příčin.

V současné době se objevují simulátory rušení, které ověřují EMS testovaného zařízení. Právě pomocí těchto simulátorů bude jistič a jeho příslušenství v dalších částech práce zkoušen. Výsledek všech prováděných měření by měl přibližně odpovídat obrázku 1.1, kdy je mezi úrovní vyzařování použité při testování a úrovní odolnosti rezerva vyzařování a rezerva odolnosti pro případné výjimečné stavy v obvodu. Pokud by se úroveň vyzařování a úroveň odolnosti příliš přiblížily, zařízení by v určitých případech nemuselo správně pracovat. Nicméně jsou-li tyto rezervy příliš velké, vede to k prodražování výrobku z důvodu velkých nákladů na odrušení. [1, 2]



Obrázek 1.2: Úrovně a meze vyzařování a odolnosti [3]

Zkoušky EMC vyžadují splnění mnoha podmínek – všechna měření musí být reprodukovatelná a výsledky musí být vzájemně porovnatelné, čili musí být zachováno stejné prostorové uspořádání během daného typu zkoušky a musí být také definované elektromagnetické prostředí. V žádném přírodním prostředí na světě neexistuje místo bez elektromagnetického rušení (viz dále). A tak buďto přijmeme rušení na daném místě jako výchozí, odladíme ho, a snažíme se měřit rušení, které během zkoušky přibylo (nepřesné, de facto ani nereprodukovatelné, ale pro určité zkoušky dostačující), nebo použijeme bezodrazovou komoru o příslušné velikosti s již zjištěným rušením od měřicích přístrojů (spektrálních analyzátorů atp.). A tak všechna oficiální měření EMC musí mít předepsané postupy, podmínky měření i použité měřicí přístroje, které jsou sepsány a specifikovány v závazných normách. [1, 2]

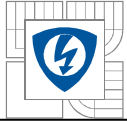
1.2 Zdroje rušivých signálů

Rušivé signály ovlivňující zařízení lze rozdělit na umělé (způsobené lidskou činností – motory, relé, stykače, elektroenergetické rozvody, výkonové polovodičové měniče, oscilátory, počítače, elektrostatický výboj, nukleární výbuch) a přírodní (Slunce, atmosférické poruchy, blesky - LEMP). Přírodním rušivým signálům nelze zabránit, je tedy potřeba minimalizovat následky jejich působení.

Dále lze rušení dělit podle časového průběhu, a to na impulzní (atmosférické výboje), spojitě (rozhlasové a televizní vysílače) a kvaziimpulzní, které jsou kombinací předchozích dvou.

Tyto rušivé signály lze podle jejich projevu rozdělit do tří skupin:

- Šum – signál ovlivňuje tvar užitečného signálu, má obvykle periodický charakter.
- Impulzy – velké a krátké signály impulzního charakteru; vznikají díky spínání elektrických obvodů.
- Přechodové jevy – náhodné rušivé signály.



Rušení lze dále rozdělit na nízkofrekvenční, působící na energetickou soustavu přibližně do 2 kHz a způsobující zkreslení napájecího napětí a odebraného proudu, a pak také na vysokofrekvenční. Nízkofrekvenční rušení do 10 kHz se nazývá akustické a je generováno všemi energetickými zdroji a systémy číslicového přenosu. Vysokofrekvenční rušení od 10 kHz do 400 GHz (nazýváno rádiové) zahrnuje de facto všechny rušivé zdroje, protože při měření lze zjistit, že jejich rušivé signály alespoň částečně spadají i do této oblasti. [1, 2]

1.3 Šíření rušení

Rušivé signály se mohou šířit jak po vedení, tak volným prostorem. Šíření rušení po vedení lze popsat fyzikálními vazbami, a to galvanickou, kapacitní a induktivní. Šíření volným prostorem lze popsat vazbou vyzařováním.

Galvanická vazba vzniká mezi zdrojem rušení a přijímačem, mají-li společnou impedanci tvořící vazební člen charakteru RL obvodu. Do těchto vazeb patří například společné vedení napájecí sítě nebo vazba společnou impedancí zemniče.

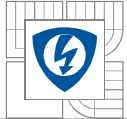
Indukční vazba vzniká mezi alespoň dvěma elektrickými obvody, pokud alespoň jedním protéká elektrický proud. Vzniká na základě elektromagnetické indukce a je závislá mimo jiné na vzdálenosti mezi obvody, délce souběžně probíhajících vodičů, vzájemné indukčnosti a frekvenci rušivého proudu. Právě o frekvenci rušivého proudu lze říci, že se zvyšováním frekvence se na vodičích indukuje napětí, jehož velikost roste, tím pádem je tato vazba nebezpečná v případě rychlých změn velkého rušivého proudu. K tomu může dojít například při elektrostatických výbojích. Tato vazba existuje nejen mezi sousedními obvody, ale i mezi pasivními částmi zařízení jako mezi uzemňovacími vodiči a konstrukcí přístroje.

Kapacitní vazba vzniká se zvyšující se frekvencí kvůli parazitním kapacitám mezi silovými vodiči, datovými kabely a také mezi vodiči a zemí. Pro snížení kapacitní vazby na minimum je potřeba citlivý obvod oddálit od ostatních obvodů. Tato vazba převládá zejména u vysokoimpedančních obvodů.

Vazba vyzařováním (elektromagnetickým polem) se vyskytuje i při větších vzdálenostech zdroje a přijímače rušení, kdy na přijímač rušení již kapacitní a induktivní vazba nepůsobí. Touto vazbou se šíří rušení zejména od blízkých vysílačů a atmosférických rušení. Rušivá elektromagnetická vlna ve vodičích přístroje indukuje nežádoucí napětí, které se sečítá se signálovým napětím. Rušení se do přístroje dostává přes anténu a následně se na vodičích indukuje napětí. Anténou nemusí být nezbytně pouze účelové zařízení, nýbrž i část obvodu přijímače (volný neuzemněný konektor). Velikost indukovaného napětí se odvíjí od vlnové délky rušivého signálu. [1, 2]

1.4 Požadavky EMC na jističe NN

Jednotlivé části přístroje musí splňovat požadavky elektromagnetické kompatibility, a to jednak z hlediska odolnosti zařízení, jednak z hlediska vyzařování onoho zařízení. V případě návrhu nového výrobku je vhodné vytvořit plán testů na EMC, které bude třeba splnit. Po



vytvoření funkčního modelu výrobku je vhodné provést kontrolu na EMC (předcertifikační testy) pro případné úpravy zařízení, změny návrhu a také úsporu financí – v této fázi není nutností zkoušet zařízení v oznámeném (certifikovaném) subjektu, a tak stačí menší stíněná komora nebo laboratorní pracoviště firmy (s dodržением alespoň minimální volné plochy kolem testovaného zařízení) a levnější měřicí přístroje. Teprve po úspěšných předcertifikačních testech je vhodné vyrobit prototyp a komplexně jej otestovat vůči EMC. Po úspěšném splnění všech testů udávaných příslušnými normami bude možné začít výrobu a prodávat zařízení na příslušném trhu, pro který bylo nutné splnit EMC testy.

Z hlediska jističů bude nejdůležitější měření jejich odolnosti vůči elektromagnetickému rušení. Z principu funkce a umístění jističů totiž bude jejich vlastní vyzařování buď nulové, nebo zanedbatelně malé vůči ostatním typům a velikostem rušení v okolí. [1]

1.4.1 Elektromagnetická odolnost

Elektromagnetickou odolnost technického systému lze rozdělit na interní a externí. Interní odolnost charakterizuje odolnost vůči rušivým zdrojům uvnitř vlastního zařízení.

Interní rušení může být způsobeno například špatným rozložením elektronických prvků, uspořádáním spojů a kabeláže, špatným napájením součástek, návrhem a provedením vnitřního stínění a zemnění, volbou a konstrukcí stykových prvků na rozhraní systému atd. Interní odolnost lze charakterizovat také následovně: Výsledná interní elektromagnetická odolnost systému (jističe) závisí na interní odolnosti jeho subsystému (např. motorového pohonu) – je právě tak velká, jako je odolnost nejméně odolného subsystému.

Externí odolnost vyjadřuje odolnost vůči vnějším zdrojům rušení, při jejímž měření a odrušování se pozornost zaměřuje na nejpravděpodobnější a potenciálně nejnebezpečnější typy rušení. Výsledná externí elektromagnetická odolnost může záviset i na interní odolnosti – může nastat skládání rušivých vlivů snižujících odolnost celého systému. [1]

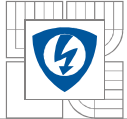
1.4.1.1 Kritéria elektromagnetické odolnosti

Při zjišťování elektromagnetické odolnosti je potřeba si předem stanovit kritérium odolnosti, tedy meze značící narušení funkcí systému. Meze mohou být definovány jako kvantitativní nebo kvalitativní.

Kvantitativní meze odolnosti jsou vhodné při vývoji nového elektronického zařízení, kdy je zjišťována velikost a tvar případných rušivých signálů ve vybraných bodech zapojení. Tedy například v bezprostřední blízkosti číslicového zařízení je stanovena taková hodnota sledované veličiny, která by u něj ještě nevyvolala nežádoucí změnu stavu.

Nicméně pro většinu měření je vhodnější systémový přístup na základě kvalitativního (funkčního) kritéria elektromagnetické odolnosti. Jedná se o posuzování změny provozního stavu nebo funkce daného zařízení. Přičemž funkční poruchou se rozumí změna provozní způsobilosti daného zařízení během zkoušky odolnosti nebo jako její důsledek trvající až do odeznění rušivého signálu. Lze rozlišovat pět funkčních kritérií:

Funkční kritérium A: všechny funkce zařízení se vykonávají správně jak během zkoušky, tak po jejím skončení. Rušení tedy nemá vliv na zařízení.



Funkční kritérium B: zařízení pracuje dle specifikace, ale některé části během zkoušky překročí povolené tolerance, přičemž nenastane změna provozního stavu nebo poškození dat v paměti zařízení. Po zkoušce se všechny funkce automaticky obnoví v původním rozsahu a kvalitě. Pro jističe to de facto znamená, že se stav jističe nesmí změnit, ale stav výstupů dálkové indikace se může změnit, po zkoušce však i ten musí indikovat správný stav. [1, 11]

Funkční kritérium C: jedna nebo více funkcí zařízení není během zkoušky plněna správně nebo vůbec. Po skončení zkoušky se všechny funkce musí automaticky obnovit v původním rozsahu a kvalitě.

Funkční kritérium D: jedna či více funkcí zařízení není během zkoušky plněna správně nebo vůbec. Po skončení zkoušky musí být funkce obnovena jednoduchým zásahem uživatele. Následně jsou funkce obnoveny v původním rozsahu a kvalitě.

Funkční kritérium E: jedna nebo více funkcí zařízení během ani po ukončení zkoušky není plněna správně. Všechny funkce zařízení lze obnovit pouze profesionálním zásahem (opravou či výměnou částí zařízení).

Výsledkem funkčního měření odolnosti tedy není změřená veličina, nýbrž jde o posouzení funkčnosti zařízení během a po provedení zkoušky.

Toto rozdělení funkčních kritérií bývá používáno jen v některých odvětvích. Ve většině norem bývají ale spíše používány funkční kritéria A, B a C, přičemž kritéria A a B jsou shodná s funkčními kritérii právě výše popsanými, nicméně funkční kritérium C slučuje předchozí funkční kritéria C a D. Funkční kritérium E se v normách nepoužívá [1]

Základní požadavky na jističe z hlediska elektromagnetické kompatibility jsou takové, aby v průběhu zkoušek a po nich splňovaly funkční kritérium A, v určitých případech (jak bude dále popsáno) funkční kritérium B. [10, 11]

1.4.1.2 Obecná metodika zkoušek elektromagnetické odolnosti

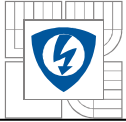
Pro zkoušky odolnosti se používá uměle vytvořené elektromagnetické prostředí s těmito přesně definovanými parametry: uspořádání testovacího pracoviště, kvalitativní a kvantitativní parametry umělého zdroje elektromagnetického rušení a provozní stav a nastavení zkoušeného přístroje. Před vlastní zkouškou je potřeba stanovit rušivé elektromagnetické vlivy, které se mohou vyskytovat v prostředí, kde bude testované zařízení provozováno a definovat příslušné funkční kritérium, které musí měřené zařízení splnit.

Kategorie odolnosti konkrétních zařízení jsou dány normami řady 61000-4-. Pro žádanou odolnost je důležitý charakter elektromagnetického rušení v prostředí, ve kterém má být testované zařízení provozováno. Typická elektrotechnická pracovní prostředí jsou určeny normami a řadí se do tříd (úrovní) odolnosti, které jsou přiřazeny k jednotlivým zařízením:

Třída odolnosti 1 – dobře chráněné prostředí s velmi nízkou úrovní elektromagnetického rušení vhodné pro zařízení s nízkou úrovní elektromagnetické susceptibility.

Třída odolnosti 2 – zařízení musí pracovat v prostředí se slabým elektromagnetickým rušením. Jde zejména o domácnosti a kanceláře.

Třída odolnosti 3 – zařízení musí pracovat v náročném prostředí s vysokou úrovní elektromagnetického rušení. Jedná se o průmyslová prostředí.



Třída odolnosti 4 (X) – musí mít zařízení vyrobené pro nechráněné a silně rušené prostředí s velmi vysokou úrovní elektromagnetického rušení. [1]

Normy uvažují pouze dvě okolní prostředí – A a B. Prostředí A je definováno jako neveřejné nebo průmyslové instalace nízkého napětí včetně zdrojů velkých rušení. Prostředí B je určeno jako veřejné sítě nízkého napětí (domovní sítě, instalace v lehkém průmyslu). [11]

2 JISTIČ A JEHO PŘÍSLUŠENSTVÍ

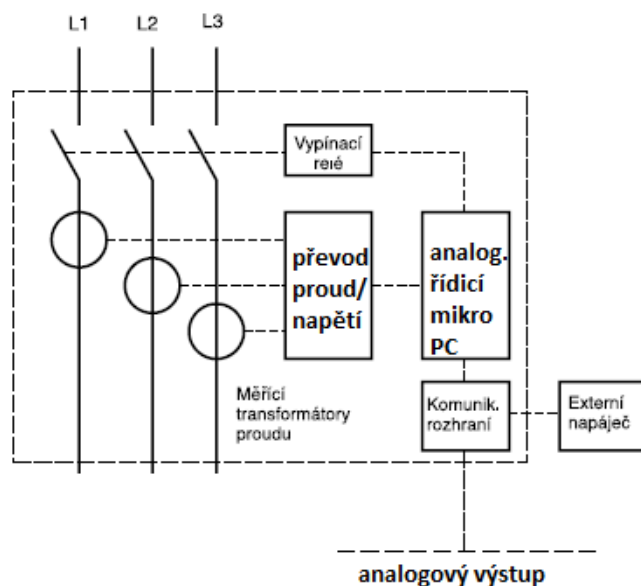
Klasický jistič v sítích nízkého napětí jistí jak proti nadproudům, tak i proti zkratům pomocí dvou spouští – tepelné a elektromagnetické. Nicméně s nástupem elektroniky vyvstala potřeba jistit zařízení nejen před těmi nejhoršími případy, které mohou nastat, ale i před jinými jevy jako například podpětí v síti. Dalším požadavkem bylo jištění různých zařízení přesně podle jejich rozběhových charakteristik. Tyto požadavky se začaly plnit právě pomocí elektroniky.

2.1 Vývoj elektronického jističe

Od klasického jističe používaného v 70. letech 20. století prošel jistič během posledních dvou dekád obrovským vývojem. Začala se využívat elektronika zajišťující základní i přídavné funkce jističe.

2.1.1 Elektronický jistič 1. generace

V první generaci elektronických jističů bylo měření a vyhodnocování proudu tekoucího proudovodnou dráhou jističe zajišťováno pomocí analogových obvodů. Zároveň byla vyvíjena vhodná čidla proudu, pomocí kterých by byly veličiny v obvodu měřeny. Pro tyto účely se začaly používat měřicí transformátory proudu s listěnými jádry umožňující měření procházejícího proudu i napájení elektronických obvodů a spouště a to až do 40 % jmenovitého proudu. Díky elektronickým obvodům bylo umožněno vyvedení signálů pro signalizaci stavu jističe, která byla podmíněna externím napájecím zdrojem. Na druhou stranu použitím těchto obvodů vyvstal problém právě s elektromagnetickou kompatibilitou a spolehlivostí těchto jističů v různých pracovních prostředích. Jelikož jsou ale veličiny měřeny pomocí transformátoru proudu, je jejich použití omezeno na střídavé obvody. [9]

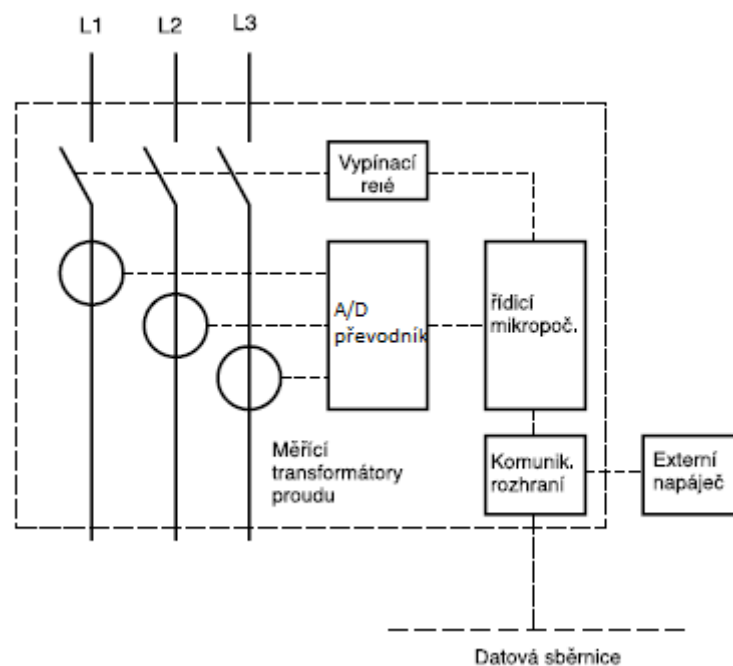


Obrázek 2.1: Blokové schéma první generace elektronického jističe [9]

2.1.2 Elektronický jistič 2. generace

Začínají se používat již digitální obvody (A/D převodníky, mikropočítače). Proud tekoucí proudovodnou drahou jističe je změřen stejně jako u první generace pomocí měřicích transformátorů proudu, ale jejich analogový výstupní signál je v A/D převodníku převeden na digitální hodnotu pro řídicí mikropočítač zajišťující vyhodnocení protékajícího proudu a případnou aktivaci vypínací spouště pro vypnutí jističe..

