



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

CHOVÁNÍ PROUDOVÉHO CHRÁNIČE PŘI VYPÍNÁNÍ NESINUSOVÝCH REZIDUÁLNÍCH PROUDŮ

RESIDUAL CURRENT DEVICE BEHAVIOR UNDER SWITCHING OF NON-SINUSOIDAL RESIDUAL CURRENTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Horký

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Valenta, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika** Ústav
výkonové elektrotechniky a elektroniky

Student: Jakub Horký

Ročník: 3

NÁZEV TÉMATU:

ID: 195584

Akademický rok: 2018/19

Chování proudového chrániče při vypínání nesinusových reziduálních proudů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište princip funkce proudového chrániče při vypínání sinusových i nesinusových proudů.
2. Nastudujte normativní požadavky na vypínání nesinusových průběhů.
3. Navrhněte a vyrobte přípravek pro zkoušení chrániče vybranými nesinusovými proudy.
4. Vytvořte laboratorní úlohu na uvedené téma včetně návodu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Štěpán, F.: Proudové chrániče, IN-EL, 2015

[2] Havelka, O. a kol.: Elektrické přístroje, SNTL, 1985

[3] ČSN EN 61008-1 ed. 3, Proudové chrániče bez vestavěné nadproudové ochrany pro domovní a podobné použití (RCCB) - Část 1: Obecná pravidla

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 22.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Jiří Valenta, Ph.D.

Konzultant:

**doc. Ing. Petr Toman,
Ph.D.**

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Tato bakalářská práce se zabývá chováním proudového chrániče při vypínání nesinusových reziduálních proudů. V první, teoretické, části práce jsou popsány základní charakteristiky a vlastnosti elektrických přístrojů. Pozornost je věnována proudovému chrániči, jeho konstrukční části, druhy, parametry a typy. Dále jsou zde probrány normativní požadavky proudového chrániče typu A při zkouškách.

Druhá část je částí praktickou. Proudový chránič je podroben nesinusovým reziduálním proudům se stejnosměrnou složkou (dle normy), čímž se kontroluje jeho schopnost správné činnosti, tj. chránič je schopen vybavit.

V závěru práce je uvedena vzorová laboratorní úloha, která demonstruje ověření chování proudového chrániče při vypínání nesinusového proudu.

Klíčová slova

Proudový chránič, reziduální proud, stejnosměrný proud, úhel proudového zpoždění, proudový transformátor.

Abstract

This bachelor deals with behaviour of a residual-current device during disconnection non-sinusoidal residual current.

In the first, theoretical part, basic characteristics and properties of electrical devices are described. Attention is devoted to residual-current device, its structural part, parameters and types. Afterwards, there are described normative requirements of the residual-current device type A in the course of tests.

The second part is a practical part. The residual-current device is subjected to residual currents with direct current components (according to the standard), thereby it is checked if it works correctly, it means, if the device is capable of being cut off,

At the end of the bachelor, where is a sample laboratory task that demonstrates a check the behavior of the residual-current device at switching off the non-sinusoidal current.

Keywords

Residual-current device, residual current, direct current, current delay angle, current transformer.

Bibliografická citace:

HORKÝ, Jakub. *Chování proudového chrániče při vypínání nesinusových reziduálních proudů*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119721>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. Vedoucí práce Jiří Valenta.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Chování proudového chrániče při vypínání nesinusových reziduálních proudech“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Valentovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych chtěl poděkovat panu prof. Ing. Jaroslavovi Bouškovi CSc. a panu Ing. Jiřímu Fenclovi za pomoc při návrhu přípravku.

Brno

.....

podpis autora

OBSAH

1 ÚVOD	10
2 ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE	11
3 JISTÍCÍ PRVKY V OBVODU.....	11
3.1 Jističe	11
3.2 Pojistky	12
4 PROUDOVÉ CHRÁNIČE.....	13
4.1 Historie a vývoj proudového chrániče.....	13
4.1.1 Historie používání proudového chrániče v naší zemi.....	15
4.2 Popis a funkce proudového chrániče	16
4.3 Základní konstrukční části chrániče.....	17
4.3.1 Součtový proudový transformátor	17
4.3.2 Vybavovací relé s permanentním magnetem	18
4.3.3 Zkušební zařízení	18
4.3.4 Počet pólů.....	19
4.3.5 Spínací mechanismus	19
4.4 Druhy proudových chráničů	20
4.4.1 Proudový chránič bez nadproudové ochrany (RCCB).....	20
4.4.2 Proudové chrániče se zabudovanou nadproudovou ochranou (RCBO).....	20
4.4.3 Stavebnicové proudové chrániče (MRDC).....	20
4.5 Hlavní parametry proudového chrániče	21
4.6 Citlivost na různé druhy reziduálních proudů	21
4.6.1 Typ AC.....	21
4.6.2 Typ A.....	22
4.6.3 Typ F	22
4.6.4 Typ B	22
4.6.5 Typ B+	23
4.6.6 Typ Bfq.....	23
4.6.7 Shrnutí typů proudových chráničů	23
4.7 Časové závislosti vypnutí proudového chrániče.....	24
4.7.1 Označení typu chrániče dle časové závislosti vypnutí.....	24
5 NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA PROUDOVÝ CHRÁNIČ (TYPU A) PŘI ZKOUŠKÁCH	26
5.1 Zkušební obvod dle normy	26

5.1.1	Ověření správné činnosti v případě plynulého zvyšování reziduálního pulzujícího stejnosměrného proudu.....	27
5.1.2	Ověření správné činnosti, zda se náhle objeví reziduální pulzující stejnosměrné proudy...	27
6	NÁVRH A ZHOTOVENÍ PŘÍPRAVKU PRO ZKOUŠENÍ PROUDOVÉHO CHRÁNIČE.....	28
6.1	Návrh přípravku.....	28
6.2	Zhotovení přípravku	30
6.3	Zkouška na proudovém chrániči.....	32
7	LABORATORNÍ ÚLOHA.....	33
	Ověření chování proudového chrániče při vypínání nesinusových reziduálních proudů	33
7.1	Zadání laboratorní úlohy	33
7.2	Teoretický úvod	33
7.2.1	Konstrukce a princip proudového chrániče	33
7.2.2	Hlavní parametry a různé druhy proudového chrániče	34
7.2.3	Rozdělení typu chrániče dle časové závislosti vypnutí	35
7.2.4	Ověření správné činnosti proudového chrániče	35
7.3	Schéma zapojení.....	36
7.4	Postup měření	37
7.5	Použité přístroje	38
7.6	Tabulky naměřených hodnot	38
7.7	Grafy	38
7.8	Závěr měření.....	38
8	ZÁVĚR	39

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-3: Vypínací charakteristika jističů [2]	11
Obr. 2-3: LSN Jistič do 60A [5].....	12
Obr. 3-3: Řez jističem [4].....	12
Obr. 4-3: Válcová pojistka [7]	12
Obr. 5-3: Nožová pojistka [6]	12
Obr. 6-4: Zapojení proudového chrániče s poruchou [10].....	16
Obr. 7-4: Příklad součtového proudového transformátoru v proudovém chrániči [12] .	17
Obr. 8-4: Konstrukce vybavovacího relé s permanentním magnetem [13]	18
Obr. 9-4: Ukázka proudového chrániče s testovacím tlačítkem [13]	18
Obr. 10-4: Čtyřpólový proudový chránič [15].....	19
Obr. 11-4: Dvoupólový proudový chránič [15].....	19
Obr. 12-4: Příklad průběhu poruchového proudu proudového chrániče typu AC [16] .	21
Obr. 13-4: Příklad průběhu poruchového proudu proudového chrániče typu A [16]	22
Obr. 14-4: Příklad průběhu poruchového proudu proudového chrániče typu B [16]	22
Obr. 15-4: Konstrukce zpoždovacího obvodu v proudovém chrániči [13]	24
Obr. 16-4: Meze vypínacích časů [13]	25
Obr. 17-5: Schéma 5.1.1	26
Obr. 18-5: Schéma 5.1.2.....	26
Obr. 19-6: Nepájivé pole pro navrzení součástek.....	28
Obr. 20-6: Obvod pro generování nesinusového proudu	29
Obr. 21-6: Schéma zapojení obvodu pro generování nesinusového proudu	29
Obr. 22-6: Zhotovení bočníku	29
Obr. 23-6: Schéma zapojení uvnitř přípravku	30
Obr. 24-6: Přípravek po zhotovení	30
Obr. 25-6: Ukázka nesinusového průběhu.....	31
Obr. 26-6: Zhotovený přípravek.....	31
Obr. 27-7: Vnitřní zapojení proudového chrániče	34
Obr. 28-7: Schéma zapojení pracoviště.....	36

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-4 Typy proudových chráničů podle citlivosti na různé druhy proudů	23
Tab. 2-4 Meze vypínacích proudových chráničů.....	25
Tab. 3-5 Rozsahy vypínacích proudů proudového chrániče typu A	27
Tab. 4-5 Maximální hodnoty celkové doby vypínání pro půlvlnové pulzující reziduální proudy (efektivní hodnoty) pro proudový chránič typu A.....	27
Tabulka 5-7 Maximální hodnoty doby vypínání	35
Tabulka 6-7 Vzorová tabulka pro použité přístroje	38
Tabulka 7-7 Ukázkové tabulky pro změřené hodnoty.....	38

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá principy funkce proudového chrániče při vypínání nesinusových reziduálních proudů. Úkolem proudového chrániče je chránit osoby před nebezpečím dotyku živých částí, případně je ochránit, dojde-li k poruše, která vznikla, například, v izolaci spotřebiče. Proudové chrániče slouží také jako opatření proti vzniku požáru. První část práce se zaměřuje na popis a funkci proudového chrániče při vypínání sinusových a nesinusových reziduálních proudů. Následují normativní požadavky proudového chrániče při reziduálních pulzujících stejnosměrných prouděch. Součástí práce je také návrh obvodu pro vygenerování reziduálních proudů. V závěru práce se nachází popis zhotovení přípravku, jehož hlavními požadavky je přehlednost a spolehlivost při použití v laboratorní výuce. K laboratorní výuce byla vytvořena laboratorní úloha na téma „Ověření chování proudového chrániče při vypínání nesinusových reziduálních proudů“, ve které je popsán teoretický úvod, schéma zapojení a návod, jak danou problematiku vyřešit.

2 ELEKTRICKÉ PŘÍSTROJE

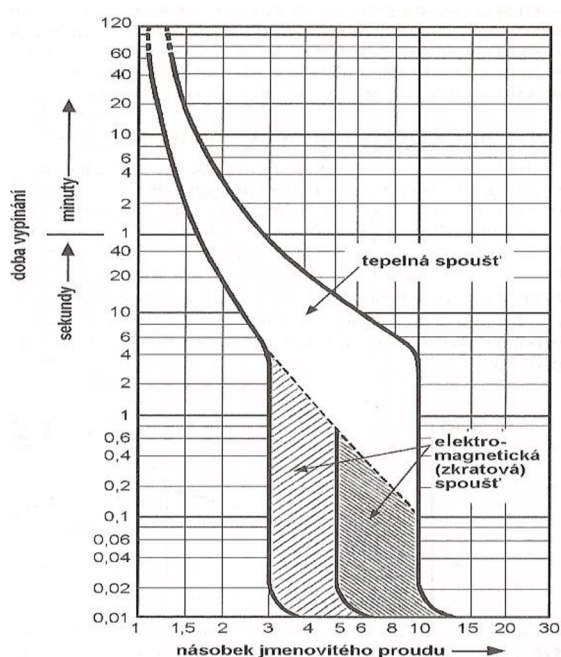
Elektrické přístroje jsou hojně využívány v elektrických obvodech pro/k obsluze nebo jištění elektrických strojů, rozvodů, spotřebičů aj. Každý elektrický přístroj má čtyři stavy: vypnuto, zapnuto, zapínání (stav mezi přechodem Vypnuto → Zapnuto) a vypínání (stav mezi přechodem Zapnuto → Vypnuto). Elektrické přístroje slouží k požadovanému připojení/zapnutí spotřebiče. Slouží také pro jištění spotřebiče při nadproudech nebo zkratech. Přístroje můžeme rozdělit do několika skupin a to: spínací, řídicí, jističí, spojovací, měřicí a ostatní. Spínací přístroje můžeme rozdělit do dvou podskupin dle jejich působení. První podskupina zahrnuje nesamočinné přístroje. Řadíme zde například spínače, vypínače, odpojovače a musí zde docházet k vnějšímu mechanickému zásahu. Druhou podskupinou jsou samočinné přístroje, jimiž jsou stykače, relé, jističe, proudové chrániče atd. [1]

3 JISTÍCÍ PRVKY V OBVODU

Jističí prvky chrání elektrický obvod a okolí před účinky poruchových stavů, kterými jsou například přetížení, přepětí, zkrat, ohrožení zdraví osob, zvířat a majetku (použití proudového chrániče).

3.1 Jističe

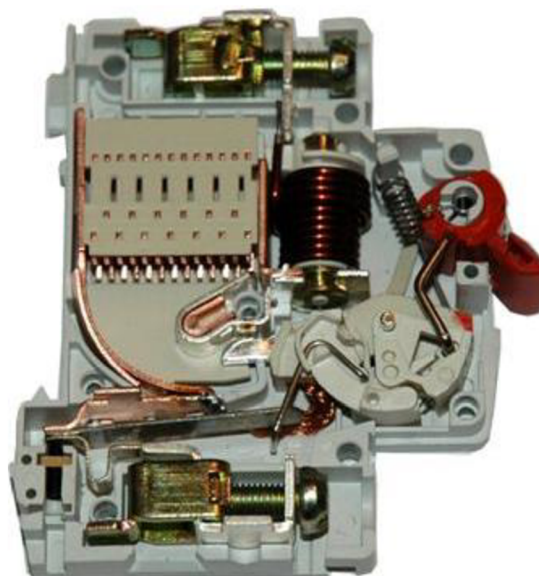
Jističe jsou mechanické spínací přístroje schopné zapínat, přenášet a vypínat proudy za normálních podmínek obvodu. Dokážou také zapínat, přenášet a vypínat proudy při abnormálních podmínkách, příkladem může být zkrat. Hlavní schopností jističů je automatické vyhodnocování proudu procházejícího obvodem a vypínání nadproudů, které byly způsobeny přetížením nebo zkratem. Jistič v sobě obsahuje dvě spouště, a to nadproudovou a zkratovou. Nadproudová spoušť (tepelná, tj. bimetalová) reaguje na menší nadproudy, zatímco u zkratové spouště jistič reaguje na větší nadproudy a tato ochrana tedy musí zapůsobit mnohem rychleji než nadproudová. [2] [3]



Obr. 1-3: Vypínací charakteristika jističů



Obr. 2-3: LSN Jistič do 60A [5]



Obr. 3-3: Řez jističem [4]

3.2 Pojistky

Pojistky jsou nejlevnější a nejstarší přístroje používané pro jištění elektrických zařízení před účinky nadproudu. Konstrukce pojistky je jednoduchá. V pojistce se nachází tavný vodič, který může mít zúžená místa, tvoří nejslabší část chráněného elektrického obvodu. Z důvodu jeho konstrukce je nejvíce namáhanou částí. Dojde-li k průchodu nadproudu, za určitou dobu, tavný vodič se roztaví a vznikne elektrický oblouk, který je uhašen sytkým materiálem nacházejícím se v pojistce. Nejčastěji používaným sytkým materiálem je křemičitý písek. Rozeznáváme různé druhy pojistek. Jako příklad lze uvést nožové (Obr. 5-3), válcové (Obr. 4-3) a další. [2]



Obr. 4-3: Válková pojistka [7]



Obr. 5-3: Nožová pojistka [6]

4 PROUDOVÉ CHRÁNIČE

Definice proudových chráničů je uvedena v normě ČSN EN 61009-1 ed. 3.

„Proudový chránič je mechanický spínací přístroj nebo kombinace přístrojů navržených tak, aby způsobily rozepnutí kontaktů, když reziduální proud dosáhne pracovní hodnoty za předepsaných podmínek. Proudový chránič může být kombinací různých oddělených prvků navržených k detekci a vyhodnocování a k zapínání a vypínání proudu.“ [8]

4.1 Historie a vývoj proudového chrániče

První zmínky o snaze vyvinout přístroj na ochranu osob a zvířat před elektrickým proudem se datují do roku 1928. Tehdy byl v Německu patentován německý říšský patent s názvem „Ochranné obvody pro zabezpečení lidí a zvířat proti poškození při dotyku vodiče pod napětím sítě nízkého napětí“. Přímou z patentové dokumentace lze uvést úryvek, který dokonale popisuje špatnou situaci týkající se ochrany osob a zvířat před elektrickým proudem: *„Je poukázáno na to, že doposud není ještě možná žádná ochrana při dotyku vodiče, který vede napětí – jako například samotného fázového vodiče – přestože právě zde je možné vysledovat četné případy neštěstí v domácích instalacích. Objev se týká především zamezení újmy člověka nebo zvířete dotýkajícího se fázového vodiče.“* Z úryvku lze vyčíst, že již v této době lidé přemýšleli nad tím, jak zabránit újmy živých bytostí při přímém dotyku vedení, které je pod napětím. Po tomto převratném nápadu nastalo v oblasti vývoje proudových chráničů k období úpadku.

Až o jedenáct let později, tedy roku 1937, představila francouzská firma Schutzapparategesellschaft Paris & Co. prototyp provozního zařízení, které bylo založené na diferenciálním transformátoru a polarizovaném relé, jehož citlivost dosahovala hodnot 10 mA s rychlostí 0,1 s. Téhož roku byl proveden experiment s živým člověkem. Zařízení fungovalo správně, proudových chránič vypnul, a dobrovolník zaznamenal pouze slabý zásah. Tento pokus nebyl vícekrát opakován z důvodu neochoty participanta.

Začátkem 40. let (1942) byly v Berlíně provedeny další pokusy, které měly ověřit fungování proudového chrániče. Tento prototyp měl citlivost již 80 mA. Dobrovolník zkoušku přežil, avšak dalších pokusů se zúčastnit, stejně jako ve Francii, odmítl. Tyto pokusy začaly poukazovat na to, že je třeba pomocí ochranného vodiče uzemnit i další, vnější, vodivé části elektrických zařízení.

Roku 1943 francouzská firma Schutzapparategesellschaft Paris & Co začala vyrábět proudové chrániče pro ochranu neživých částí. Použití těchto přístrojů bylo vázáno na podmínku, že budou používány pouze ve spojení s ochranným vodičem. Další vývoj proudových chráničů byl z důvodu období války a poválečných let dočasně přerušen.

První sériová výroba proudových chráničů se datuje do roku 1951. Jmenovité proudy těchto přístrojů nabývaly hodnot od 0,3 A do 3 A. Vybavovací relé těchto přístrojů bylo konstruováno tak, aby součtový proudový transformátor dodával dostatečné množství energie k tomu, aby mohlo relé zapůsobit. Zajímavostí z oblasti uplatnění proudového chrániče ve Francii je fakt, že rozvodné společnosti používaly tyto přístroje k odhalování nelegálních odběratelů elektřiny. Jejich důmyslný krok fungoval na předpokladu, že nelegální odběratel elektřiny využíval jako pracovního vodiče zemniče. Byla-li elektřina odebírána tímto způsobem, došlo k automatickému odpojení napájení.

V Rakousku roku 1958 přišel Dr. Bilegelman s novým nápadem patentu proudového chrániče. Jeho přístroj využíval princip strádání elektrické energie do kondenzátoru (zásobníku) a impulsní spouštění relé. Výhodou tohoto relé bylo vyšší výkonnost i při menší citlivosti. Další výhodou byl méně citlivý spínací mechanismus. Díky tomu se docílilo větší spolehlivosti proudového chrániče, především během bouřek. Tato vlastnost dala jističi označení G (z německého Gewitter = bouřka).

O několik let později se k výzkumu přidali také vědci z USA, kteří se však vydali svou vlastní cestou. Dr. Dalzilel studoval používání proudového chrániče v zemích Evropy. Inspirace ze svých cest využil k vytvoření svého patentu vysoce citlivého proudového chrániče s elektronickým zesilovačem. Pro tento typ proudového chrániče se začalo používat označení DI (D=differential I=proud).

V 70. letech se začalo hojně rozšiřovat používání výkonové elektroniky. Z tohoto důvodu bylo zapotřebí vynalézt spolehlivou ochranu i při výskytu stejnosměrného proudu. Na tento problém, se za účelem zisku, zaměřilo mnoho výrobců. Netrvalo proto dlouho a na trhu se objevily první nové typy proudových chráničů, které dnes označujeme jako typ A. S prvním provedením kompaktního chrániče typu B přišla firma Siemens v roce 1994. Tento typ chrániče byl schopen zareagovat i na hladký stejnosměrný proud.

Jak léta ubíhaly, ukázalo se, že největším problémem v oblasti zajištění bezpečnosti používání určitého zařízení, je samotná provozní spolehlivost proudových chráničů. Touto problematikou se však dlouhou dobu nikdo nezabýval. Ke zlomu došlo až po naléhání ze strany předních světových odborníků v oblasti úrazu elektrickým proudem. Od té chvíle se jí začala zabývat komise IEC. S řešením daného problému přišel roku 1988 Dr. Biegel Maurerovi. Tomuto pánovi se podařilo sestrojít přístroj tak spolehlivý, že se přibližoval spolehlivosti jističe. Roku 1996 byl firmou Felten & Guillaume představen proudový chránič se zvýšenou spolehlivostí. Od této doby je běžně používán. [17]

4.1.1 Historie používání proudového chrániče v naší zemi

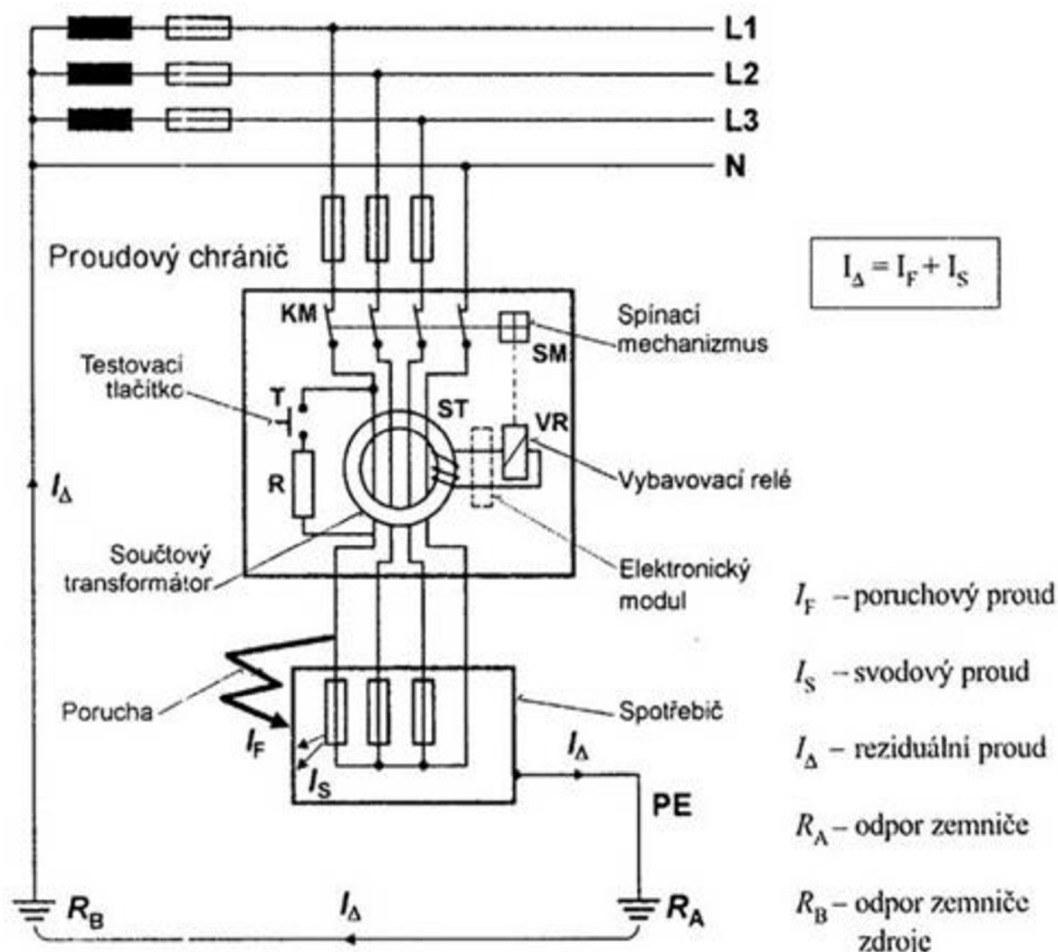
V 60. letech 20. století, bylo dokázáno, že proudové chrániče jsou spolehlivé a dokáží zajistit ochranu před úrazem elektrickým proudem. V naší zemi se použitelnost proudového chrániče opomíjela.