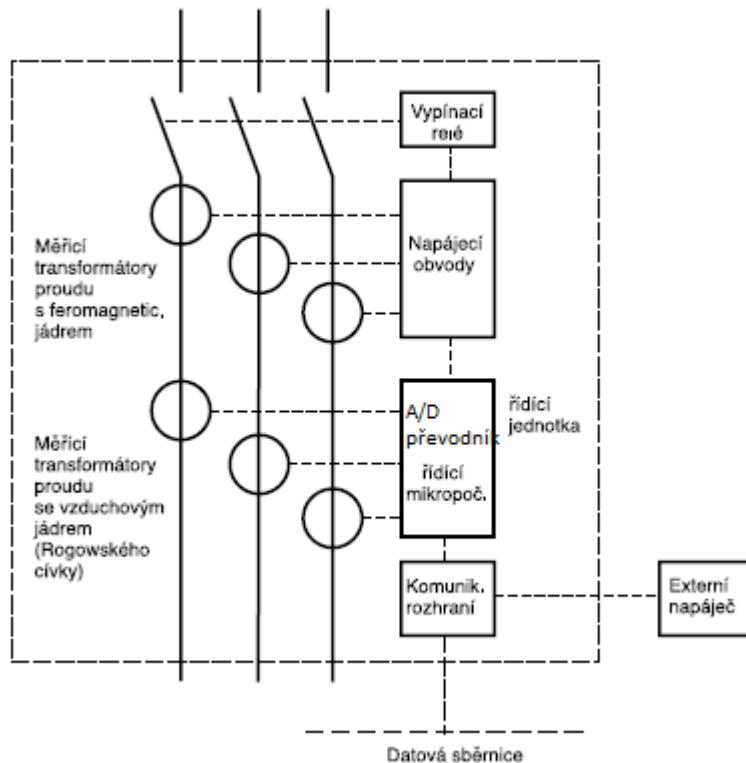
Řídicí počítač umožňuje výměnu dat s nadřazeným řídicím systémem po sériové sběrnici. Pro komunikační rozhraní a trvale pracující měřicí obvody (i při poklesu jmenovitého proudu pod 40 %) musí být jistič napájen z externího zdroje. [9]



Obrázek 2.2: Blokové schéma druhé generace elektronického jističe [9]

2.1.3 Elektronický jistič 3. generace

Ve třetí generaci elektronických jističů se v rámci rozšíření pracovního rozsahu jističe začaly používat dva typy transformátorů na jedné proudovodné dráze. Pro napájení elektronických obvodů a vybavovacího relé se nadále používá měřicí transformátor proudu s listěným jádrem, nicméně pro měření proudů na mnohem větším rozsahu se začíná používat Rogowského cívka (toroidní transformátor se vzduchovým jádrem) využívající lineární magnetizační charakteristiky vzduchu, díky které se docílí přesnějšího měření. Rogowského cívka má na svých výstupních svorkách velmi malé napětí, které je náchylné k elektromagnetickému rušení. Proto je zde velký důraz na elektromagnetickou kompatibilitu a co nejkratší vzdálenost od Rogowského cívky k zesilovači. Elektronické jednotky těchto jističů obsahují komunikační rozhraní, která umožňují zařadit jistič do distribuovaného řídicího systému, doplnit přídatné moduly a příslušné programové vybavení.



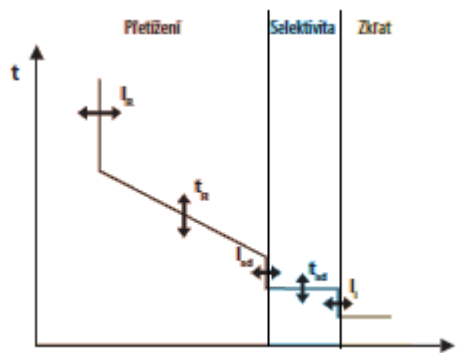
Obrázek 2.3: Blokové schéma třetí generace elektronického jističe [9]

V současnosti existuje celá škála provedení jističů a jejich příslušenství. A tak jeden typ nadproudové spouště se stále může vyrábět jako termomagnetický nebo elektromagnetický nebo jako jejich částečná kombinace, kdy princip samotné spouště je stále termomagnetický, ale spoušť o svém stavu dává informace signálem vedeným do řídicí jednotky. [9]

2.2 Nadproudové spouště

Do této kapitoly lze zahrnout velké množství typů nadproudových spouští s různými funkcemi. Základní dělení je na spouště termomagnetické a elektronické. Termomagnetické používají pro detekci přetížení bimetal a pro detekci zkratu elektromagnetický obvod. Elektronické jsou řešeny pomocí integrovaných obvodů a nabízí mnoho doplňujících funkcí. Mohou mít integrované komunikační a řídicí funkce a nastavitelné vypínací charakteristiky.

U elektronických spouští může být nastavitelná jak část vypínací charakteristiky daná pro přetížení, tak část popisující vypínací charakteristiku pro zkrat. Navíc existují speciální nadproudové spouště, u kterých je zkratová část vypínací charakteristiky doplněna o selektivní spoušť, nazývána též jako nezávislá časová zpožděná spoušť. Selektivní spoušť může mít zpoždění až 1 000 ms, viz. Obr. 2.4. [4]



Obrázek 2.4: Vypínací charakteristika nadproudové spouště [4]

Základní nadproudové spouště jsou již ve výrobě přednastaveny pro jištění určitých zařízení, jako například distribučních transformátorů, motorů, vedení s malými proudovými rázy apod. Zákazník již pouze nastaví doplňující funkce jako zpoždění tepelné spouště, redukováného proudu I_R nebo hodnoty zkratové spouště. [4]

2.2.1 Nadproudová spoušť

„Je zkonstruována jako elektromagnet, jehož magnetický obvod je buzen magnetickým polem proudu protékajícího obvodem. Při překročení určité hodnoty proudu překoná kotva spouště sílu pružiny, která působí v opačném směru a je vtažena do magnetického obvodu spouště. Tento pohyb se pak přes kolébku přenáší na záchyt mechanismu a působí vypnutí.“ [8]

2.2.2 Zpoždění tepelné spouště

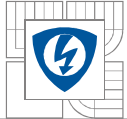
Pro jištění obvodů s převládající motorovou zátěží je pro rozběh motorů nutností zpoždění tepelné (nadproudové) spouště. Zpoždění lze nastavit pro potřebný typ motorů se specifickou dobou rozběhu.

2.2.3 Podproudová spoušť

Používá se zejména při jištění motorů, kdy po výpadku jedné fáze jistič vybaví do předem určené doby. Při jištění vedení není podproudová spoušť vhodná. [4]

2.2.4 Podpět'ová spoušť

Skládá se z přídržného elektromagnetu s velmi nízkým příkonem a pružiny. Systém je v klidu, pokud prochází proud a na jističi je jmenovité napětí. Jakmile dojde ke snížení napětí pod danou mez (např. 70%) a po dobu delší nežli je nastavená případným zpožd'ovacím blokem, spoušť vypne jistič. Spoušť nedovolí opětovné zapnutí, dokud je napětí nižší než např. 85% (záleží na výrobcí a požadavcích zákazníka). Napájení přídržného elektromagnetu je řešeno přes napájecí jednotku. [7, 8]



2.2.5 Blok zpoždění podpět'ové spouště

Podpět'ovou spoušť lze doplnit o zpožd'ovací blok, na kterém je možnost nastavení časové prodlevy pro vypnutí v případě poklesu napětí.

2.2.6 Napět'ová spoušť

Někdy též označována jako vypínací spoušť. Je realizována za pomoci elektromagnetu, který po přivedení napětí na svorky napět'ové spouště spustí vypínací mechanismus jističe. Napět'ová spoušť se používá pro dálkové vypnutí. [7]

2.2.7 Tepelná paměť

Tepelná paměť chrání zařízení proti opakovanému přetížení, které může nastat při pokusu o opětovné zapnutí po předchozím vybavení jističe. Po vybavení totiž jistič nelze určitou dobu zapnout, počítá se s časem pro vychladnutí jak jističe, tak hlavně jištěného zařízení. Navíc i po opětovném zapnutí a průchodu jmenovitého proudu si jistič, resp. jeho řídicí elektronika pamatuje předchozí vypnutí, a tak se při dalším přetížení zkracuje vypínací čas.

Při jištění některých motorů lze nastavit čas vypnutí tepelné spouště při 7,2 násobku jmenovitého proudu, a to až na dobu 30 s, aby se motor mohl rozběhnout. [4]

2.2.8 Záskokový automat

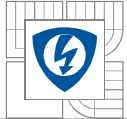
Jeho funkcí je bezpečné přepínání dvou zdrojů do jediné zátěže bez možnosti paralelního chodu zdrojů. Jsou používány u objektů strategického významu jako nemocnice či telekomunikační budovy. [4, 9]

2.2.9 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka zapíná a vypíná jističe pomocí motorového pohonu na základě komunikace s externím zařízením. [5]

2.2.10 Dialogová jednotka

Jde o zařízení pro obousměrnou komunikaci mezi jističem (resp. jeho řídicí jednotkou) a externím zařízením pomocí přednastaveného protokolu. Dialogovou jednotku je nutno napájet pomocným napětím, zpravidla 24 V. Při poruše komunikace pracuje elektronická spoušť a všechny její přidružené části podle posledních nastavených hodnot, nebo podle manuálního nastavení. [5]



2.2.11 Napájecí jednotka

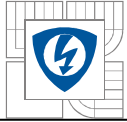
V současné době je vhodné při použití elektronických spouští nebo řídicích jednotek použít napájecí jednotku čili baterii, a to z důvodu možnosti číst a konfigurovat parametry řídicí jednotky bez ohledu na to, zda je jistič vypnut, zapnut, v izolované poloze pro cestování, nasunut, s pomocným napájením či bez něj. Díky napájecí jednotce je také možné načítat data o vypnutí jističe a zajišťovat po určitý čas napájení řídicí jednotky, i když je jistič ve stavu vypnuto. Po obnovení napájení se jednotka začne nabíjet. [6]

2.2.12 Relé na chybový proud

Nebo též monitorovací relé reziduálního proudu. Relé jsou určena pro předcházení poruchám na instalaci například z důvodu stárnutí izolace. Sledováním reziduálního proudu pomocí monitorovacího relé je možné předejít vypnutí obvodu – při jeho zvyšujících se hodnotách lze podniknout kroky k nápravě problému (výměna izolace). Existuje ve více provedeních. Relé na chybový (reziduální) proud s vlastním prstencovým jádrem lze s výhodou použít pro již instalované jističe s obtížnými podmínkami instalace (málo místa) jako doplněk příslušenství. V případě překročení nastaveného reziduálního proudu nebo při výpadku pomocného napájení je jistič monitorovacím relé vypnut pomocí vypínací cívky (resp. napěťové spouště). Existuje ale i možnost, že při dosažení nastavené hodnoty reziduálního proudu bude relé pouze signalizovat problém bez vypnutí jističe. [5, 4]

2.3 Motorový pohon

Je to část možného příslušenství, která může jistič zapínat či vypínat na základě místního či dálkového ovládání. Tyto pohony mohou mít buďto systém přímého ovládání jističe bez pružinového střadače, nebo se střadačem. Pohon může obsahovat elektromechanické počítadlo pracovních cyklů a dálkovou signalizaci stavů. Motorový pohon zpravidla obsahuje spínaný zdroj a mikroprocesor; tyto součásti pohonu jsou nejvíce náchylné na elektromagnetické rušení [4, 5]



3 TYPY ZKOUŠEK

Každá zkouška elektromagnetické odolnosti vyžaduje jinak definovanou zkušební laboratoř, odlišná zkušební zařízení a jiný způsob provádění zkoušky. Bez znalosti požadavků na zkušební laboratoř a na vyhodnocování zkoušky lze obtížně vybírat vhodné zkušební zařízení. Proto bude dále postupováno tak, že bude rozebrána jednotlivá zkouška, stanoveny požadavky na zkušební laboratoř a na jistič. Na základě těchto a dalších znalostí bude formulován požadavek na zkušební zařízení a bude provedena zkouška vybraného jističe.

3.1 Zkoušky elektromagnetické odolnosti pro jističe s elektronickou nadproudovou ochranou – obecně

Jedná se o jističe určené pro jištění střídavých obvodů, které zajišťují nadproudovou ochranu pomocí vestavěné elektroniky. Jistí nezávisle na napětí nebo na případném pomocném napájení. Normy 60947-1, 60947-2 a 61000-4- specifikují zkoušky (jejich přípravu, měření a vyhodnocení výsledků) jističů z hlediska EMC. Definují požadavky, které jistič musí splnit pro to, aby mohl být prodáván v České republice. Zkoušky jsou v normách popsány tak, aby byla zaručena jejich opakovatelnost.

Při zkouškách odolnosti je potřeba nastavit proudové nastavení nastavitelných spouští pro přetížení (I_R) na minimum. Krátkodobá spoušť a okamžitá spoušť musí být nastaveny na nejmenší hodnotu proudu, ale ne menší než 2,5 násobek I_R .

Testovaný jistič musí být vždy zkoušen jako zařízení stojanového typu, a to na volném vzduchu, eventuálně i ve specifickém krytu.

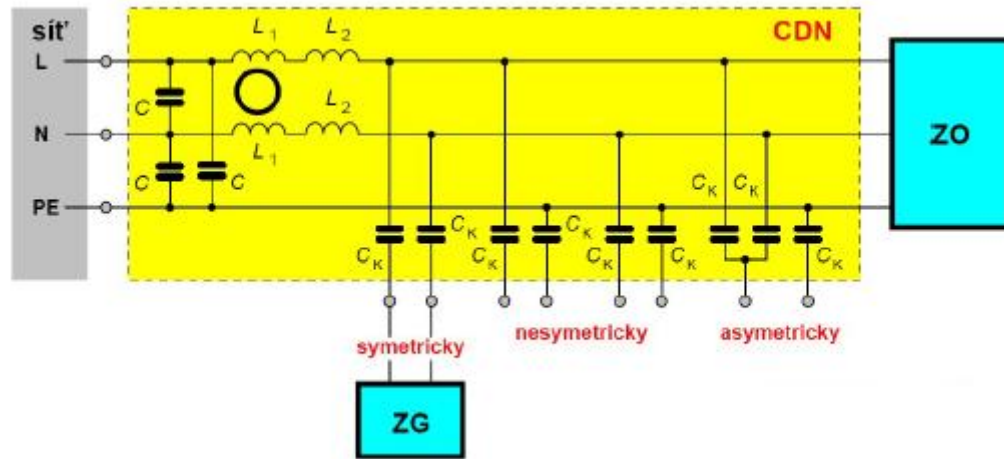
Pro zkoušky platí upravená kritéria činnosti (funkční kritéria). Kritérium činnosti A je charakterizováno dvěma podmínkami: První z nich je, že protékající proud, jehož hodnota je 0,9 násobek proudového nastavení na přetížení, nesmí ani vypnout jistič, ani pozměnit jeho vedlejší funkce a signalizaci. Druhou podmínkou je, že dvojnásobek proudového nastavení na přetížení musí vypnout mezi 0,9 a 1,1 násobkem maximální hodnoty čas-proud udávané výrobcem. [1, 10, 11]

3.2 Vazební a oddělovací obvody a pracoviště

Pro každé měření elektromagnetické odolnosti je potřeba správně zvolit vazbu, pomocí které bude rušivý signál působit na testované zařízení. Vazební obvody tedy přenáší rušivý signál z jeho generátoru na vstupy zkoušeného zařízení, ať už jde o napájecí svorky, signálové vstupy nebo rušení působící na zařízení jako na celek. Zároveň blokuje zpětný vliv zařízení na generátor.