V 70. a 80. letech byly u nás poprvé zmíněny proudové chrániče s doplňkovou ochranou při dotyku osob se živou částí elektrického zařízení v doplňku ČSN 34 1010. V normě byly uvedeny jako výjimečná možnost doplňkové ochrany před úrazem elektrickým proudem. Přitom šlo o provizorní řešení, které mělo chránit dvojvodičové rozvody bez ochranného vodiče, a to pouze do doby rekonstrukce. Toto ustanovení bylo platné jen do roku 1990.

Hlavním problémem, který zabraňoval širšímu používání proudových chráničů, byla tehdejší ekonomická situace. Z toho důvodu byly používány především rozvodné sítě typu TN-C s vodičem PEN. Důraz se také kladl na používání vodičů vyrobených z hliníku. Rozvody typu TN-C-S byly používány pouze ve zdravotnických zařízeních a dále v oblasti telekomunikace, kde se používaly z důvodu potlačení rušení. V textilních závodech byly proudové chrániče používány velmi zřídka. Postupem času se začal projevovat nesoulad mezi požadavky a skutečností. Jako hlavní zdroj proudových chráničů bylo NDR. Počet kusů však nebyl dostačující, stejně tak kvalita. Roku 1996 zavedla norma ČSN 33 2000-4-41 doplňkovou ochranu živých částí proudovým chráničem s citlivostí 30 mA. Tato norma byla i s doplňky převzata z mezinárodního souboru předpisů IEC 364 pro chrániče. [17]

4.2 Popis a funkce proudového chrániče

Každý proudový chránič se skládá ze tří základních konstrukčních částí – součtový transformátor, vybavovací relé a spínací mechanismus. Jestliže chceme zajistit správnou funkci proudového chrániče, musí procházet součtovým transformátorem všechny pracovní vodiče (tedy všechny fáze (L1, L2 a L3) a střední vodič (N), případně tolik vodičů, abychom zajistili správnou funkci spotřebiče). Ochranný vodič (PE) se nesmí připojit do proudového chrániče a vodiče, PE a N se nesmí spojit za proudovým chráničem. U proudového chrániče dochází k neustálému porovnávání proudů ve vodičích, které procházejí proudovým součtovým transformátorem. Jestliže se proudový chránič nachází v normálním stavu bez zemní poruchy, součet okamžitých hodnot proudů je roven nule. Od pracovních vodičů se sice indukuje magnetický tok v jádře transformátoru, ale jejich okamžitý součet je roven nule. Nastane-li zemní spojení, určitá část proudu začne odtékat mimo pracovní vodič a vniká nerovnoměrný stav. To způsobí v součtovém transformátoru vybuzení magnetického toku v jádře a na jeho výstupním vynutí vznikne napětí, které vytvoří proud, jenž uvede v činnost vybavovací relé, což umožní impuls k vypnutí kontaktů proudového chrániče. [9]



Obr. 6-4: Zapojení proudového chrániče s poruchou [10]

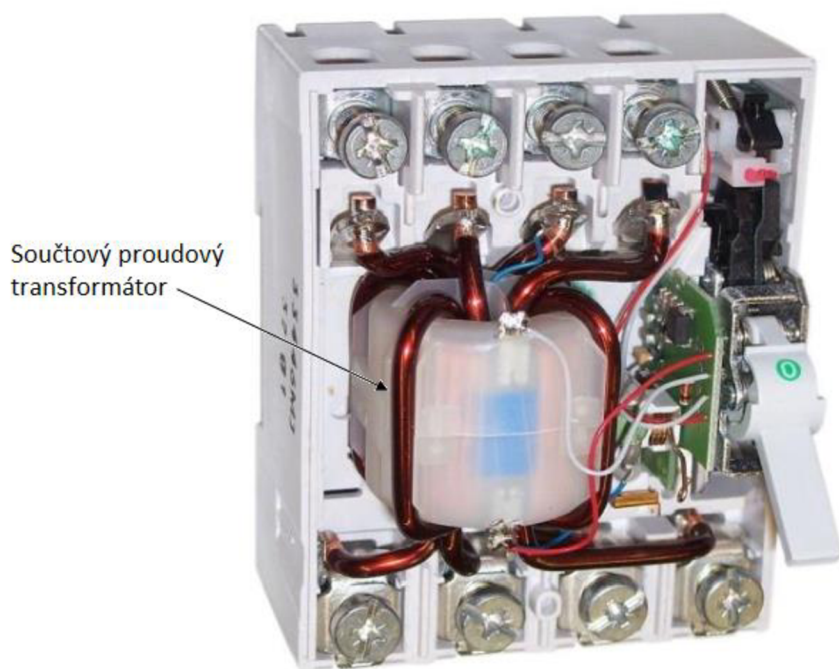
4.3 Základní konstrukční části chrániče

4.3.1 Součtový proudový transformátor

Obvyklým tvarem součtového proudového transformátoru je prstenec, tzv. toroidní jádro. Jádro je ve většině případů tvořené stočeným magnetickým měkkým kovovým páskem s vysokou permeabilitou, který je ovinut. Magnetický měkký kovový pásek má vliv na různé druhy proudů. Na průřezu prstence má vliv typ, jmenovitý proud a citlivost chrániče. Jádrem součtového transformátoru jsou vedeny všechny pracovní vodiče chráněného obvodu. Podle citlivosti se určuje počet otáček vinutí kolem jádra na primárním a sekundárním transformátoru.

Princip funkce proudového transformátoru je založen na detekci reziduálního proudu, který je popsán prvním Kirchhoffovým zákonem. Zákon popisuje zachování elektrického náboje a říká, že v každém bodě (uzlu) elektrického obvodu platí: Algebraický součet proudů vtékajících do uzlu a vytékajících z uzlu se rovná nule.

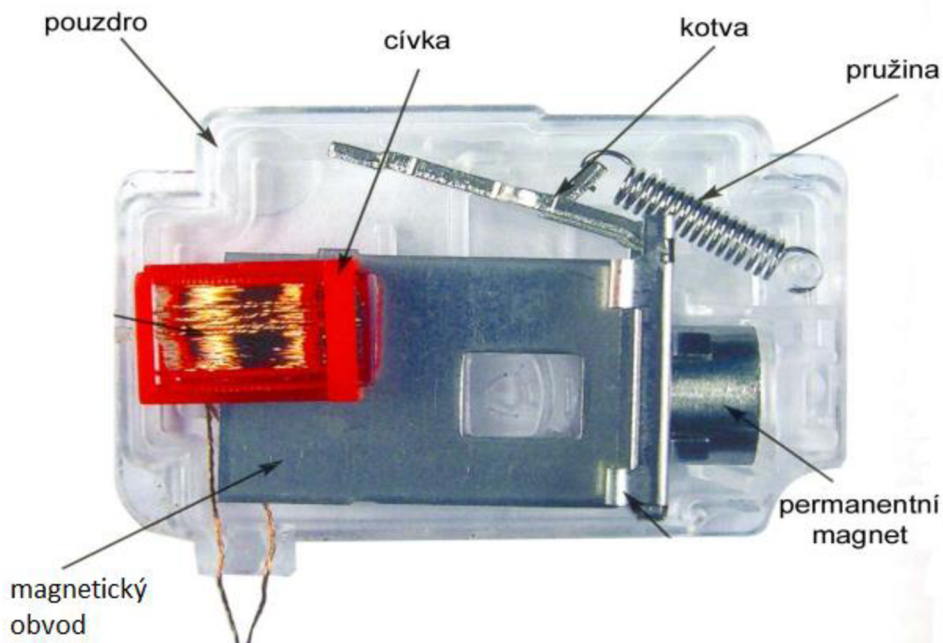
V případě poruchy odtéká poruchový proud mimo součtový transformátor. Tento proud přitéká do uzlu z některého fázového vodiče. To způsobí nárůst proudu v některém fázovém vodiči, jehož důsledkem je vznik magnetického toku v jádru transformátoru. [9]



Obr. 7-4: Příklad součtového proudového transformátoru v proudovém chrániči [12]

4.3.2 Vybavovací relé s permanentním magnetem

Tento typ relé je velice rozšířen. Důvodem jeho rozšířenosti je jeho prověřená a spolehlivá schopnost. U relé s permanentním magnetem je typická trvale přitažená kotva. Přivede-li se proud na budící cívku relé, je oslabena přitažlivá síla magnetu, a to způsobí, že síla pružiny odklopí kotvu relé. Vybavovacímu relé se přizpůsobuje počet sekundárních závitů. Ze sekundárního vinutí součtového transformátoru je napájena budící cívka v relé. [9]



Obr. 8-4: Konstrukce vybavovacího relé s permanentním magnetem [13]

4.3.3 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení se skládá z předřadného rezistoru (R) a testovacího tlačítka (Test). Odpor závisí na velikosti provozního napětí a citlivosti chrániče. Testovací tlačítko je vždy přístupné obsluze elektrického zařízení. Může ho tedy obsluhovat i laik, respektive osoba seznámena s paragrafem 3 vyhlášky 50. Při stlačení tlačítka se přes zkušební rezistor vygeneruje reziduální proud, který teče mimo součtový transformátor a způsobí vybavení proudového chrániče. Nákres tlačítka je znázorněn v obrázku 9-4. [13]



Obr. 9-4: Ukázka proudového chrániče s testovacím tlačítkem [13]

4.3.4 Počet pólů

Pól proudového chrániče je část spojená pouze s jednou elektrickou vodivou cestou jeho hlavního obvodu. Jsou opatřené kontakty, které spojují a rozpojují hlavní obvod.

Norma ČSN EN 61008-1 určuje tři základní rozdělení počtu pólů u proudového chrániče, a to:

- dvoupólový,
- trojpólový,
- čtyřpólový.

Nejčastěji se vyrábějí dvoupólové a čtyřpólové provedení, neboť pro praktické využití jsou tyto dva druhy postačující. Dvoupólové se používají pro jednofázové soustavy, čtyřpólové pro třífázové soustavy. [14]



Obr. 10-4: Čtyřpólový proudový chránič [15]



Obr. 11-4: Dvoupólový proudový chránič [15]

4.3.5 Spínací mechanismus

Dle normy ČSN EN 61008-1 musí být pohyblivé kontakty všech pólů vícepólových proudových chráničů spojené mechanicky tak, aby zapínaly a vypínaly v podstatě společně při ovládním automatickém, ale i ručním. Pokud má proudových chránič čtyřpólový spínaný nulový pól nesmí zapnout po ostatních pólech a nesmí vypnout před ostatními póly. Mechanismus se kontroluje ručními zkouškami i prohlídkou za využití vhodných prostředků, jako je například světelná signalizace nebo osciloskop.

Proudový chránič musí mít mechanismus s nezávislým vybavováním a také musí být zajištěno zapínání a vypínání ručně. Stav polohy hlavních kontaktů musí být zajištěn polohou ovládací části nebo samostatným mechanickým indikátorem. U mechanického indikátoru musí být zapnutá poloha označena červenou barvou a vypnutá zelenou barvou. Prostředky pro indikaci polohy musí být bezporuchové a kontrolují se zkouškami mechanismu s nezávislým vybavováním. [14]

4.4 Druhy proudových chráničů

Existuje několik druhů proudových chráničů, které se využívají v domovní instalaci nebo v průmyslu. Konkrétně se může jednat o proudové chrániče s/bez nadproudové ochrany, stavebnicové proudové chrániče, jističe zahrnující proudový chránič a mnoho dalších. Proudový chránič bývá označován zkratkou RCD (Residual Current Device) pouze v případě, jedná-li se o ochrannou funkci bez konkrétní vlastnosti nebo způsobu instalace. [9]

4.4.1 Proudový chránič bez nadproudové ochrany (RCCB)

Tento proudový chránič je nejpoužívanější typem, využívaným pro domovní a podobné použití. Jeho zkratka RCCB znamená Residual Circuit Current Breakers. Hlavní účel tohoto druhu chrániče, je chránit proti dotyku živých částí. Veškeré informace týkající se konstrukce a zkoušení tohoto proudového chrániče nalezneme v normě ČSN EN 61008. [13]
Na tomto chrániči bude ověřena jeho funkčnost na nesinusové reziduální průběhy.

4.4.2 Proudové chrániče se zabudovanou nadproudovou ochranou (RCBO)

Tyto druhy proudového chrániče jsou často navrženy jako kompaktní přístroje. Pod pojmem kompaktní přístroj se skrývá fakt, že mají sdružené funkce, a to jak proudového chrániče, tak i jističe. Jistič chrání před nadproudem kontakty a zároveň i instalaci. Jeho zkoušení a konstrukce je k nalezení v normě ČSN EN 61009. Zkratka RCBO má znění Residual Circuit Breakers Overcurrent. [9]

4.4.3 Stavebnicové proudové chrániče (MRDC)

Tyto proudové chrániče nemají vlastní kontaktní systém, proto může být kontaktním systémem stykač, výkonový jistič nebo vypínač. Mezinárodní značení zní Modular Residual Circuit Device. Na tomto zařízení smíme pracovat pouze, jsme-li pod dohledem poučených nebo jsme osoba znalá. Vše o zkoušení a konstrukci pojednává norma ČSN EN 60947-2, Příloha M. [13]

4.5 Hlavní parametry proudového chrániče

Jmenovitý proud (I_n)

Hodnota proudu, která může procházet proudovým chráničem, aniž by vybavil proudový chránič. [14]

Jmenovité pracovní napětí (U_e)

Napětí, které je přiřazeno výrobcem a k níž se vztahují jeho vlastnosti jako určení napětí sítě nebo funkce testovacího tlačítka. [14]

Jmenovitý reziduální pracovní proud ($I_{\Delta n}$)

Hodnota reziduálního proudu udaná výrobcem, je hodnota, při kterém musí proudový chránič, za stanovených podmínek, zapůsobit (vybavit). [14]

Jmenovitý reziduální nevybavovací proud ($I_{\Delta no}$)

Hodnota reziduálního nevybavovacího proudu, při které proudový chránič, za stanovených podmínek, nezapůsobí. Jeho hranice se dá stanovit pomocí jednoduchého vztahu $0,5 \cdot I_{\Delta n}$. [14]

Mezní doba nepůsobení ($t_{\Delta a}$)

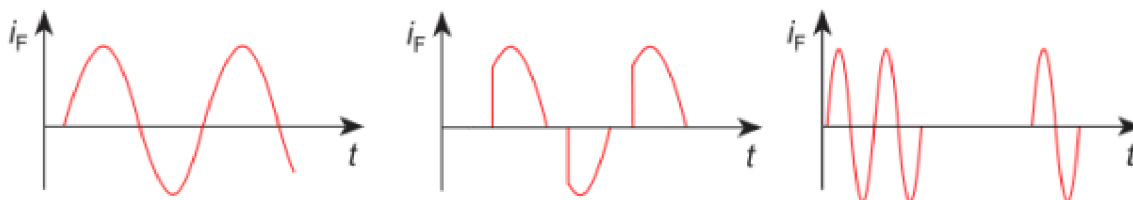
Doba, za kterou v proudovém chrániči může působit vyšší reziduální proud, než je hodnota jmenovitého reziduálního proudu, aniž by proudový chránič vybavil. [9]

4.6 Citlivost na různé druhy reziduálních proudů

Proudové chrániče jsou rozděleny do určitých kategorií, podle toho, jak jsou schopné zapůsobit na různé druhy reziduálních proudů. Můžeme je rozčlenit na proudové chrániče typu AC, A, B a další druhy.

4.6.1 Typ AC

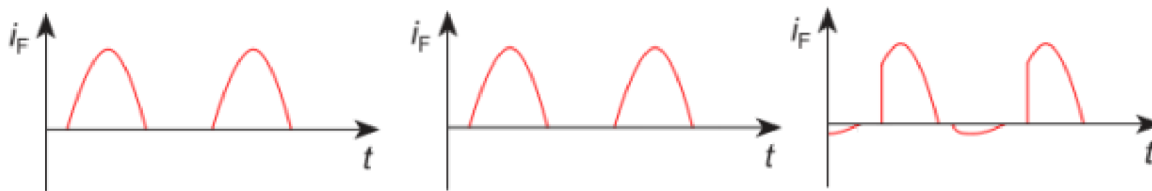
Tento typ chrániče je uzpůsoben na střídavé reziduální proudy. Vyskytne-li se stejnosměrná složka proudu, může zapříčinit snížení reakční citlivosti, nebo může vést k zablokování funkce. [9]



Obr. 12-4: Příklad průběhu poruchového proudu proudového chrániče typu AC [16]

4.6.2 Typ A

U tohoto typu je schopnost vypínání reziduálních proudů stejná jako u typu AC, pouze s tím rozdílem, že zapůsobí i na stejnosměrné reziduální proudy. Zapůsobí i v přítomnosti malé hodnoty hladkého stejnosměrného reziduálního proudu, ale pouze do hodnoty 6 mA. [9]



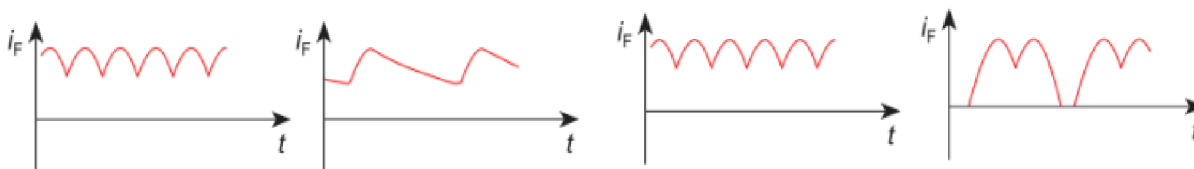
Obr. 13-4: Příklad průběhu poruchového proudu proudového chrániče typu A [16]

4.6.3 Typ F

Proudový chránič typu F je stejný ve schopnosti vypínání reziduálních proudů, jako typ A, ale má další doplnění. Tímto doplněním rozumíme, upravení frekvenční charakteristiky, která zohledňuje citlivost na frekvence do 2 kHz. Tato vlastnost se upřednostňuje v obvodu s jednofázovým frekvenčním měničem. Liší se také od typu A v tom, že jeho odolnost proti pulzujícím stejnosměrným proudům má hodnotu do 10 mA. [9]

4.6.4 Typ B

Tento typ proudového chrániče je konstruován na střídavé, pulzující stejnosměrné a hladké stejnosměrné reziduální proudy. Parametry a vlastnosti můžeme nalézt v normě ČSN EN 62423 ed.2. Využití těchto typů proudových chráničů je v průmyslových a komerčních instalacích, výjimečně v domácnosti, které používají frekvenční měniče, fotovoltaické elektrárny atd. Je určen pro střídavé obvody s frekvencí do 2 kHz, ne však do obvodů se stejnosměrnými pracovními proudy. [9]



Obr. 14-4: Příklad průběhu poruchového proudu proudového chrániče typu B [16]

4.6.5 Typ B+

Typ, který je určen pro všechny druhy reziduálních proudů. Proudový chránič s tímto typem má upravenou vypínací charakteristiku s vypínacím reziduálním proudem do 0,42 A, pro frekvenci do 20 kHz. Dle německé normy VDE 0664-440 tento typ proudového chrániče splňuje určité požadavky na požární ochranu. [9]




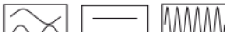

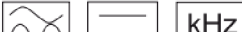
4.6.6 Typ Bfq

Typ Bfq zapůsobí u všech druhů reziduálních proudů. Má upravenou vypínací charakteristiku a frekvenční rozsah do 20 kHz. Podle normy ČSN EN 62423 ed.2. je tento typ chrániče odolný proti vybavení vlivem unikajících proudů v obvodech s frekvenčními měniči. [9]

4.6.7 Shrnutí typů proudových chráničů

Tabulka uvedená níže stručně a přehledně uvádí jednotlivé typy chráničů včetně jejich základních vlastností.

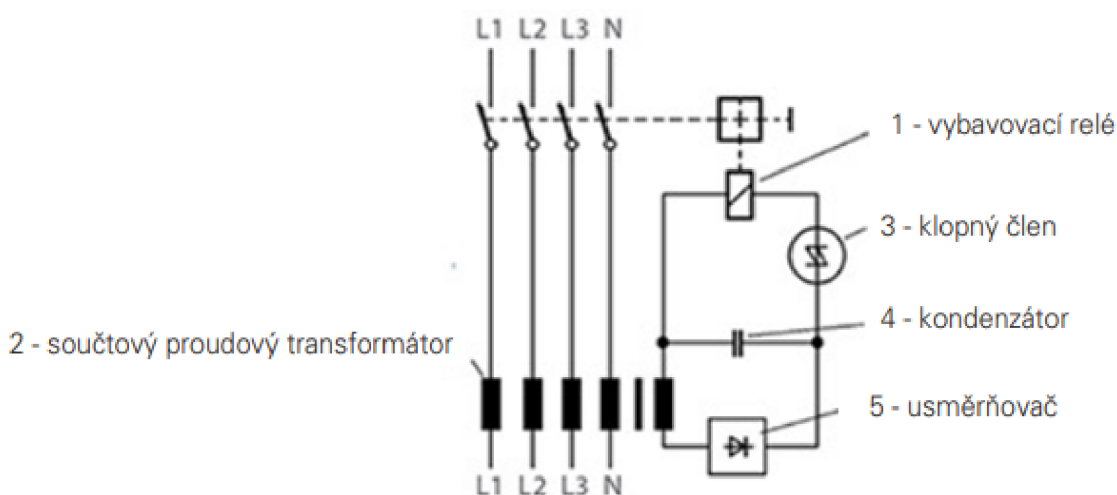
Tab. 1-4 Typy proudových chráničů podle citlivosti na různé druhy proudů

Typ	Symbol	Citlivost na reziduální proud	Vlastnosti
AC		střídavý	sinusový AC s jmenovitou frekvencí
A		střídavý a pulzující stejnosměrný proud	sinusový AC a pulzující DC do 6 mA
F		střídavý a pulzující stejnosměrný proud	sinusový AC a pulzující DC do 10 mA
B		střídavý a pulzující stejnosměrný a hladký stejnosměrný proud	všechny druhy proudů do 2 kHz
B+		střídavý a pulzující stejnosměrný a hladký stejnosměrný proud	všechny druhy proudů do 20 kHz
Bfq		střídavý a pulzující stejnosměrný a hladký stejnosměrný proud	všechny druhy proudů do 20 kHz

4.7 Časové závislosti vypnutí proudového chrániče

Můžeme rozlišovat dva typy proudových chráničů v této kategorii. Jedním z typů je proudový chránič bez zpoždění a druhým typem je proudový chránič se zpožděním.

Princip zpoždění spočívá v tom, že zpoždovací obvod v sobě obsahuje kondenzátor, který je napájen ze sekundárního vinutí proudového transformátoru. Jakmile dojde k průchodu pulzu reziduálního proudu proudovým chráničem, je tento proud odveden do kondenzátoru, ale nedojde k vybavení, protože kondenzátor není dostatečně nabit. Teprve při určité úrovni nabití kondenzátoru se otevře klopný člen, a to vede k vybití kondenzátoru do vybavovacího relé, který následně způsobí rozpojení kontaktů. [9]



Obr. 15-4: Konstrukce zpoždovacího obvodu v proudovém chrániči [13]

4.7.1 Označení typu chrániče dle časové závislosti vypnutí

Prvním typem je proudový chránič pro všeobecné použití. Tento chránič v sobě neobsahuje žádný zpoždovací obvod. Jeho vypínací čas není zdola omezen (Obr.16-4), a proto vypíná i krátké proudové rázy.