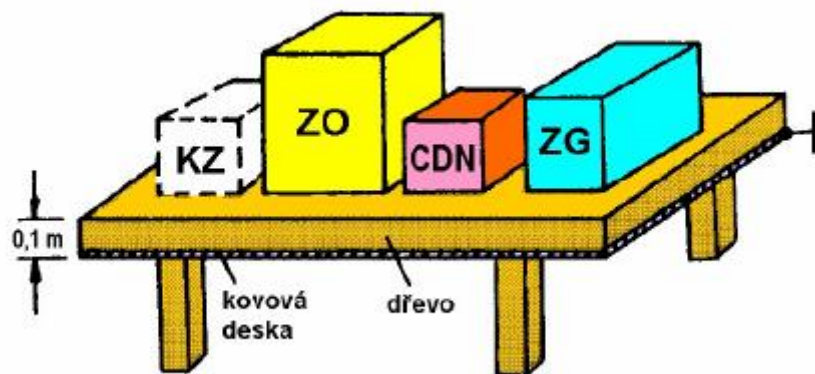
Oddělovací obvody brání šíření zkušebního rušení do vnějších sítí. Díky němu rovněž impedance vnější sítě nemá vliv na tvar či velikost rušivého signálu generátoru.

Rušivý signál lze připojit k vazebnímu / oddělovacímu obvodu a následně ke zkoušenému zařízení pomocí kapacitních či induktivních prvků. Tento signál je zapojen symetricky, asymetricky či nesymetricky (viz obrázek níže). Oddělení od vnější sítě může být realizováno LC dolní propustí. [1]



Obrázek 3.1: Příklad kapacitní vazební a oddělovací obvod; ZG – zkušební generátor, ZO – zkoušený objekt, CDN – vazební / oddělovací obvod [1]

Obecně pro zkoušky elektromagnetické odolnosti a jejich prostorové uspořádání platí: „Zkoušené zařízení a použité měřicí přístroje jsou umístěny 10 cm nad kovovou deskou (Cu, Al) s minimální plochou 1 m² na dřevěném stole. Kovová deska je přitom spojena s referenční zemí celého systému. Vzdálenost zkoušeného zařízení od všech ostatních vodivých stěn musí být větší než 0,5 m. Zkušební generátor je s vazebním / oddělovacím obvodem spojen kabelem kratším než 1 m a též síťový přívod od zkoušeného objektu k vazebnímu / oddělovacímu obvodu nesmí být delší než 1 m.“ [1]



Obrázek 3.2: Uspořádání pro měření EMS; ZG – zkušební generátor, ZO – zkoušený objekt, CDN – vazební / oddělovací obvod, KZ – kontrolní zařízení [1]

4 ZKOUŠKA VYZAŘOVANÝM VYSOKOFREKVENČNÍM ELEKTROMAGNETICKÝM POLEM

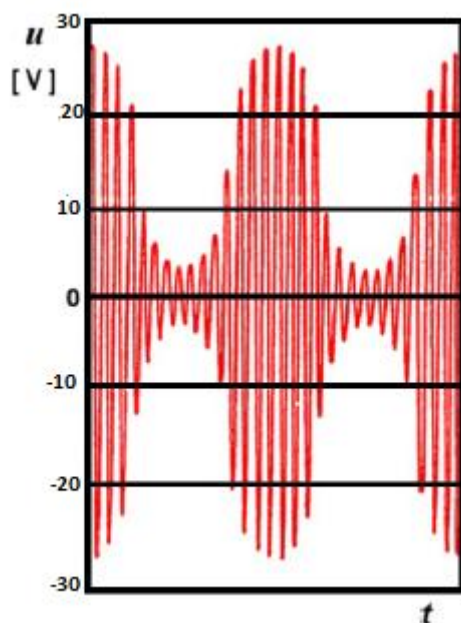
4.1 Obecně

Toto rušení je vytvářeno zejména pozemními a družicovými vysílači. Jedná se o televizní a rozhlasové vysílače a také o systémy mobilních radiokomunikačních služeb. Zejména je ale rušivé záření vytvářeno mobilními telefony obsluhy jističe. Tyto systémy nelze vypnout, proto je nutné odstranit působení na ostatní citlivá zařízení zvýšením jejich elektromagnetické odolnosti.

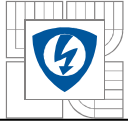
4.2 Zkušební úrovně a požadavky na odolnost zařízení

Zkouška se provádí ve dvou částech. V první části se zkouší odolnost testovaného zařízení vůči nežádoucí činnosti v celém příslušném frekvenčním rozsahu – od 80 MHz do 1 000 MHz a od 1 400 MHz do 2 000 MHz. Zvolená klidová doba amplitudově nosné vlny musí být pro každou frekvenci v rozmezí 500 ms a 1 000 ms a velikost kroku musí být 1 % předchozího kmitočtu.

Normě tak odpovídá například signál amplitudově modulovaný do hloubky 80 % harmonickým napětím (vlnou) o frekvenci 1 kHz (viz obrázek níže), který se při testech běžně používá pro simulaci nejvážnějšího ohrožení funkčnosti přístroje. Intenzita elektrického pole nosné je při obou částech zkoušky je 10 V/m (hodnota pro nemodulovaný signál nosné).



Obrázek 4.1: Zkušební signál s amplitudovou modulací 80 %



Ve druhé části se zkouší činnost při vybraných kmitočtech. U jističů se jedná o frekvence (80, 100, 120, 180, 240, 320, 480, 640, 960, 1 400 a 1 920) MHz. Funkčnost jističe se kontroluje až po stabilizaci pole na každé frekvenci.



Obrázek 4.2: Principiální schéma zapojení

Zkoušky se provádí na dvoufázových pólech (dva fázové póly v sériovém uspořádání), čemuž odpovídá obrázek 13.1. V případě citlivosti na ztrátu fáze lze použít zapojení podle obrázku 13.2 nebo 13.3 Aby jistič splnil požadavky zkoušky, musí splňovat funkční kritérium A. [1, 10, 11, 13]

4.3 Zařízení a přístroje pro zkoušku

4.3.1 Bezodrazová komora

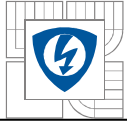
Jako místo vhodné pro měření odolnosti vůči těmto silným polím se doporučují absorpční prostory – bezodrazová komora s dostatečnými rozměry doplněná o absorbéry. Odstraní se tím vlivy vnějších polí a také bude zabezpečena ochrana obsluhy a měřicího a vyhodnocovacího zařízení (tato zařízení se umísťují do elektromagneticky stíněné komory v přilehlých prostorách bezodrazové komory).

Bezodrazová komora má vysokofrekvenční absorpční materiál na stropu, stěnách i podlaze (jehlany). Polo-bezodrazová komora má takovýto materiál pouze na stropu a stěnách, na podlaze má zvláštní vysokofrekvenční absorbér, jehož poloha musí být rovněž uvedena. Tyto materiály zabraňují nežádoucím odrazům zpět do komory.

Z důvodu zhoršujících se vlastností bezodrazových komor na nižších kmitočtech a komor obložených feritem na vyšších kmitočtech, je nutné obezřetně kalibrovat homogenní pole při nejnižších a nejvyšších kmitočtech. V případě problémů s komorou obloženou feritem lze problém vyřešit použitím jiné antény - trychtýřové nebo s dvojitým vlnovodem – nebo zkrátit vzdálenost mezi anténou a zkoušeným jističem – nebo částečně změnit (přidat) obložení komory

4.3.2 Vysokofrekvenční generátor

Součástí měření musí být také vysokofrekvenční generátor schopný amplitudové modulace. Musí obsahovat ruční i automatické (programovatelné) ladění (rozmítání kmitočtu) přes celý svůj rozsah s rychlostí $1,5 \cdot 10^{-3}$ dek/s nebo nižší. Generátor by měl být ideálně opatřen filtrem typu pásmová propust pro potlačení nechtěných harmonických složek výstupního signálu.



4.3.3 Výkonový zesilovač

Dalším zařízením je výkonový zesilovač pro získání potřebného výkonu zkušebnímu signálu. Úroveň nelinearity zesilovače musí být menší než nejistota intenzity pole. Zesilovač rovněž může mít na výstupu filtr typu dolní propust.

4.3.4 Směrové antény

Směrové antény pro vysílání elektromagnetické vlny – nejlépe bikónické, které jsou vhodné do bezodrazových komor z důvodu jejich velikosti, nebo jiné typy schopné lineární polarizace s dostatečnou výkonovou zatížitelností a kmitočtovým rozsahem (logaritmicko-periodická či trychtýřová s dvojitým vlnovodem).

Dále je zapotřebí zkalibrované izotropní čidlo pole a zařízení k záznamu propustných výkonů (v dBm) potřebných pro požadovanou intenzitu pole. Samozřejmostí pak jsou vazební a oddělovací obvody – zde elektrické filtry ve všech kabelových vstupech a výstupech do zkušební komory. Všechna tato zařízení musí mít odolnost odpovídající hodnotám pole, které bude při zkoušce použito.

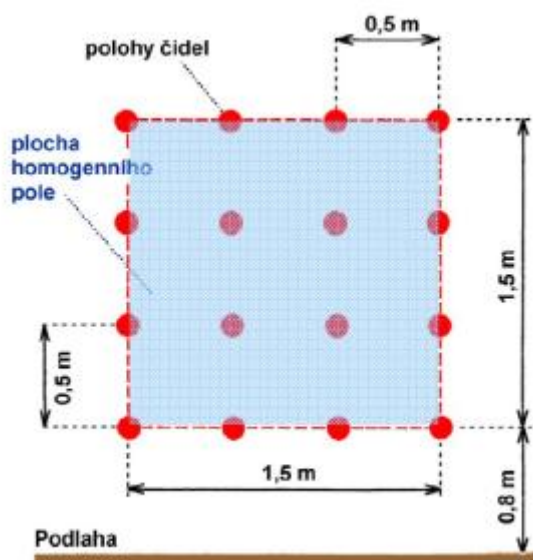
4.4 Kalibrace komory

Zkušební elektrické pole musí mít v celém zkoušeném objektu stejnou velikost. Proto je nutná kalibrace komory. Kalibrace je provedena **nemodulovaným** harmonickým signálem s horizontální polarizací a následně i s vertikální polarizací, a to v komoře zatím ještě bez zkoušeného zařízení. Pro zjištění, zdali jsou zesilovače dostatečně výkonné, je vhodné kalibrovat komoru s intenzitou elektrického pole hodnotou 1,8 násobku jmenovitého pole nutného k měření odolnosti jističe (tedy 18 V/m). Velikost elektrického zkušební pole se pak měří v tzv. ploše homogenního pole (vertikální plocha 1,5 m x 1,5 m braná od výšky 0,8 m nad podlahou; nejmenší homogenní pole však musí být velké alespoň 0,5 m x 0,5 m opět 0,8 m nad zemí). Tohoto nejmenšího homogenního pole se využívá zejména při problémech s kalibrací homogenního pole při nejnižších a nejvyšších kmitočtech. Podmínkou však musí být, že celá přední strana zkoušeného jističe musí být v jednom, případně ve více těchto oknech (koncepte postupného ozáření oken).

Malou kalibrovanou všesměrovou přijímací anténou (dále označována také jako čidlo pole) se pak musí měřit intenzita elektromagnetického pole v 16 měřicích bodech rovnoměrně rozprostřených v celé ploše homogenního pole (včetně obvodu). Vysílací anténa od čidla pole musí být ve vzdálenosti ideálně 3 m, nejméně však 1m. Tato vzdálenost se měří od středu bikónické antény, případně předního konce zbylých typů antén. Toto pole je považováno za homogenní a tudíž vyhovující, pokud se velikost elektrického pole pohybuje v rozmezí -0 dB až +6 dB na 75% plochy, resp. ve 12 měřicích bodech. Za hodnotu odpovídající -0 dB je zde brána hodnota 18 V/m, při zkoušce jističe to bude 10 V/m. Při nejmenší ploše homogenního pole 0,5 x 0,5 m musí být rozmezí -0 dB až +6 dB splněno ve všech 4 měřicích bodech, přičemž zde je kalibrační hodnota pole pouze 10 V/m. Tolerance elektrického pole je pro kmitočty do 1 GHz

dokonce až +10 dB. Nikdy však pole nesmí mít menší hodnotu, nežli je předepsáno. Totéž měření se provádí i ve výšce 0,4 m, nicméně tato data slouží pouze k informativním účelům a jsou zapsána v záznamu o kalibraci. Při kalibrování se zkouší celé kmitočtové pásmo, které bude využíváno pro testování jističe, a to s krokem maximálně 1 % předchozího kmitočtu. Nejprve pro jednu, následně pro druhou polarizaci. Poté se postup opakuje pro další bod mříže.

Kalibraci je nutno provádět alespoň jednou ročně, případně kdykoliv kdy dojde k posunutí jakéhokoliv zařízení uvnitř komory (včetně absorbérů a kabelů).



Obrázek 4.3: Vertikální plocha homogenního pole [1]

4.4.1 Kalibrační metoda konstantní intenzity pole

Existuje několik metod kalibrace komory, nicméně zde je popsána metoda nejjednodušší. Měření probíhá podle metodiky popsané výše, přičemž se zapisuje hodnota propustného výkonu pro vytvoření potřebné intenzity pole. Dále jsou porovnávány hodnoty propustného výkonu změřené pro 16 bodů mříže, přičemž tyto hodnoty byly naměřeny na jednom kmitočtu. Od nejvyšší naměřené hodnoty musí být alespoň 11 dalších hodnot v rozsahu -6 dB až +0 dB. Pokud nejsou v tomto rozsahu, pak se za platnou považuje druhá nejvyšší naměřená hodnota propustného výkonu a opět musí být alespoň 11 dalších hodnot v rozsahu -6 dB až +0 dB. V případě, že opět hodnoty nejsou v toleranci, lze takto pokračovat sestupně až do páté nejvyšší hodnoty (aby tuto hodnotu šlo porovnat s dalšími 11 hodnotami). Pokud jsou hodnoty v toleranci, zaznamenává se nejvyšší propustný výkon z množiny těchto 12 vyhovujících hodnot, je označen jako P_c .

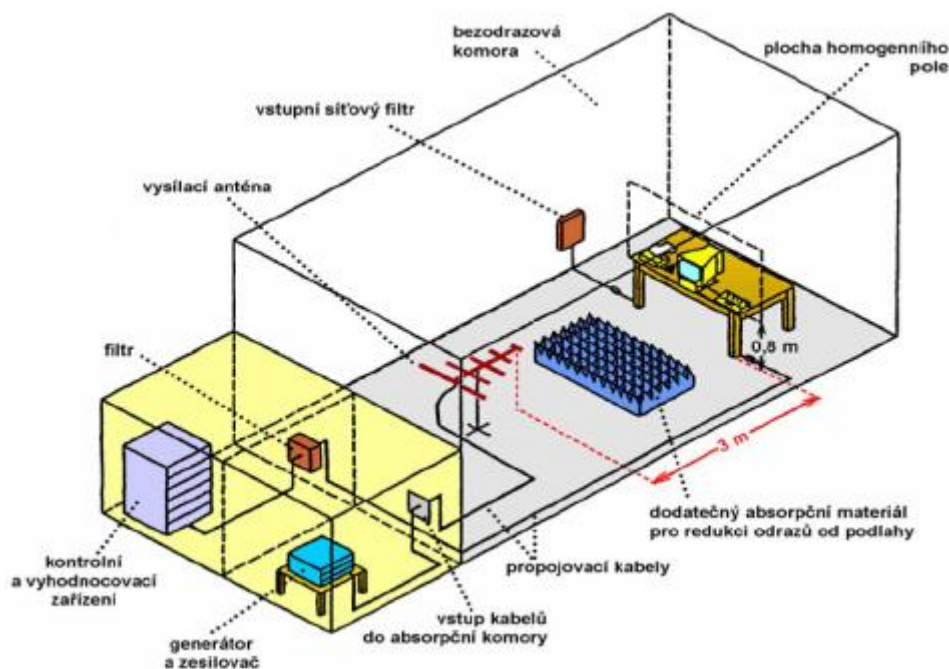
Z důvodu zkoušky nenasyčení zkušebnímu systému se sníží výstupní signál generátoru o 5,1 dB z úrovně nutné pro vytvoření propustného výkonu P_c (-5,1 dB odpovídá jmenovité zkušební intenzitě 10 V/m, nikoliv kalibračních 18 V/m). Zapiše se nový propustný výkon dodávaný do vysílací antény, následně se tento výkon odečte od výkonu P_c . Pokud je výsledek v intervalu od 3,1 dB do 5,1 dB, znamená to, že zkušební systém (zejména zesilovač) není nasycen a lze přikročit k samotné zkoušce odolnosti. Tato část kalibrace rovněž platí pro všechny kmitočty.

4.5 Základní podmínky měření

Testované zařízení se zkouší ve volném vzduchu, a to pouze na jeho čelní straně. Jistič musí být vybaven všemi kryty dodávanými výrobcem. Rovněž musí být kabely i uzemnění uspořádáno dle doporučení výrobce a použity specifikované typy kabelů a konektorů. Pokud není specifikován typ kabelů, musí se použít nestíněné paralelní vodiče. Účinkům elektromagnetického pole se vystavuje alespoň 1 m kabelu. Proti náhodnému uzemnění jističe se případně mohou použít nevodivé podpěry (z důvodů jejich odrazivosti se doporučuje polystyren).

Zkoušky odolnosti proti vysokofrekvenčnímu elektromagnetickému poli se provádí ozařováním testovaného zařízení předepsanou úrovní elektromagnetického pole (10 V/m) pomocí antén. Zkouška musí být prováděna jak s horizontální, tak s vertikální polarizací testovací antény.