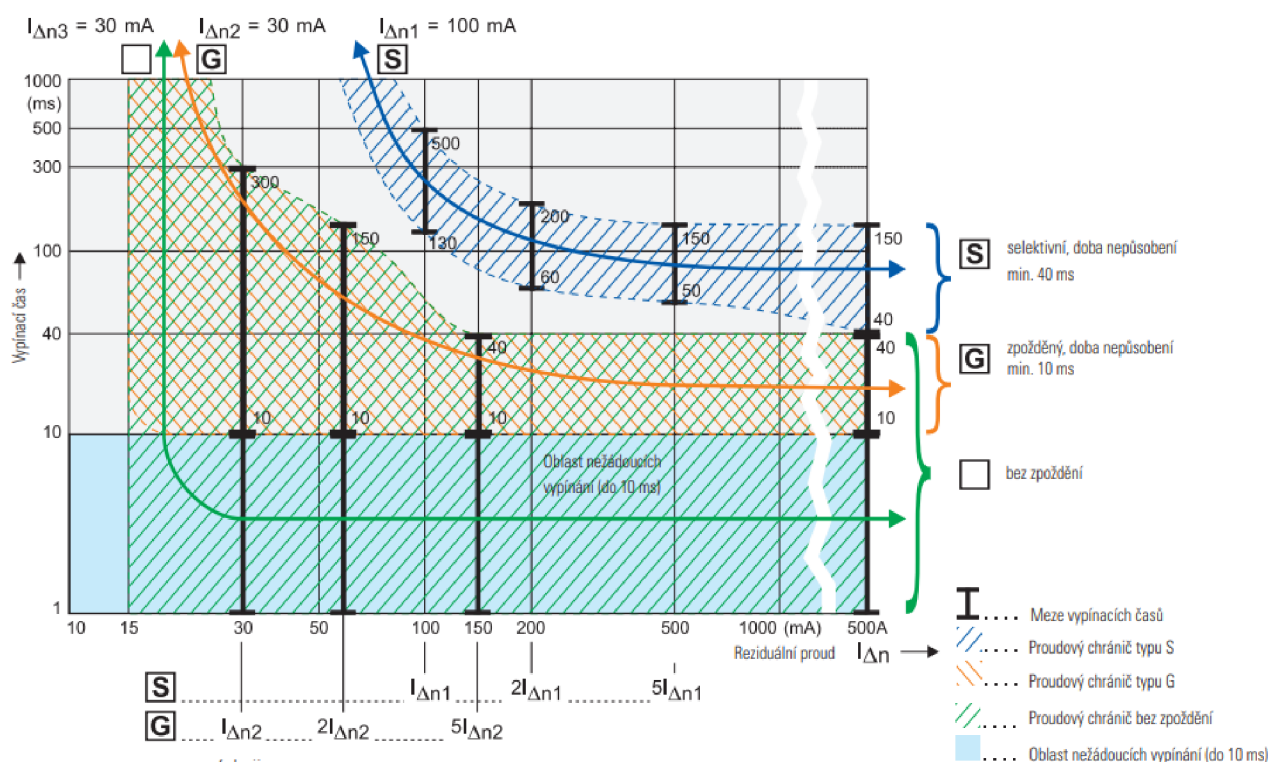
Druhým typem proudového chrániče je tzv. typ G. V jeho konstrukci je obsažen zpoždovací obvod. Proudový chránič se vyznačuje krátkodobým nepůsobením a je rázově odolný. Čas zpoždění je minimálně 10 ms. Vypínací čas má stejnou horní hranici jako typ chránič pro všeobecné použití (Obr.16-4).

Třetím typem je proudový chránič selektivní, tzv. typ S. Obsahuje také zpoždovací obvod jako typ G. Jeho doba nepůsobení je nejméně 40 ms. Vyznačuje se vysokou odolností proti rázovému proudu (5kA). Používá se jako hlavní jistič.

Pojmem selektivita rozumíme, zapojení několika proudových chráničů za sebou, ale vybavit by měl ten, který je neblíže poruchy a na ostatní proudové chrániče by porucha neměla mít vliv. [9], [14]

Tab. 2-4 Meze vypínacích proudových chráničů

Značka	Typ chrániče	Vypínací časy [ms] pro			
		$I_{\Delta} = I_{\Delta n}$	$I_{\Delta} = 2I_{\Delta n}$	$I_{\Delta} = 5I_{\Delta n}$	$I_{\Delta} = 500A$
□	bez zpoždění – pro všeobecné podmínky	≤ 300	≤ 150	≤ 40	≤ 40
G	zpožděný – s dobou nepůsobení min. 10 ms	10-300	10-150	10-40	10-40
S	selektivní - s dobou nepůsobení min. 40 ms	130-500	60-200	50-150	40-150

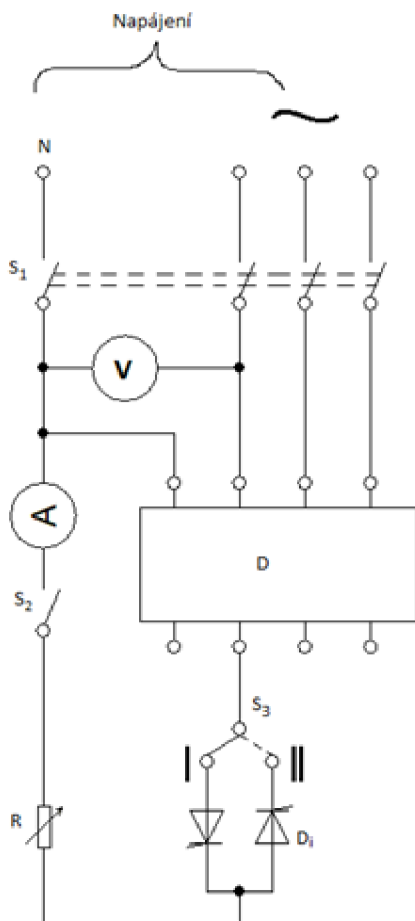


Obr. 16-4: Meze vypínacích časů [13]

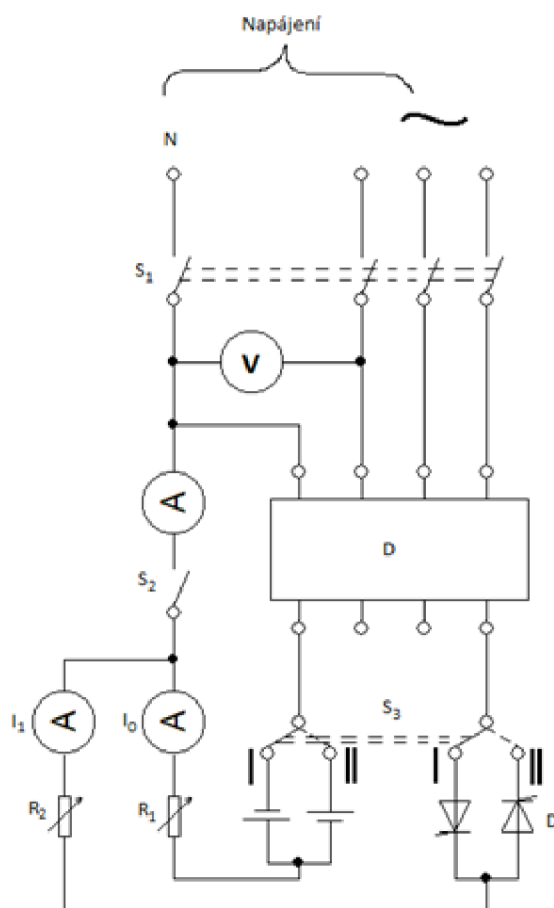
5 NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA PROUDOVÝ CHRÁNIČ (TYPU A) PŘI ZKOUŠKÁCH

5.1 Zkušební obvod dle normy

Pro správné ověření funkce proudového chrániče typu A na reziduální proudy se stejnosměrnou složkou nám poslouží schémata zapojení, které jsou dané normou ČSN EN 61008-1 ed. 3.



Obr. 17-5: Schéma 5.1.1



Obr. 18-5: Schéma 5.1.2

Schéma zapojení v 5.1.1 je zkušební obvod pro ověření správné činnosti proudového chrániče v případě reziduálního pulzujícího stejnosměrného proudu. Schéma 5.1.2 je zkušební obvod při stejných podmínkách jako ve schématu 5.1.1, akorát je navíc přítomnost stálého vyhlazeného stejnosměrného proudu 6 mA.

Dle normy musí mít obvod zanedbatelnou indukčnost a musí odpovídat zapojení. Přístroje použité ve schématu musí ukazovat efektivní hodnotu a u přístrojích měřící čas, by měly mít maximální relativní chybu 10% naměřené hodnoty. Pokud budeme měřit na proudovém chrániči více jak jeden jmenovitý kmitočet, musí být měření prováděno i na nejnižším a nejvyšším kmitočtu. Norma pojednává i o hodnotě síťového napětí, které mají hodnoty 1,1 a 0,85 násobek jmenovitého síťového napětí přiloženého na příslušných svorkách. [14]

5.1.1 Ověření správné činnosti v případě plynulého zvyšování reziduálního pulzujícího stejnosměrného proudu

Pro ověření správné činnosti u této zkoušky použijeme schéma 5.1.1, kde musí být pomocné spínače S_1 a S_2 zapnuty. Tyristor, který nám slouží k řízení proudového zpoždění, musí umět nastavovat úhly zpoždění α 0° , 90° a 135° . U zkoušeného proudového chrániče je měření na pólech zkoušeno dvakrát, při každém z úhlů proudového zpoždění, v polohách I a II pomocného spínače S_3 .

Při každé zkoušce se proud plynule zvyšuje a to od nuly při přibližné rychlosti $1,4 I_{\Delta n}/30A$ za sekundu pro proudový chránič s $I_{\Delta n} > 0,01A$ a při rychlosti $2 I_{\Delta n}/30A$ za sekundu pro proudový chránič pokud $I_{\Delta n} \leq 0,01A$. Vypínací proud je v souladu s tabulkou 3-5. [14]

Tab. 3-5 Rozsahy vypínacích proudů proudového chrániče typu A

Úhel α [°]	Vypínací proud [A]	
	Spodní mez $I_{\Delta n}$	Horní mez $I_{\Delta n}$
0	0,35	1,4 nebo 2
90	0,25	
135	0,11	

5.1.2 Ověření správné činnosti, zda se náhle objeví reziduální pulzující stejnosměrné proudy

Zkouška se provádí ze schématu, které je zobrazeno ve schéma 5.1.1. Hodnoty, které stanovila norma pro měření zkušebního obvodu, jsou zaznamenány v tabulce 4-5. Obvod je kalibrován správně při stanovených hodnotách, a také je-li pomocný spínač S_1 společně s proudovým chráničem v zapnuté poloze. Reziduální proud je dán zapnutím spínače S_2 . Zkouška je prováděna při každé hodnotě reziduálního proudu dané v tabulce 4-5.

Tab. 4-5 Maximální hodnoty celkové doby vypínání pro půlvalnové pulzující reziduální proudy (efektivní hodnoty) pro proudový chránič typu A

			Maximální hodnoty celkové doby vypínání pro chrániče typu A v případě půlvalnových pulzujících reziduálních proudů rovných							
Typ	$I_n[A]$	$I_{\Delta n}[A]$	$1,4 I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$2,8 I_{\Delta n}$	$4 I_{\Delta n}$	$7 I_{\Delta n}$	0,35A	0,5A	350A
Obecný	libovolná hodnota	<0,03s		0,3s		0,150s			0,04s	0,04s
		0,03s	0,3s		0,15s			0,04s		0,04s
		>0,03s	0,3s		0,15s		0,04s			0,04s
S	≥ 25	>0,03s	0,5s		0,2s		0,15s			0,15s

U tohoto typu ověření se provádějí dvě měření celkové doby vypínání. Provedou se se všemi hodnotami $I_{\Delta n}$ a to pouze při proudovém zpoždění $\alpha = 0^\circ$, s pomocným spínačem S_3 v poloze I pro první měření a v poloze II pro druhé. Žádná z hodnot nesmí překročit stanovené mezní hodnoty. [14]

6 NÁVRH A ZHOTOVENÍ PŘÍPRAVKU PRO ZKOUŠENÍ PROUDOVÉHO CHRÁNIČE

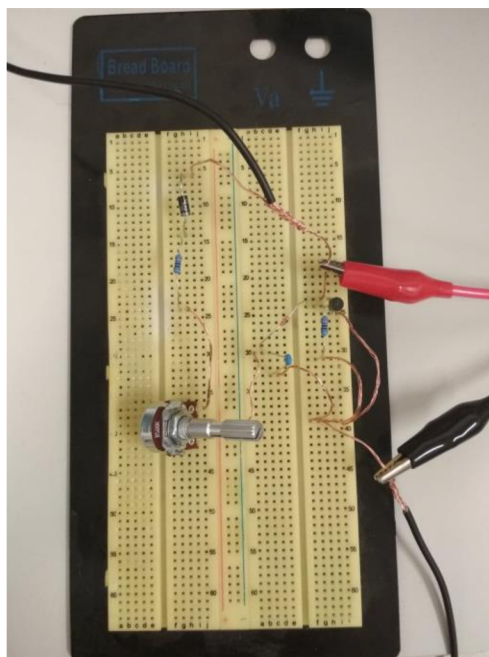
6.1 Návrh přípravku

Dle normy ČSN EN 61008-1 ed. 3 musel obvod vygenerovat výsledné zpoždovací úhly. Z toho důvodu bylo při návrhu přípravku důležité stanovit časovou konstantu τ pro spínání tyristoru a překonání napětí na diaku. Časová konstanta τ byla určena na 10 ms. Poté následovalo navržení konkrétních hodnot kondenzátoru a rezistoru. Vycházelo se z rovnice (6.1), kde hodnoty kondenzátoru a rezistoru byly dosazovány pokusně a následně odměřeny na nepájivém poli. Průběh vygenerovaným součástkami byl sledován na osciloskopu.

Rovnice pro výpočet časové konstanty:

$$\tau = R \cdot C = 10 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,01 = 10 \text{ ms} \quad (6.1)$$

kde τ je časová konstanta, R hodnota odporu rezistoru, C kapacita kondenzátoru.

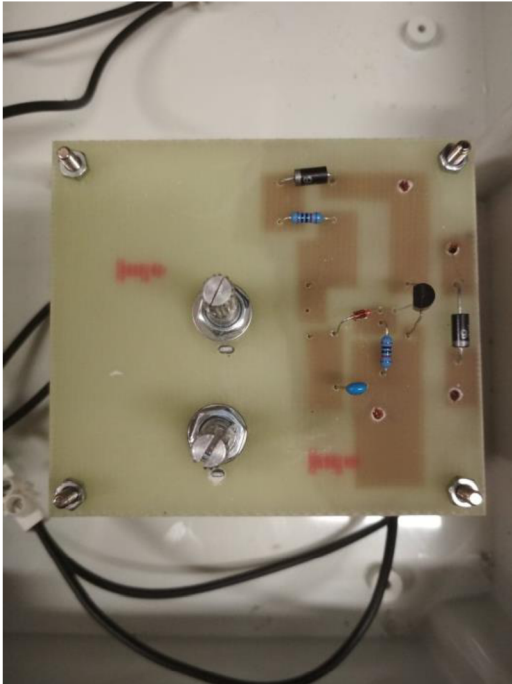


Obr. 19-6: Nepájivé pole pro návržení součástek

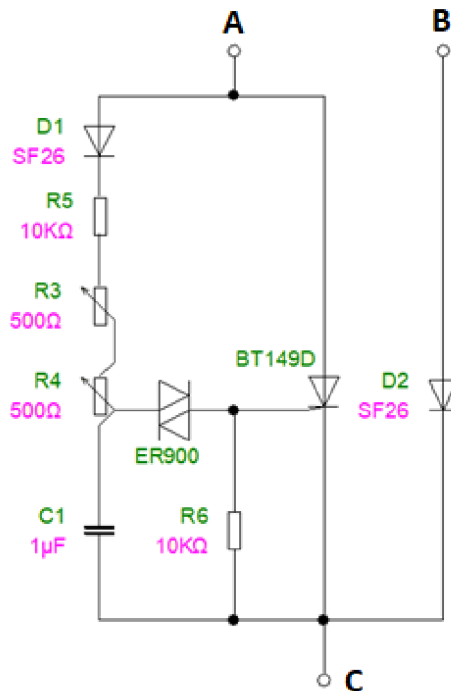
Abychom dosáhli výsledného nesinusového průběhu, byl obvod rozdělen do dvou větví. První větev (B-C) slouží k nastavení zpoždovacího úhlu $\alpha = 0^\circ$, tento úhel zajistí dioda D_2 . Ve druhé větvi (A-C) nám výsledné úhly $\alpha = 90^\circ$ a $\alpha = 135^\circ$ zajistí kombinace součástek ve schématu (Obr.21-6), kterými jsou rezistor R_6 , který slouží jako ochranný a potenciometry R_3 a R_4 , které jsou používány k řízení zpoždovacího úhlu $\alpha = 90^\circ$ a $\alpha = 135^\circ$. Potenciometry zapojené do série mají za důsledek lepší ladění zpoždovacího úhlu, konkrétně $\alpha = 135^\circ$.

Dále musí být překonáno průrazné napětí diaku, který následně otevře tyristor přes řídicí elektrodu. K překonání průrazného napětí se musí kondenzátor nabít na vyšší hodnotu napětí, než je stanovena u diaku. V případě navrhovaného obvodu činí hodnota průrazného napětí na

diaku (U_{bo}) 32 V. Tato hodnota byla stanovena výrobcem. Jakmile je hodnota U_{bo} diaku překonána, stává se vodivým, otevře se tyristor.

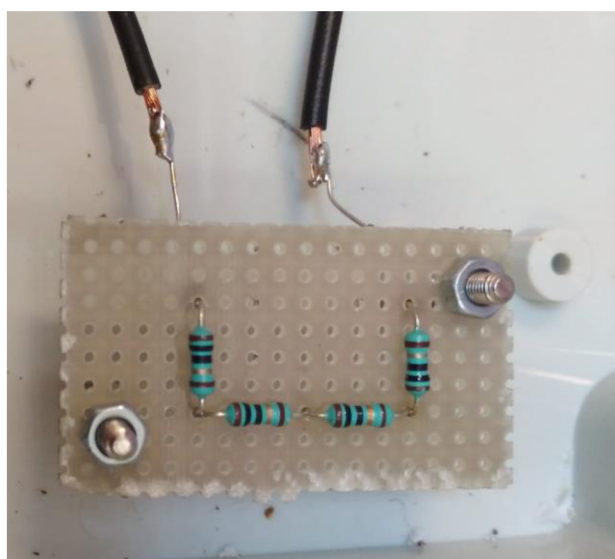


Obr. 20-6: Obvod pro generování nesinusového proudu



Obr. 21-6: Schéma zapojení obvodu pro generování nesinusového proudu

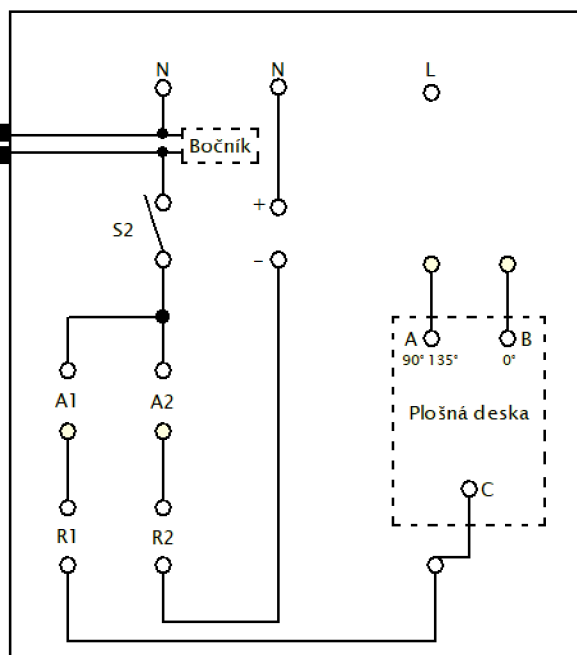
Za účelem sledování a nastavení nesinusového proudu v přípravku, je použit bočník. Bočník se skládá ze čtyř sériově propojených rezistorů. Hodnota rezistorů je stejná a odpor činí $10\ \Omega$. Ten je připojen paralelně k měřicímu přístroji (osciloskopu), na kterém se měří čas vybavení proudového chrániče a je zde i sledován nesinusový průběh. Hodnota sériové kombinace rezistorů na bočníku nesmí být vysoká, aby nedocházelo k vysokým ztrátám na rezistorech.



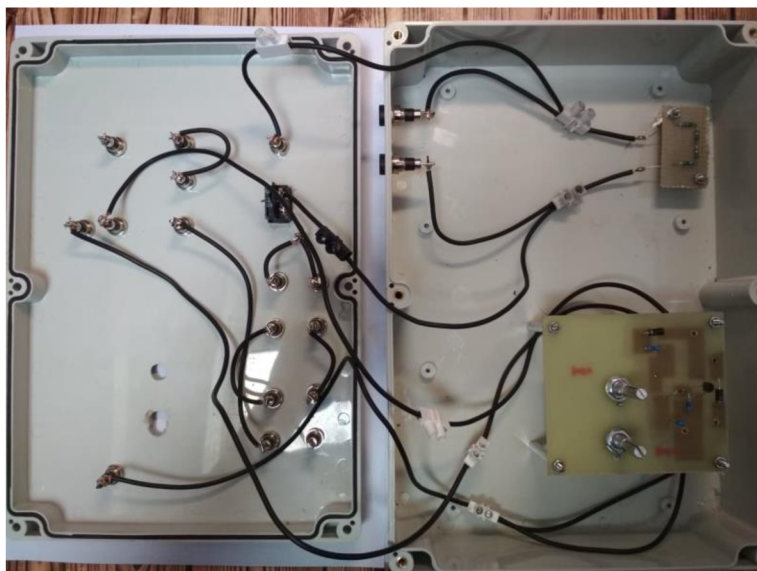
Obr. 22-6: Zhotovení bočníku

6.2 Zhotovení přípravku

Pro zhotovení přípravku se vycházelo ze schématu 5.1.2 na obr. 18-5. Pro výukové účely musí být obvod a příslušné pospojování umístěno do plastové krabice. Důvodem je (ne)úmyslné dotknutí živých částí přípravku studentem. Při zhotovení přípravku se do plastové krabice vyvrtaly díry a následně se osadily panelovými zdírkami. Zdíčky se vzájemně propojily mezi sebou společně s bočnicem a plošnou deskou, jak je naznačeno ve schématu na obr. 23-6.

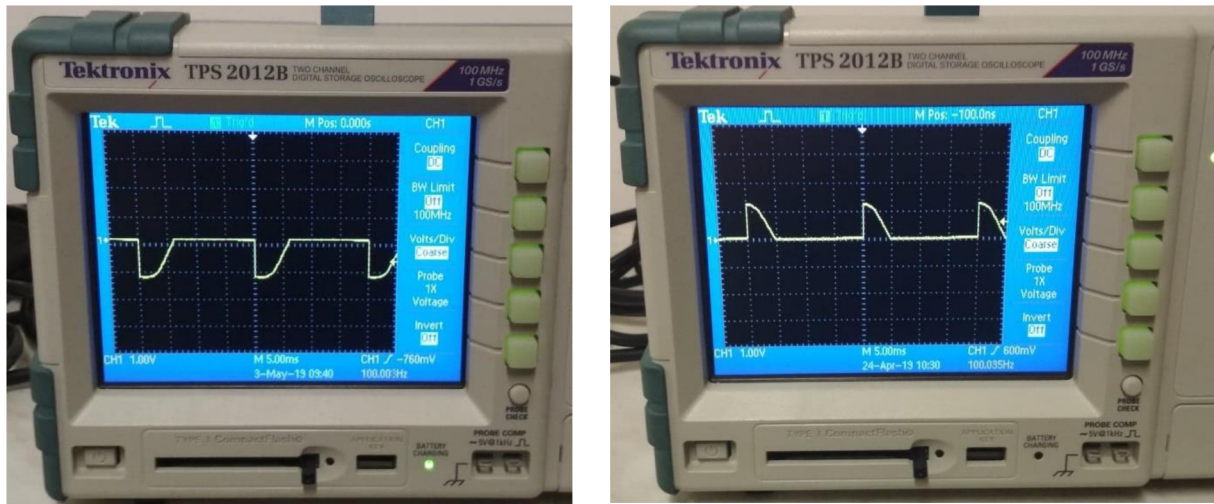


Obr. 23-6: Schéma zapojení uvnitř přípravku



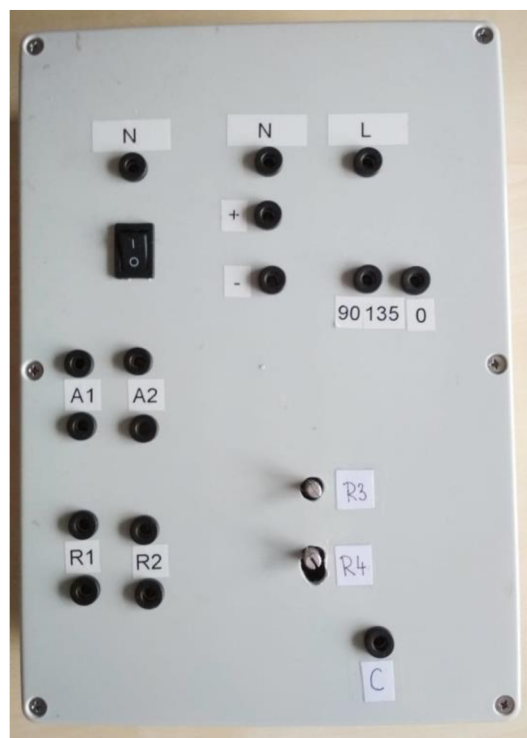
Obr. 24-6: Přípravek po zhotovení

Po zhotovení přípravku následovala praktická kontrola, která ukázala, že průběhy nesinusového proudu jsou generovány správně. Příklady různých průběhů jsou zobrazeny na obr. 25-6.