Umístění testovaného zařízení uvnitř absorpční komory musí být opět na nevodivém stole o výšce 80 cm, nebo přímo na 10 cm vysoké nevodivé podložce na zemi. Jistič by ale měl být zkoušen jako zařízení stojanového typu, čemuž v normách nejvíce odpovídá umístění na nevodivou plošinu s výškou 0,8 m, přičemž tato okolnost musí být zaznamenána ve zkušebním protokolu. Následně se připojí napájení a signální vodiče opět dle pokynů výrobce. Vzdálenost od stěn komory musí být větší než 1 m. Vzdálenost testovaného zařízení od vysílací antény musí být 3 m, nejhůře 1 m.

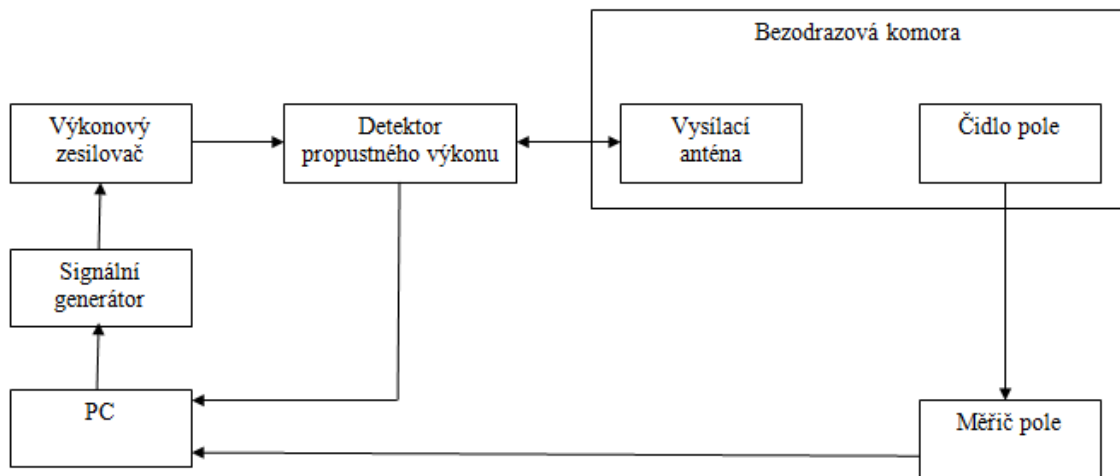


Obrázek 4.4: Zkušební laboratoř pro zkoušku vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem [1]

Kovová zemní rovina není požadována.

Klimatické podmínky v laboratoři musí být v rozmezí podmínek udávaných výrobcem. Zkoušku odolnosti nelze provést, pokud je relativní vlhkost tak velká, že způsobuje kondenzaci na zařízení uvnitř stíněné komory.

Elektromagnetické podmínky v komoře musí být takové, aby neovlivnily výsledek zkoušky.



Obrázek 4.5: Blokové schéma zapojení přístrojů v laboratoři

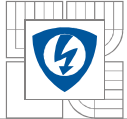
4.6 Plán zkoušky a protokol o zkoušce

Plán zkoušky musí obsahovat údaje o velikosti testovaného zařízení, provozních podmínkách testovaného zařízení, typ jeho umístění v komoře, typy zkušebních přístrojů včetně antén (u nich je nutné zaznamenat jejich polohu), rozsahy testovaných kmitočtů a prodlevy mezi jejich změnami, velikost plochy homogenního pole. Dále informace, zdali bylo testované zařízení vystaveno částečnému ozáření, zkušební úroveň pole, typy a počty vodičů a propojovacích rozhraní na zkoušeném zařízení, která byla použita, funkční kritérium, které musí jistič splňovat a popis zjišťování funkčnosti testovaného zařízení.

Tyto údaje musí obsahovat i protokol o zkoušce z důvodu reprodukovatelnosti měření. V protokolu o zkoušce navíc musí být zadokumentovány nejen typy použitých přístrojů a typ testovaného jističe, nýbrž i jejich výrobní čísla a ostatní identifikátory. Dále protokol o zkoušce musí obsahovat detailní podmínky měření (přídavný stínící kryt, specifikata nutná k uskutečnění zkoušky) a také zde musí být popsány, jaké účinky mělo na jistič použité zkušební pole, rovněž funkční kritérium, které má jistič splnit a funkční kritérium, jaké následně jistič splnil. Protokol musí rovněž obsahovat zdůvodnění, proč jistič obstál či neobstál. Dalšími náležitostmi protokolu o zkoušce jsou jakékoliv specifické podmínky (délka kabelů, odlišné vzdálenosti) a poloha všech zařízení včetně jejich orientace a poloha kabelů.

4.7 Provedení zkoušky

Přední část testovaného jističe se umístí do plochy homogenního pole. Nastavování testovaných kmitočtů je shodné s postupem v kapitole 4.2, rovněž s přestávkami pro změnu kmitočtu. Velikost kroku opět nesmí překročit 1 % předchozí hodnoty. Doba prodlevy

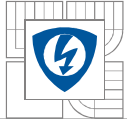


amplitudově modulované nosné na každé frekvenci musí být taková, aby byl dostatečný čas pro zjištění, zdali jistič pracuje správně, tato doba nesmí být kratší než 0,5 s. Toto zjišťování funkčnosti je doporučeno provádět zvláštními programy zaměřenými na kritické případy pro jistič.

Pokud by byla přední strana jističe větší než 1,5 m x 1,5 m, musel by se jistič po zkoušce posunout tak, aby jeho zbylé části byly v ploše homogenního pole a zkoušku provést pro pozměněnou plochu jističe opakovat. [1, 10, 11, 13]

4.8 Vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení zkoušky se řídí výše popsányi kritérii funkčnosti, přičemž jistič musí splňovat funkční kritérium A.



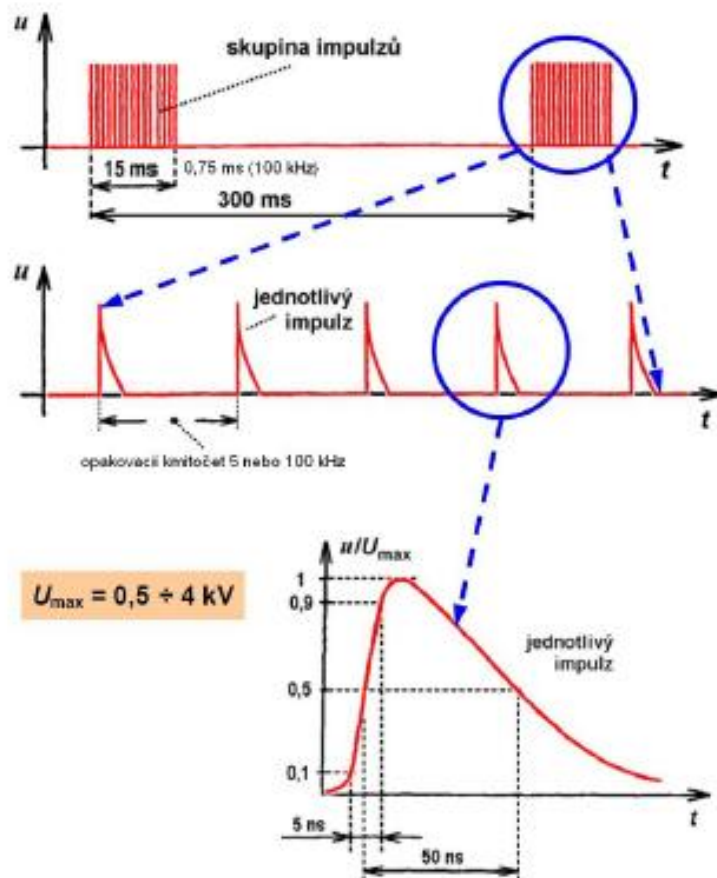
5 ZKOUŠKA ELEKTRICKÝMI RYCHLÝMI PŘECHODOVÝMI JEVY / SKUPINAMI IMPULZŮ (EFT/B)

5.1 Obecně

Tyto impulzy jsou v praxi většinou způsobeny indukčností při spínání výkonových elektrických zařízení a odskakováním kontaktů. Jedná se o impulzy s velmi krátkou náběžnou hranou (5 ns), krátkým trváním, malou energií (10^{-3} J), ale vysokým počtem možných opakování. Frekvence opakování může dosáhnout hodnoty až 200 MHz. Nejohroženější skupinou zařízení je v tomto případě číslicová technika.

5.2 Zkušební úrovně a požadavky na odolnost jističe

Jde o zkoušku s rychlostí opakování 5 kHz (eventuálně 100 kHz, o čemž rozhoduje výrobní komise); tolerance kmitočtu opakování je $\pm 20\%$. Počet impulzů je omezen časem (15 ± 3) ms pro opakovací kmitočet 5 kHz a ($0,75 \pm 0,15$) ms pro kmitočet 100 kHz. Skupiny impulzů se opakují vždy po (300 ± 60) ms (mezi koncem jedné skupiny impulzů a začátkem další skupiny pauza 285 ms). Náběžná hrana jednotlivých impulzů je ($5 \pm 1,5$) ns, šířka pulzu (50 ± 15) ns a vrcholové napětí 4 kV nebo 2 kV, přičemž pro obě hodnoty je tolerance $\pm 10\%$.



Obrázek 5.1: Zkušební signál [1]

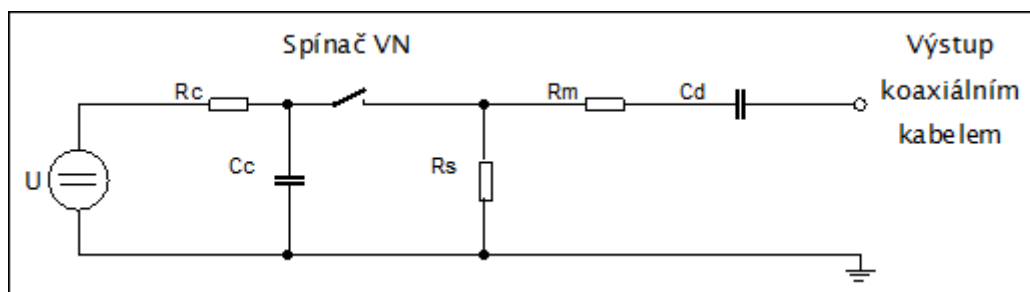
Při zkouškách musí být na vstupech či výstupech signálů z měřeného zařízení spojovací přírodní kabel umístěn do svěrky kapacitní vazby (musí být použit vazební a oddělovací obvod). Pro zkoušku se používá přímá vazební síť. Pro jističe se jmenovitým pracovním napětím (U_e) větším než 100 V je hodnota zkušebního napětí na vstupech a výstupech napájení jističe rovna 4 kV, pro svorky vstupů a výstupů signálů je zkušební napětí 2 kV. Zkouška spočívá v tom, že na náhodně zvoleném fázovém pólu musí být aplikováno rušení, přičemž je jistič napájen pomocí zbylých fázových pólů. Doba trvání zkoušky je 1 minuta pro každou polaritu. Aby jistič splnil požadavky zkoušky, musí splňovat funkční kritérium B. [1, 10, 11, 14]

5.3 Zařízení a přístroje pro zkoušku

5.3.1 Generátor skupin impulzů

Generátor musí být dimenzován pro dodávání rychlých přechodných jevů jak naprázdno, tak při zátěži 50 Ω . Nicméně je požadavkem, aby výstupní napětí při zátěži 1 k Ω bylo v rozsahu 0,24 kV až 3,8 kV a při zátěži 50 Ω bylo v rozsahu 0,125 kV až 2 kV. Generátor rovněž musí bez poškození pracovat v režimu nakrátko. Generátor se skládá z vysokonapěťového zdroje U ,

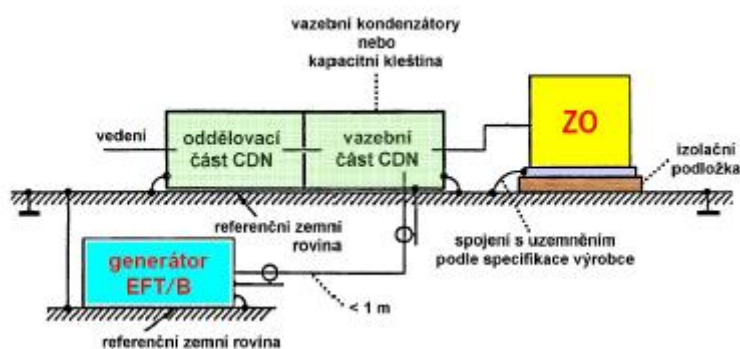
nabíjecího rezistoru R_c , kondenzátoru akumulujícího energii C_c , rezistoru tvarujícího dobu trvání impulzu R_s , blokovacího kondenzátoru stejnosměrného napětí $C_d = (10 \pm 2) \text{ nF}$, vysokonapěťového spínače a koaxiálního výstupu 50Ω . Generátor musí být schopen kladné i záporné polarity výstupního napětí.



Obrázek 5.2: Principiální schéma zapojení generátoru EFT [1]

5.3.1.1 Kalibrace generátoru

Generátor se připojí ke koaxiálnímu kabelu 50Ω a zátěži $(50 \pm 1) \Omega$, přičemž napětí je měřeno osciloskopem, který má šířku pásma -3 dB větší nebo rovnu 400 MHz . Útlum na zkušební zátěži nesmí být vyšší než $\pm 1 \text{ dB}$ na kmitočtech do 100 MHz a $\pm 3 \text{ dB}$ na kmitočtech od 100 MHz do 400 MHz . Osciloskopem se měří tyto parametry, které musí vyhovovat tolerancím uvedeným výše: vrcholové napětí (při nastaveném napětí 4 kV musí být při zátěži 50Ω hodnota vrcholového napětí rovna 2 kV), doba náběhu, šířka impulzu, kmitočet opakování impulzů, doba trvání skupiny impulzů a perioda skupiny impulzů.

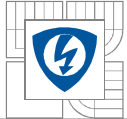


Obrázek 5.3: Uspořádání pracoviště [1]

5.3.2 Vazební / oddělovací síť

Oddělovací část na každém vodiči obsahuje oddělovací indukční cívku a v sérii ferit, jejichž indukčnost je $L > 100 \mu\text{H}$.

Vazební část umožňuje připojení zkušebního generátoru na libovolnou fázi, a to pomocí přepínačů. U každého přepínače je v sérii vazební kondenzátor o kapacitě $C_c = (33 \pm 6,6) \text{ nF}$, resp. jedná se o svěrku kapacitní vazby s příslušnou kapacitou.



Vazební a oddělovací síť musí být kalibrována při napětí 4 kV, a to tak, aby všechny parametry odpovídaly jejich tolerancím popsaným výše.

5.4 Základní podmínky měření

Na referenční zemní plochu (měď či hliník o tloušťce alespoň 0,25 mm) připojenou na ochranné uzemnění (jejíž plocha je minimálně 0,8 m x 1 m a musí přesahovat průmět jističe do všech stran alespoň o 0,1 m) se umístí izolační podložka o výšce 0,1 m. Jistič umístěný na ní je zkoušen ve stojanovém provedení ve výšce 0,8 m.

Minimální vzdálenost mezi testovaným objektem a dalšími kovovými předměty nebo stěnami musí být alespoň 0,5 m. Vazební / oddělovací obvod a generátor EFT/B je nutné umístit na referenční zemní rovinu a jejich uzemňovací spojky musí mít minimální délku a indukčnost.

Kabely vedoucí k testovanému jističi musí být umístěny na izolační podpěře ve výšce 0,1 m nad zemní rovinou. Délka kabelu mezi generátorem EFT a svěrkou může být maximálně 1 m. Kabel mezi svěrkou (čili vazebním prostředkem) a jističem by měl být co nejkratší.

Jistič musí být uzemněn dle specifikace výrobce.

Zapojení musí být podle obrázku 13.1, v případě citlivosti na ztrátu fáze pak podle 13.2 nebo 13.3.

Před samotným měřením je nutné zkontrolovat, zda sestava odpovídá uvedeným schémátům a také, zdali je na výstupní svorce vazebního / oddělovacího obvodu signál o správných hodnotách.

Klimatické podmínky musí být opět v mezích specifikovaných výrobcem a zároveň nesmí docházet ke kondenzaci vlhkosti na testovaném jističi. Musí být zajištěny takové elektromagnetické podmínky, aby byl jistič vystaven pouze účinkům rychlých elektrických přechodových jevů vytvářených generátorem a ostatní vlivy na jistič byly minimální.

5.5 Plán zkoušky

Do plánu o zkoušce je nutné zapsat zejména, že jde o zkoušku jističe stojanového typu, jak byly připojeny vodiče k jističi – zda to byly dva fázové póly v sériovém uspořádání připojené k napájení (a na třetí pól je přiváděno rušení), nebo při citlivosti na ztrátu fáze tři fázové póly v sériovém uspořádání, případně trojfázové uspořádání (s eventuální zátěží na výstupu z jističe) a přesně uvést, o jaké vstupy / výstupy se jednalo.

Rovněž zde musí být uveden typ zkoušky (zde typová, respektive laboratorní), zkušební úroveň, polarita zkušebního napětí (povinné jsou obě), doba trvání zkoušky, četnost opakování, provozní podmínky, v nichž se jistič testoval, sled všech aplikací a uvést případná pomocná zařízení.

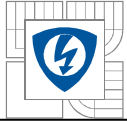


5.6 Provedení zkoušky

Zkouška se musí řídit výše uvedenými požadavky a musí zahrnovat ověřování funkčnosti jističe.

5.7 Protokol o zkoušce

Protokol o zkoušce z důvodu reprodukovatelnosti měření musí obsahovat údaje zapsané již v plánu zkoušky. V protokolu o zkoušce navíc musí být zadokumentovány nejen typy použitých přístrojů a typ testovaného jističe, nýbrž i jejich výrobní čísla a ostatní identifikátory. Rovněž musí být popsány typy kabelů, jejich délky a jejich umístění. Dále protokol o zkoušce musí obsahovat detailní podmínky měření (přídavný stínící kryt, specifika nutná k uskutečnění zkoušky) a také zde musí být popsány, jaké účinky přechodových jevů na jistič byly pozorovány, rovněž funkční kritérium, které má jistič splnit a funkční kritérium, jaké následně jistič splnil (včetně zdůvodnění). Protokol musí rovněž obsahovat zdůvodnění, proč jistič obstál či neobstál. Dalšími náležitostmi protokolu o zkoušce jsou jakékoliv specifické podmínky (délka kabelů, odlišné vzdálenosti) a poloha všech zařízení (např. doplňující obrázek) a jakákoliv další specifika. [1, 14]



6 ZKOUŠKA RÁZOVÝMI IMPULZY

6.1 Obecně

Tato zkouška simuluje významná spínací rušení v síti, různé síťové poruchy a údery blesku. Údery blesku lze rozdělit na přímý úder, nepřímý úder a průchod zemního proudu blesku. Nejhorší je samozřejmě přímý úder do venkovního vedení, při kterém se objevují velké zkratové proudy, které následně na impedanci vytvářejí přepětí v síti.

6.2 Zkušební úrovně a požadavky na odolnost zařízení

Výše uvedené jevy se při zkoušce simulují relativně pomalejšími, zato vysokoenergetickými přiloženými impulzy (napětíové 1,2/50 μ s a proudové 8/20 μ s) s kladnou i zápornou polaritou. Jejich přednostní fázové úhly jsou 0° a 90°. Pro každou polaritu a úhel je aplikována série pěti impulzů, přičemž interval mezi dvěma impulzy je 1 minuta.

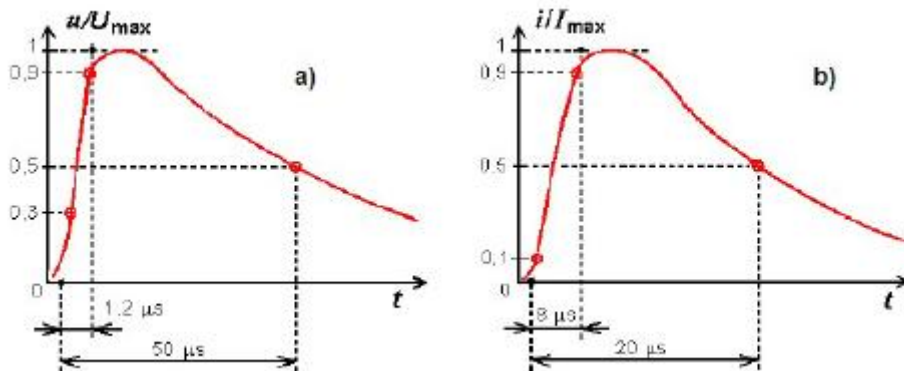
V případě třífázového zařízení s identickou konfigurací na každé fázi, stačí provést zkoušky jen pro jednu fázi. Pro jističe se jmenovitým pracovním napětím větším než 100 V je hodnota zkušebního napětí na vstupech a výstupech napájení jističe rovna 4 kV (fáze proti zemi) a 2 kV v případě měření mezi fázemi. Pro svorky vstupů a výstupů signálů je zkušební napětí 2 kV při měření fáze proti zemi a 1 kV v případě měření mezi fázemi. Aby jistič splnil požadavky zkoušky, musí splňovat funkční kritérium B. [1, 10, 11, 15]

6.3 Zařízení a přístroje pro zkoušku

6.3.1 Generátor kombinované vlny 1,2 / 50 μ s

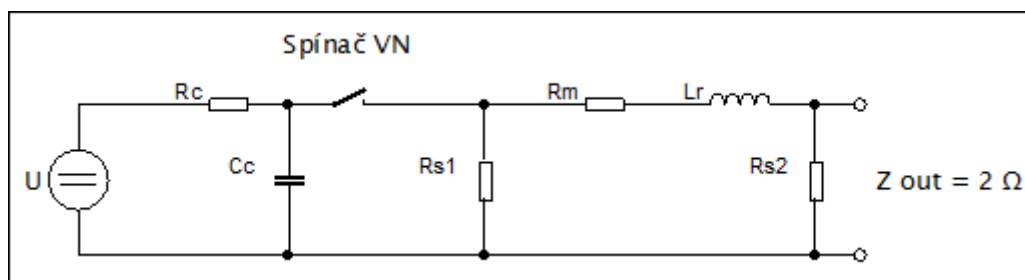
Generátor rušení musí být schopen simulovat zdroj rušení přímo v obvodu testovaného zařízení, a tedy musí být schopen simulovat zdroj s nízkou impedancí na vstupech jističe. Rovněž musí být schopen simulovat zdroj, který není zapojen v obvodu přímo s jističem, a tedy musí simulovat zdroj s vyšší impedancí. Generátor musí být schopen kladné i záporné polarity výstupního napětí a musí mít plovoucí výstup.

Výstupní vlny generátoru musí splňovat požadavky v bodě připojení k jističi. Napětí v tomto bodě je měřeno naprázdno a proud nakrátko. Průběhy těchto veličin musí odpovídat grafům uvedeným níže. Náběžná doba napětí naprázdno uvedená v obrázku má toleranci $\pm 30\%$, ostatní doby u průběhů napětí naprázdno a proudu nakrátko mají toleranci $\pm 20\%$. Vrcholovému napětí naprázdno o hodnotě 2 kV odpovídá vrcholová hodnota proudu a hodnotě 1 kA, pro napětí 4 kV je to 2 kA. Tyto čtyři hodnoty mají toleranci $\pm 10\%$.



Obrázek 6.1: Zkušební rázová vlna: a) napět'ová naprázdno, b) proudová nakrátko [1]

Generátor musí být schopen dodávat napětí o fázovém posuvu 0° až 360° vůči fázovému úhlu síťového napětí na zkoušeném zařízení. Musí rovněž splňovat četnost opakování danou v předchozích částech kapitoly, a to jedna zkouška za minutu nebo rychleji. Vrcholová hodnota výstupního napětí musí být nastavitelná do 4 kV.



Obrázek 6.2: Principiální schéma zapojení generátoru kombinované vlny [1, 15]

Efektivní výstupní impedance generátoru musí být $Z_{out} = (2 \pm 0,2) \Omega$. [1, 10, 11, 15]

6.3.1.1 Kalibrace generátoru

Je nutné jeho periodické kalibrování (jednou ročně) následujícím způsobem. Výstup z generátoru se musí připojit na osciloskop s dostatečnou šířkou pásma. Musí se proměřit charakteristiky generátoru při stejném nabíjecím napětí pro stav naprázdno (odpor na výstupu generátoru větší než 10 k Ω) a pro stav nakrátko (odpor na výstupu generátoru menší než 0,1 Ω). Změřené průběhy musí odpovídat průběhům popsáním výše. [15]

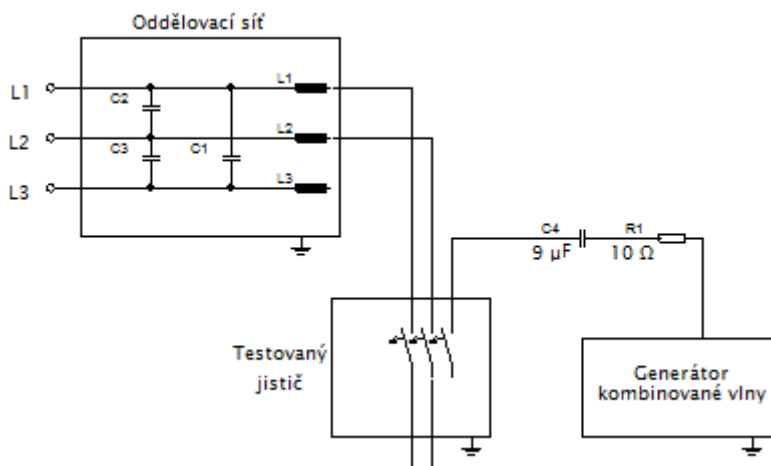
6.3.2 Vazební / oddělovací síť

Tato síť musí obsahovat vysokonapět'ové součástky. Oddělovací indukčnost musí být vybrána tak, aby byl úbytek napětí na konektoru mezi vazební / oddělovací sítí a jističe menší než 10 % jmenovitého síťového napětí při jmenovitém proudu, neměla by ale být větší než 1,5 mH.

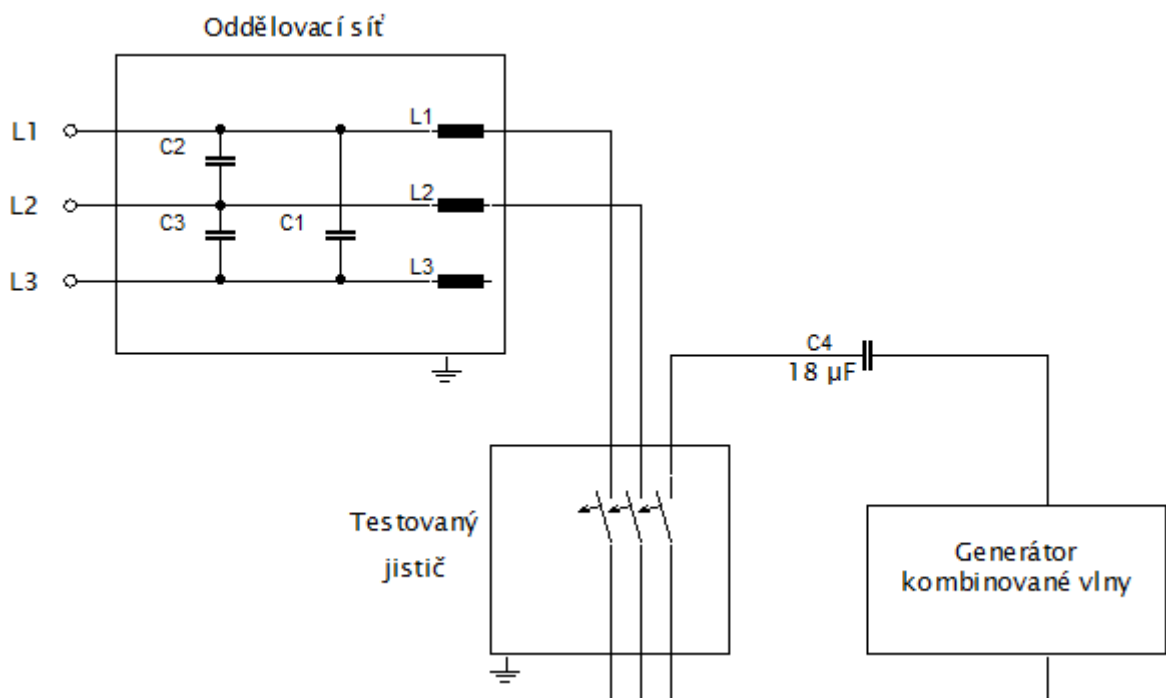
Vazební a oddělovací síť by měla být navržena dle schémat uvedených níže, nicméně lze hodnoty součástek pozměnit, aby tvary výstupního napětí naprázdno a proudu nakrátko odpovídaly požadavkům.

6.3.2.1 Kalibrace vazební/oddělovací sítě

Kalibrace se provádí tak, že se změří tvar vlny napětí a proudu na výstupu z vazební/oddělovací sítě. Změřené průběhy musí odpovídat průběhům popsaným výše.



Obrázek 6.3: Zkouška rázy, dvoufázové póly, zapojení fáze proti zemi (zkušební napětí 4 kV) [11, 15]



Obrázek 6.4: Zkouška rázy, dvoufázové póly, zapojení fáze proti fázi (zkušební napětí 2 kV) [11, 15]



6.3.3 Další zařízení

Mezi další zařízení nutná k provedení zkoušky patří kabely potřebného typu a délky a referenční zem (kovová deska).

6.4 Základní podmínky měření

Připojení vodičů k jističi musí být provedeno následovně – dva fázové póly v sériovém uspořádání připojené k napájení (a na třetí pól je přiváděno rušení) jak je zobrazeno výše, nebo při citlivosti na ztrátu fáze tři fázové póly v sériovém uspořádání, případně trojfázové uspořádání (s eventuální zátěží na výstupu z jističe). Tyto způsoby zapojení jsou de facto používány pro všechny uvedené typy zkoušek, pokud není stanoveno jinak.

Napájecí šňůra mezi vazební/oddělovací sítí a jističem nesmí být delší než 2 m. [15]

Klimatické podmínky musí být opět v mezích specifikovaných výrobcem a zároveň nesmí docházet ke kondenzaci vlhkosti na testovaném jističi. Musí být zajištěny takové elektromagnetické podmínky, aby neovlivňovaly podmínky zkoušky a samotné výsledky.

Musí být ověřeno, že na výstupu z vazební/oddělovací sítě opravdu

6.5 Plán zkoušky

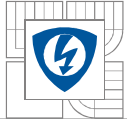
Do plánu o zkoušce je nutné zapsat zejména, že jde o zkoušku jističe stojanového typu, jak byly připojeny vodiče k jističi, zkušební úroveň, fázové úhly, při kterých je jistič zkoušen, počet rázových impulzů, časový interval mezi dvěma impulzy, podmínky při měření (atmosférické, provozní podmínky jističe).

Rovněž zde musí být uveden typ zkoušky (zde typová, respektive laboratorní), zkušební úroveň, polarita zkušebního napětí (povinné jsou obě), doba trvání zkoušky, četnost opakování, provozní podmínky, v nichž se jistič testoval, sled všech aplikací a uvést případná pomocná zařízení.

6.6 Provedení zkoušky

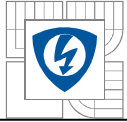
Zkouška se musí řídit výše uvedenými požadavky a musí zahrnovat ověřování funkčnosti jističe. Kvůli možnosti nelinearity mezi napětím a proudem se zkušební napětí zvyšuje po krocích až do zkušební úrovně.

Výsledky zkoušky spočívají v určení splněného funkčního kritéria



6.7 Protokol o zkoušce

Protokol o zkoušce z důvodu reprodukovatelnosti měření musí obsahovat údaje zapsané již v plánu zkoušky. V protokolu o zkoušce navíc musí být zadokumentovány nejen typy použitých přístrojů a typ testovaného jističe, nýbrž i jejich výrobní čísla a ostatní identifikátory. Rovněž musí být popsány typy kabelů, jejich délky a jejich umístění. Dále protokol o zkoušce musí obsahovat detailní podmínky měření, rovněž funkční kritérium, které má jistič splnit a funkční kritérium, jaké následně jistič splnil (včetně zdůvodnění). Protokol musí rovněž obsahovat zdůvodnění, proč jistič obstál či neobstál. Dalšími náležitostmi protokolu o zkoušce jsou jakékoliv specifické podmínky (délka kabelů, odlišné vzdálenosti) a poloha všech zařízení (např. doplňující obrázek) a jakákoliv další specifika. [1, 10, 11, 15]



7 ZKOUŠKA RUŠENÍM ŠÍŘENÝM VEDENÍM A INDUKOVANÝM VYSOKOFREKVENČNÍMI POLI

7.1 Obecně

Zdrojem rušení je elektromagnetické pole působící na kabely. Vedení do a z jističe se přitom chová jako pasivní přijímací anténa, takže tato zkouška se velmi podobá zkoušce vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem. Pro simulaci nejhorších možných případů se předpokládá, že kabely připojené k jističi jsou v rezonanci.

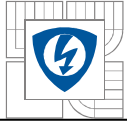
7.2 Zkušební úrovně a požadavky na odolnost zařízení

Tato zkouška musí být prováděna ve volném prostoru. Rušení je zaváděno do elektrického i signálového vedení pomocí vazebních/oddělovacích obvodů. Hodnota rušení je jak na napájecích, tak na signálových svorkách shodná, a to 10 V. Zkušební signál musí být amplitudově modulován sinusovým signálem o frekvenci 1 kHz do hloubky 80 %. Zkouška se provádí ve dvou krocích.

V první části se zkouší odolnost zkoušeného zařízení v celém kmitočtovém rozsahu. Kmitočet musí být rozmítán od 150 kHz do 80 MHz, přičemž klidová doba amplitudově modulované nosné vlny musí být v rozmezí od 500 ms do 1 000 ms a velikost kroku musí být 1% přecházejícího kmitočtu.