Obr. 25-6: Ukázka nesinusového průběhu

Pro lepší orientaci na přípravku byly nalepeny informační štítky, které zaručují konkrétní připojení jak měřících přístrojů, tak i dalších komponentů.



Obr. 26-6: Zhotovený přípravek

6.3 Zkouška na proudovém chrániči

Dvoupólový proudový chránič EATON PF7-25/2/003-A-DE, byl podroben pulsujícím reziduálním proudům jak se stejnosměrnou složkou proudu, tak i bez. Při podrobení zkoušky pro zpoždovací úhel $\alpha = 0^\circ$, se stejnosměrné složky proudu i bez, proudový chránič vybavil pod hodnotou 30 mA. Vypínací proud se pohyboval okolo hodnoty 24 mA bez stejnosměrné složky a pokud se nastavil stejnosměrný proud 6 mA, tak hodnota proudu byla nižší. Pokud se nastaví úhel zpoždění $\alpha = 90^\circ$ a $\alpha = 135^\circ$, bez stejnosměrné složky proudu, zapůsobí proudový chránič mnohem dříve než u možnosti zpoždovacího úhlu $\alpha = 0^\circ$. Při těchto zpoždovacích úhlech proudový chránič zapůsobil vždy do hodnoty 30 mA a tím vyhověl i požadavkům normy. Průběhy byly sledovány na osciloskopu Tektronix TPS 2012B.

7 LABORATORNÍ ÚLOHA

Ověření chování proudového chrániče při vypínání nesinusových reziduálních proudů

7.1 Zadání laboratorní úlohy

1. Nastudujte funkčnost proudového chrániče typu A.
2. Zapojte pracoviště dle schématu.
3. Prověřte, zda proudový chránič vybaví při různých nesinusových reziduálních proudech a porovnejte vypínací časy s tabulkou z normy.
4. Výsledky měření zhodnoťte.

7.2 Teoretický úvod

7.2.1 Konstrukce a princip proudového chrániče

Proudový chránič je mechanický spínací přístroj. Slouží k ochraně při poruše automatickým odpojením od zdroje nebo jako doplňková ochrana, a také jako ochrana před požárem. Kontakty proudový chránič rozpojí, pokud dojde k přesáhnutí pracovního reziduálního proudu.

Proudový chránič se skládá z několika základních částí a to ze:

a) Součtového transformátoru

- Součtovým transformátorem prochází všechny pracovní vodiče (L) a střední vodič (N), nesmí být zde připojen ochranný vodič (PE) a ani jej slučovat společně, za proudovým chráničem, se středním vodičem. V tomto součtovém transformátoru dochází k neustálému porovnávání proudů ve vodiči. Pokud nenastala porucha v obvodu, součet všech okamžitých hodnot proudů se rovná nule. Z tohoto důsledku je i magnetický tok roven nule a neindukuje se žádné napětí na výstupním vynutí. Nastane-li porucha, část proudu uniká mimo pracovní vodič, vznikne nerovnoměrný stav proudu v součtovém transformátoru. Důsledkem toho je vybuzení magnetického toku v jádře součtového transformátoru a vzniku napětí na výstupním vinutí. Napětí vytvoří proud, které zapůsobí na vybavovací relé, což umožní impulz k vypnutí kontaktů proudového chrániče. [9]

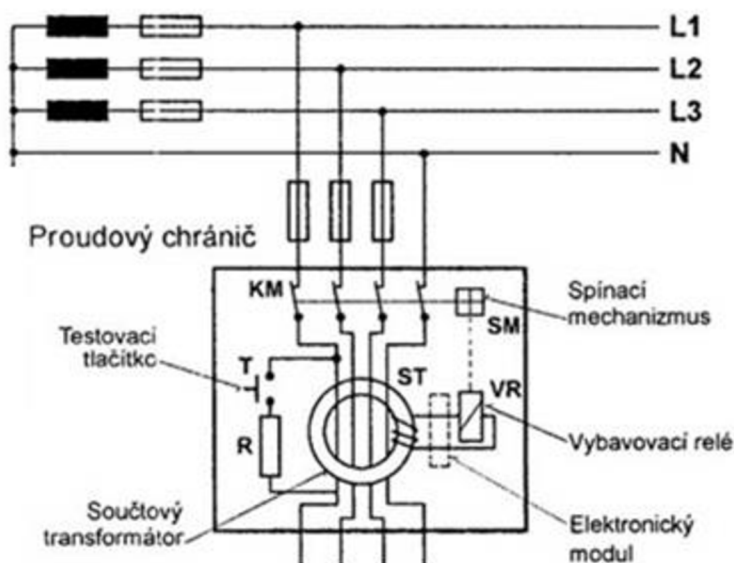
b) Vybavovacího relé

- Nejčastěji používané vybavovací relé je s permanentním magnetem. Skládá se z cívky, kotvy, pružiny, permanentního magnetu a magnetického obvodu. U tohoto typu relé je typické, že je trvale přitažena kotva. Pokud je přiveden proud ze součtového transformátoru na budící cívku relé, je oslabena přitažlivá síla magnetu. Zapříčiní to, že síla pružiny odklopí kotvu relé. [9]

c) Spínacího mechanismu

- Spínací mechanismus musí mít pohyblivé kontakty všech pólů proudových chráničů spojené mechanicky tak, aby zapínaly a vypínaly společně při ovládním. Stav polohy hlavních kontaktů může být zajištěn mechanickým ukazatelem. Ukazatel

musí být při zapnuté poloze označen červenou barvou a při vypnuté poloze zelenou. [14]



Obr. 27-7: Vnitřní zapojení proudového chrániče

7.2.2 Hlavní parametry a různé druhy proudového chrániče

Mezi hlavní parametry proudového chrániče řadíme:

- **Jmenovitý proud (I_n)** – proud, který může procházet proudovým chráničem, aniž by zapůsobil.
- **Jmenovité pracovní napětí (U_e)** – napětí, které je přiřazeno výrobcem a k níž se vztahují jeho vlastnosti jako určení napětí sítě.
- **Jmenovitý reziduální pracovní proud ($I_{\Delta n}$)** - reziduální proud, který je udáván výrobcem. Je to hodnota, při které musí proudový chránič, za stanovených podmínek, zapůsobit. [14]

Proudový chránič rozdělujeme i podle citlivosti na různé druhy reziduálních proudů jako jsou:

- **Proudový chránič typu AC** – tento typ je uzpůsoben na střídavé reziduální proudy.
- **Proudový chránič typu A** – tento typ vypíná reziduální proudy střídavé, ale také zapůsobí i na stejnosměrné reziduální proudy. Zapůsobí i na hladké stejnosměrné reziduální proudy, ale pouze do hodnoty 6 mA.
- **Proudový chránič typu F** – zde u tohoto typu chrániče je to stejné, jako u typu A, ale s doplněním, které upravuje frekvenční charakteristiku. Jeho odolnost proti pulzujícím stejnosměrným proudům je 10 mA.
- **Proudový chránič typu B** – tento typ je konstruován na střídavé, pulzující stejnosměrné a hladké stejnosměrné reziduální proudy. [9]

7.2.3 Rozdělení typu chrániče dle časové závislosti vypnutí

- **typ -** – proudový chránič pro všeobecné použití.
- **typ G** – proudový chránič využívající zpožďovací obvod. Zpoždění činí 10 ms. Je také rázově odolný a vyznačuje se krátkodobým nepůsobením
- **Typ S** – proudový chránič také využívá zpožďovací obvod a zpoždění je 40 ms. Vyznačuje se vysokou odolností proti rázovým proudům a je také selektivní. [9], [14]

7.2.4 Ověření správné činnosti proudového chrániče

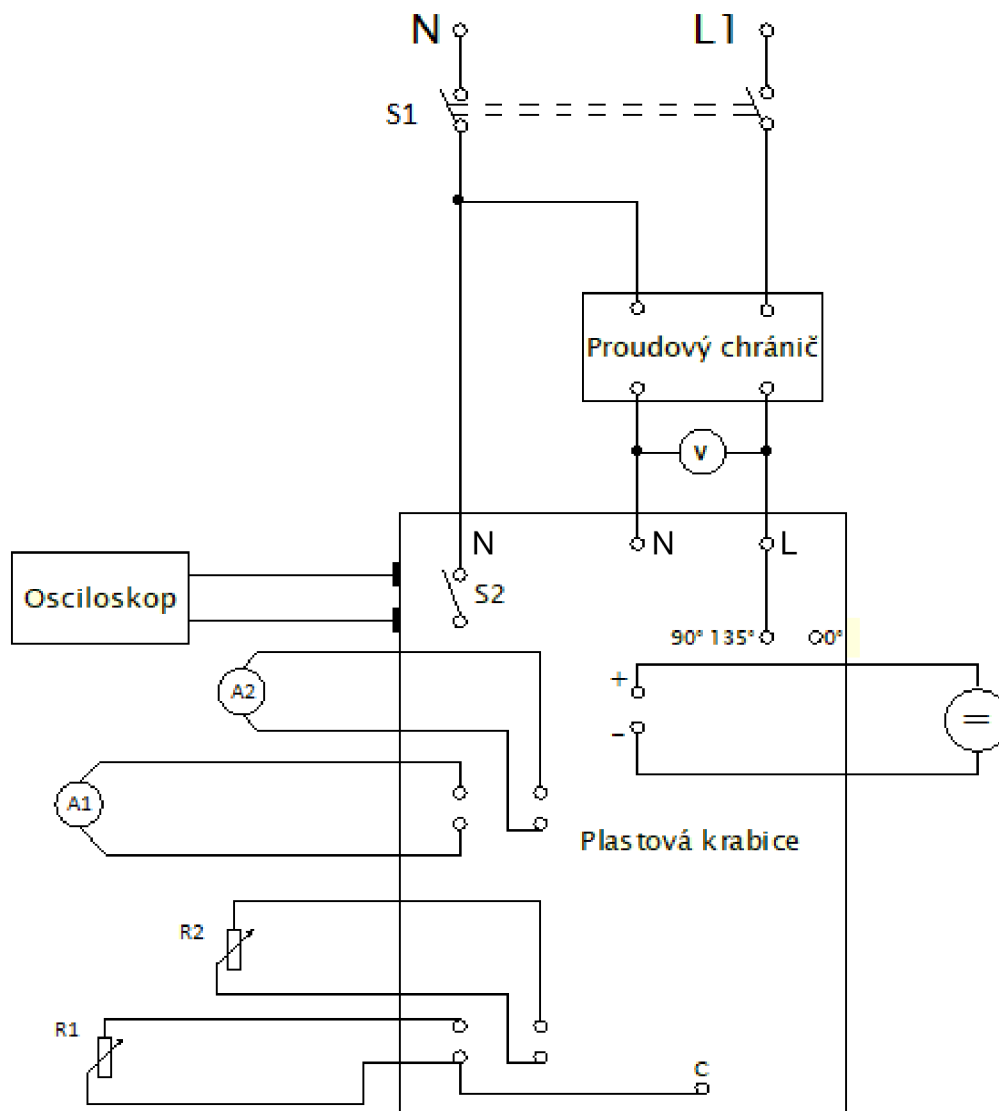
Při ověření správné činnosti proudového chrániče v případě nesinusových reziduálních proudech budeme vycházet z normy ČSN EN 61008-1 ed. 3. Norma pojednává o zkoušce, kdy je proudový chránič typu A podroben nesinusovým reziduálním proudem se zpožďovacími úhly $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 90^\circ$ a $\alpha = 135^\circ$. Proudový chránič, který je zkoušen, musí být na pólech změřen dvakrát, při každém z úhlu a také při různých polaritách průběhu.

Pro zkoušku na proudovém chrániči vycházíme ze schématu zapojení pracoviště. Hodnoty, které stanovila norma a nesmí být překročeny na zkoušeném proudovém chrániči jsou zapsány v tabulce níže.

Tabulka 5-7 Maximální hodnoty doby vypínání

			Maximální hodnoty celkové doby vypínání pro chránič typu A v případě půlvlnových pulzujících reziduálních proudů rovných							
Typ	I_n [A]	$I_{\Delta n}$ [A]	$1,4I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$2,8I_{\Delta n}$	$4 I_{\Delta n}$	$7 I_{\Delta n}$	0,35A	0,5A	350A
Obecný	libovolná hodnota	<0,03s		0,3s		0,150s			0,04s	0,04s
		0,03s	0,3s		0,15s			0,04s		0,04s
		>0,03s	0,3s		0,15s		0,04s			0,04s
S	≥ 25	>0,03s	0,5s		0,2s		0,15s			0,15s

7.3 Schéma zapojení



Obr. 28-7: Schéma zapojení pracoviště

7.4 Postup měření

1. Seznamte se s pracovištěm a s různými měřicími přístroji, které jsou využity pro měření této úlohy. Zapište jejich názvy a výrobní čísla do příslušné tabulky.
2. Po seznámení zapojte pracoviště dle příslušného schématu.
3. Vyučující stanoví hodnotu reziduálního proudu.
4. Při prvním měření se proudový chránič ověří na nesinusový průběh v úhlu zpoždění $\alpha = 0^\circ$ bez stejnosměrné složky, a to v kladném směru. Přívodní kabel z proudového chrániče (z fáze) zapojte do svorky pro 0° (na krabici označeno svorkou 0). Zkontrolujte, že spínač S_2 je v rozepnutém stavu. Zapněte laboratorní zdroj a poté sepněte spínač S_2 . Posuvný rezistor R_1 zvyšujte na takovou hodnotu, dokud proudový chránič nevybaví. Kontrolujte hodnotu proudu na ampérmetru A_1 a čas na osciloskopu, které poté zapište do příslušné tabulky. Po vybavení proudového chrániče stáhněte posuvný rezistor R_1 a vypněte laboratorní zdroj.
5. Pokud toto měření provedete, prohod'te zapojení pro 0° opačně, a to tak, aby nesinusový průběh byl v záporném směru (kabel z fáze proudového chrániče zapojte na svorku C a kabel ze svorky C na svorku s označením 0). Opakujte postup jako v předchozím kroku (4). Uložte si z osciloskopu oba průběhy nesinusového proudu.
6. Jako další krok je přepojení kabelů na svorky, pro měření nesinusového proudu v úhlech zpoždění 90° a 135° bez stejnosměrné složky. Pro nastavení úhlu zpoždění (90° a 135°) slouží potenciometry R_3 a R_4 . Díky nichž nastavíme kroucením příslušný úhel α , který kontrolujeme na osciloskopu. Po nastavení úhlu zpoždění 90° v kladném směru zapneme laboratorní zdroj a sepneme spínač. Opět zvyšujeme posuvný rezistor R_1 do té doby, dokud proudový chránič nevybaví. Hodnotu proudu, při které proudový chránič vybavil zapíšeme společně s časem do tabulky. Vypneme laboratorní zdroj a stáhneme posuvný rezistor R_1 . Měření provádíme i pro úhlem zpoždění v $\alpha = 90^\circ$ v záporném směru a $\alpha = 135^\circ$ v kladném i záporném směru, jak již bylo popsáno. Průběhy nesinusového reziduálního proudu si uložte.
7. Po dokončení těchto úkolů se zapojí stejnosměrný zdroj. Nejprve přivedeme svorky shodně s panelovými zdičkami (plus na plus a minus na minus). Velikost stejnosměrného proudu na zdroji nastavíme na hodnotu 6 mA (sledujeme na ampérmetru A_2). Opakuje měření pouze pro úhel zpoždění $\alpha = 0^\circ$.
8. Jakmile doměříme krok 7, vypneme stejnosměrný zdroj a přehodíme polarity na svorkách. A poté opakujeme měří se stejnosměrnou složkou.
9. Zapište také teplotu okolí, vlhkost a tlak v laboratoři a uveďte jej v závěru.
10. Zapsané hodnoty porovnejte s tabulkou z normy ČSN EN 61008-1 a zhodnoťte, zda proudový chránič funguje.

7.5 Použité přístroje

Tabulka 6-7 Vzorová tabulka pro použité přístroje

Schématické označení	Název, typ přístroje	Výrobce, výrobní číslo

7.6 Tabulky naměřených hodnot

Tabulka 7-7 Ukázkové tabulky pro změřené hodnoty

Kladná polarita nesinusového průběhu bez stejnosměrné složky												
úhel	$I_{\Delta n} = \dots [A]$		$1,4 \cdot I_{\Delta n}$		$2 \cdot I_{\Delta n}$		$2,8 \cdot I_{\Delta n}$		$4 \cdot I_{\Delta n}$		$7 \cdot I_{\Delta n}$	
[°]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]
0												
90												
135												
Kladná polarita nesinusového průběhu se stejnosměrnou složkou												
0												

Záporná polarita nesinusového průběhu bez stejnosměrné složky												
úhel	$I_{\Delta n} = \dots [A]$		$1,4 \cdot I_{\Delta n}$		$2 \cdot I_{\Delta n}$		$2,8 \cdot I_{\Delta n}$		$4 \cdot I_{\Delta n}$		$7 \cdot I_{\Delta n}$	
[°]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]	I[A]	t[s]
0												
90												
135												
Záporná polarita nesinusového průběhu se stejnosměrnou složkou												
0												

7.7 Grafy

Zobrazení průběhů reziduálního nesinusového proudu z měřicího přístroje, pro všechny zpožďovací úhly α (0° , 90° a 135°) včetně obou polarit.

7.8 Závěr měření

Zhodnoťte své naměřené hodnoty s hodnotami v tabulce stanovené normou ČSN EN 61008-1. Stanovte, zda proudový chránič vyhověl či nikoli. Pokud proudový chránič nevyhoví, uveďte příčinu nevybavení.

8 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zhotovit přípravek pro vyzkoušení funkce proudového chrániče a jeho chování při vybraných nesinusových prouděch. Na počátku práce bylo prioritní nastudovat konstrukční části proudového chrániče, jeho normativní rozdělení podle typů a jednotlivé požadavky, kterými se dané typy lišily. Největší pozornost se kladla na proudový chránič typu A.

Praktické části předcházelo zhotovení samotného přípravku pro laboratorní úlohu, jehož hlavními přednostmi jsou jednoduchost a přehlednost pro obsluhu. Přípravek obsahuje bočník a plošnou desku se součástkami, která musela být navržena tak, aby vygenerovala nesinusový průběh. Také samotné součástky byly navrhovány a podrobovány zkouškám tak, aby se docílilo tíženého průběhu.

Samotná praktická část zahrnovala zkoušení funkčnosti přípravku, ale i proudového chrániče. Přípravek při ověřování vygeneroval určité reziduální proudy, čímž vyhověl teoretickým předpokladům. U proudového chrániče, při nastavování všech reziduálních proudů společně se stejnosměrným proudem, docházelo vždy k vybavení. Přípravek i proudových chránič tedy splňovaly očekávané požadavky.

Nedílnou součástí bakalářské práce bylo zhotovení laboratorní úlohy pro výukové účely. Ve vytvořené laboratorní úloze bylo sepsáno obecné seznámení s proudovým chráničem, zhotovení schématu zapojení pracoviště, konkrétní postup při měření na proudovém chrániči, tabulky pro zápis hodnot a přístrojů a závěr.

LITERATURA

- [1] VRÁNA, Václav a Václav KOLÁŘ. *Elektrické přístroje: Určeno pro posluchače bakalářských studijních programů* [online]. únor 2006, 5 [cit. 2018-10-13]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_el_pristroje_bc.pdf
- [2] BUŠOV, Bohuslav. *Výkonové spínací přístroje nn-pojistka, jistič [Elektronické učební texty]*. Brno, 2018.
- [3] VALENTA, Jiří. *Měření na jističi NN [Elektronické učební texty]*. Brno, 2018.
- [4] *Encyklopedie fyziky* [online]. 2008 [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/329-jistice>
- [5] OEZ. *LSN JISTIČE DO 63 A (10 KA)* [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/lsn-jistice-do-63-a-10-ka>
- [6] OEZ. *PLN (GG) POJISTKOVÉ VLOŽKY* [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/pln-gg-pojistkove-vlozky>
- [7] OEZ. *VÁLCOVÉ POJISTKY* [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/valcove-pojistky-1>
- [8] ČSN EN 61009-1 ed. 3: *Proudové chrániče s vestavěnou nadproudovou ochranou pro domovní a podobné použití (RCBO) - Část 1: Obecná pravidla*. 2013.
- [9] ŠTĚPÁN, František. *Proudové chrániče*. 3.vydání. Pardubice: IN-EL, 2015. ISBN 978-80-87942-10-9.
- [10] *Elektrika* [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/zdroje-schrack-princip-funkce-proudoveho-chronice>
- [12] HUBÁLEK, Adolf. *PROJEKTOVÁNÍ ELEKTRICKÝCH INSTALACÍ POMOCÍ PROGRAMU SICHR* [online]. [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4041000-Projektovani-elektricky-ch-instalaci-pomoci-programu-sichr.html>
- [13] EATON. *Proudový chránič: Aplikační příručka* [online]. Praha: Eaton Corporation, 2017 [cit. 2018-10-22]. Dostupné z: http://eatonelektrotechnika.cz/__files/upload/content/proudove_chranice_2017.pdf
- [14] ČSN EN 61008-1. *Proudové chrániče bez vestavěné nadproudové ochrany pro domovní a podobné použití (RCCB) - Část 1: Obecná pravidla*. 3. edice. Brno: CENELEC, 2013.
- [15] *LFE PROUDOVÉ CHRÁNIČE (6 KA): Katalogy proudové chrániče 6 KA* [online]. OEZ [cit. 2018-10-27]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/lfe-proudove-chronice-6-ka>

- [16] *EATON TOUR 2015: Instalační přístroje řady xEffect* [online]. Eaton Corporation, 2010 [cit. 2018-11-05]. Dostupné z: http://www.profiklubelektrotechniku.cz/_files/upload/content/Eaton-Tour-2015-Instalacni-pristroje.pdf
- [17] ŠTĚPÁN, František. Proudové chrániče. Praha : IN-EL, 1997. 155 s. ISBN 80-902333-3-3.
- [18] ŠTĚPÁN, František. Ochrana před vznikem požáru od elektrické instalace pomocí proudových chráničů (RCD) a obloukových ochran (AFDD) [online]. , 7 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://storage.pozary.cz/article/5/6/56a7e0e096b1f/tepan-frantisek.k2bnpfjtf3.pdf>

Seznam symbolů a zkratek

A, B, C	Svorky plošného spoje	
A1, A2	Ampérmetry	
AC	Střídavý proud	
BT149D	Tyristor	
C, C1	Kondenzátor	[F]
DC	Stejnoseměrný proud	
D1, D2	Diody	
ER900	Diak	
f	frekvence	[Hz]
I_n	Jmenovitý proud	[A]
I_{Δ}	Reziduální proud	[A]
$I_{\Delta n}$	Jmenovitý reziduální pracovní proud	[A]
$I_{\Delta no}$	Jmenovitý reziduální nevybavovací proud	[A]
MRDC	Stavebnicové proudové chrániče	
N	Střední vodič	
PE	Ochranný vodič	
PEN	Sloučení vodič ochranný a střední	
R	Rezistor	[Ω]
R ₃ , R ₄	Potenciometr	[Ω]
RCBO	Proudové chrániče se zabudovanou nadproudovou ochranou	
RCCB	Proudový chránič bez nadproudové ochrany	
RCD	Proudový chránič bez konkrétní vlastnosti nebo způsobu instalace	
S ₁ , S ₂ , S ₃	Spínače	
L1, L2, L3	Fáze	
$t_{\Delta a}$	Mezní doba na působení	[s]
τ	Časová konstanta	[s]
α	Úhel zpoždění	[°]
U_e	Jmenovité pracovní napětí	[V]
U_{bo}	Průrazné napětí	[V]

NDR	Německá demokratická republika
TN-C	Síť čtyřvodičová (L1, L2, L3 a PEN)
TN-S	Síť pětivodičová (L1, L2, L3, PE a N)
IEC	Mezinárodní elektronická komise