Ve druhé části se pro prověření funkčních charakteristik jističe zkouší všechny tyto frekvence: (0,15; 0,3; 0,45; 0,6; 0,9; 1,2; 1,8; 2,4; 3,6; 4,8; 7,2; 9,6; 12; 19,2; 27; 49,4; 72 a 80) MHz. Funkčnost jističe se kontroluje až po stabilizaci pole na každé frekvenci. Aby zařízení vyhovovalo, musí splňovat kritérium činnosti A. [1, 10, 11]

Jistič je zkoušen připojením mezi dva běžné kabely, které jsou v rezonanci ($\lambda/4$, $\lambda/2$) a připojeny pomocí vazebních/oddělovacích obvodů, jež mají výslednou impedanci 150 Ω vůči referenční zemní rovině. Impedance 150 Ω na vstupu je potřebná pro vstup vysokofrekvenčního rušení do jističe a přes druhou impedanci 150 Ω se uzavírá obvod a proud teče pryč. Vstupních 150 Ω se skládá ze 100 Ω rezistoru a 50 Ω , jež představují výstupní impedanci generátoru. Výstupních 150 Ω se skládá ze 100 Ω rezistoru a 50 Ω pasivní zátěže. Tato metoda v sobě integruje rušení způsobené jak elektrickým, tak magnetickým polem tvořené vysokofrekvenčními vysíláči. [11, 16]



7.3 Zařízení a přístroje pro zkoušku

7.3.1 Generátor

Testovací generátor v sobě musí zahrnovat všechno vybavení podporující signál vstupující do vstupu vazebního obvodu, a to na požadované výši. Generátor by měl být složen z těchto komponent: Generátor rádiových frekvencí schopný pokrýt frekvenční pásmo zájmu s potřebnou amplitudovou modulací uvedenou výše. Ovládání může být manuální nebo programovatelné. Dále je zapotřebí vysokofrekvenční přepínač, širokopásmový zesilovač, filtry typu dolní propust a horní propust (kvůli odstranění nechtěných harmonických).

Parametry testovacího generátoru musí být: výstupní impedance $Z_{out} = 50 \Omega$, nechtěné harmonické a jiné zkreslení musí být o 15 dB menší než je velikost amplitudově modulované nosné. Amplitudová modulace nosné musí být $(80 \pm 5) \%$ o frekvenci $f = 1 \text{ kHz} \pm 10 \%$ a výstupní hodnotě 10 V.

7.3.1.1 Kalibrace generátoru

Veškerá kalibrace musí být prováděna s odpojeným testovacím jističem i všemi pomocnými zařízeními. Výstupní hodnota musí být nastavena na nemodulované nosné a přeměřena. Tato procedura musí být provedena na všech kmitočtech, které mají být použity k testování jističe.

7.3.2 Vazební / oddělovací obvody

Zaručují přenos rušení do zkoušeného jističe v plném rozsahu kmitočtů a zamezují průchodu rušení do sítě a působení na ostatní zařízení. Impedance těchto obvodů na svorkách u testovaného jističe musí být následující: v intervalu frekvencí $(0,15 \div 26) \text{ MHz}$ musí být rovno $|Z_{ce}| = (150 \pm 20) \Omega$ a pro interval $(26 \div 80) \text{ MHz}$ musí být rovno $|Z_{ce}| = (150 + 60 - 45) \Omega$. Zbylé parametry vazebních / oddělovacích obvodů jsou spíše informativního a doporučujícího charakteru (parametry cívek, kondenzátorů atp.). Základním požadavkem zůstává, aby zkouška neovlivňovala okolní zařízení.

Tyto obvody mohou být integrovány do jednoho boxu a mohou být použity společně se specifickými nestíněnými kabely a nesmí příliš ovlivňovat generovaný signál. Je doporučeno, aby byly magnetické účinky proudu tekoucího do testovaného jističe vyrušeny tak, že oba kabely jdoucí do jističe a z jističe zpět do vazebního / oddělovacího obvodu byly umístěny přímo vedle sebe.

Vazební obvod se běžně skládá z: kondenzátoru o přibližné kapacitě $C = 47 \text{ nF}$ a rezistoru o odporu přibližně $R = 100 \Omega$.

Oddělovací obvod se běžně skládá z: několika feritových cívek vytvářejících vysokou impedanci po celém frekvenčním pásmu (nebo lze použít cívku ve tvaru toroidu). Na frekvenci 150 kHz by měla být indukčnost $L > 280 \mu\text{H}$, přičemž reaktance by měla zůstat vyšší než 260 Ω až do 26 MHz. Nad 26 MHz by reaktance měla být vyšší než 150 Ω . Kondenzátory mají hodnotu typicky $C = 47 \text{ nF}$.

7.3.3 Další zařízení

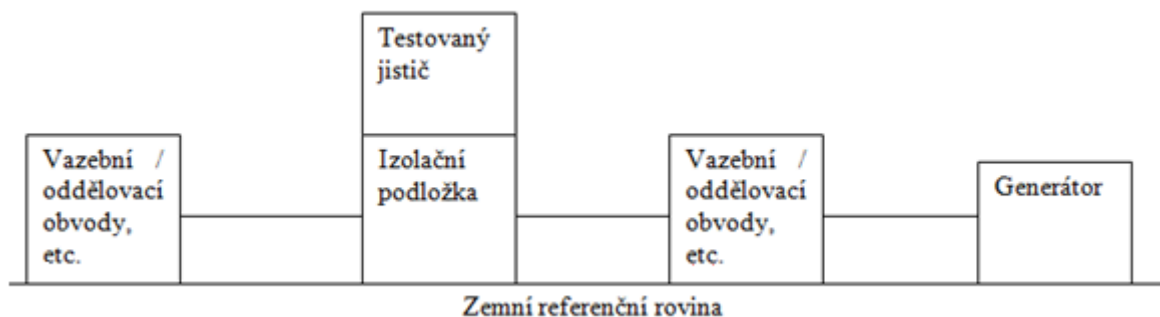
Zemní referenční rovina

7.4 Základní podmínky měření

Rušení musí být aplikováno na náhodně zvoleném vstupu či výstupu, přičemž je jistič napájen z ostatních fázových pólů (póly zapojeny v sérii) podle obrázku 13.1. U spouští citlivých na ztrátu fáze musí být obvod zapojen podle obrázku 13.2 nebo 13.3. Měl by být testován alespoň jeden pól jističe.

Vazební/oddělovací obvody musí být umístěny na zemní referenční rovině, která ve všech směrech přesahuje rozměry těchto obvodů alespoň o 0,2 m. Musí být umístěny v horizontální vzdálenosti od 0,1 m do 0,3 m od testovaného jističe.

Jistič musí být umístěn na izolované ploše o výšce 0,1 m nad referenční zemní rovinou. Pokud možno, stojan jističe by měl být vyroben z nevodivého materiálu. Uzemnění jističe by mělo být provedeno dle pokynů výrobce. Všechny kabely musí být podepřeny ve výšce mezi 30 mm až 50 mm nad referenční zemní rovinou.



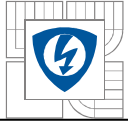
Obrázek 7.1: Znázornění rozmístění zařízení během zkoušky [16]

7.5 Provedení zkoušky

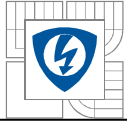
Při provádění zkoušky musí být dodrženy předpisy týkající se rušení šířeného do okolí.

7.6 Protokol o zkoušce

Protokol musí obsahovat všechny údaje pro reprodukovatelnost zkoušky, konkrétně: klimatické podmínky (teplotu a vlhkost), identifikace všech zařízení podílejících se na testu a



jejich umístění, velikosti testovaného jističe, typy kabelů a jejich délka, jakékoliv specifické podmínky, popis zkušební metody, jakékoliv jevy pozorované během testu a závěrem též zdůvodnění, proč zařízení prošlo, nebo neprošlo zkouškou. [1, 10, 11, 16]



8 ZKOUŠKA HARMONICKÝMI PROUDY

8.1 Obecně

Rušení harmonickými frekvencemi mohou být vytvářeny například se sítí synchronizovaným spínáním zátěží. Harmonické proudy pak mají za následek úbytky harmonických napětí na impedanci sítě. Kvůli induktanci vedení, kapacitanci kabelu a dalším zařízením připojeným v rozvodné síti je možný vznik paralelní nebo sériové rezonance daleko od rušící zátěže. Ta může způsobit zesílení harmonických napětí.

Jelikož se příslušná norma zaměřuje pouze na zařízení do 16 A, je v této části jako testované zařízení uvažována pouze elektronická spoušť. Je to z toho důvodu, že i když jističem může protékat například jmenovitý proud 250 A, pomocí měřicích transformátorů proudu se proudy protékajícími jednotlivými fázemi zmenší, a to právě na proud o maximální hodnotě 16 A.

Tato zkouška je nutná, je-li v jističi elektronika citlivá na efektivní hodnotu proudu – na jističi bývá označení „r.m.s.“ [1, 10, 11, 17]

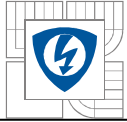
8.2 Zkušební úrovně a požadavky na odolnost zařízení

Norma poskytuje dvě možnosti provedení zkoušky. První možností je přiložit postupně: nejprve zkušební proud s tvarem vlny složeným ze základní a třetí harmonické (ta musí mít hodnotu mezi 72 % a 88 % základní složky s vrcholovým činitelem (vrcholová hodnota proudu dělená efektivní hodnotou vlny proudu) $2 \pm 0,2$) a poté přiložit další zkušební proud složený ze základní a páté harmonické, která bude v rozmezí od 45 % do 55 % základní složky s vrcholovým činitelem $1,9 \pm 0,2$ (špičková hodnota proudu dělená jeho efektivní hodnotou). Zkušební proudy jsou $0,9 I_R$ a $2 I_R$ jak již bylo popsáno u kritéria činnosti a jedná se o efektivní hodnotu celkového tvaru vlny. V tomto případě je I_R je efektivní hodnotou součtu základní a všech dalších harmonických. Je nutno připomenout, že v této kapitole je maximálním možným proudem myšleno 16 A.

Druhou variantou zkoušky je přiložit zkušební proud složený ze základní složky proudu, jeho třetí, páté a sedmé harmonické. Mnohem jednodušší na provedení je ale první varianta, proto druhá nebude dále popisována.

Podmínkou pro správné provedení zkoušky je rovněž i to, aby hodnota efektivního napětí výsledné vlny zůstala na jmenovité hodnotě. Toho lze docílit nastavením hodnot základní složky a harmonických.

Zkoušené zařízení musí ve zkouškách obstát s kritériem činnosti A. [1, 10, 11, 17]



8.3 Zařízení a přístroje pro zkoušku

8.3.1 Zkušební generátor

Požadavkem kladeným na tento generátor je, aby byl schopen vytvářet signál o frekvenci 50 Hz, na který jsou superponovány další kmitočty. Jak vyplývá z dříve uvedených požadavků, při takto nastaveném signálu musí procházet proud $0,9 I_r$ a $2 I_r$. Generátor nesmí ovlivňovat případná pomocná zařízení potřebná k provedení zkoušky, čili je zapotřebí vazebních/oddělovacích obvodů integrovaných do generátoru.

Generátor musí mít následující parametry: v případě základní harmonické musí být amplituda napětí $\pm 2 \%$, kmitočet $\pm 0,5 \%$ a úhel mezi fázemi $120^\circ \pm 1,5^\circ$. Harmonické musí odpovídat velikostem uvedeným v kapitole 8.2 s

8.3.2 Analyzátor harmonických složek

Není povinný, slouží jen pro ověření, že jednotlivé harmonické se nacházejí ve výše uvedených tolerancích.

8.4 Základní podmínky měření

Zařízení musí být zkoušeno ve volném vzduchu s příslušným krytem. Měření probíhá při jmenovitém kmitočtu. K němu jsou doplněny zkušební proudy o dalších frekvencích vytvořené tyristorovým zdrojem nebo například programovatelným napájecím zdrojem.

Zkouška se provádí na dvoufázových pólech viz obrázky 13.1. V případě citlivosti na ztrátu fáze lze jistič zapojit podle obrázků 13.2 nebo 13.3. Eventuální podpěťové spouště musí být buďto napájeny, nebo zablokovány. Zbylá zařízení musí být odpojena. Doba trvání zkoušky musí být desetinásobkem doby vybavení jističe. [1, 10, 11, 17]

8.5 Plán zkoušky

Plán zkoušky by měl obsahovat popis: testovaného zařízení, připojení kabelů a pomocných zařízení, vstupu napájení, typu úrovně zkoušky, zkušební sestavy a požadované funkční kritérium.

8.6 Provedení zkoušky

Klimatické podmínky v laboratoři během zkoušky musí být v mezích udávaných výrobcí testovaného a testovacího zařízení. Relativní vlhkost nesmí být tak vysoká, aby způsobovala kondenzaci na testovaném nebo testovacím zařízení.



8.7 Protokol o zkoušce

Protokol musí obsahovat všechny informace pro opakování zkoušky, plán zkoušky, identifikační údaje o příslušném testovaném jističi a testovacím zařízení, zvláštní podmínky prostředí (stínící kryt), zvláštní podmínky potřebné k realizaci zkoušky, funkční kritérium potřebné pro úspěšné splnění zkoušky a funkční kritérium, které dané zařízení při zkoušce splnilo, popis jakéhokoliv zhoršení funkce jističe během nebo po zkoušce, zdůvodnění proč zařízení obstálo/neobstálo. [1, 10, 11, 17]

9 ZKOUŠKA POKLESY PROUDU

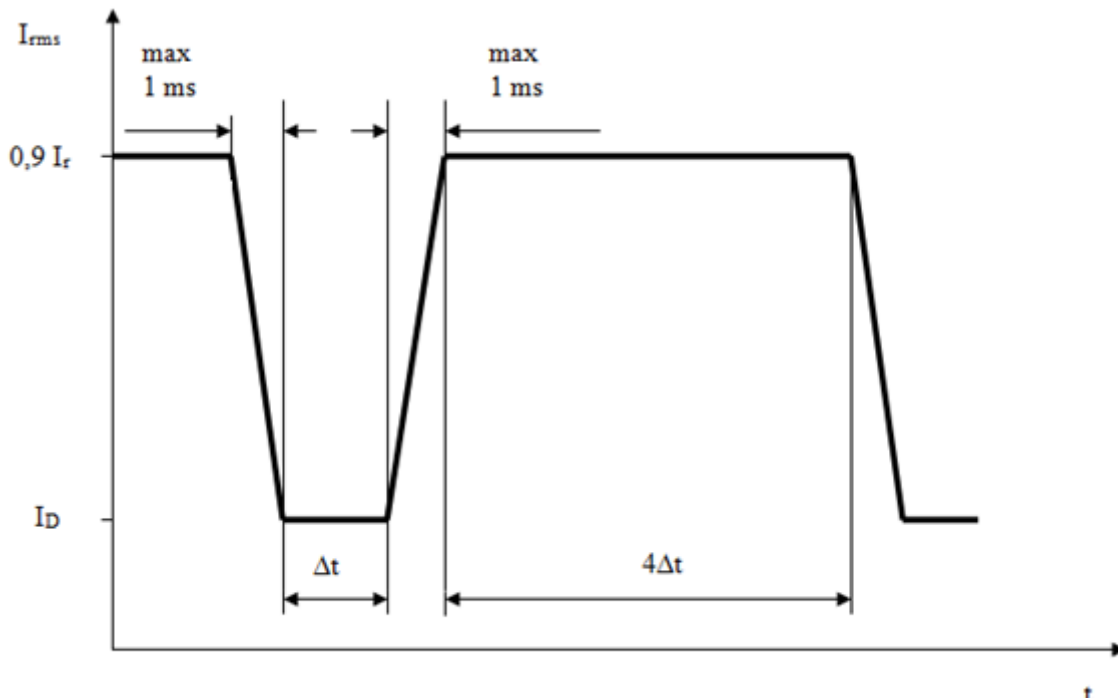
Zkouška pomocí poklesů proudu pro elektronickou nadproudovou ochranu nahrazuje zkoušku poklesy napětí a přerušení napětí.

Testované zařízení musí být zkoušeno ve volném prostoru a ve svém případném krytu. Jistič musí být zapojen podle obrázku 13.1, případně 13.2 nebo 13.3. Zkouška musí být provedena se zkušebním sinusovým proudem o síťovém kmitočtu. Zkušební proud musí být amplitudově modulován podle průběhu zobrazeného níže. Zkouška musí trvat mezi trojnásobkem a čtyřnásobkem vypínací doby pro dvojnásobný proud I_R . Maximálně však může trvat 10 minut.

Zařízení je zkoušeno pro poklesy proudu v délce trvání $\Delta t = \{0,5 T; 1 T; 5 T; 25 T; 50 T\}$ pro pokles zkušebního proudu $I_D = 0$ A. Dále pro $\Delta t = \{10 T; 25 T; 50 T\}$ pro $I_D = 0,4 I_R$. V poslední části zkoušky je délka trvání $\Delta t = \{10 T; 25 T; 50 T\}$, přičemž proud klesne na $I_D = 0,7 I_R$.

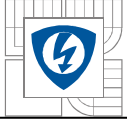
Z důvodu absence konkrétnějších požadavků na provedení zkoušky byla zvolena tolerance proudu $I_D = \pm 5 \%$ a tolerance $\Delta t = \pm 1 \%$. Těmto požadavkům musí odpovídat zkušební generátor. Zkušební obvod musí být oddělen takovým způsobem, aby nerušil zařízení v okolí.

Zkoušené zařízení musí ve zkouškách obstát s kritériem činnosti B. [1, 10, 11]



Obrázek 9.1: Zkušební proud [11]

Norma se nezmiňuje ani o dalších důležitých aspektech testování, jako jsou plán zkoušky, provedení zkoušky a protokol o zkoušce. Všechny tyto tři body musí mít stejnou vypovídající hodnotu jako u ostatních zkoušek popsanych v této práci. Tak bude zaručena reprodukovatelnost



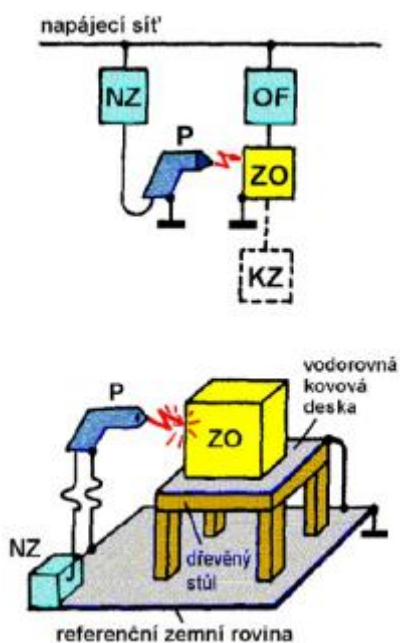
zkoušky. Musí být detailně popsán testovaný jistič i testovací zařízení, jejich umístění a zapojení v obvodu, případně doplněno o schémata. Musí být popsán průběh zkoušky. Výsledek zkoušky musí být řádně zdůvodněn. [1, 10, 11]

10 ZKOUŠKA ELEKTROSTATICKÝM VÝBOJEM (ESD)

Elektrostatický výboj vzniká většinou v místnostech s nízkou vlhkostí vzduchu a umělými podlahovými krytinami. Hodnota elektrostatického impulzu může být i 15 kV a více, jeho energie obvykle bývá do 10 mJ. Šířka spektra, které je rušeno tímto výbojem, je až 1 GHz. Tento výboj může poškozovat polovodičové prvky, tudíž celou řídicí elektroniku dotčeného zařízení. Výboj vzniká zejména dotykem zařízení s obsluhou, na jejímž povrchu je nashromážděn elektrostatický náboj.

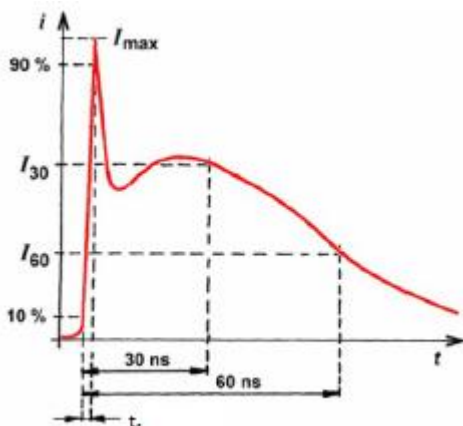
Elektrostatickým výbojem vyvolaný průběh proudu v zařízení závisí na provedení výboje. V tomto případě jde zejména o přímé vybití vzduchovým výbojem a kontaktním výbojem. Oba tyto výboje jsou tzv. přímé. Naproti tomu pojmem nepřímý výboj je rozuměno vybití kontaktním výbojem do kovové desky v určité vzdálenosti od zkoušeného zařízení.

U přímého vybití vzduchovým výbojem se vybíjecí pistole přibližuje ke zkoušenému objektu, dokud napětí na hrotu nebude větší než průrazné napětí vzduchu zbývajícího mezi hrotem pistole a zkoušeným objektem a kondenzátor C_0 se nevybije přeskokem jiskry. Po doteku a následném oddálení hrotu se ESD generátor nabije pro další výboj. Zkouška se opakuje desetkrát pro každý zvolený bod na zařízení. Polarita impulzu musí být taková, na kterou je zařízení citlivější – nutno zjistit prakticky. Před dalším nabitím je doporučováno vybití hrotu pistole na zemní rovinu a odvedení náboje z povrchu testovaného zařízení (např. pomocí dvou 470 k Ω rezistorů). Tvar vybíjecího proudu je závislý na mnoha faktorech – na vlhkosti, teplotě, tlaku a také na rychlosti přiblížení hrotu pistole. Přiblížení by podle normy mělo být co nejrychlejší. Právě proto je reprodukovatelnost měření malá. Vybíjecí hrot pro vzduchový výboj musí být zaoblený.



Obrázek 10.1: Zkouška odolnosti vůči ESD - zde konkrétně výboj vzduchovou mezerou (NZ – napájecí zdroj vysokého napětí (ESD generátor), OF – oddělovací filtr, P – pistole, ZO – zkoušený objekt, KZ – kontrolní zařízení)

Kontaktní výboj je naproti tomu snadněji reprodukovatelný. Hrot pistole se přiloží kolmo na zkoušený objekt a teprve poté se kontaktem K (vysokonapěťové relé s jediným kontaktem) zapojí do obvodu nabitý kondenzátor C_0 a dojde k elektrostatickému výboji. Vybíjecí hrot pro kontaktní výboj musí být ostrý. Vybíjecí impuls ve zkoušeném zařízení potom má následující tvar:



Obrázek 10.2: Průběh proudu při zkoušce kontaktním výbojem [1]

Jističe se zkouší napětím 8 kV. Pro zajištění reprodukovatelnosti měření platí následující hodnoty vybíjecího impulsu v časech znázorněných na grafu, přičemž t_r je doba náběhu (10% ÷ 90% I_{max}).

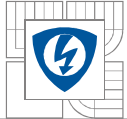
Tabulka 1: Hodnoty proudového impulsu pro jistič při zkoušce kontaktním výbojem [1]:

Výstupní napětí	I_{max}	I_{30}	I_{60}	t_r
[kV]	[A]	[A]	[A]	[ns]
8	30	16	8	0,8

Norma udává jisté tolerance průběhu proudu v předepsaných časech a doby náběhu (vždy alespoň $\pm 15\%$, ale požadavkem na ESD generátor a jeho příslušenství (zkušební hroty) samozřejmě je, aby se naměřené hodnoty průběhu kontaktního výboje co nejvíce blížily tabulkovým hodnotám. Výstupní napětí elektrostatického výboje pro jističe musí být tedy minimálně 8 kV. V případě, že výrobce uvádí, že jistič splňuje vyšší úroveň elektromagnetické odolnosti, je třeba hodnotu napětí postupně zvyšovat od 8 kV až do hodnoty uvedené výrobcem. ESD generátor tedy musí být schopen vygenerovat napětí alespoň 8 kV.

Zkoušené zařízení musí být testováno v krytu, se kterým je dodáváno. Zkoušené napětí je jak pro zkoušky přímým výbojem, tak pro výboj vzduchovou mezerou shodné, a to 8 kV. Výboje jsou aplikovány nepřímou na kryt, kontaktně na vodivé přístupné části a vzduchem na nevodivé přístupné části. Aby jistič splnil požadavky zkoušky, musí splňovat funkční kritérium B.

Zařízení je zkoušeno kontaktně – zkoušky přímého výboje se provádí na částech dostupných pro uživatele při běžném provozu (displeje, tlačítka, kryty). Místa, která byla vybrána pro zkoušku, musí být zapsána v protokolu o provedení zkoušky. Zkouška přímým výbojem se pro



dané místo zkouší desetkrát pro každou polaritu s intervaly mezi zkouškami 1 vteřina a většími v každém bodě měření.

Zkoušky vzduchovým výbojem jsou aplikovány na zvolených místech stejným způsobem, jako je popsán u zkoušky přímým výbojem. Zkouška se musí opakovat desetkrát v každém bodě měření. Minimální časový interval mezi impulzy musí být 1 sekunda. [1, 11, 12]

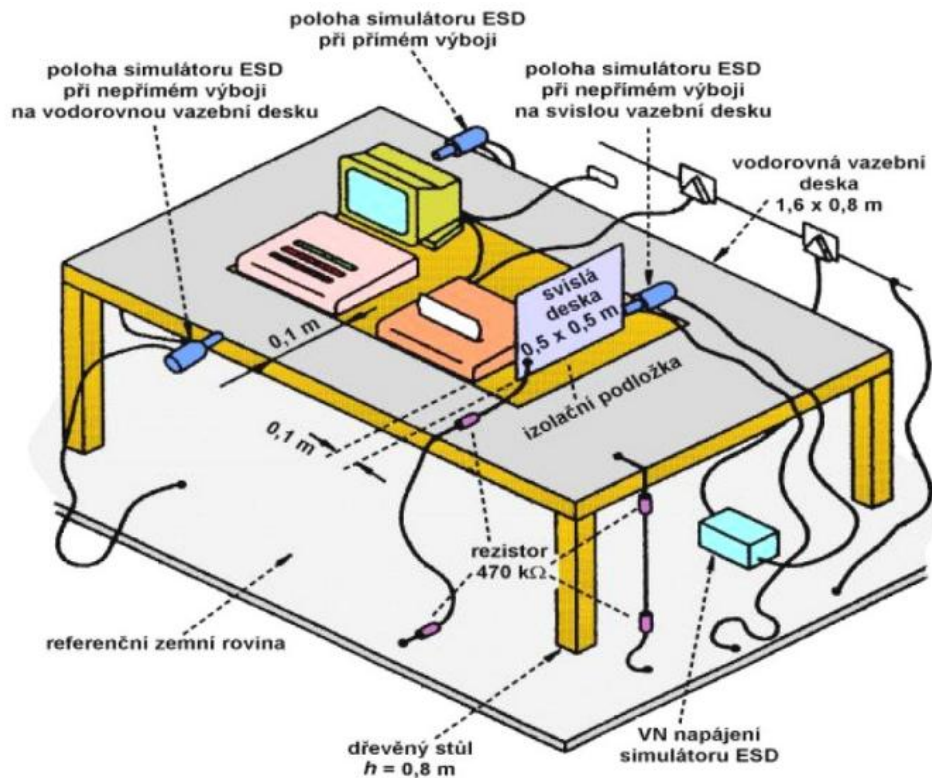
10.1 Návrh zkušební laboratoře pro zkoušku ESD

Jistič musí být opět zkoušen v zapojení podle obrázku 13.1, případně 13.2 nebo 13.3.

Podmínky testování musí být následující: uzemňovací deska musí být umístěna na zemi laboratoře, její tloušťka je při použití mědi nebo hliníku 0,25 mm, při použití jiných kovových materiálů pak alespoň 0,65 mm. Uzemňovací deska by měla přesahovat testované zařízení na všechny strany alespoň o 0,5 m a měla by být spojena s ochranným zemnicím systémem. Vzdálenost měřeného zařízení od stěn nebo dalších kovových předmětů v laboratoři by neměla být menší než 0,8 m. Měřené zařízení by mělo být zapojeno dle doporučení výrobce. Měřené zařízení i ESD generátor musí být uzemněny podle jejich specifikací. Zpětný vybíjecí kabel ESD generátoru by měl být připojen k uzemňovací desce, přičemž nesmí být blíže než 0,2 m od nejbližší vodivé části jakéhokoliv zařízení. Zemnicí kabel musí mít nízkou impedanci a musí být připojený k uzemňovací desce svorkami určenými pro vysokofrekvenční aplikace o tloušťce 0,25 mm (měď či hliník). Kabel musí mít na obou svých koncích 470 k Ω rezistor schopný vydržet vybíjecí napětí. Rezistory a kabely musí být izolovány.

Nevodivý testovací stůl umístěný na uzemňovací desce musí mít výšku 0,8 m. Na něm umístěná „horizontální spojovací deska“ musí mít rozměry 1,6 m x 0,8 m. Testované zařízení a kabely musí být izolovány od horizontální spojovací desky izolací tloušťky 0,5 mm.

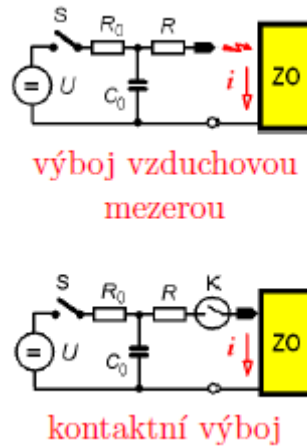
V případě velkého zařízení, které se na stůl nevejde, lze testované zařízení umístit na referenční zemní rovinu (uzemňovací desku). Mezi ní a zařízením je třeba vložit izolační podložku o tloušťce 0,1 m. Zařízení a kabely musí být izolovány stejně jako při měření na stole izolací tloušťky 0,5 mm. [1, 10, 11]



Obrázek 10.3: Uspořádání stanoviště pro měření odolnosti vůči elektrostatickým výbojům [1]

10.2 Požadavky na ESD generátor

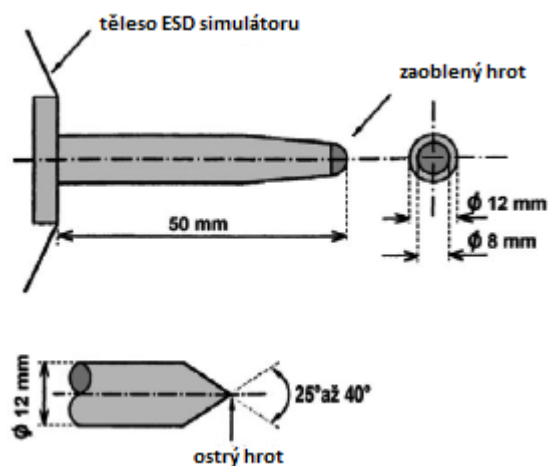
Testovací soustava musí obsahovat ESD generátor (obsahující akumulární kondenzátor $C_o = 150 \text{ pF}$, který je nabíjen přes nabíjecí rezistor $R_o = 50 \div 100 \text{ M}\Omega$ napětím $U = 2 \div 15 \text{ kV}$, vybíjecí rezistor $R = 330 \text{ }\Omega$; hodnota kondenzátoru C_o je zvolena podle průměrné kapacity lidského těla a hodnota rezistoru R představuje odpor lidského těla s náradím v ruce. Další částí soustavy je indikátor dosaženého napětí, vybíjecí tlačítko, nabíjecí tlačítko, vyměnitelné hroty vybíjecí elektrody, stejnosměrný napájecí zdroj), zpětný vybíjecí kabel o délce 2 m (maximálně však 3 m), dva $470 \text{ k}\Omega$ rezistory, referenční zemní rovinu a další kabely. Koncová část ESD generátoru, resp. ESD simulátoru s vyměnitelným hrotem má zpravidla tvar „pistole“. Právě pistole je připojena jedním kabelem k ESD generátoru a druhým – vybíjecím – k uzemňovací desce.



Obrázek 10.4: Zjednodušené zapojení zkoušek odolnosti vůči ESD; ZO – zkoušený objekt [1]

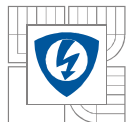
V případě zkoušek odolnosti jističů musí být ESD generátor schopen dosáhnout napětí při výboji alespoň $U_{\text{out}} = \pm 8 \text{ kV}$ s tolerancí $\pm 5 \%$, a to jak pro přímé kontaktní, tak pro přímé vzduchové výboje. Musí být schopen generovat napětí obou polarit. Provádí jednotlivé výboje, mezi kterými je interval alespoň 1 sekunda, během které dojde k jeho opětovnému nabití. Proto by bylo vhodné, aby nabíjení generátoru netrvalo příliš dlouho.

Zkušební hroty musí být téměř celé pokryty izolací a jejich tvar musí odpovídat obrázku:



Obrázek 10.5: Zkušební hroty

Lze tedy říct, že požadavky na ESD generátor pro měření elektromagnetické odolnosti jističe jsou: generované napětí alespoň $\pm 8 \text{ kV}$, průběh výboje musí odpovídat obrázku 3.10 a tabulce 1. Zkušební hroty musí odpovídat obrázku 3.6. [1, 11, 12]



10.3 Provedení zkoušky ESD

10.3.1 Postup při zkoušce

Pro ověření správné funkce ESD generátoru je možné nabít pistolí na nižší napětí (např. 1 kV) a vytvořit jiskru mezi pistolí a referenční zemní rovinou (uzemňovací deskou).

Přístroje lze zkoušet v laboratoři (typové zkoušky), nebo přímo v místě jeho instalace do skutečného obvodu.

První zkouška se provádí kontaktním výbojem na vodivý povrch a kontakty. Druhou zkouškou je přímé vybití vzduchovým výbojem.

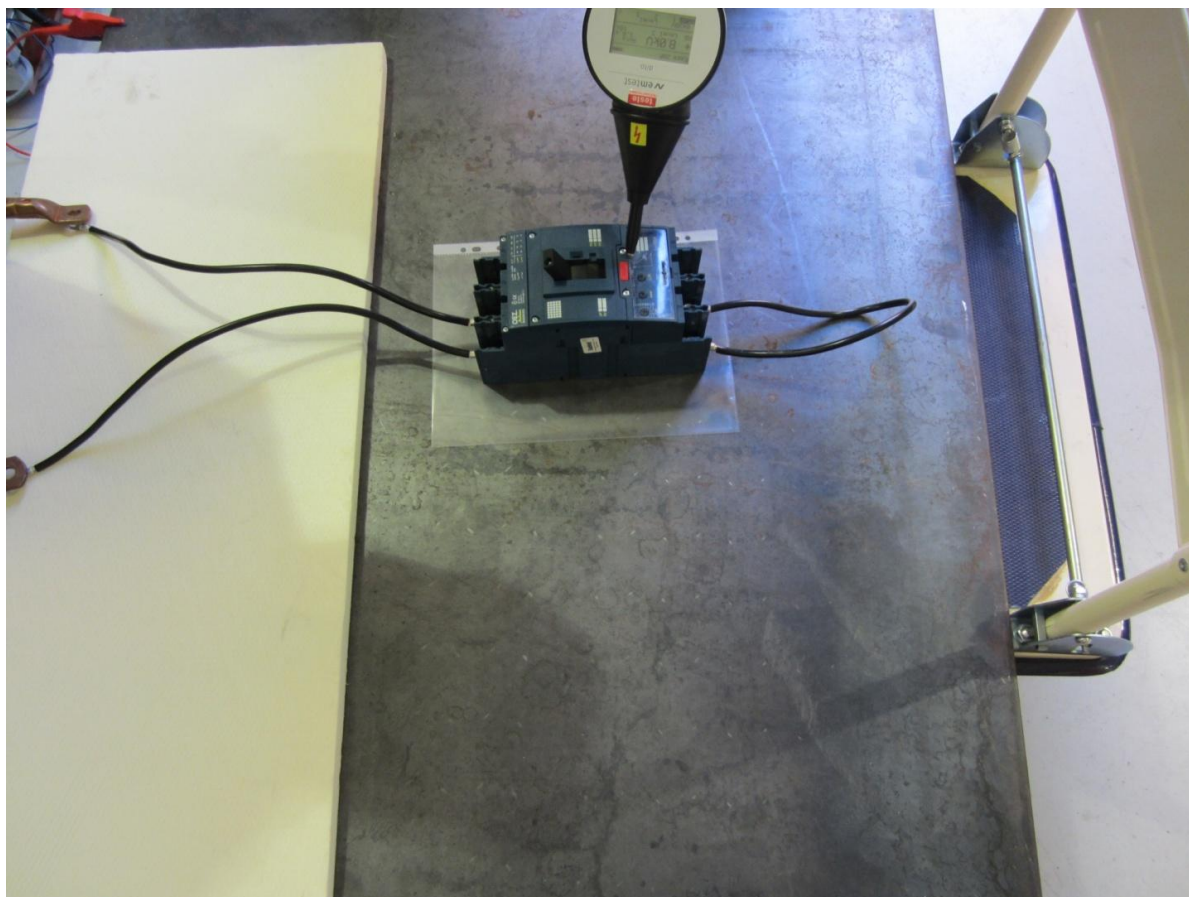
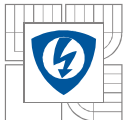
Při zkoušce vzduchovým výbojem jsou pro mírné klimatické prostředí stanoveny následující podmínky měření: teplota ($15 \div 35$)°C, relativní vlhkost ($30 \div 60$) % a atmosférický tlak ($86 \div 106$) kPa.

V průběhu testu by jistič měl být zapojen v obvodu a pracovat s co nejcitlivějším nastavením.

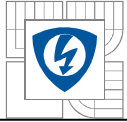
Protokol z měření by měl zahrnovat: zda-li je testované zařízení testováno na stole, nebo na podlaze; popsání operačních podmínek zkoušeného zařízení; atmosférické podmínky měření; body, které byly zvoleny pro výboje (a popsány, které byly určeny pro kontaktní výboj a které pro vzduchový výboj); úroveň testovacího napětí; počet výbojů na každý bod (minimálně 10); zda-li bylo testované zařízení testováno v laboratoři, nebo přímo v konečné instalaci; splněním / nesplněním daného funkčního kritéria; jiné délky kabelů než jaké jsou předepsány; fotku (schéma) testovacího pracoviště se zkoušeným jističem. [12]

10.3.2 Zkouška jističe elektrostatickým výbojem

V rámci této práce byl testován jistič OEZ Modeion SE-BD-0250-M_{TV8} s elektronickou spouští. Tento jistič byl po zkratové zkoušce I_{cs} (musel třikrát vypnout zkratový proud 18 kA). Dále byl testován jistič OEZ Modeion SE-BD-0100-DTV3, který zkratovou zkouškou neprošel. Byly testovány předepsaným napětím ± 8 kV přímým kontaktním výbojem i přímým vzduchovým výbojem pomocí DITO ESD Simulátoru splňujícího všechny požadavky norem. Přímými kontaktními výboji byly zkoušeny zejména všechny kovové části jističe dostupné obsluze (šrouby). Vzduchovými výboji byly zkoušeny zejména nevodivé části jističe. Vybraná místa byla zkoušena deseti výboji se vteřinovými intervaly. Pokusně bylo zvýšeno napětí elektrostatického výboje z ± 8 kV na ± 16 kV, ale ani poté nedošlo k sebemenšímu problému a jističe fungovaly správně jak při $0,9 I_R$, tak při $2 I_R$. Ani jističe, ani samotné elektronické spouště nevykazovaly v průběhu zkoušky nebo po ní nežádoucí chyby. Touto zkouškou bylo ověřeno, že zkoušené jističe vyhověly funkčnímu kritériu B určenému pro tuto zkoušku bez ohledu na to, že jeden z nich již dříve prošel zkratovou zkouškou.



Obrázek 10.6: Zkouška přímým kontaktním elektrostatickým výbojem



11 ZKUŠEBNÍ PLÁN

Z ekonomického hlediska je vhodné sestavit zkušební plán pro testování nově navrhovaného jističe, který se má začít sériově vyrábět a má být schválen pro český trh. Již v průběhu vývoje jističe je vhodné, aby funkční model prošel potřebnými zkouškami a aby byla možnost tento model dále upravovat. Tyto zkoušky lze provádět ve zkušební laboratoři uvnitř firmy při zjednodušených podmínkách.

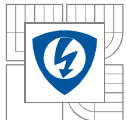
Lze začít zkouškami odolnosti, které z jejich principu přímo nevyžadují stíněné komory a kryty jističe (ačkoliv při typových zkouškách jsou tyto náležitosti nezbytné). Jedná se tedy o zkoušku poklesy proudu, zkoušku harmonickými proudy, zkoušku rušením šířeným vedením a indukovanými vysokofrekvenčními poli, zkoušku rázovými impulzy a zkoušku elektrickými rychlými přechodovými jevy / skupinami impulzů.

Po úspěšném splnění těchto zkoušek lze jistič doplnit o všechny nezbytné kryty, které budou jeho součástí při běžném provozu. Následně je možné jistič zkoušet vůči elektrostatickým výbojům a vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím. Druhou zmiňovanou zkoušku lze provést v polo-bezodrazové komoře.

Během jednotlivých zkoušek prováděných ve firmě je počítáno s tím, že se navrhovaný jistič bude upravovat a vylepšovat, například během zkoušek odolnosti vůči ESD a vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polím lze upravovat a zesilovat kryt jističe, aby těmto zkouškám vyhověl. Následně je vhodné provést všechny zkoušky znovu s finální podobou jističe.

Hotový prototyp, který vyhovuje všem potřebným firemním zkouškám, je nutné předat na státní zkušebnu, kde bude tento jistič znovu zkoušen přesně kalibrovaným zařízením. Je vhodné, aby zkouška vyzařovaným vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem byla na seznamu i nyní jako poslední, a to z důvodu drahého pronájmu bezodrazové komory.

Po splnění všech potřebných zkoušek a udělení certifikátu státní zkušebnou může být tento jistič uveden do sériové výroby pro český trh.



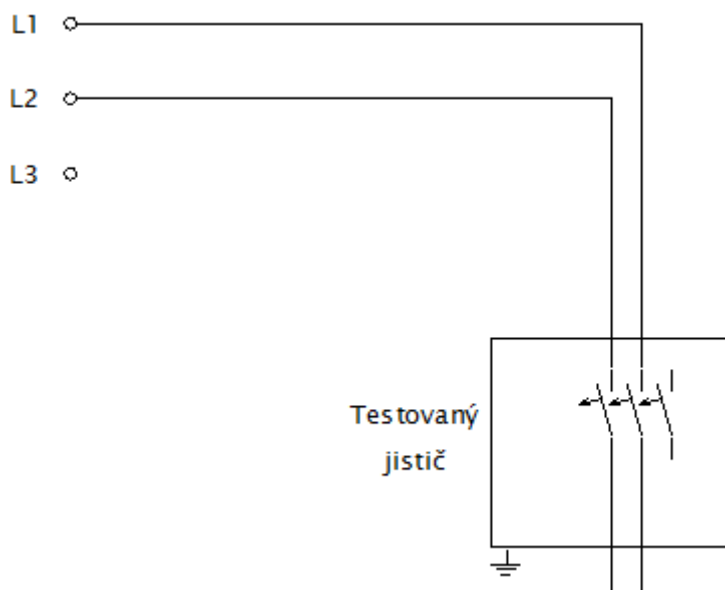
12 ZÁVĚR

V průběhu vypracování této práce bylo nutné řešit problematický zdroj napájení jističe. Z uvedených norem totiž vyplývá, že napájecí zdroj pro zkoušení jističe musí mít následující parametry: musí na něm být jmenovité napětí, které používá příslušný testovaný jistič a musí být schopen dodávat proud v rozsahu $(0,9 \div 2) I_r$ jističe, a to z důvodu možnosti testování správné funkce jističe během zkoušky a po zkoušce. Nicméně aby elektronická spoušť firmy OEZ vůbec začala pracovat, je nutné, aby jí v ustáleném stavu protékal proud $0,5 I_r$. Tento požadavek lze vyřešit více způsoby. Pokud se zkoušky neprovádí příliš často, pak se z ekonomického hlediska jeví jako výhodnější řešení zakoupení dostatečně dimenzovaných zátěží, rezistorů a cívek. Pokud jsou však zkoušky časté, finanční částka za výkon mařený na rezistorech by mohla převýšit cenu za pořízení zdroje proudu s napětím řádově 2 – 5 V. Pak se nabízí, aby tento požadavek (proud protékající jističem nastavitelný v rozsahu $(0,5 \div 2) I_r$) byl zahrnut v požadavcích na napájecí zdroj.

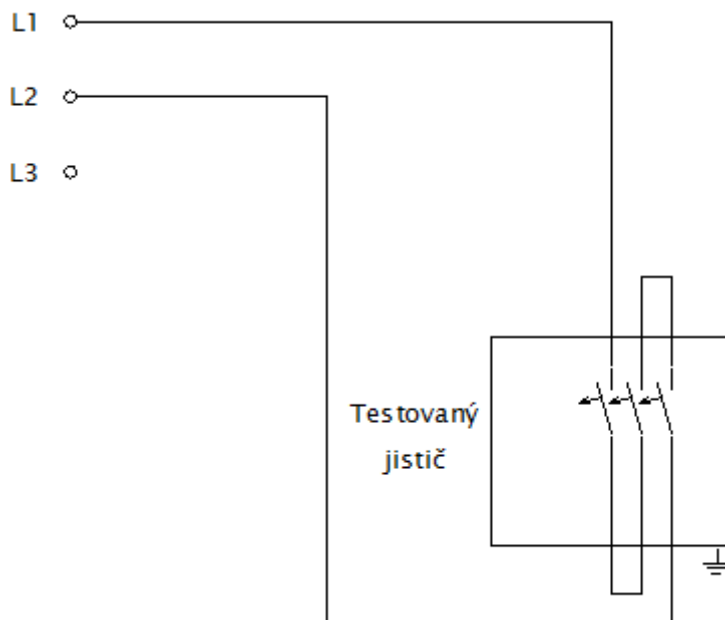
V této diplomové práci byly popsány zdroje elektromagnetického rušení a důvody, proč je nutné vůči nim jističe zkoušet. Dále byly popsány požadavky, které musí jističe s elektronickou spouští splňovat, pokud mají být prodávány v České republice, respektive v celé Evropské unii.

Byly popsány jednotlivé části jističe, na které, více či méně, může působit elektromagnetické rušení. Rovněž byly popsány jednotlivé zkoušky elektromagnetické kompatibility, přičemž detailně byla řešena zkouška elektrostatickým výbojem. Byla popsána zařízení zkušebny, která jsou potřebná pro provedení uvedených zkoušek a potažmo i celá zkušebna. Následně byla provedena zkouška jističe na odolnost vůči elektrostatickým výbojům na základě požadavků stanovených touto diplomovou prací, přičemž jistič splnil stanovené požadavky.

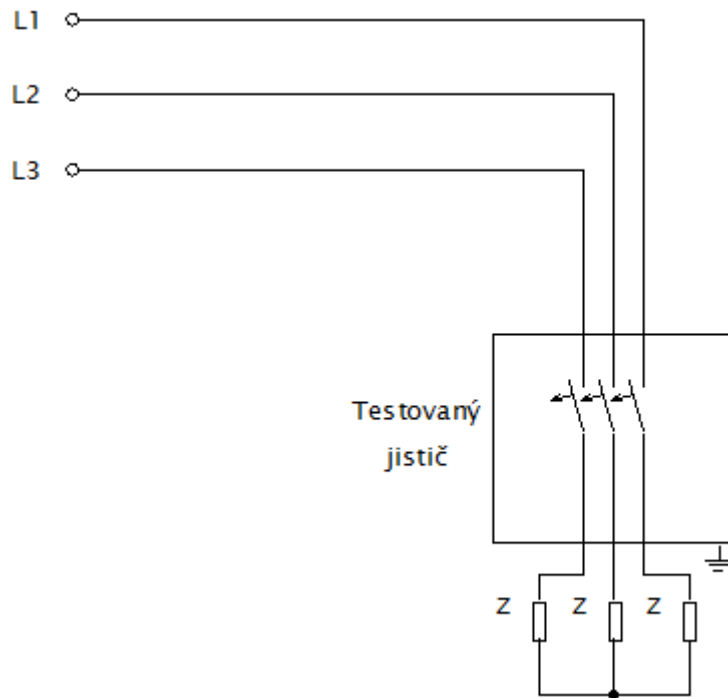
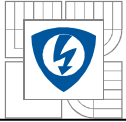
13 PŘÍLOHA



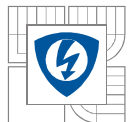
Obrázek 13.1: Zkušební obvod – dva fázové póly v sérii, na třetí je aplikováno rušení.
Obrázek je bez vazebních/oddělovacích obvodů



Obrázek 13.2: Zkušební obvod – tři fázové póly v sérii, na které je aplikováno rušení.
Obrázek je bez vazebních/oddělovacích obvodů

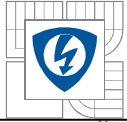


Obrázek 13.3: Zkušební obvod – tři fázové póly v sérii, na třetí je aplikováno rušení.
Obrázek je bez vazebních/oddělovacích obvodů



POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DŘÍNOVSKÝ, Jiří, Tomáš FRÝZA, Jiří SVAČINA, Zdeněk KEJÍK a Václav RŮŽEK. Elektromagnetická kompatibilita: Přednášky [online]. Brno, 2010, 2010-11-03 [cit. 2013-11-09]. Dostupné z: www.vutbr.cz
- [2] DRÁPELA, Jiří. Kvalita elektrické energie a EMC v distribučních sítích [online]. Brno, 2012, 2012-05-04 [cit. 2013-11-12]. Dostupné z: www.vutbr.cz. VUT v Brně.
- [3] SVAČINA, Jiří. Základy elektromagnetické kompatibility: Část 1 - Základní pojmy a členění oboru EMC. [online]. 2000, 2000-06-19 [cit. 2013-11-12]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/00025/index.html>
- [4] OEZ. Kompaktní jističe: Modeion [online]. 2013-04-25. Letohrad, 286 s., 2013-05-07 [cit. 2013-11-16]. Dostupné z: www.oez.cz
- [5] CENEK, Tomáš. ABB. SACE Isomax S: Kompaktní nízkonapěťové jističe [online]. 2003-03-20 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: www.abb.cz
- [6] ABB. Tmax: Kompaktní jističe NN do 1600 A [online]. 2009-07-17 [cit. 2013-11-18]. Dostupné z: www.abb.cz
- [7] MOELLER GMBH, Bonn. Příručka zapojení: Spínací a řídicí přístroje nn [online]. 1. vyd. Heidrun Riege, 2006 [cit. 2013-11-19]. Dostupné z: www.eaton.cz
- [8] Spouště. [online]. [cit. 2013-11-19]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/mep-postrelmov/podrobnosti-ke-konstrukci-rychlovypinacu/spouste.aspx>
- [9] MINDL, Pavel. Moderní elektronické jističe v rozvodech nn. In: [online]. 2008-03-27 [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/schrack-moderni-elektronicke-jistice-v-rozvodech-nn/view>.
- [10] ČSN EN 60947-1. Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí: Část 1: Všeobecná ustanovení. ed. 4. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008
- [11] ČSN EN 60947-2. Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí: Část 2: Jističe. ed. 3. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2007
- [12] ČSN EN 61000-4-2. Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-2: Zkušební a měřicí technika - Elektrostatický výboj - Zkouška odolnosti. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [13] ČSN EN 61000-4-3. Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-3: Zkušební a měřicí technika – Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole - Zkouška odolnosti. 3. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [14] ČSN EN 61000-4-4. Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-4: Zkušební a měřicí technika – Rychlé elektrické přechodné jevy/skupiny impulzů - Zkouška odolnosti. 3. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.



- [15] ČSN EN 61000-4-5. Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Rázový impulz - Zkouška odolnosti. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [16] ČSN EN 61000-4-6. Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-5: Zkušební a měřicí technika – Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli. 3. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [17] ČSN EN 61000-4-13. Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Část 4-13: Zkušební a měřicí technika – Harmonické a mezipharmonické včetně signálů v rozvodných sítích na střídavém vstupu/výstupu napájení – Nízkofrekvenční zkoušky odolnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.